



ACI 562

Nueva Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto

Gustavo Tumialan, Ph.D., P.E., F.ACI

SIMPSON GUMPERTZ & HEGER



Ingeniería de Estructuras y
Envolventes de Edificaciones



**PRIMER SEMINARIO INTERNACIONAL
PATOLOGÍA Y TERAPÉUTICA DEL CONCRETO
05 y 06 Diciembre 2014**



AGENDA

- Introducción
 - ¿Por qué una Norma de Reparación?
- ACI 562
 - Filosofía
 - Contenido
 - Descripción de los capítulos
 - ACI 562-13
 - ★• ACI 562-16

¿Por qué una Norma de Reparación?

1. Normas para el diseño de estructuras nuevas se usan para reparación de estructuras existentes

- Encuesta del ACI
 - ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
 1. 50% de su uso es para reparación de estructuras existentes
 2. Usado para reparar estructuras convencionales (ej. edificios, parqueaderos) y **no convencionales**
- Conclusiones de la encuesta del ACI
 - Se usa el ACI 318 más allá del propósito original
 - Es necesario una Norma para reparación de concreto

¿Por qué una Norma de Reparación?

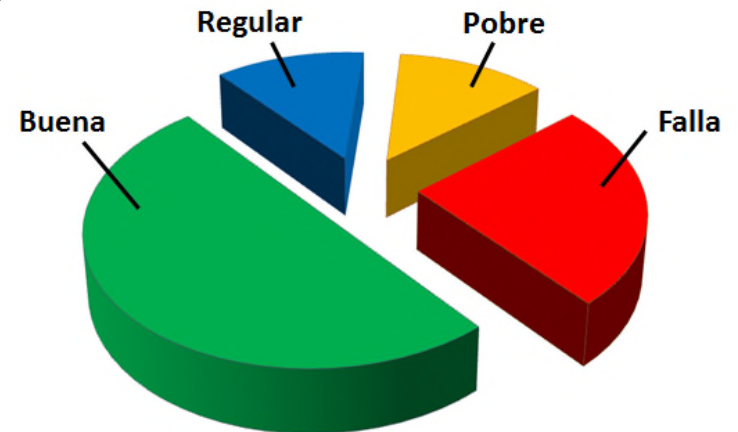
2. Necesidad para la industria de la reparación y protección del concreto: calidad y seguridad

- El costo anual de reparación y protección de estructuras de concreto es de alrededor de \$20 billones de dólares en los Estados Unidos
- No existen normas que definan los estándares de diseño y construcción
- Métodos de evaluación, rehabilitación y reparación varían ampliamente

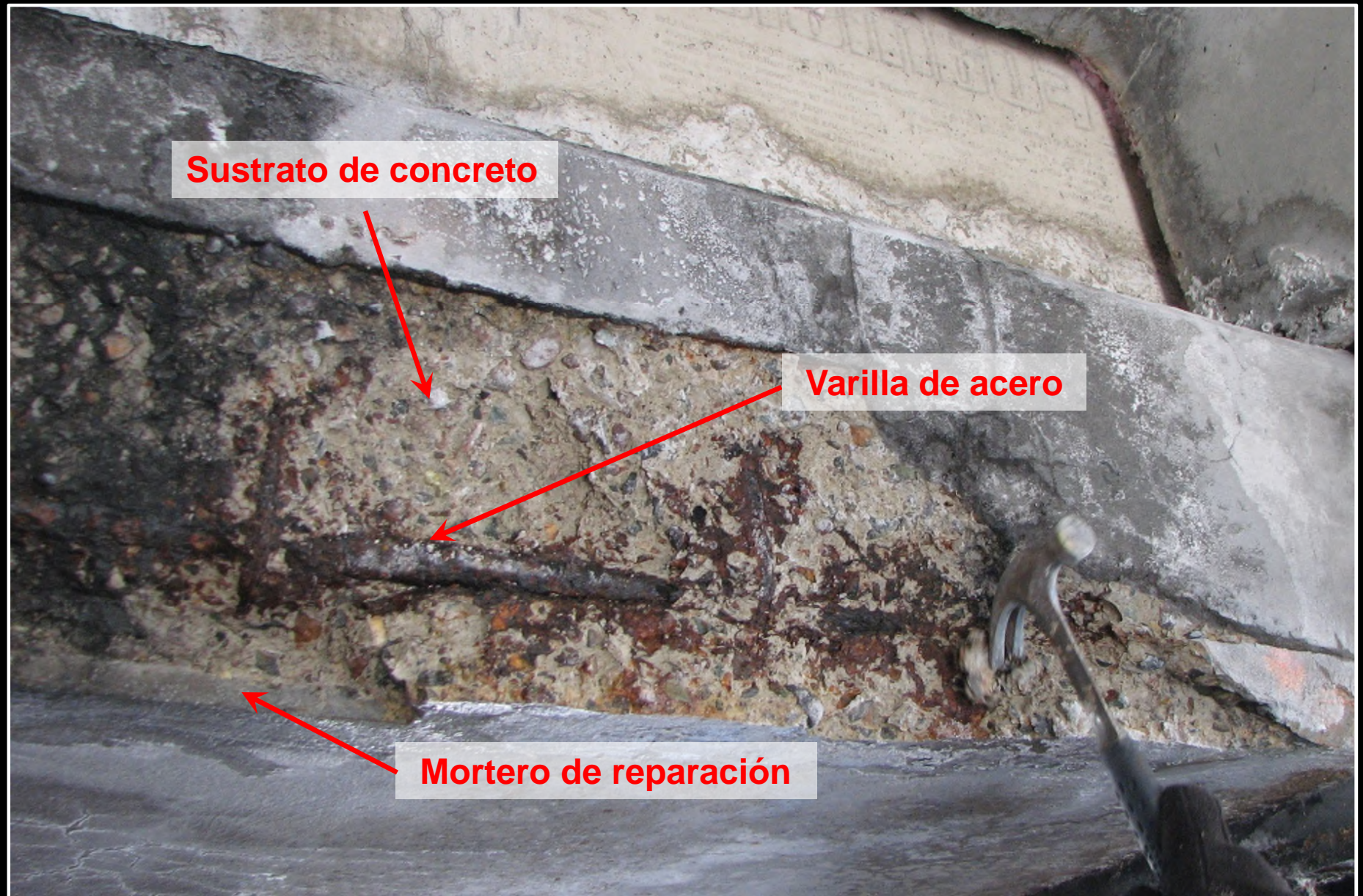
¿Por qué una Norma de Reparación?

3. Desempeño de las reparaciones

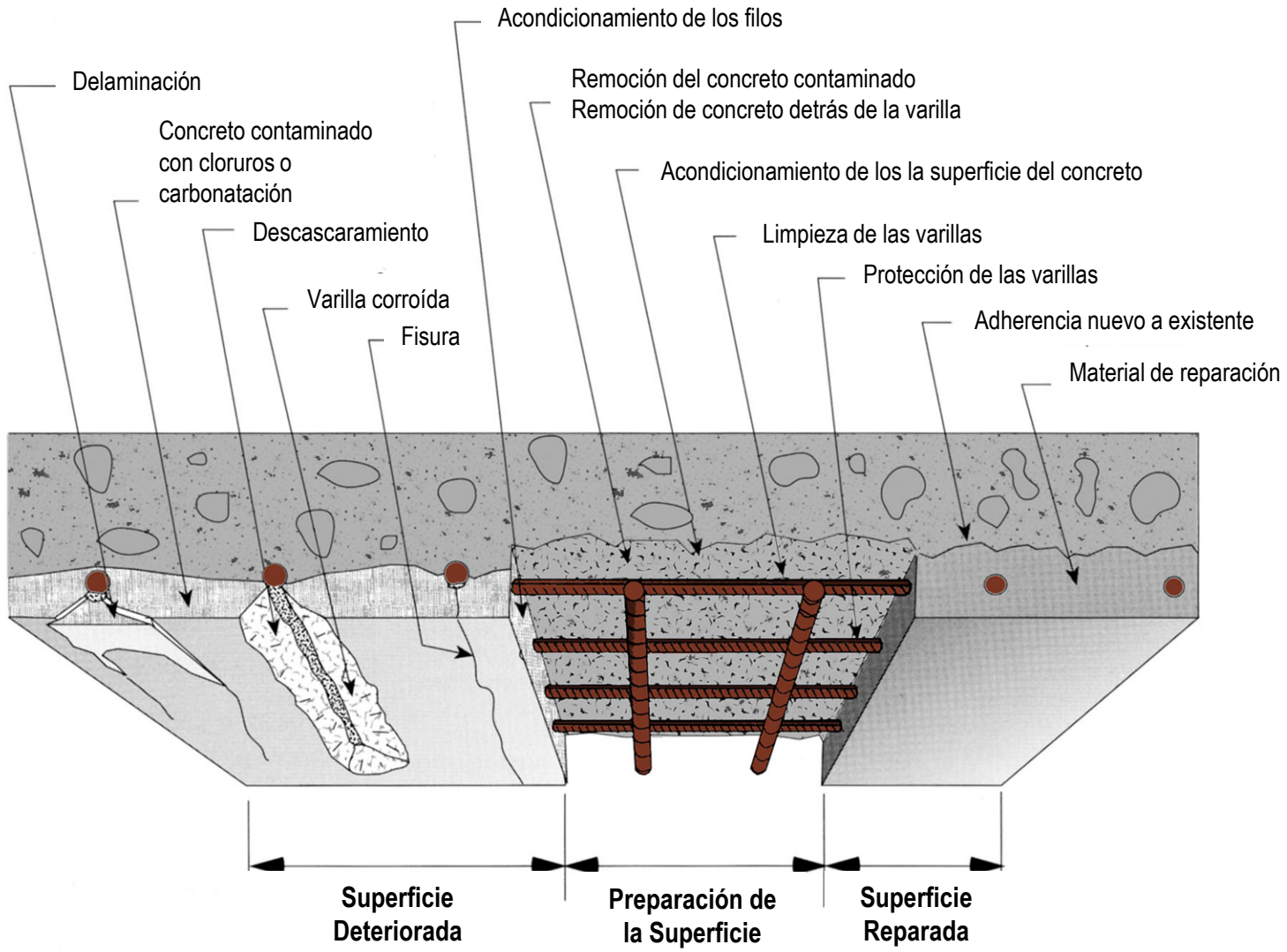
- US Corps of Engineers – 50% de las reparaciones no se desempeñan satisfactoriamente →
 - Errores de diseño
 - Errores de construcción
 - Errores en la selección de materiales
- Con Rep Net – Europa
 - 5 años – 80% de las reparaciones son satisfactorias
 - 10 años – 30% de las reparaciones son satisfactorias
 - 25 años – 10% de las reparaciones son satisfactorias

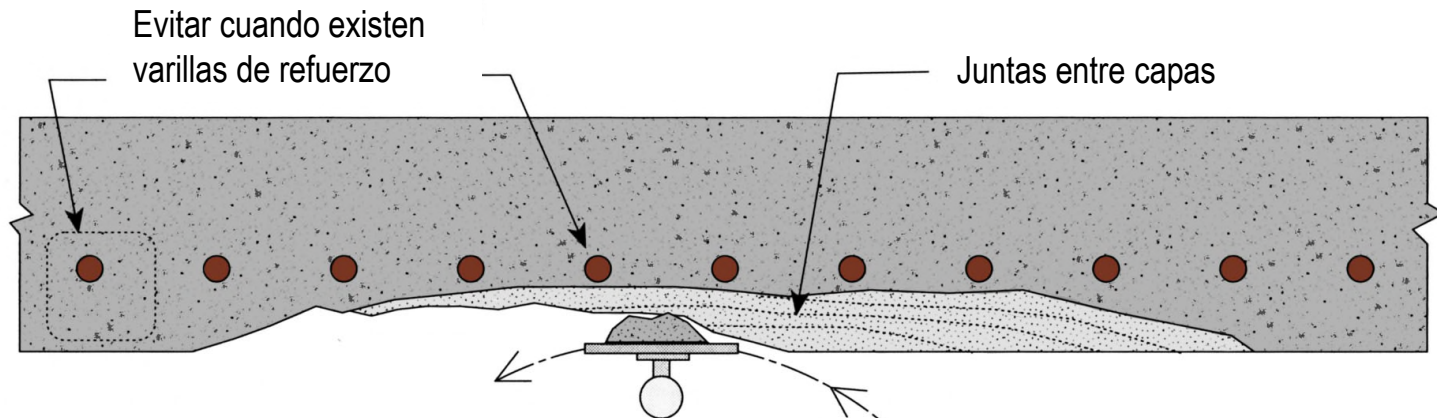


Viga de Concreto – Reparación Fallada

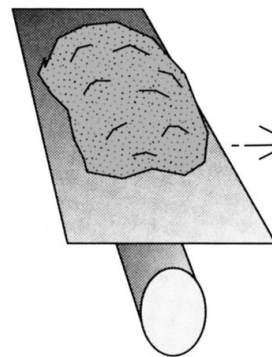


Anatomía de la Preparación de la Superficie

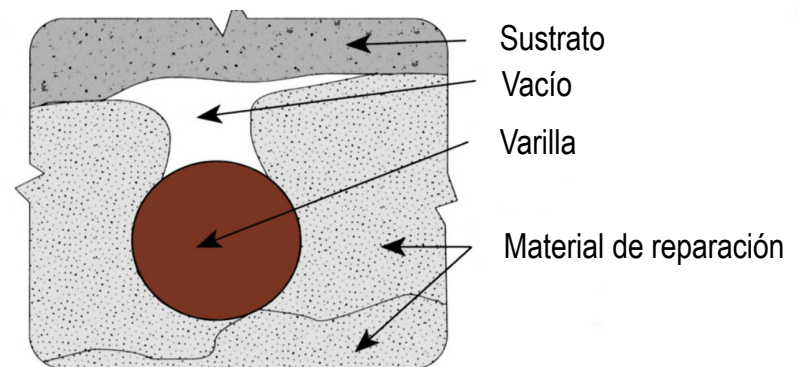


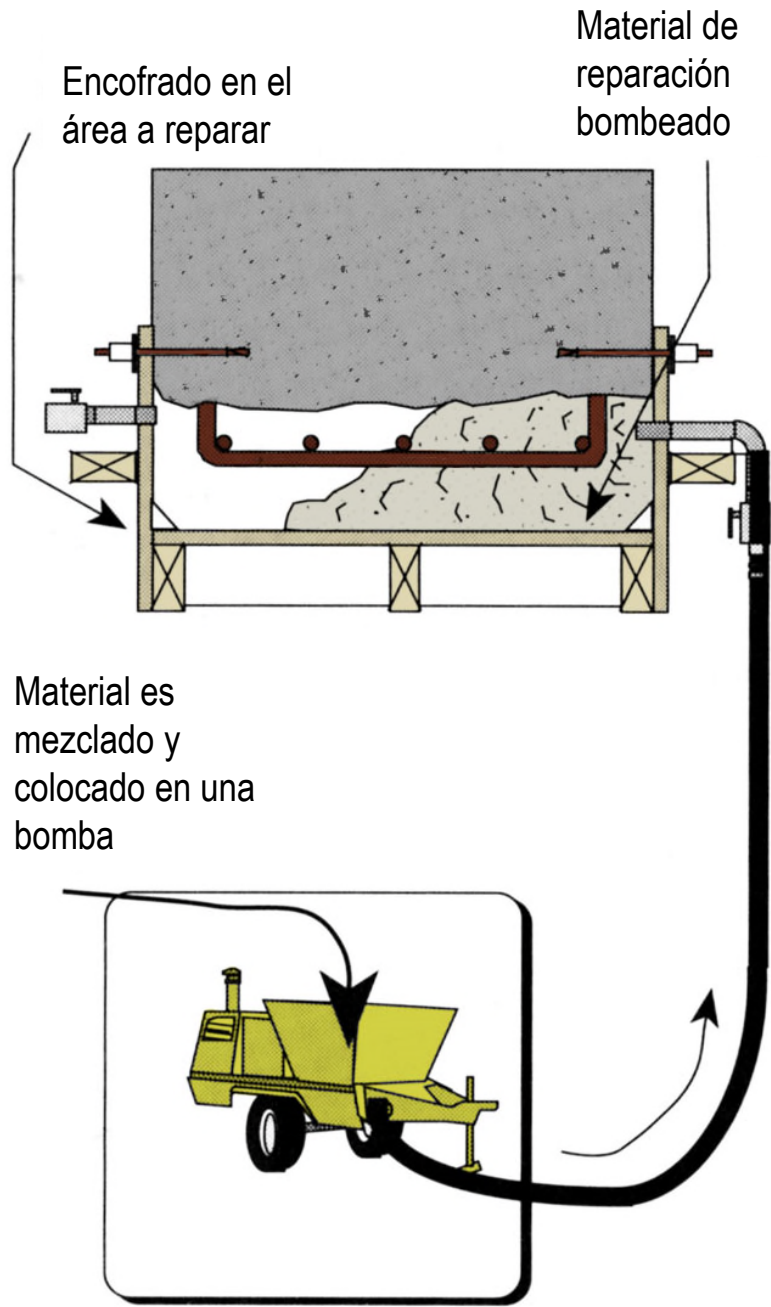


Material de Reparación Aplicado a Mano

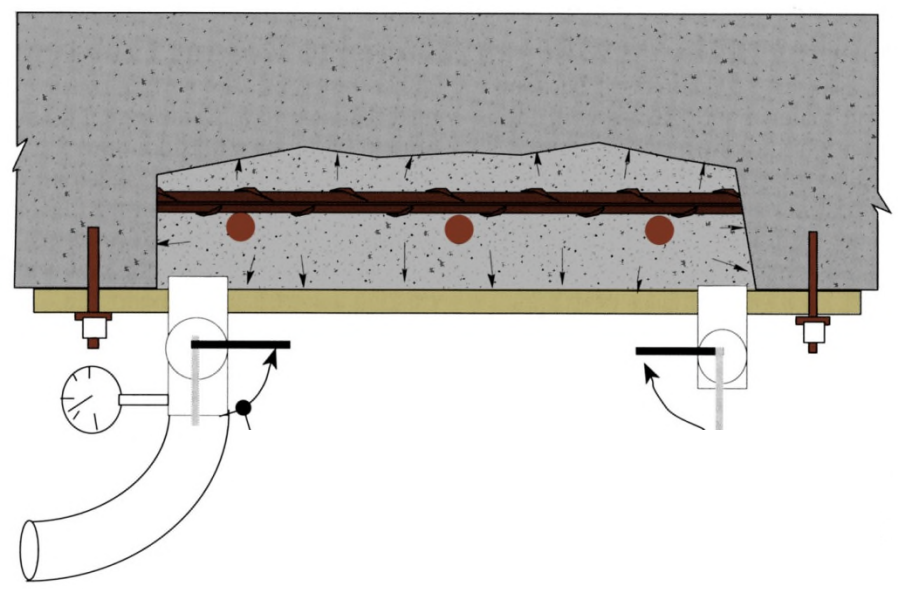


Vacío formado detrás de la varilla de refuerzo

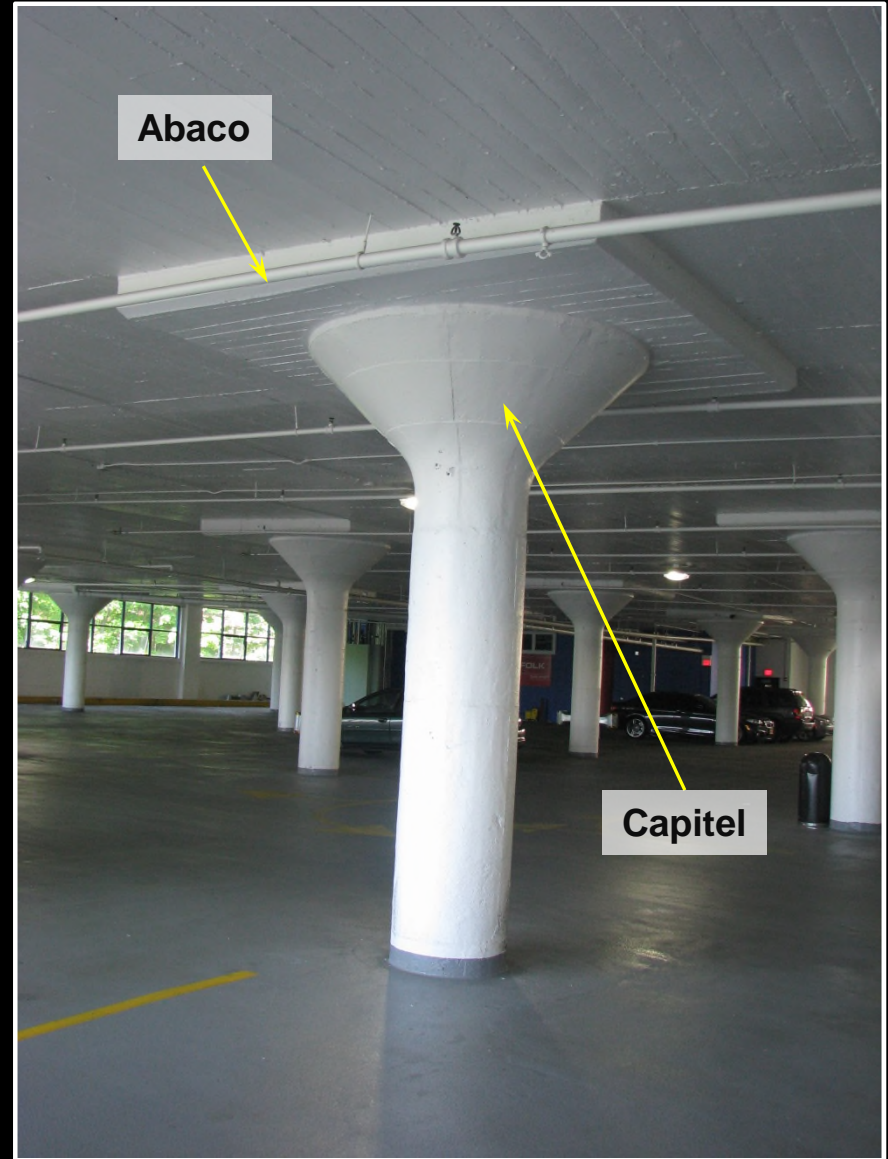




Material de Reparación Aplicado por Bombeo



Losa de Concreto – Reparación Errónea



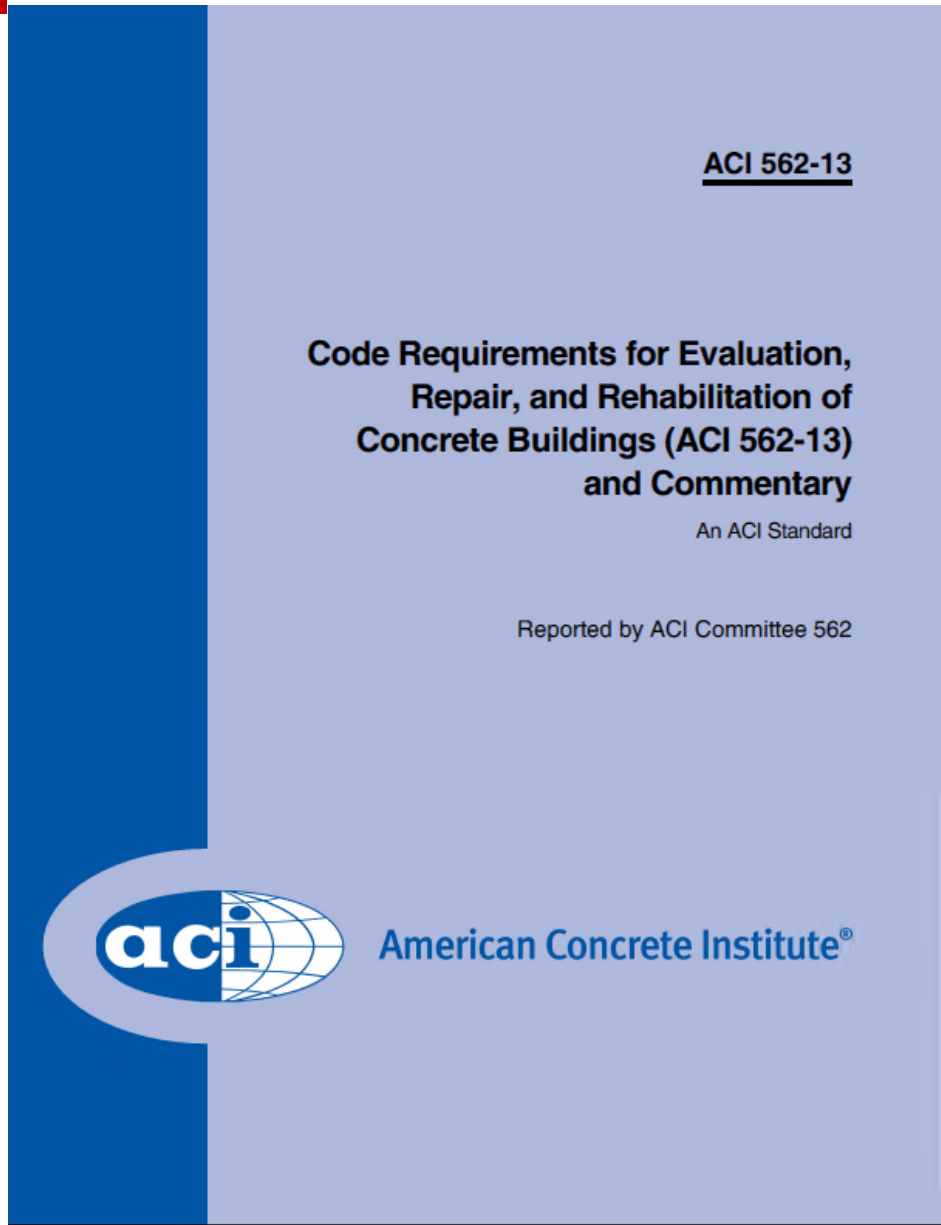
¿Por qué una Norma de Reparación?

4. Objetivo común de los miembros de la industria de reparación de concreto

Documento Vision 2020 (2004)

- **Crear una norma para reparar y rehabilitar:**
 - Establecer procedimientos para evaluación, diseño, materiales y construcción
 - Elevar el nivel del desempeño de las reparaciones
 - Establecer responsabilidades
- Falta de requerimientos específicos lleva a:
 - Variaciones en las prácticas y métodos de reparación
 - Diferentes niveles de calidad
 - Ausencia de una dirección clara para los Building Officials (Interventoría y Curaduría)
- **Comité 562 del ACI – “Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings” (2006)**

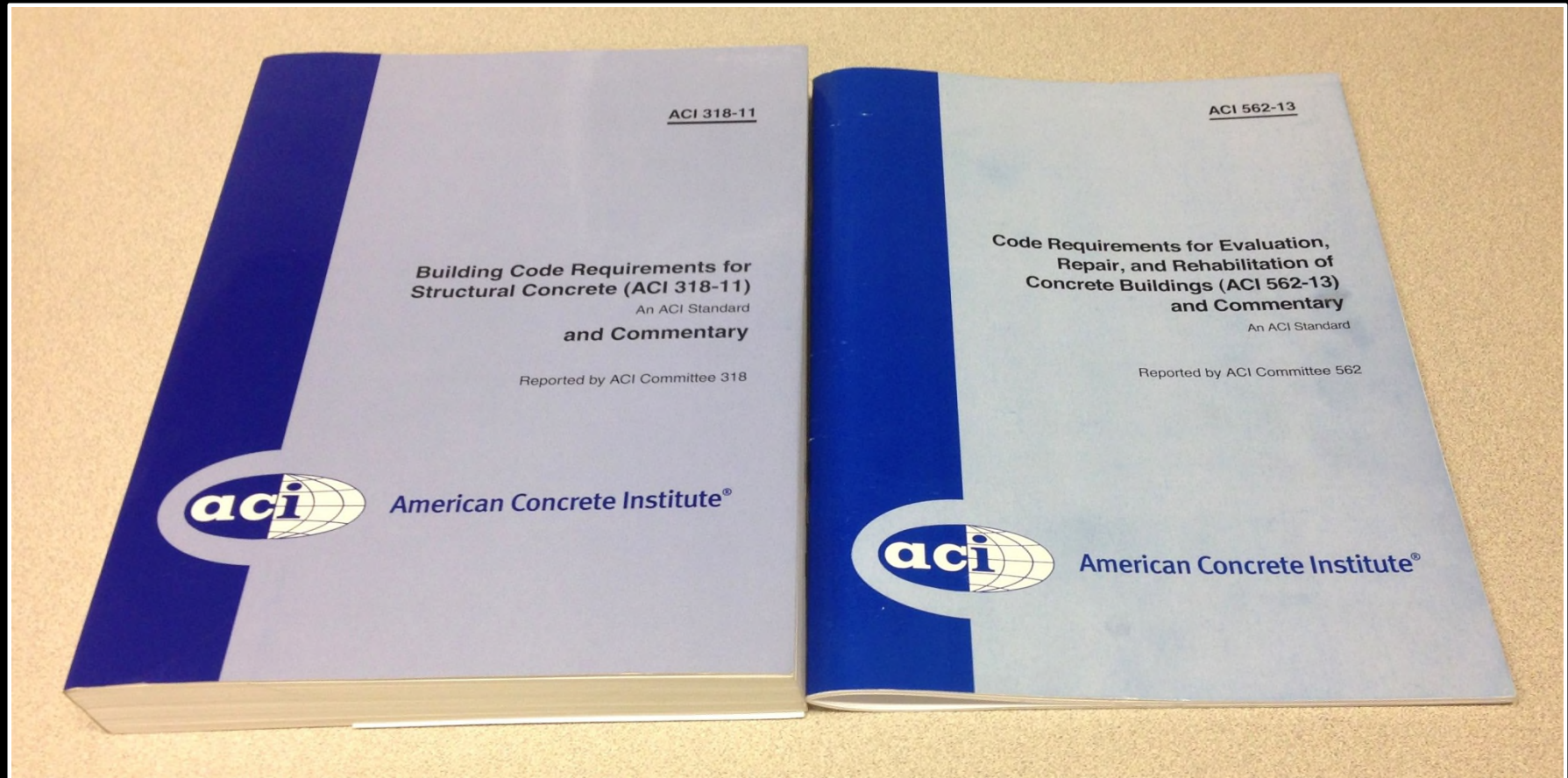
ACI 562 – Norma para Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto



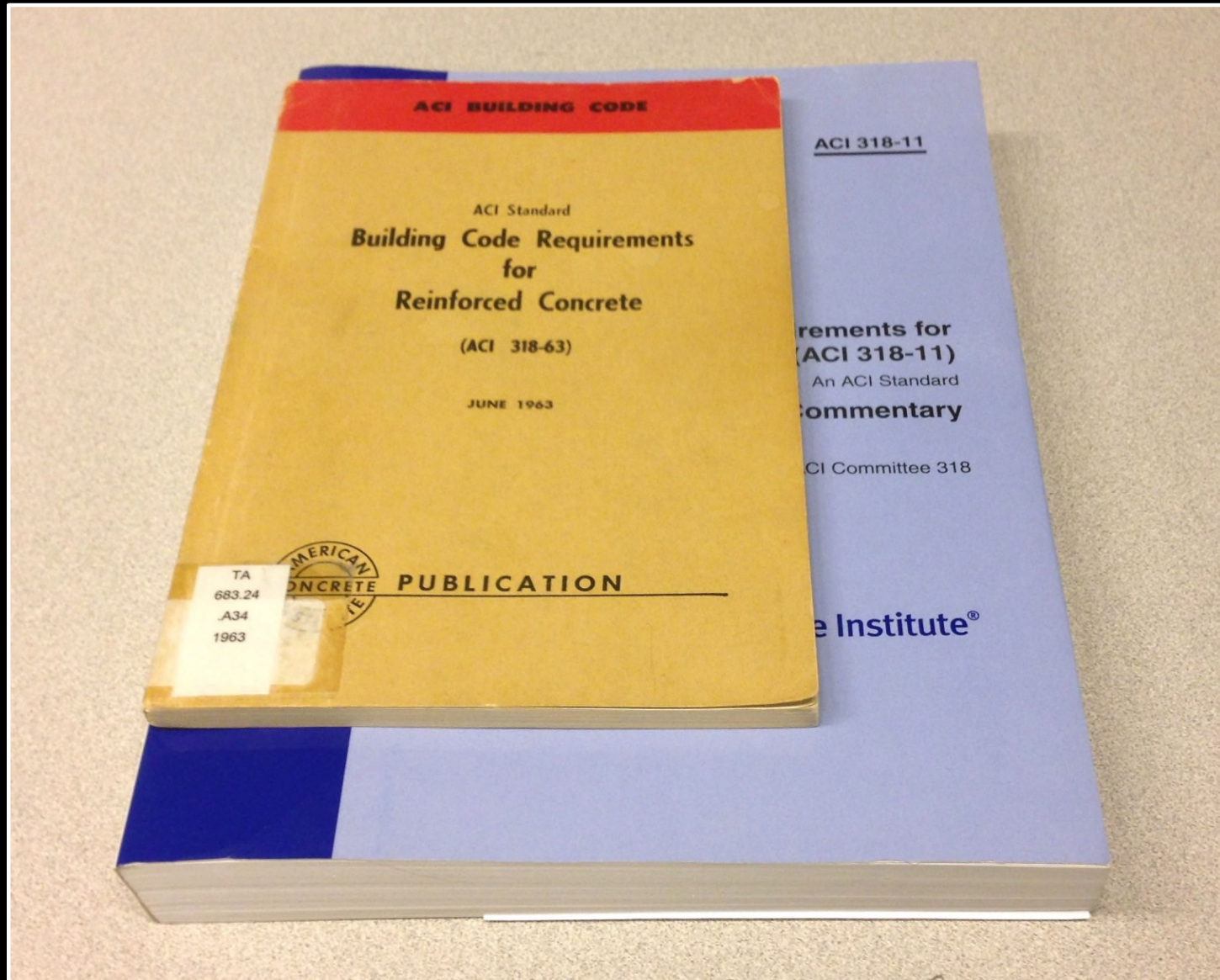
CONTENIDO

- Chapter 1 – General Requirements
- Chapter 2 – Notation and Definitions
- Chapter 3 – Referenced Standards
- Chapter 4 – Basis for Compliance
- Chapter 5 – Loads, Load Combinations, and Strength-Reduction Factors
- Chapter 6 – Evaluation and Analysis
- Chapter 7 – Design of Structural Repairs
- Chapter 8 – Durability
- Chapter 9 – Construction
- Chapter 10 – Quality Assurance
- Chapter 11 – Commentary References

Normas ACI 318 y ACI 562



Norma ACI 318 (1963 – 2011)



EVALUACION, REPARACION Y REHABILITACION

Estructura = "Paciente" de concreto, acero, mampostería o madera

Investigación de la estructura

Diagnóstico del problema(s)

Determinación de las acciones de intervención

Implementación de las acciones de intervención

Preparación de un programa de mantenimiento



Investigación de la estructura

Objetivo: Determinar la condición actual – buena, regular, mala

- Revisión de la información disponible
 - Planos y especificaciones de la construcción original
 - Estudios acerca de las condiciones de la estructura
 - Proyectos pasados: reparaciones, adiciones estructurales
- Evaluación de las condiciones existentes
 - Investigación de campo
 - Pruebas de laboratorio
 - Revisión estructural

Diagnóstico del problema(s)

Objetivo: Encontrar la causa(s) del problema(s)

- Determinar la causa o causas de las deficiencias
- Establecer la extensión de las deficiencias
- Establecer a que partes que no están afectadas se podrían extender las deficiencias
- Evaluar el efecto de las deficiencias en la seguridad de la estructura
- Identificar los elementos o lugares que requieren reparación

Determinación de las acciones de intervención

Objetivo: Establecer el tipo y grado de intervención

- Evaluación de alternativas
 - No hacer nada? Reparar inmediatamente?
 - Ventajas y desventajas de las alternativas
 - Evaluar costos iniciales vs. costos a largo plazo
- Posibles alternativas:
 1. No hacer nada por un tiempo pero monitorear
 2. Re-evaluar la capacidad estructural, reduciendo la función estructural
 3. Reforzar, reparar, proteger toda o una parte de la estructura
 4. Reconstruir o reemplazar toda o una parte de la estructura
 5. Demoler toda o una parte de la estructura

Implementación de las acciones de intervención

Objetivo: Tratar la causa del problema(s)

- Preparación de Documentos
 - Informes
 - Planos y Especificaciones
- Selección del contratista
 - Experiencia comprobada
 - Cotizaciones – no siempre lo mas económico es mejor
 - Capacidad de cumplir el proyecto en cierto plazo
- Ejecución
 - Supervisión continua: materiales, procedimientos
 - Colaboración continua: resolver problemas prontamente

Preparación de un programa de mantenimiento

Objetivo: Extender la vida de servicio

- Elaborar un programa de mantenimiento al final del proyecto
 - Disponibilidad de fondos anuales
 - Inspecciones periódicas
- Reducir costos futuros de reparación futuros
 - Proteger la inversión de la reparación inicial

Objetivos del ACI 562

- Establecer requerimientos para evaluación y reparación
 - Elevar la calidad de las reparaciones
- Extender la vida útil de la estructura y mejorar la seguridad de vida
 - Sostenibilidad: “reparar y mantener en vez remplazar”

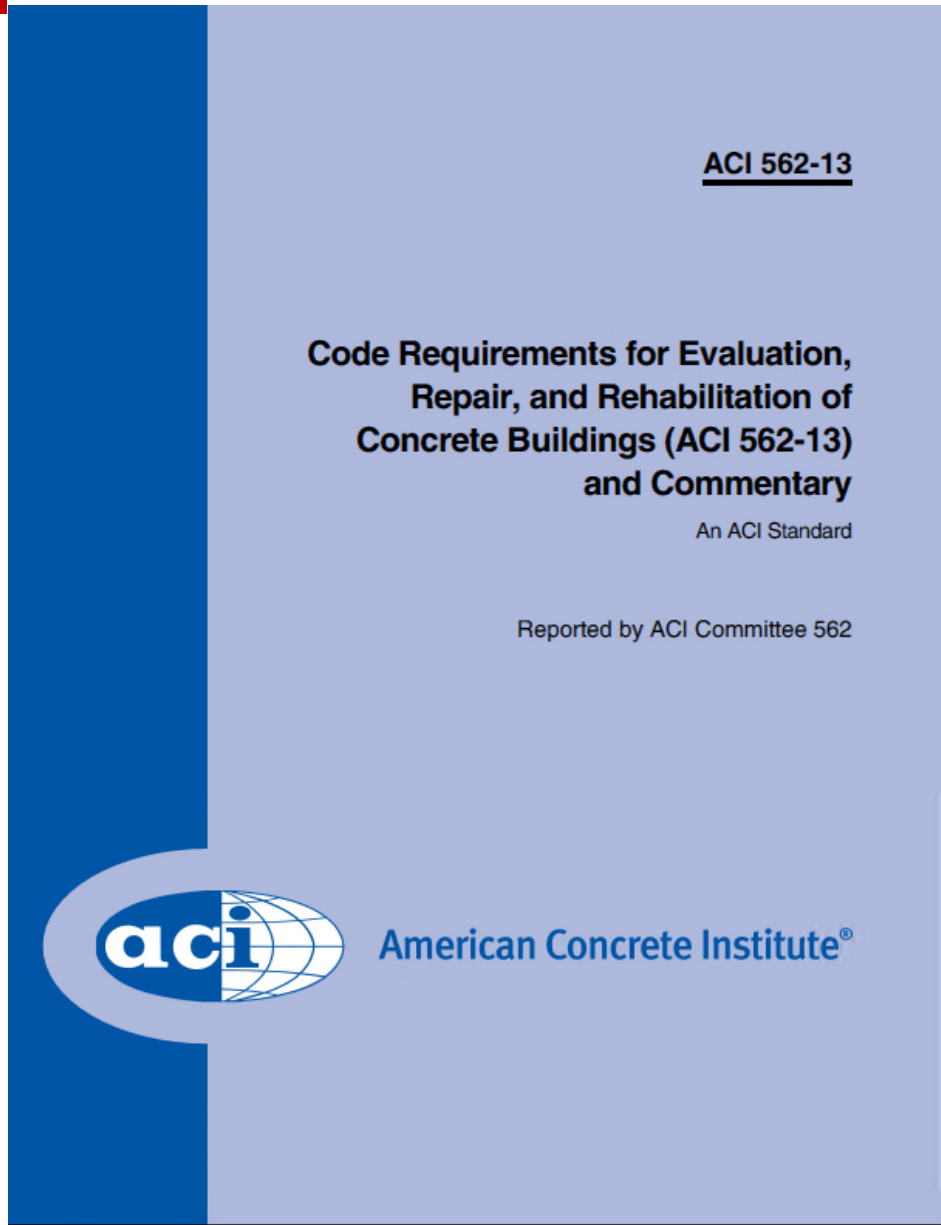
¿Como?

- Fomentando la **creatividad y flexibilidad**
 - Arte (creatividad) + Ciencia (análisis) = Reparación exitosa
 - Variedad de alternativas de evaluación y reparación
- Enfatizando un diseño basado en el **desempeño** más que en requerimientos prescriptivos
 - La norma contiene ciertos requerimientos prescriptivos
 - No incluye procedimientos de diseño
- Promoviendo la **innovación**
 - Uso de materiales no tradicionales o nuevos
 - Sistemas de reforzamiento adheridos: FRP, FRCM
- Estableciendo **responsabilidades**
 - Ingeniero: evaluación de la estructura y diseño de la reparación
 - Constructor: ejecución de requerimientos identificados por el Ingeniero

Nuevas normas requieren que el ingeniero desarrolle o aprenda nuevas habilidades técnicas...

- Evaluación de las condiciones existentes de estructuras
 - Uso de pruebas no destructivas
 - Entender causas del deterioro de concreto y deficiencias estructurales
 - Preparación de informes
- Análisis estructurales no convencionales
 - Predicción de la capacidad de elementos estructurales deteriorados
 - Consideraciones a la secuencia de reparación y apuntalamiento en el diseño de la reparación
- Diferentes estrategias y materiales de reparación
- Acompañamiento durante las reparaciones
 - Inspección del proceso de reparación
 - Supervisión de diferentes ensayos
- Análisis de ciclos de vida de la estructura y de las reparaciones
- Planeamiento del mantenimiento futuro
 - Preparación de un plan de mantenimiento después de las reparaciones

ACI 562 – Norma para Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto



CONTENIDO

- Chapter 1 – General Requirements
- Chapter 2 – Notation and Definitions
- Chapter 3 – Referenced Standards
- Chapter 4 – Basis for Compliance
- Chapter 5 – Loads, Load Combinations, and Strength-Reduction Factors
- Chapter 6 – Evaluation and Analysis
- Chapter 7 – Design of Structural Repairs
- Chapter 8 – Durability
- Chapter 9 – Construction
- Chapter 10 – Quality Assurance
- Chapter 11 – Commentary References

Aplicabilidad de la Norma ACI 562

- Edificaciones de concreto existentes
 - Superestructura
 - Losas sobre el terreno
 - Cimentaciones
 - Concreto prefabricado
- Elementos no estructurales
 - Si crean condiciones inseguras en caso fallen
- Otro tipo de estructuras cuando sea aplicable
 - Tanques, silos, estructuras que deben resistir explosiones

Norma

Comentario

Norma

- Requerimientos que deben cumplirse
 - Tiene carácter obligatorio
- Referencias: solo incluye otras normas o estándares

Comentario

- El por qué y el como de la norma
- Guía para cumplir la norma
 - No tiene carácter obligatorio
- Referencias: normas y guías

Norma	Comentario
30 CODE REQUIREMENTS FOR EVALUATION, REPAIR, AND REHABILITATION OF CONCRETE BUILDINGS (ACI 562-13)	
CODE	COMMENTARY
<p>6.5.5 Analysis shall consider the load path from the load application through the structure to the foundation. Three-dimensional distribution of loads and forces in the complete structural system shall be considered unless a two-dimensional analysis adequately represents the part of the structure being evaluated.</p>	<p>Redistribution of forces may be determined using material nonlinear analysis, by load tests described in ACI 437R, or by linear analysis, which bounds the limits of redistributed forces.</p>
<p>6.5.6 Analysis shall consider the effects of previous repairs and of any previous structural modifications on the behavior of the structure.</p>	<p>6.5.5C The evaluation of load effects requires consideration of both the load paths through the structure and how the forces are distributed in members.</p>
<p>6.5.7 The analysis shall be based on available documentation, as-built dimensions, and the in-place properties of the structure including section loss. The assessment of in-place material properties shall be as described in 6.3.</p>	<p>6.5.6C Modifications to structures in the form of repairs, alterations, or additions may affect the force distribution and load path in a structure. The effect of these modifications should be accounted for in analytical models.</p>
<p>6.6—Structural serviceability 6.6.1 When serviceability problems have been identified pursuant to 6.1.2, the licensed design professional shall perform a serviceability evaluation based on the in-place geometry and properties of the structure.</p>	<p>6.5.7C Available documentation may include original drawings, specifications, shop drawings, structural assessments, testing, and geotechnical reports. Deviations between the existing construction and construction documents are to be identified and recorded. If section loss has occurred, a more accurate analysis may be developed by direct measurement of the section, and by calculation of section properties based on actual conditions.</p>
<p>6.7—Structural analysis for repair design 6.7.1 The structural analysis used for repair design shall consider the structural repair process. The analysis shall consider the effects of the sequence of load application and material removal during all phases of the evaluation and repair process.</p>	<p>6.6—Structural serviceability 6.6.1C Structural serviceability problems may include, but are not limited to, deflections, vibrations, leakage, and objectionable cracking. The data gathered for the purpose of determining serviceability should include the effects of material degradation, such as loss of concrete strength from sulfate attack or loss of steel area due to corrosion. The specific performance criteria and the intended function of an individual structure should be defined. Floor deflection criteria can be found in ASCE/SEI 7. Vibration criteria are given in Murray et al. (1999).</p>
<p>6.7.2 Structural modeling shall account for repairs where the materials change through the section.</p>	<p>6.7C—Structural analysis for repair design 6.7.1C The construction process may involve the application and removal and replacement of loads. The analysis needs to consider the effects of the application and removal of construction loads to determine the maximum loading during all construction phases. The additional applied loads may be due to prestressing, vibration, material volume changes such as creep and shrinkage, temperature changes, effect of shoring, and unequal deformation of supports.</p>
<p>6.7.3 Section analysis shall use principles of mechanics and shall assume (a), (b), or (c): (a) full composite action with no slip at interfaces between repair materials and existing materials; (b) separate action with full slip between repair</p>	<p>6.7.3C Depending on the repair construction process and the selection of repair materials, the repair materials and the existing concrete or reinforcement may not act compositely. The analysis should appropriately model the behavior of the correct degree of the expected composite action of the</p>
American Concrete Institute Copyrighted Material—www.concrete.org	



Referencias

- ACI – American Concrete Institute
 - Normas y Guías
- ASTM International
 - Normas
- AISC – American Institute of Steel Construction
 - Normas
- ASCE – American Society of Civil Engineers
 - Normas
- ICRI – International Concrete Repair Institute
 - Solo Guías

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

- $\phi R_n > U$
 - ϕR_n – Resistencia de diseño
 - U – Resistencia requerida (cargas mayoradas)
- Factores de reducción para el diseño de la reparación
ACI 318
 - $\phi=0.9$ – tracción
 - $\phi=0.75$ – cortante
 - $\phi=0.65$ – compresión
- Factores de reducción para la evaluación
ACI 318
 - 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
 - $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 - $U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.5W)$
 - $U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 - $U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$

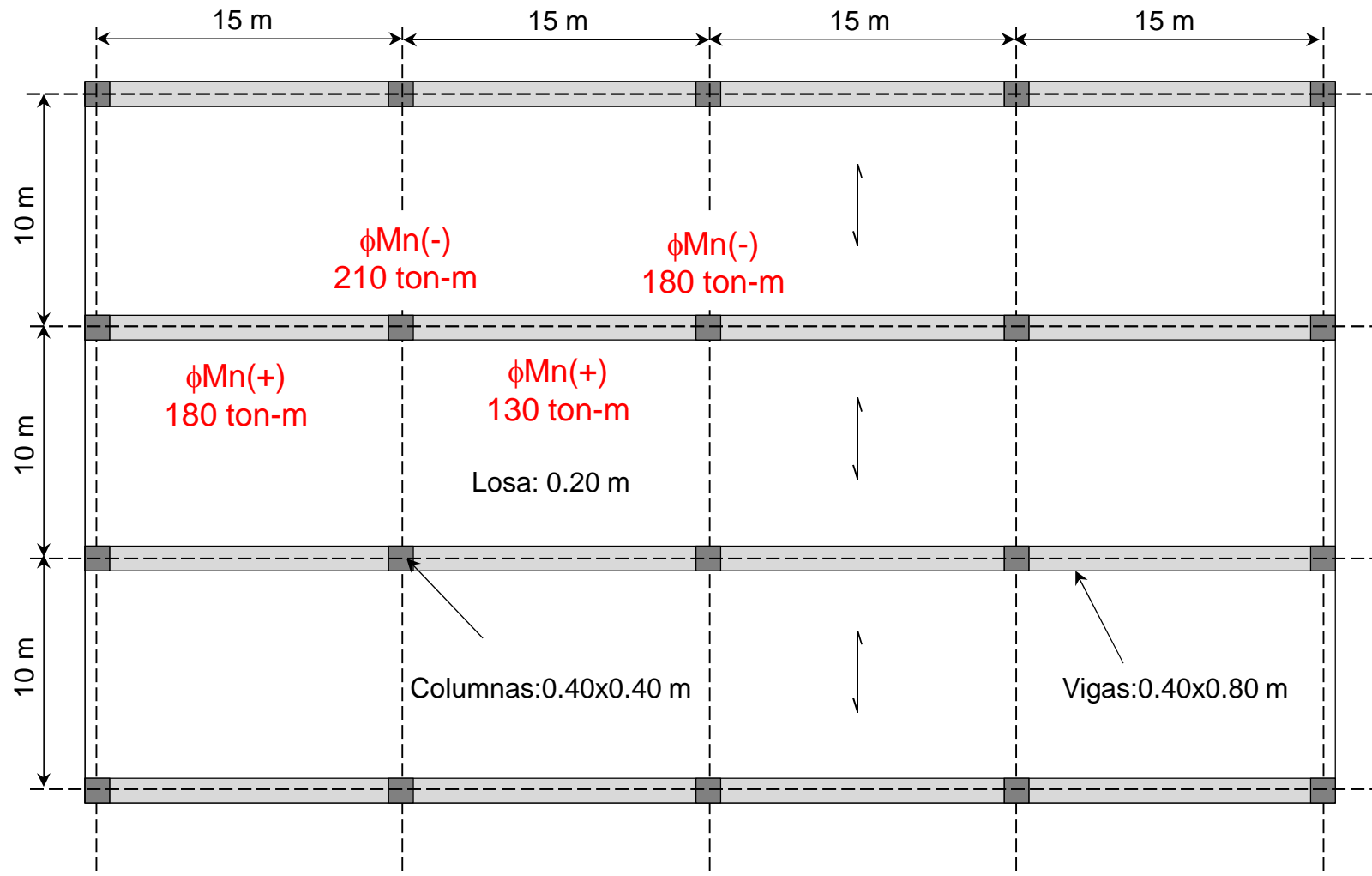
Capítulo 5 – Cargas, Combinaciones de Carga y Factores de Reducción

- 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.
 - $\phi R_n > 1.1D + 0.75L$
 - 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
 - $\phi_{ex} R_{n_{ex}} > 1.2D + 0.5L + Ak + 0.2S$
 - $R_{n_{ex}}$ – usando las propiedades de los materiales durante el evento extraordinario
 - $\phi_{ex} = 1.0$
 - Factor para L es 1.0 si la carga viva está presente por un periodo largo

Reforzamientos Externos



Ejemplo: Requerimientos para reforzamientos externos expuestos

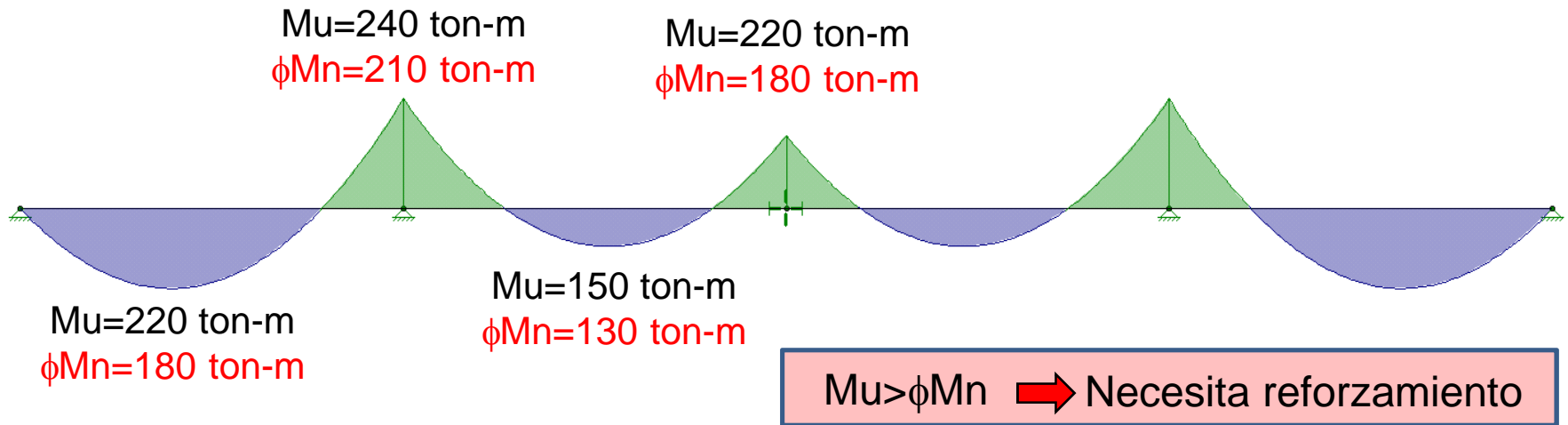


Caso 1: Oficinas (200 kg/m²)

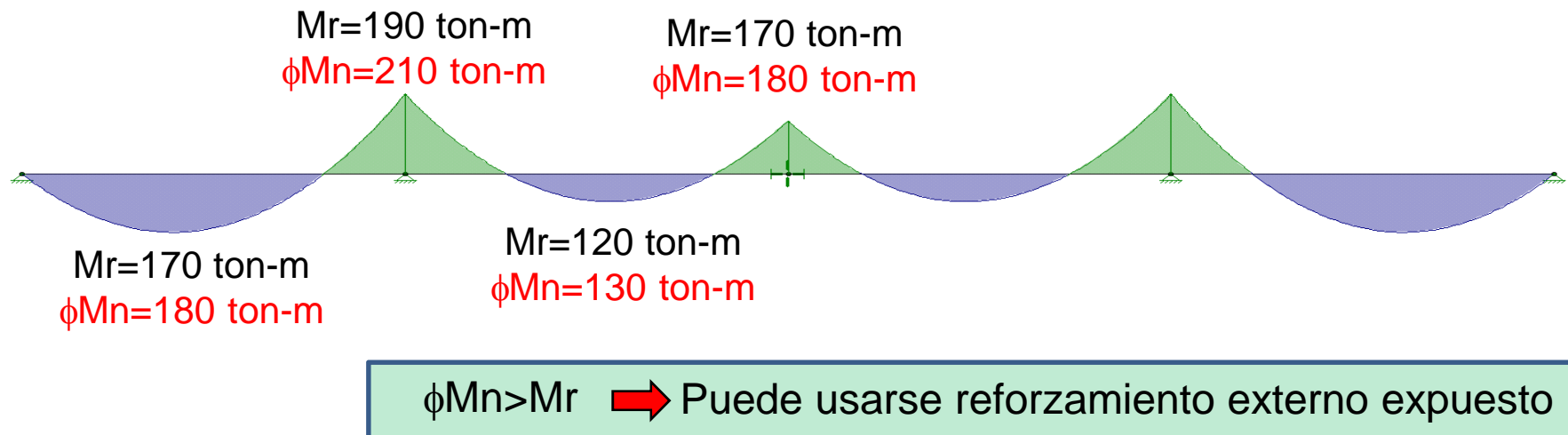
- Carga Muerta (D):
 - Losa (0.20 m) : $400 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 4,000 \text{ kg/m}$
 - Particiones, pisos : $200 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,000 \text{ kg/m}$
 - Viga (0.40x0.80 m): $= \frac{794 \text{ kg/m}}{6,794 \text{ kg/m}}$
- Carga Viva (L):
 - Oficina : $200 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,000 \text{ kg/m}$
- 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)

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



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

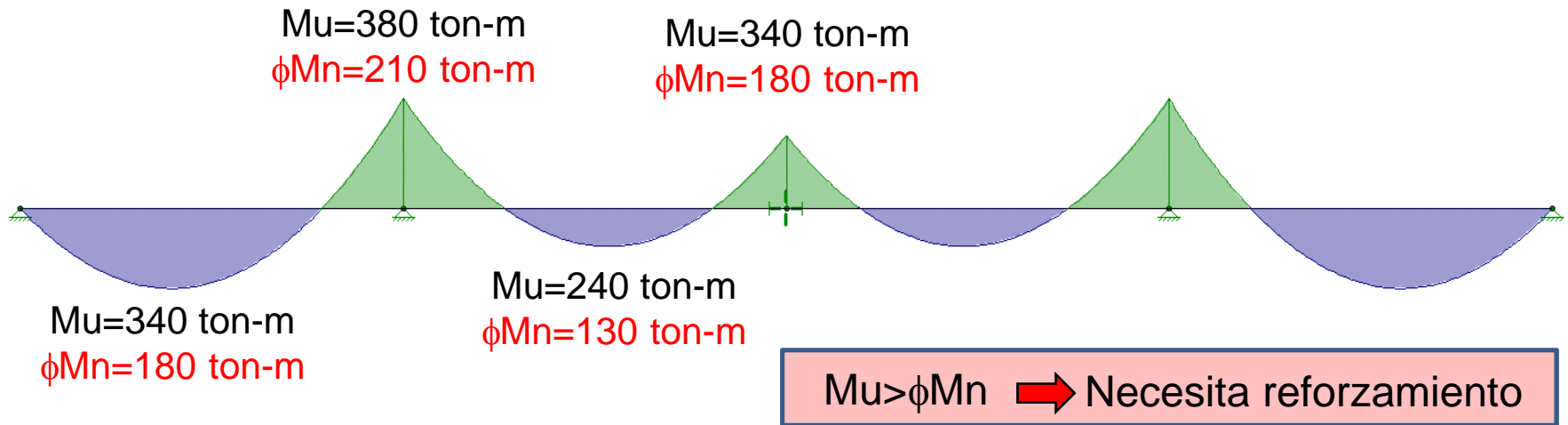


Caso 2: Almacenamiento (600 kg/m²)

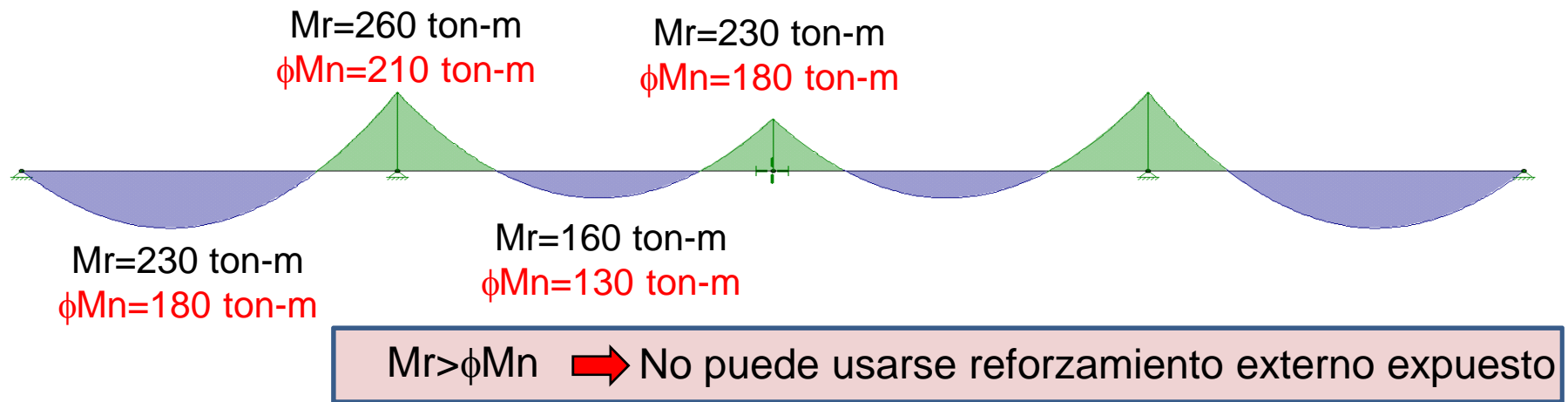
- Carga Muerta (D):
 - Losa (0.20 m) : $400 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 4,000 \text{ kg/m}$
 - Particiones, pisos : $200 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 2,000 \text{ kg/m}$
 - Viga (0.40x0.80 m): $= \frac{794 \text{ kg/m}}{4,794 \text{ kg/m}}$
- Carga Viva (L):
 - Almacenamiento : $600 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m} = 6,000 \text{ kg/m}$
- 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)

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



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



Capítulo 6 – Evaluación y Análisis

- Evaluación de las Condiciones Existentes
 - Obtener información para realizar los análisis estructurales
 - Visual, métodos destructivos y no destructivos
 - Dimensiones, geometría de los elementos estructurales
 - Modificaciones/Alteraciones realizadas a la estructura →
 - Uso de la estructura – ¿cuales son las cargas?
- Propiedades de los Materiales
 - Obtenidas de los planos y especificaciones originales
 - Datos históricos – Tablas →
 - Pruebas de muestras obtenidas en el campo

Capítulo 6 – Evaluación y Análisis

- Concreto →
 - Resistencia a la compresión, calidad del concreto
 - Núcleos de concreto - Guía ACI 214.4R
 - Pruebas no destructivas no son suficientes – correlación con núcleos. Ej. Esclerómetro
 - Petrografía: calidad del concreto
- Refuerzo de acero →
 - Tamaño, número, ubicación del refuerzo – pruebas no destructivas y destructivas
 - Muestras para determinar esfuerzo a la fluencia – ASTM A370
- Otras pruebas no destructivas →
 - GPR
 - Impacto-Eco
 - Impulso a la onda
 - Índice de corrosión

Ejemplo – Cambio de Uso de Oficina

- Oficina – Carga Viva Original = 200 kg/m^2
- Almacenamiento – Carga Viva = 600 kg/m^2



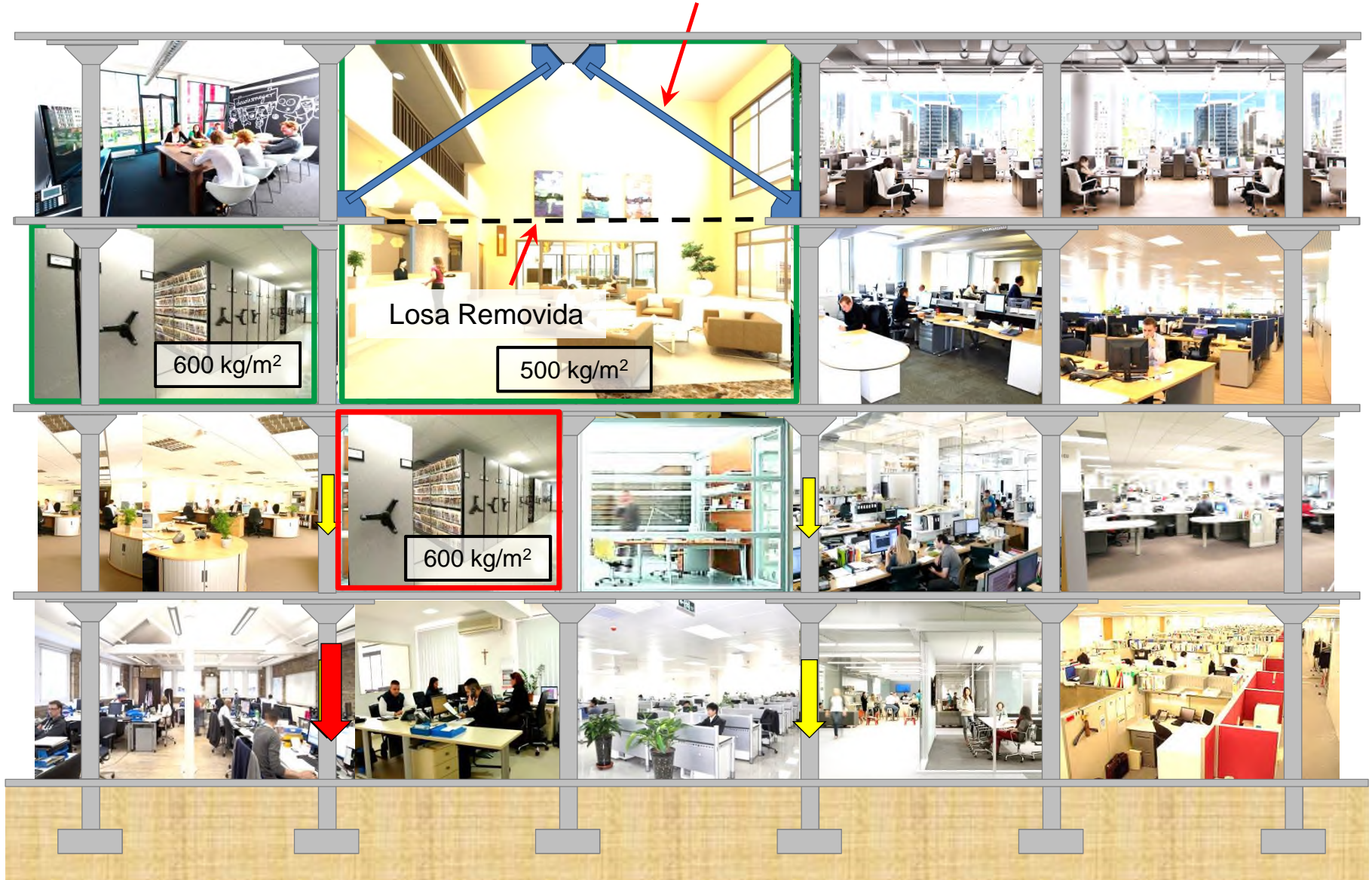
**Espacio de Oficina a convertirse
a espacio de Almacenamiento**

Estructura Original (Carga Viva = 200 kg/m²)



Estructura Existente – Modificada

Apuntalamiento Metálico



Ejemplo 2 – Evaluación de Parqueadero

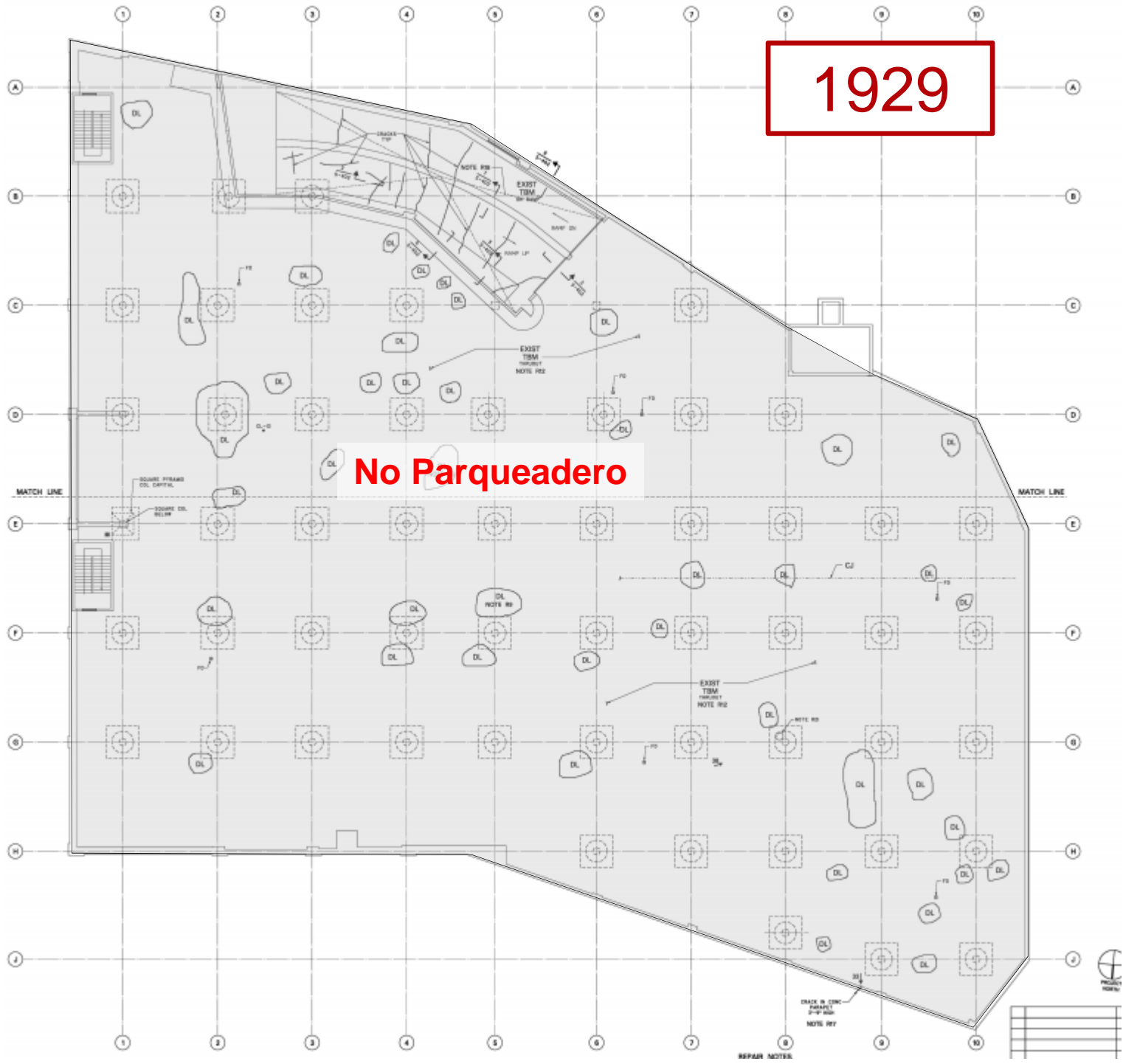
- Problema inicial: filtración de agua del nivel superior a los niveles inferiores





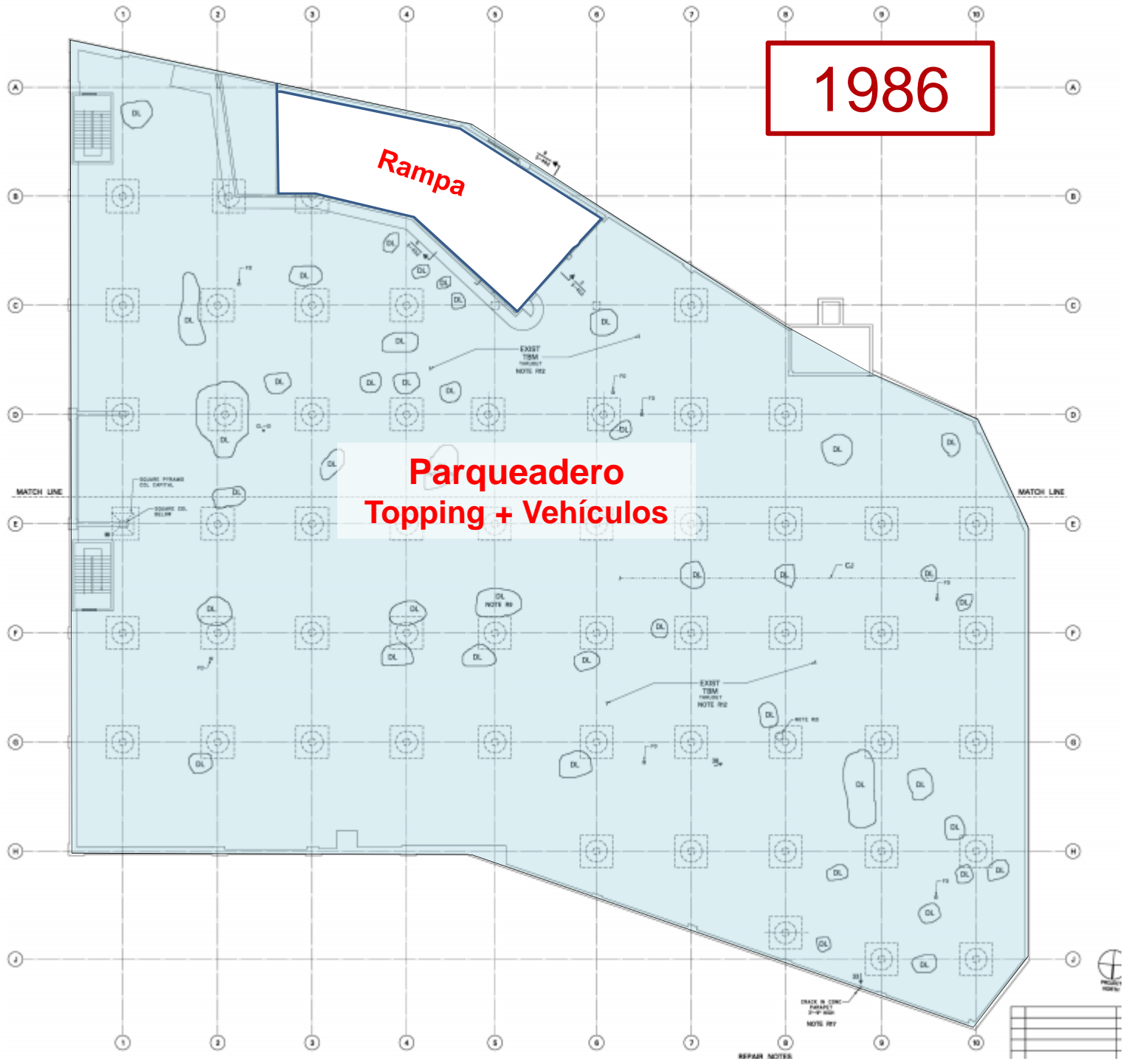
Cronología de eventos

- 1929 →
 - Construcción del parqueadero
 - Nivel superior (techo): no para uso como parqueadero
- 1986 →
 - Habilitación del techo como parqueadero
 - Remoción de secciones de la losa para construir una rampa
 - Construcción de un “topping” de concreto de 15 cms sobre la losa del techo
- 2012
 - Reparación e impermeabilización del nivel superior
 - Falla de la impermeabilización = filtraciones de agua
- 2014
 - Investigación para resolver el problema de filtración



1929

No Parquadero



1986

Rampa

Parqueadero
Topping + Vehículos

Comparación de las cargas de diseño

- Incremento de cargas de servicio

Carga	1929 Construcción	2006 Alteración	Incremento
Carga Muerta	450 kg/m ²	750 kg/m ²	+ 300 kg/m ²
Carga Viva	0	160 kg/m ²	+ 160 kg/m ²
Carga de Nieve	160 kg/m ²	160 kg/m ²	0

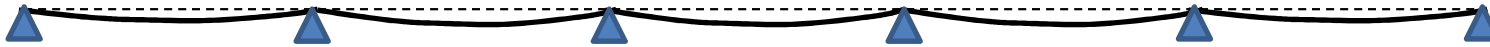
- Alteración del comportamiento estructural →
 - Remoción de losas comprometió las secciones adyacentes
- Operaciones durante el invierno →
 - Apilamiento de nieve cerca a la rampa = más carga

Conclusión: Problema estructural aparente

Secuencia de Cargas

1929 – 1986

- Construcción original

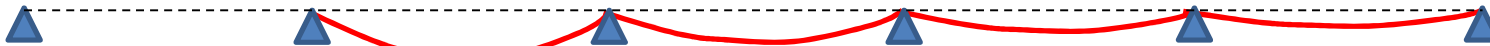


1986 – Hoy

- Remoción de losas para la construcción de la rampa



- “Topping”, vehículos y nieve



- Mas nieve apilada

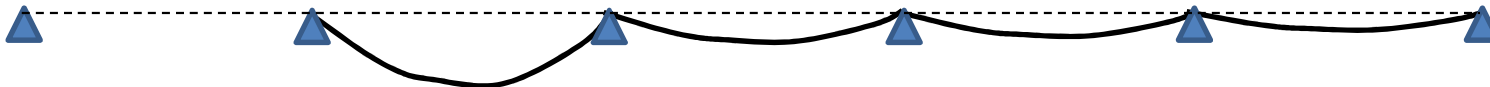




Table 6.3.1a—Default compressive strength of structural concrete, MPa*

Time frame	Footings	Beams	Slabs	Columns	Walls
1900-1919	7	14	10	10	7
1920-1949	10	14	14	14	14
1950-1969	17	21	21	21	17
1970-present	21	21	21	21	21

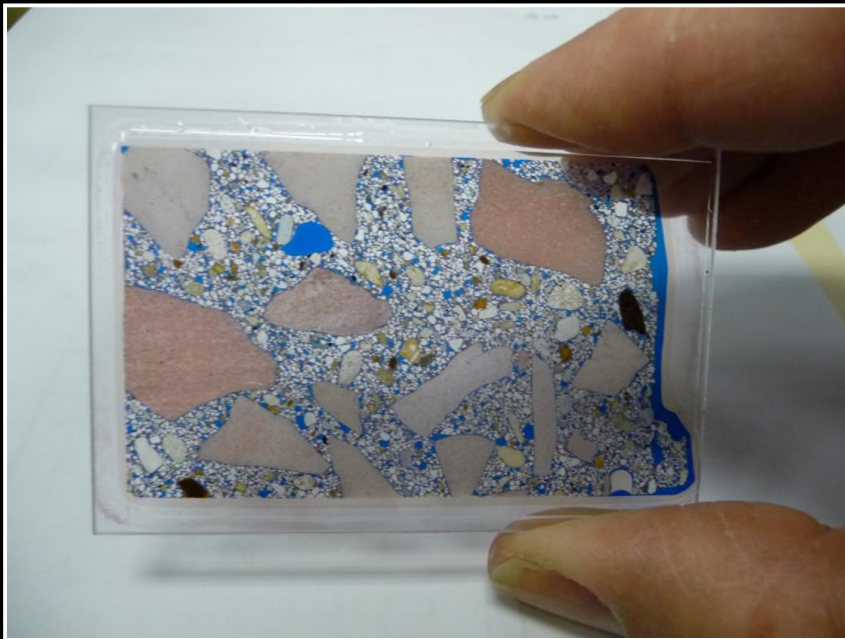
*Taken from ASCE/SEI 41-06.

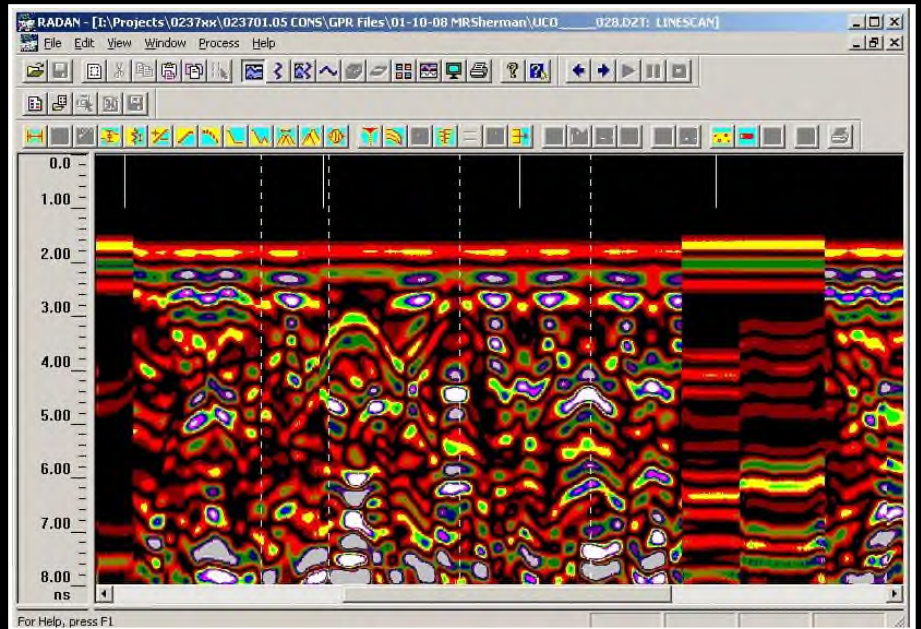
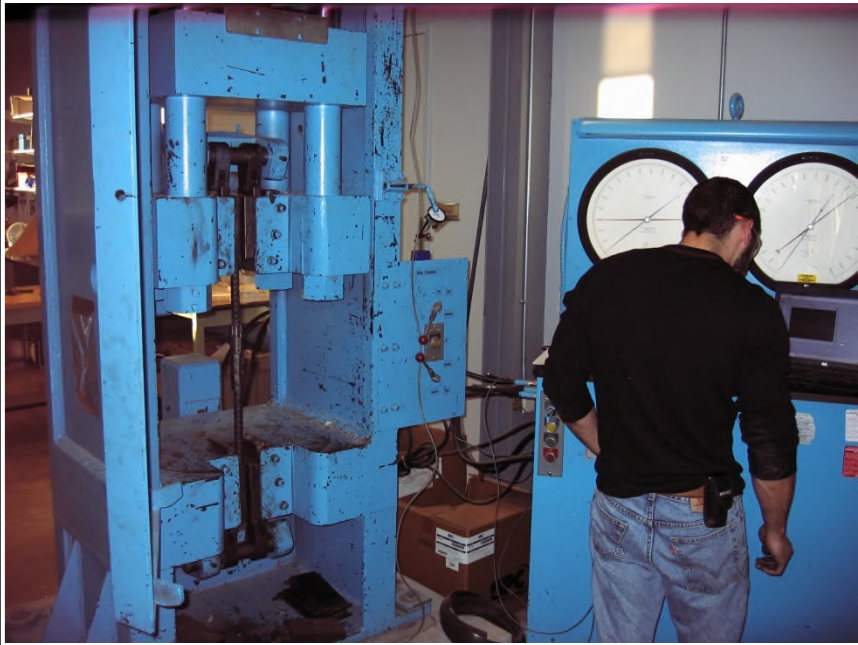
Table 6.3.1b—Default tensile and yield strength properties for steel reinforcing bars for various periods*

		Structural [†]	Intermediate [†]	Hard [†]				
	Grade	230	280	345	420	450	485	520
	Minimum yield, MPa	230	280	345	420	450	485	520
Year	Minimum tensile, MPa	380	485	550	620	520	550	690
1911-1959		X	X	X	—	X	—	—
1959-1966		X	X	X	X	X	X	X
1966-1972		—	X	X	X	X	X	—
1972-1974		—	X	X	X	X	X	—
1974-1987		—	X	X	X	X	X	—
1987-present		—	X	X	X	X	X	—

*An entry of “X” indicates the grade was available in those years.

[†]The terms “structural,” “intermediate,” and “hard” became obsolete in 1968.

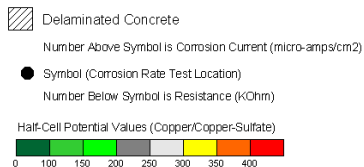
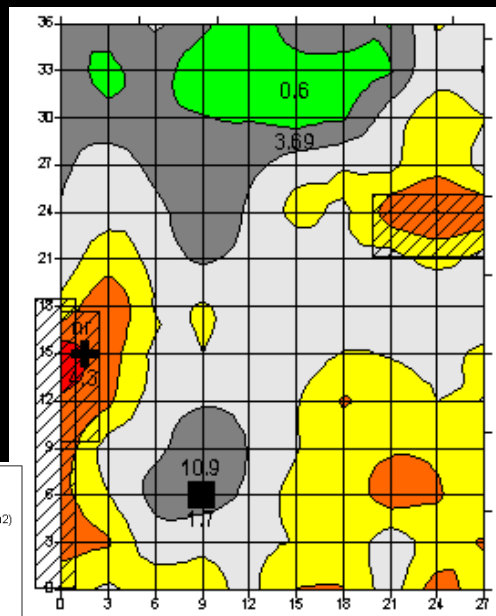




Pruebas no destructivas

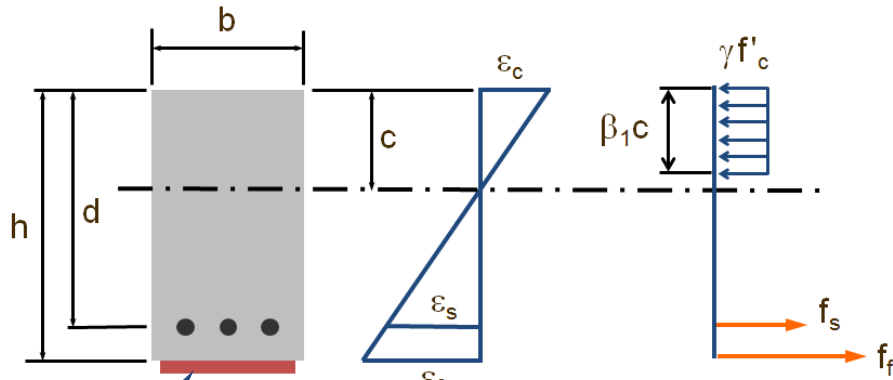


Índice de Corrosión

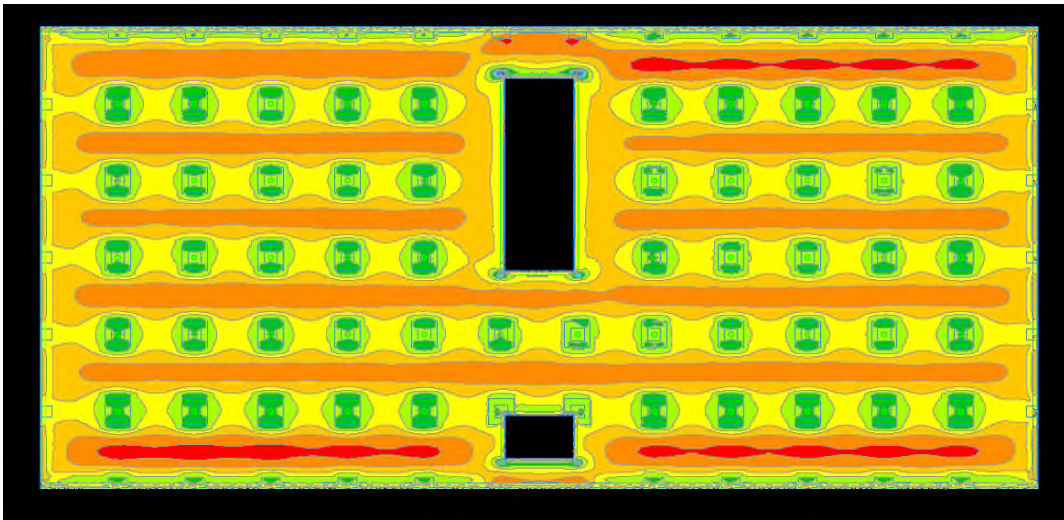
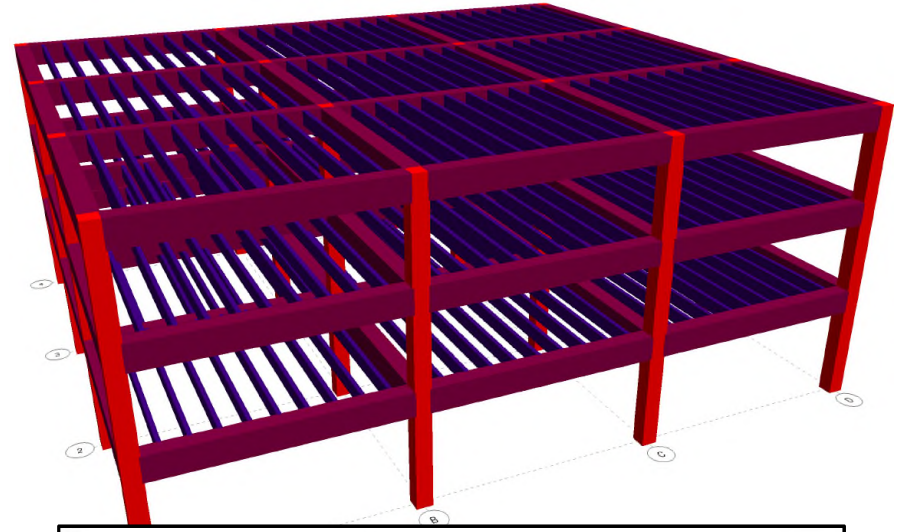


Capítulo 6 – Evaluación y Análisis

- Análisis Estructural de la Estructura Existente
 - Siguiendo principios de ingeniería aceptados
 - Principios de equilibrio de fuerzas y compatibilidad de deformaciones →
 - Considerando propiedades de los materiales y geometría reales
 - Considerando degradación/deterioro de los materiales
- Análisis Estructural para el Diseño de la Reparación →
 - Considerando el proceso de reparación estructural
 - Efectos de la secuencia de aplicación de cargas
 - Efectos de la remoción temporal de cargas
 - Efectos del apuntalamiento
- Evaluación usando Pruebas de Carga – ACI 437-13 →
 - Complementar el análisis estructural
 - ACI 318, Capítulo 20 no es aplicable



Reforzamiento $M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A_f f_f \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$



SIMPSON GUMPERTZ & HEGER
Engineering of Structures and Building Enclosures

CLIENT _____
SUBJECT SEWALL LINE

SHEET NO. _____
PROJECT NO. _____
DATE _____
BY _____
CHECKED BY _____

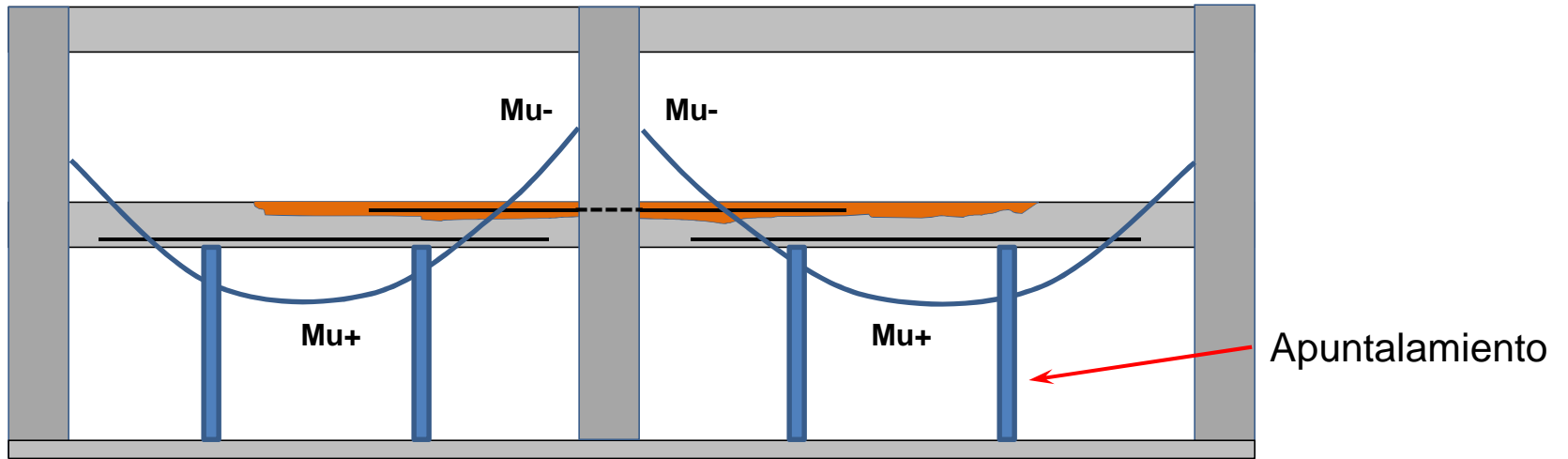
CAN BE WALL WORK WITH REDUCED SECTION?

$f'_c = 120 \text{ psf}$
 $f_y = 120 \text{ psf} = 62.4 \text{ ksi} = 57.6 \text{ ksi}$

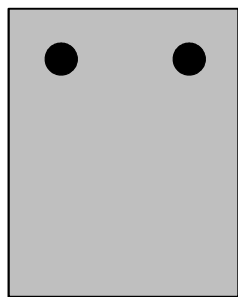
① Structural plain concrete.
 $\phi M_n = 0.60 \cdot 5 \cdot \sqrt{4000} \cdot \frac{12 \cdot 6^3}{6} = 16032 \text{ lb-ft} = 1.34 \text{ k-ft}$

② Reinf concrete
 $A_s = 0.44 \cdot 12 / 3 = 0.66 \text{ in}^2$
 $d = 6 - (3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4}) = 2.625 \text{ in}$
 $\phi M_n = 0.9 [0.66 \cdot 60 \text{ ksi} \cdot (2.625 - \frac{0.66 \cdot 60}{1.7 \cdot 4000})] / 12 = 6.35 \text{ k-ft}$

Condición en los apoyos

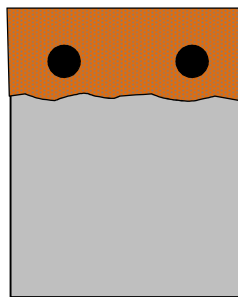


Durante la reparación



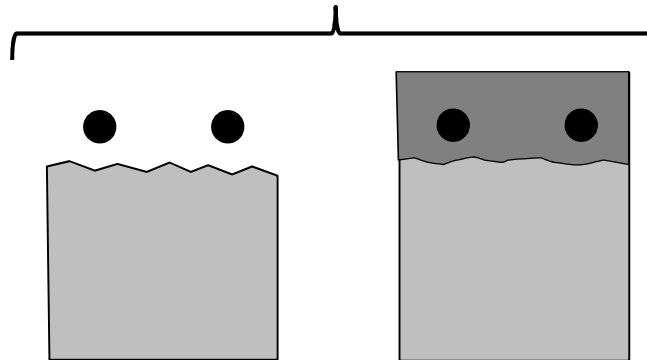
Sección Original

ϕMn



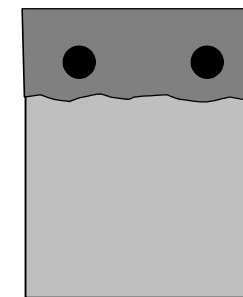
Sección Deteriorada

$\phi Mn \downarrow$



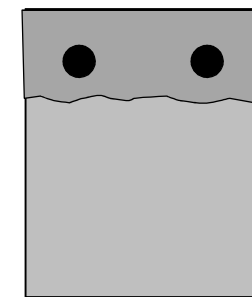
Remoción de Concreto

$\phi Mn=0$



Colocación de Concreto

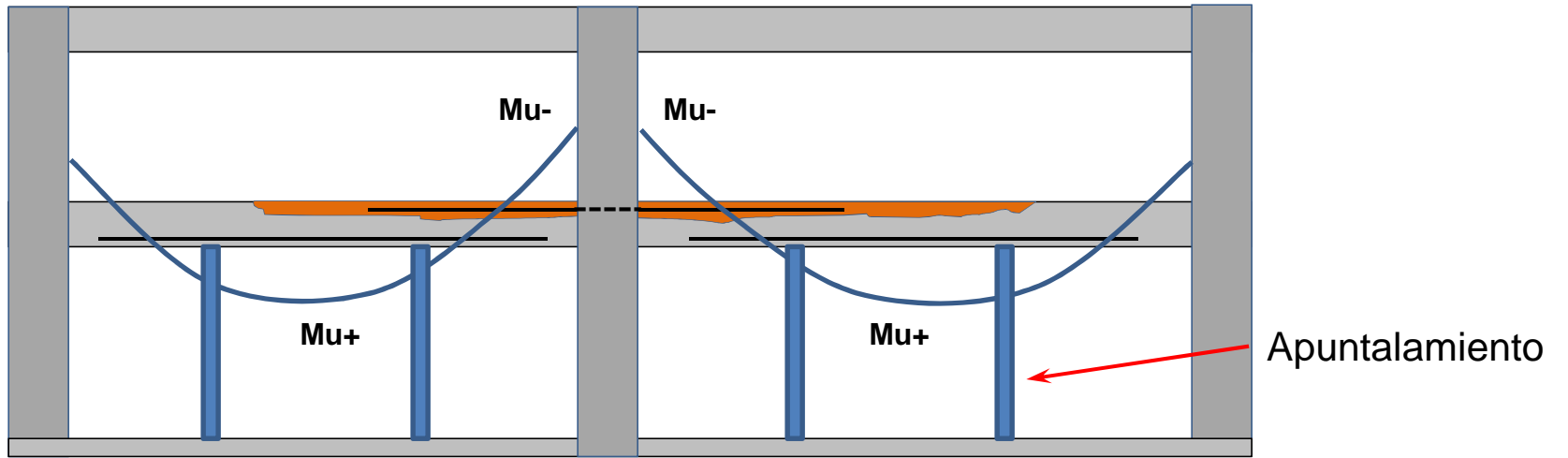
$\phi Mn=0$



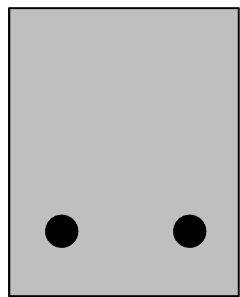
Después de la reparación

ϕMn

Condición en el centro

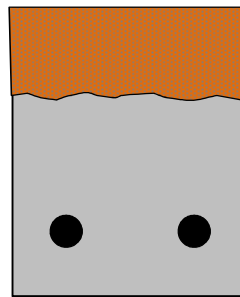


Durante la reparación



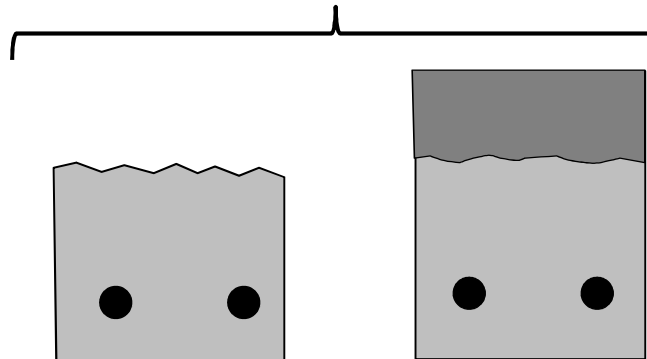
Sección Original

ϕMn



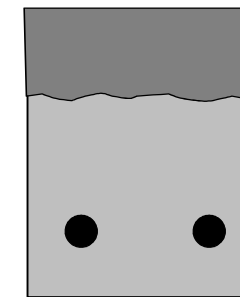
Sección Deteriorada

$\phi Mn \downarrow$



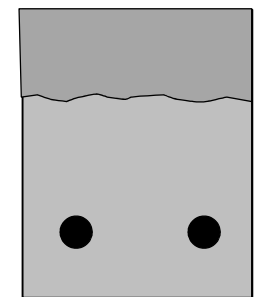
Remoción de Concreto

$\phi Mn \downarrow \downarrow$



Colocación de Concreto

$\phi Mn \downarrow \downarrow$



Después de la reparación

ϕMn

Pruebas de Carga – Nueva Norma

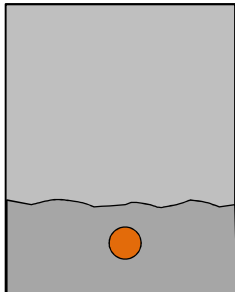
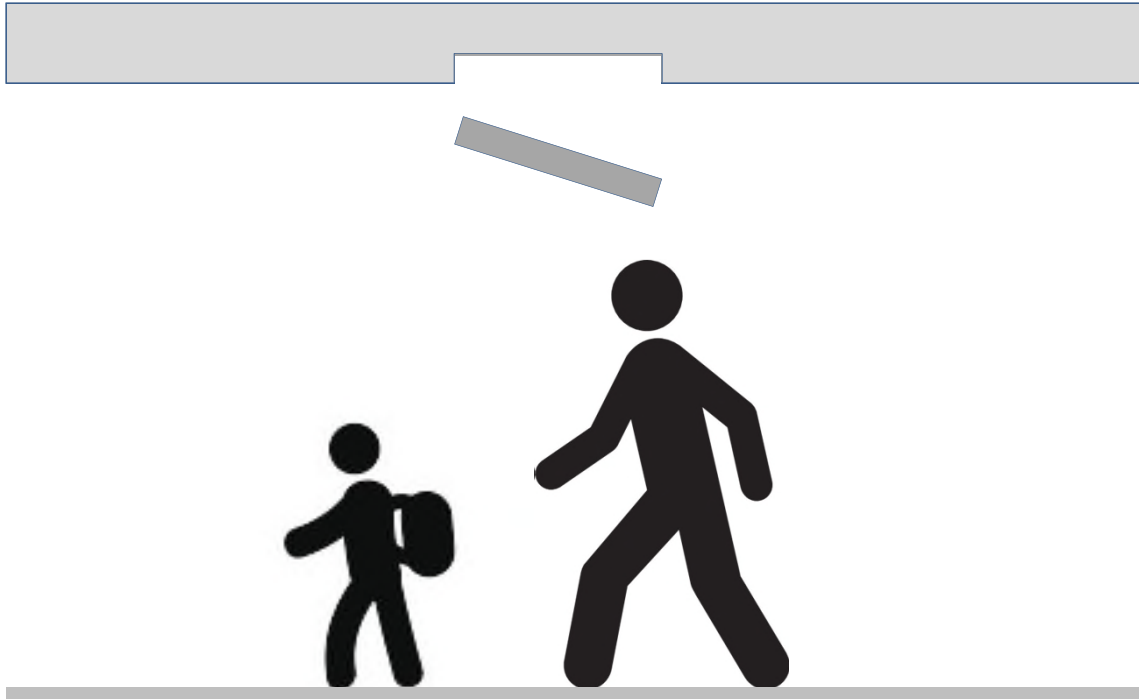
ACI 437 – “Code Requirements for Load Testing of Concrete Members of Existing Buildings”

1. Carga Monotonica – 24 Horas
2. Carga Cíclica

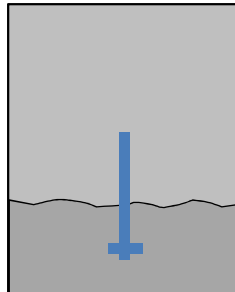


Capítulo 7 – Diseño de las Reparaciones Estructurales

- Tipos de reparaciones →
 1. Reparación de elementos estructurales existentes
 - Transmitir fuerzas en la interface del elemento y el material de reparación: comportamiento compuesto
 - Elementos deben ser capaces de compartir y transmitir cargas →
 2. Incorporación de elementos estructurales nuevos
 - Vigas, muros, columnas
 - Elementos deben ser capaces de compartir y transferir cargas
- Comportamiento Compuesto
 - Transmitir cortante por fricción, adherencia química, o anclajes mecánicos
 - No todas las reparaciones necesitan tener comportamiento compuesto →
- ★ • La reparación debe tener redundancia para mitigar la caída de la reparación en caso se pierda adherencia
 - Encapsulando el refuerzo o anclajes →



Encapsulamiento
del refuerzo

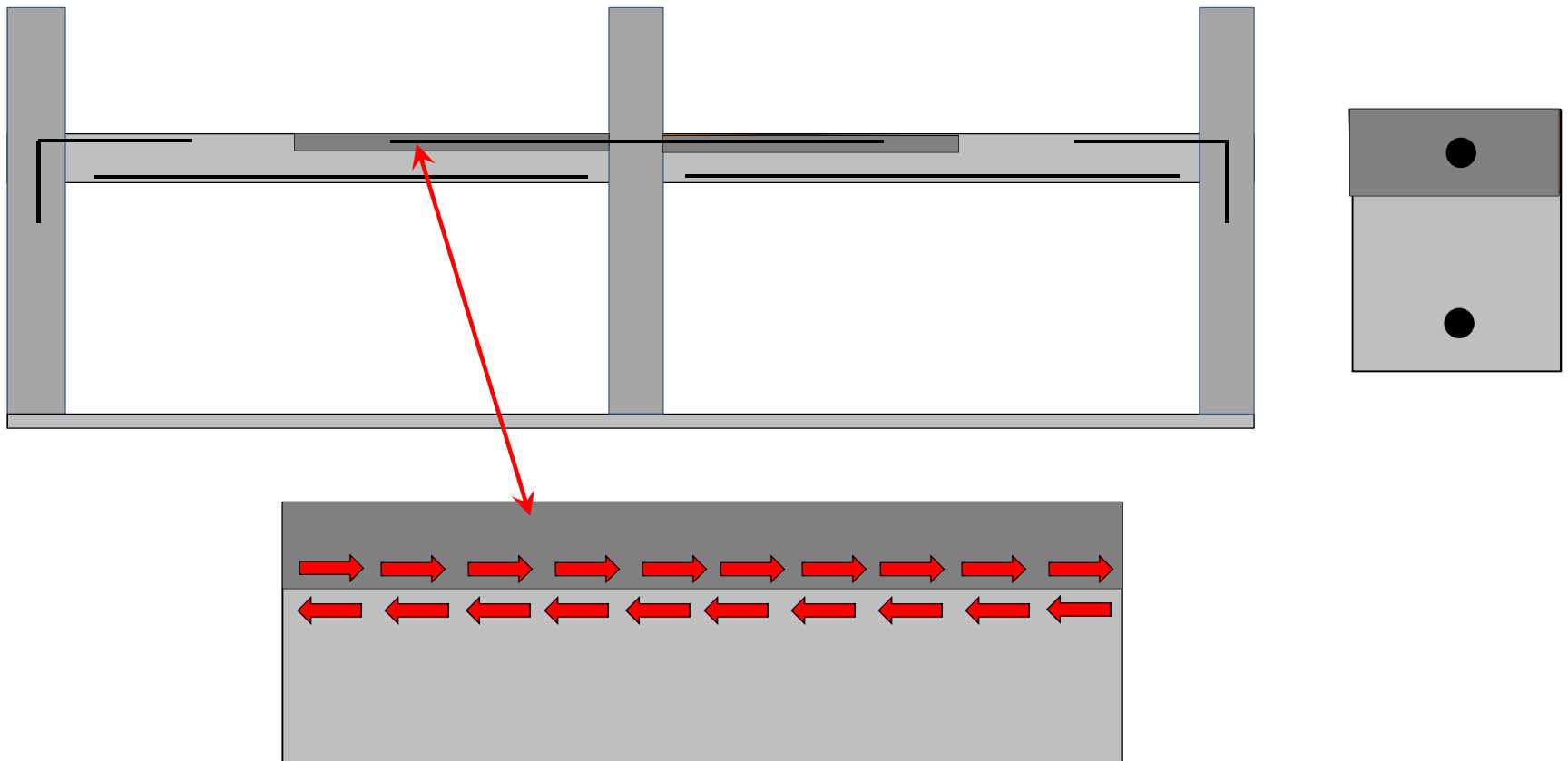


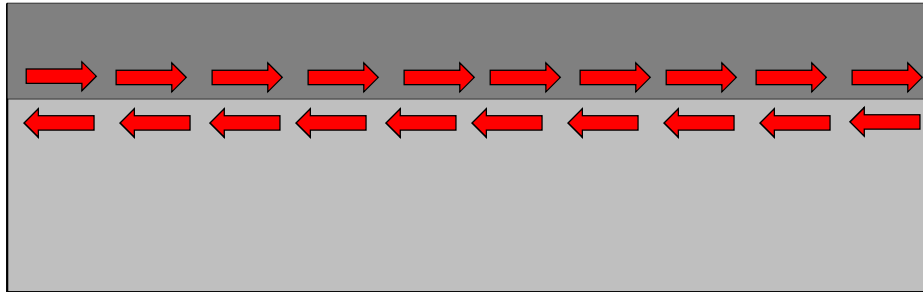
Anclajes

Redundancia

Capítulo 7 – Diseño de las Reparaciones Estructurales

- Adherencia entre el material de reparación y el sustrato
 - Considerar las cargas que actúan en la interface
 - Especificar los requerimientos para preparar la superficie del concreto
 - Verificar que el sustrato puede resistir los esfuerzos debido a las cargas y cambios de volumen





v_u : esfuerzo de corte en la interfaz

- ★ • Si $v_u \geq 80$ psi (0.55 MPa), usar anclajes mecánicos para transmitir el corte horizontal:
 - ACI 318: Sección 11.6 y Capítulo 17
 - Especificar requerimientos para pruebas de los anclajes: ACI 355.2 y ACI 355.4
- ★ • Si los esfuerzos de corte son transmitidos solo por adherencia (sin anclajes):
 - Pruebas de tracción a la adherencia (*pull-off*) →
 - Especificar el número de pruebas y los criterios de aceptación
 - ICRI No. 201.3
 - Número de pruebas no debe ser menor a tres

Prueba de Adherencia



Plano de Falla

Material de Reparación



Concreto Original

Capítulo 7 – Diseño de las Reparaciones Estructurales

- Anclaje al concreto
 - Apéndice D del ACI 318
- Refuerzo de acero con corrosión →
 - Considerar el área efectiva
 - Calcular la longitud de desarrollo como varillas lisas si la varilla perdió corrugaciones
- Materiales de Reparación – Compatibilidad
 - Considerar compatibilidad del material de reparación y materiales de la estructura existente
- Reparación con FRP
 - Recomienda seguir Guías → del ACI 440

Métodos de Reforzamiento Estructural

- Flexión
 - Ensanchamiento de la sección
 - Post-tensado externo
 - Apoyos suplementarios
 - Sistemas FRP: laminados o varillas
- Cortante
 - Ensanchamiento de la sección
 - Refuerzo externo: acero, FRP
- Punzonamiento
 - Capiteles nuevos de concreto o acero
- Carga Axial
 - Encamisado de columnas con concreto, platinas de acero o FRP
- Cargas Laterales
 - Reforzamiento de muros de corte
 - Construcción de muros de corte
 - Arriostramiento de pórticos

Flexión – Vigas Suplementarias



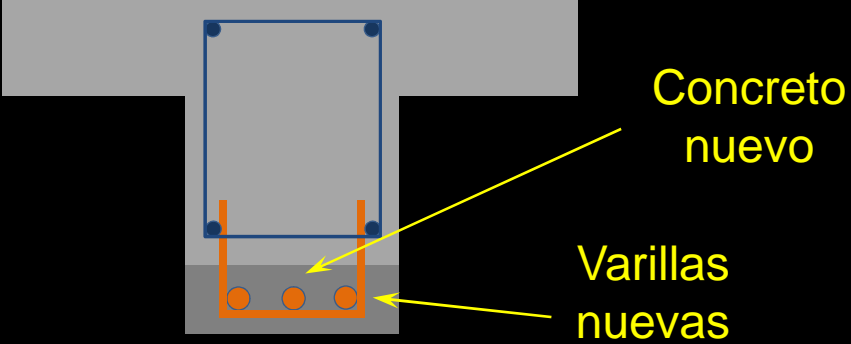
Flexión – Apoyos Intermedios



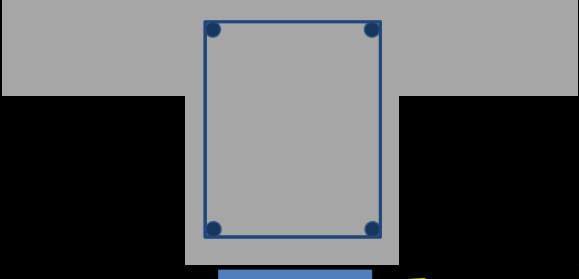
Flexión – Platinas de Acero



Flexión – Ensanchamiento



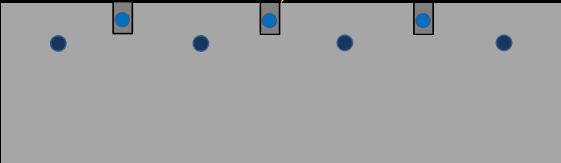
Flexión – FRP



Laminados de FRP



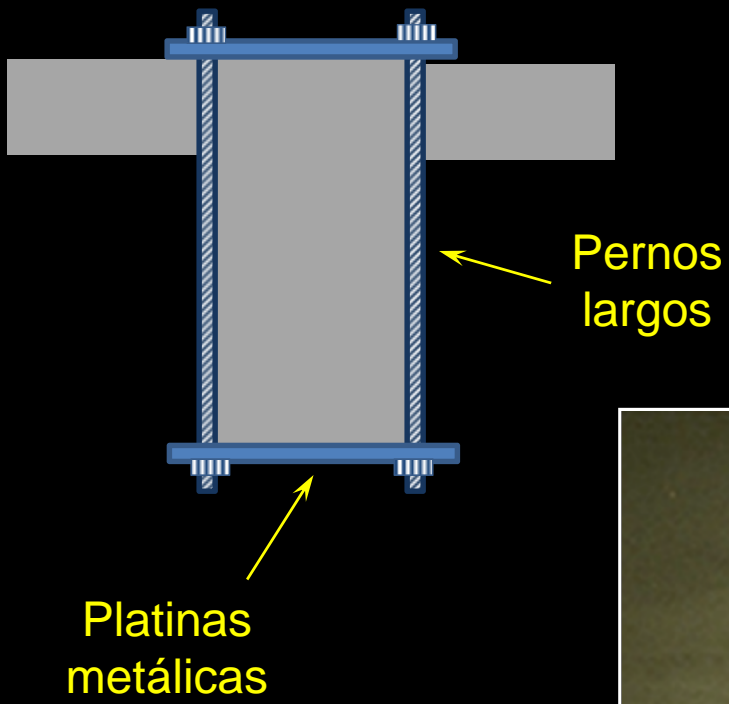
Varillas de FRP en ranuras



Flexión – Post-tensado externo



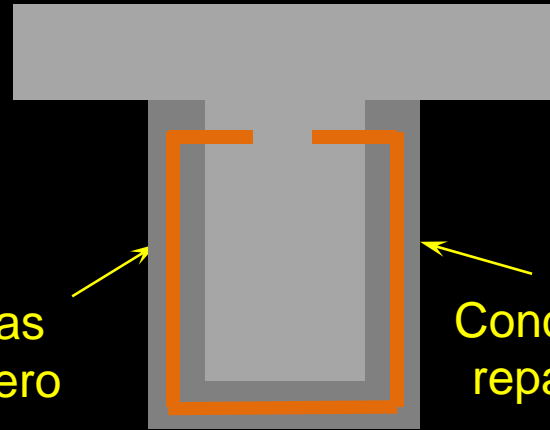
Cortante – Estribos Externos



Cortante – Ensanchamiento



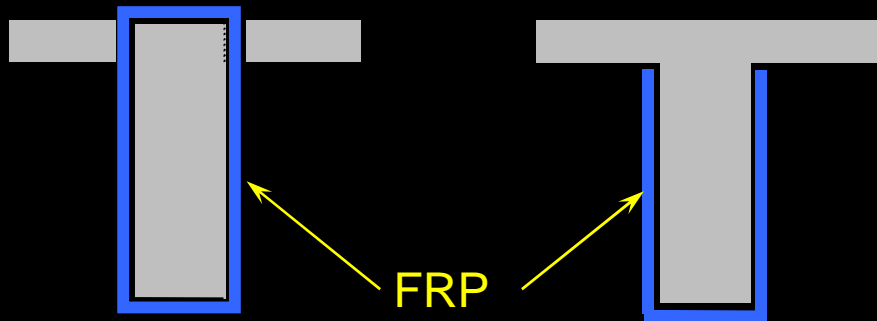
Varillas de acero



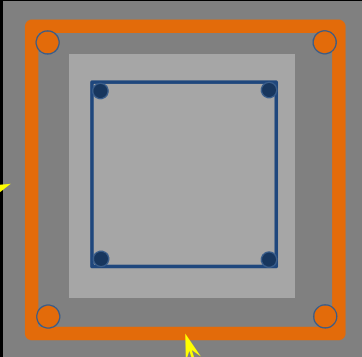
Concreto de reparación



Cortante – FRP



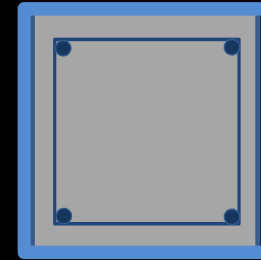
Columnas – Ensanchamiento



Concreto nuevo

Armadura nueva

Columns – FRP



FRP



Punzonamiento – Capiteles de Concreto



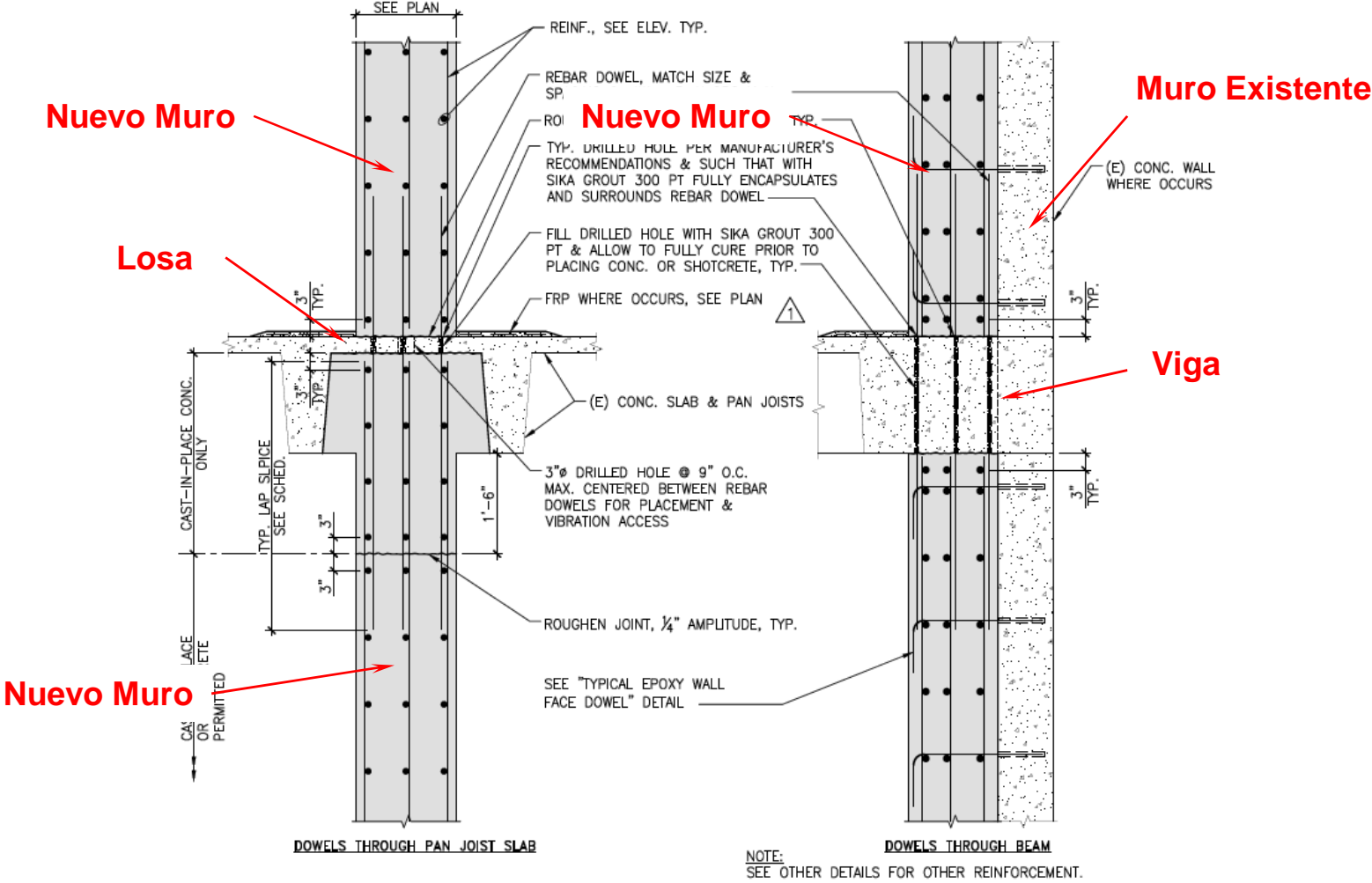
Punzonamiento – Capiteles Metálicos



Muros de Corte



Transmisión / continuidad de Cargas

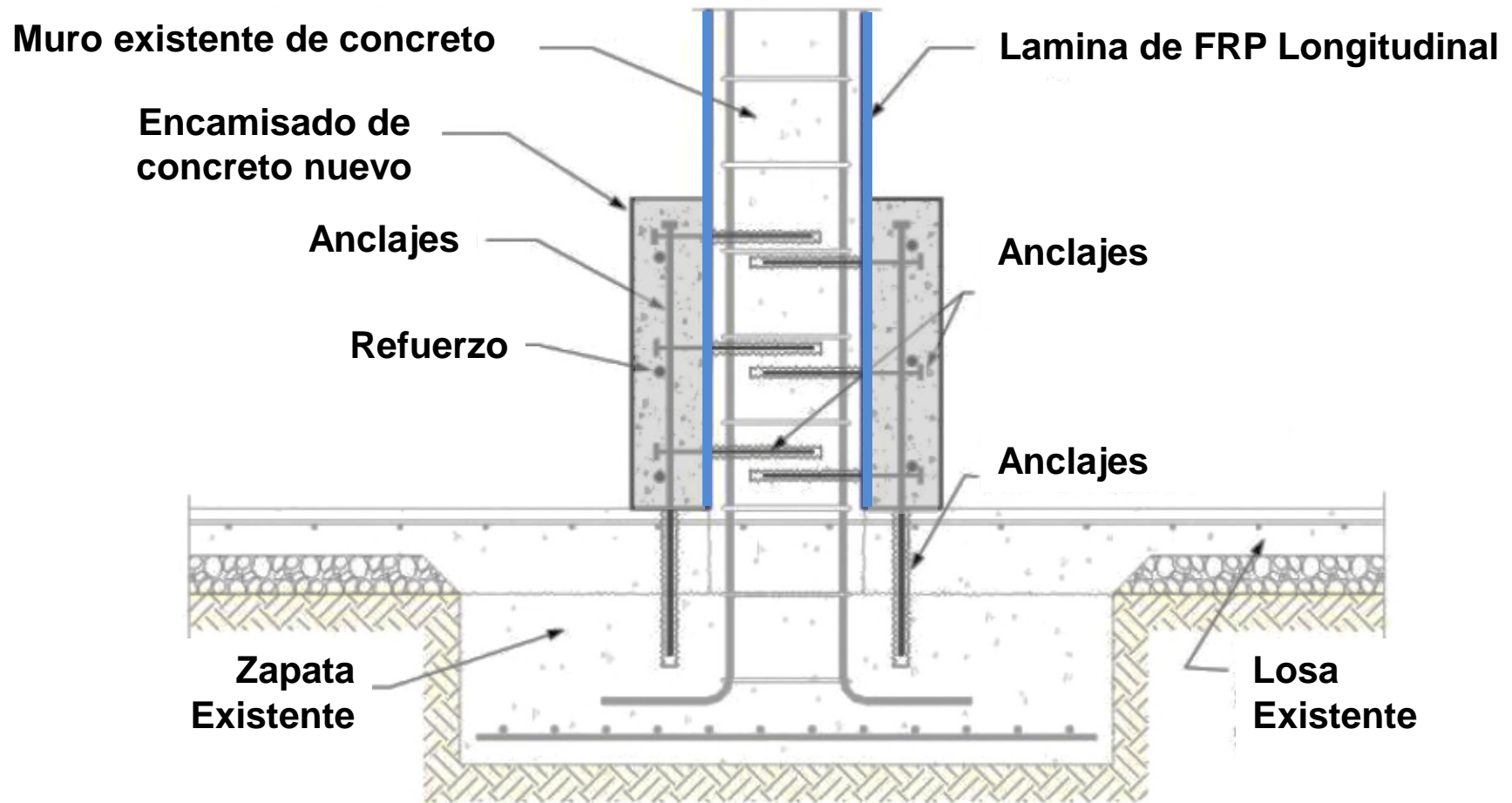


6

TYPICAL DOWELS THROUGH (E) CONC. SLAB OR BEAM

SCALE: 3/4"=1'-0"

Transmisión / continuidad de Cargas



ACI 440.2R-08

2008

**Guide for the Design and Construction
of Externally Bonded FRP Systems
for Strengthening Concrete Structures**

Reported by ACI Committee 440



American Concrete Institute®

Alcance del ACI 440.2R-08

- Reforzamiento con FRP: laminados y varillas
- Esencialmente para cargas de gravedad – no sísmicas
- Reforzamiento a la flexión
- Reforzamiento al cortante
- Confinamiento para cargas axiales y momentos

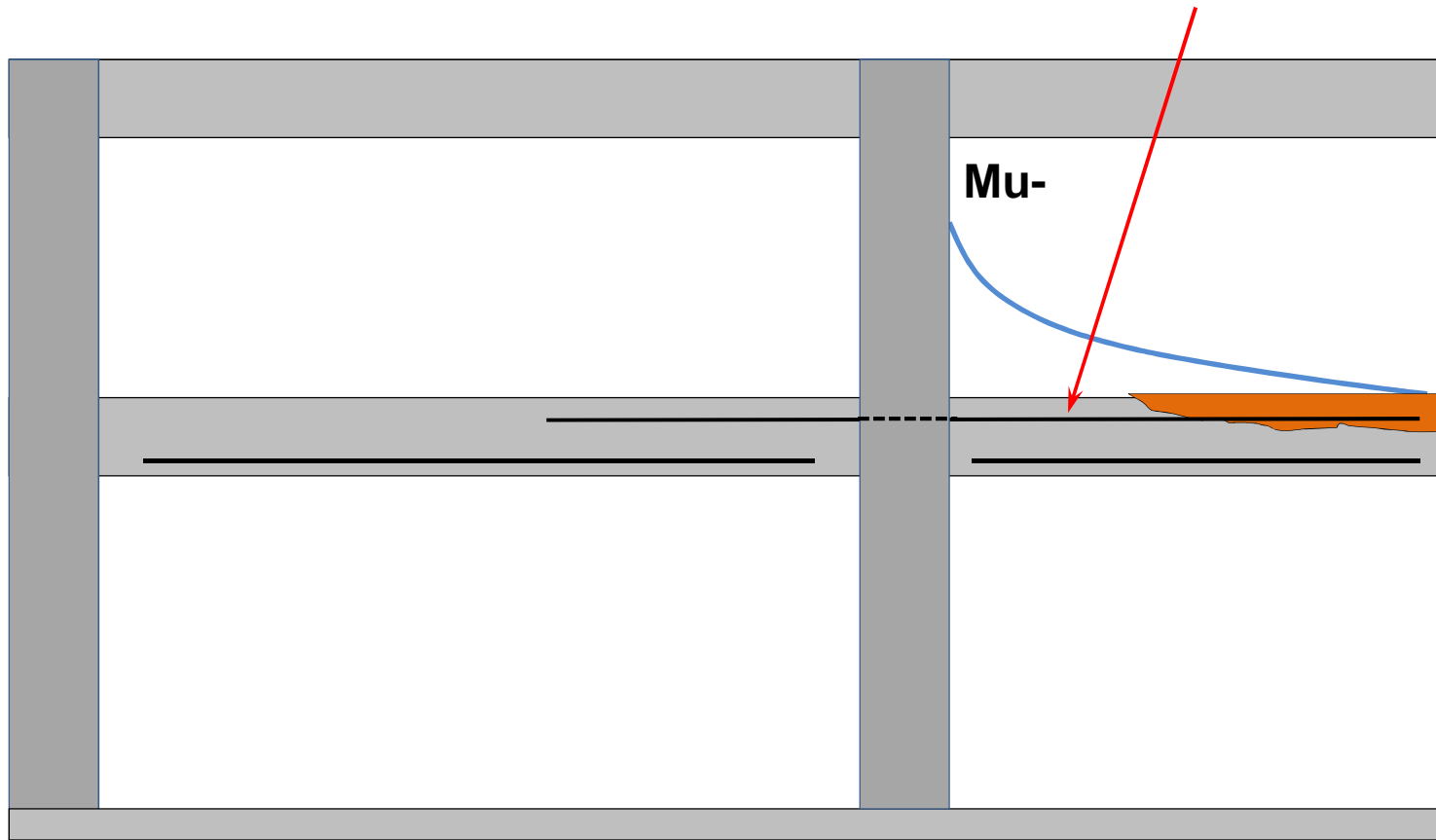
Alcance del ACI 440.2R-XX

Reforzamiento Sísmico (en proceso)

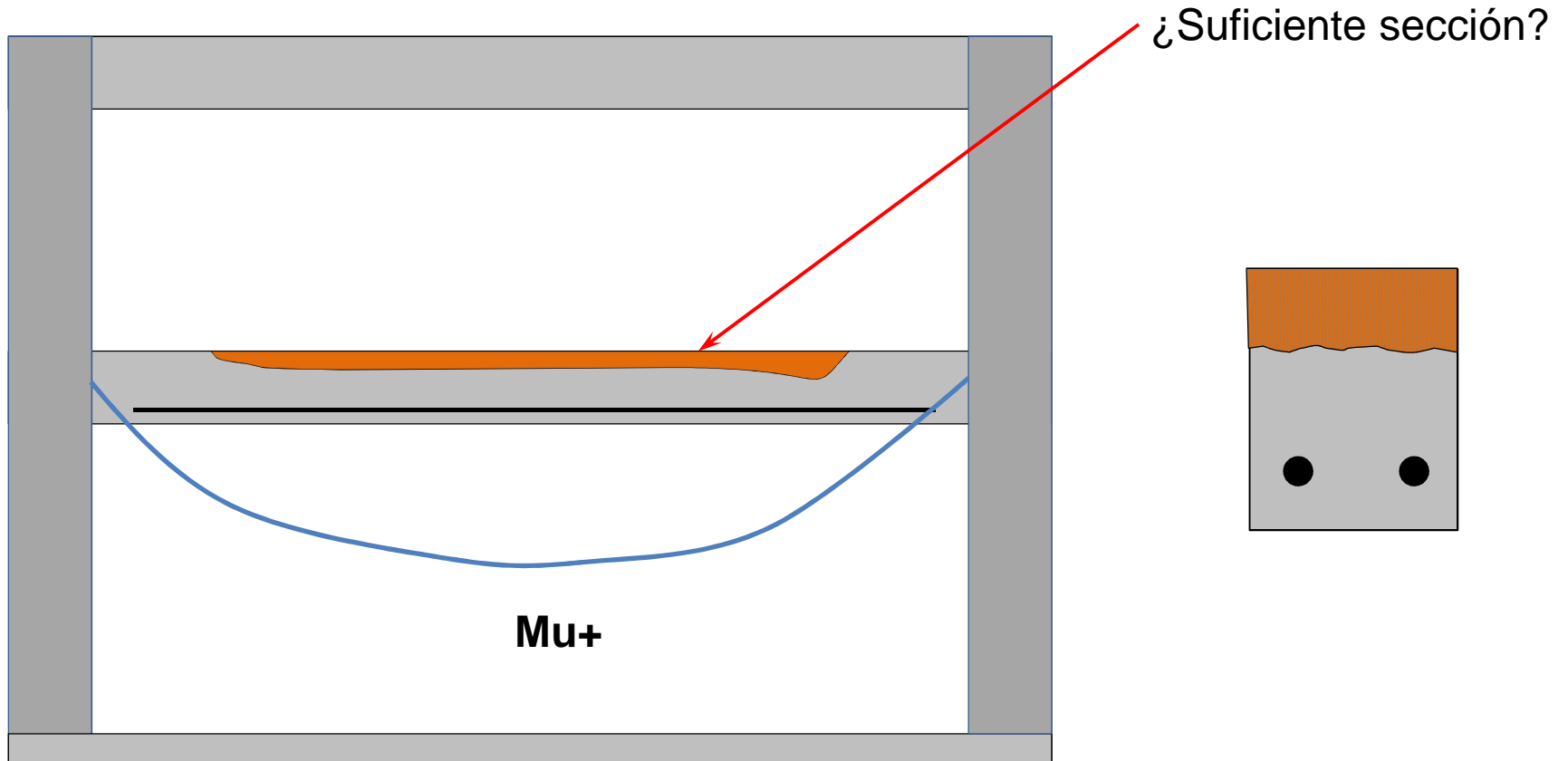
- Reforzamiento a la flexión y al cortante, confinamiento en articulaciones plásticas de vigas y columnas
- Reforzamiento de muros de corte
- Reforzamiento de nudos viga-columna
 - No recomendaciones específicas
 - Referencias a investigaciones existentes como guía

¿Compuesto o no compuesto?

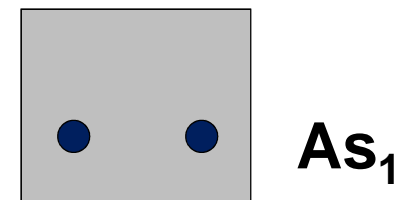
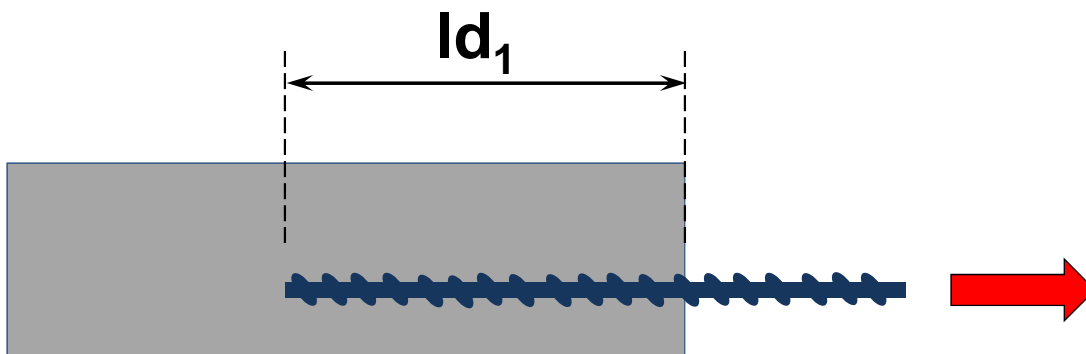
¿Suficiente longitud de desarrollo?



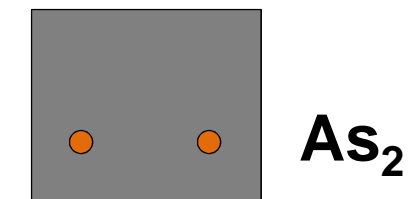
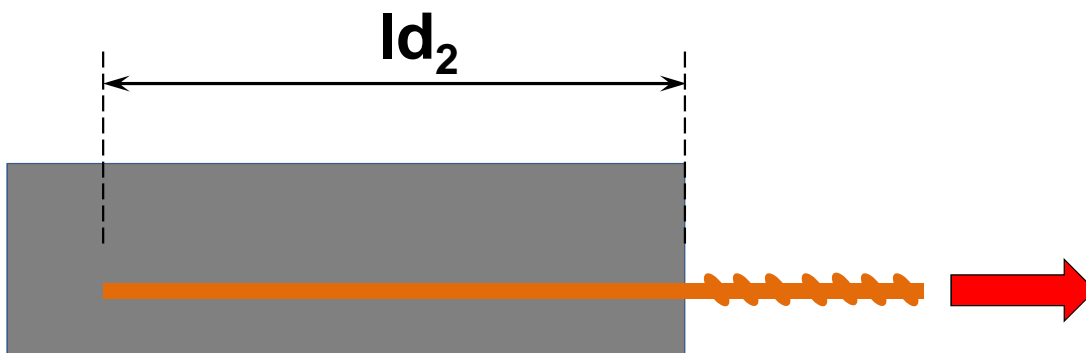
¿Compuesto o no compuesto?



Original



Reparación



$$ld_2 > ld_1$$

$$AS_2 < AS_1$$

Capítulo 8 – Durabilidad

- Debe considerarse la durabilidad de todos los materiales de reparación →
 - Durabilidad depende de la capacidad a resistir los ambientes donde serán instalados
- Recubrimientos para el refuerzo de acero existente o nuevo
 - El recubrimiento debe cumplir con el código de construcción
 - ACI 318 – Section 7.7 Concrete protection for reinforcement
 - Se pueden usar métodos alternativos →
 - Membranas impermeabilizantes
 - Inhibidores de corrosión
 - Recubrimientos anti-carbonatación
 - Protección catódica, galvánica
 - Protección contra el fuego
 - Evaluar el efecto del recubrimiento en la longitud de desarrollo del refuerzo
 - Reducción en el recubrimiento requiere mayor longitud de desarrollo



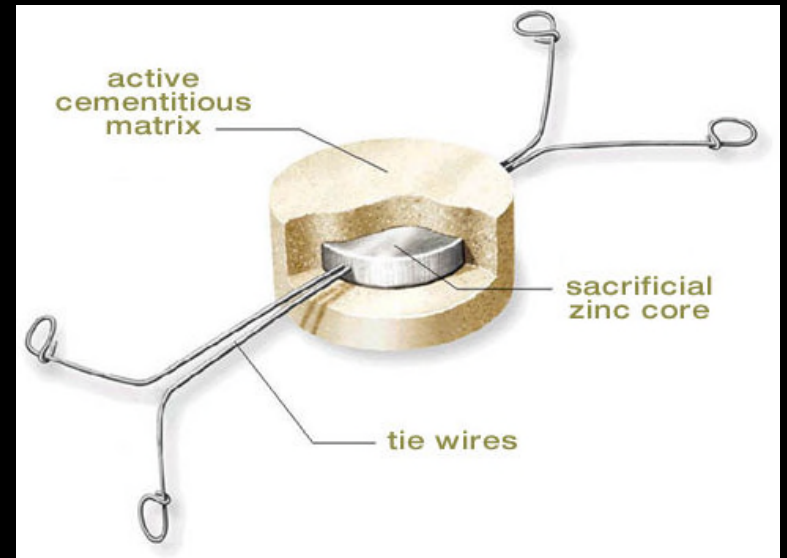
Membranas Impermeabilizantes



Recubrimientos anti-carbonatación



Protección Galvánica



Fuente: Vector

Protección contra el fuego



Capítulo 8 – Durabilidad

- Fisuras
 - Considerar los efectos de las fisuras en la durabilidad y desempeño de la reparación
 - Fisuras permiten ingreso de agua u otros materiales deletéreos al concreto
 - Causas del fisuramiento deben ser consideradas en el diseño de la reparación
 - No todas las fisuras necesitan ser reparadas – ACI 224R, Tabla 4.1
 - Sellantes elastomericos
 - Inyección de epóxico
- Corrosión y otros tipos de deterioración
 - Los materiales de reparación no deben contener componentes que puedan causar corrosión y no deben ser reactivos
 - Agregados deben cumplir con los requerimientos del ACI 318-11

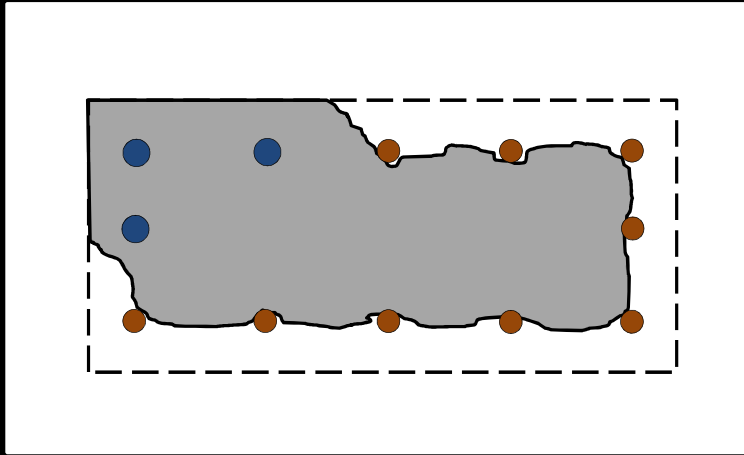
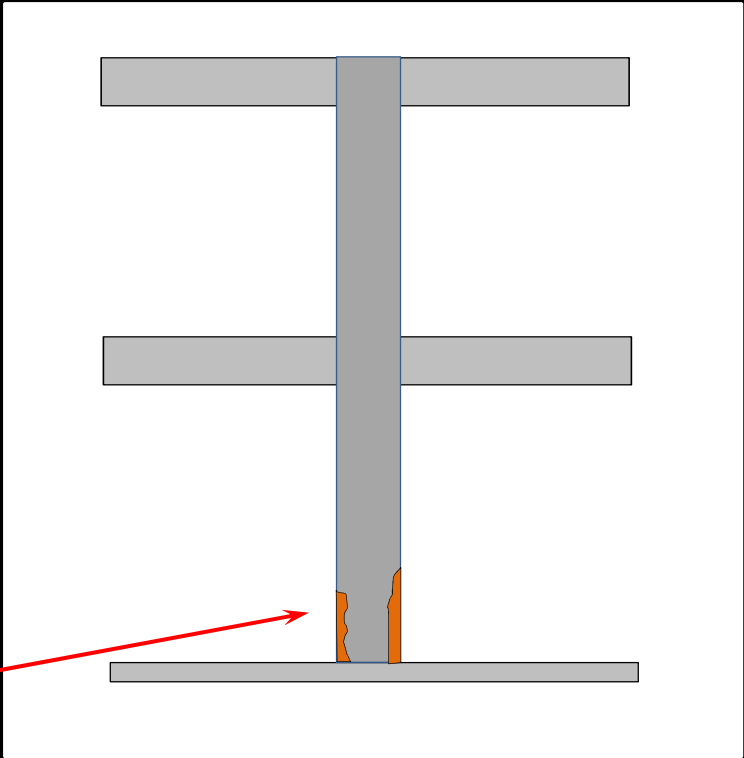
Capítulo 9 – Construcción

- Condiciones temporales de los elementos
 - Verificar que la capacidad de los elementos es adecuada en todas las fases de la reparación
- Estabilidad global y local debe mantenerse en todo momento
 - Ejemplo: Fallas de columnas →
- Requerimientos para estabilidad y apuntalamiento temporal →
 - Definidos por el Ingeniero
 - Planos y especificaciones deben mostrar los requerimientos para todas las fases de la reparación
 - ASCE 37 – requerimientos para diseño de apuntalamiento y cargas de construcción
- Apuntalamientos diseñados e instalados por el Contratista
 - Cargas y ubicaciones indicadas por el Ingeniero
 - Diseñados por un ingeniero que trabaje para el contratista

Apuntalamiento



Estabilidad

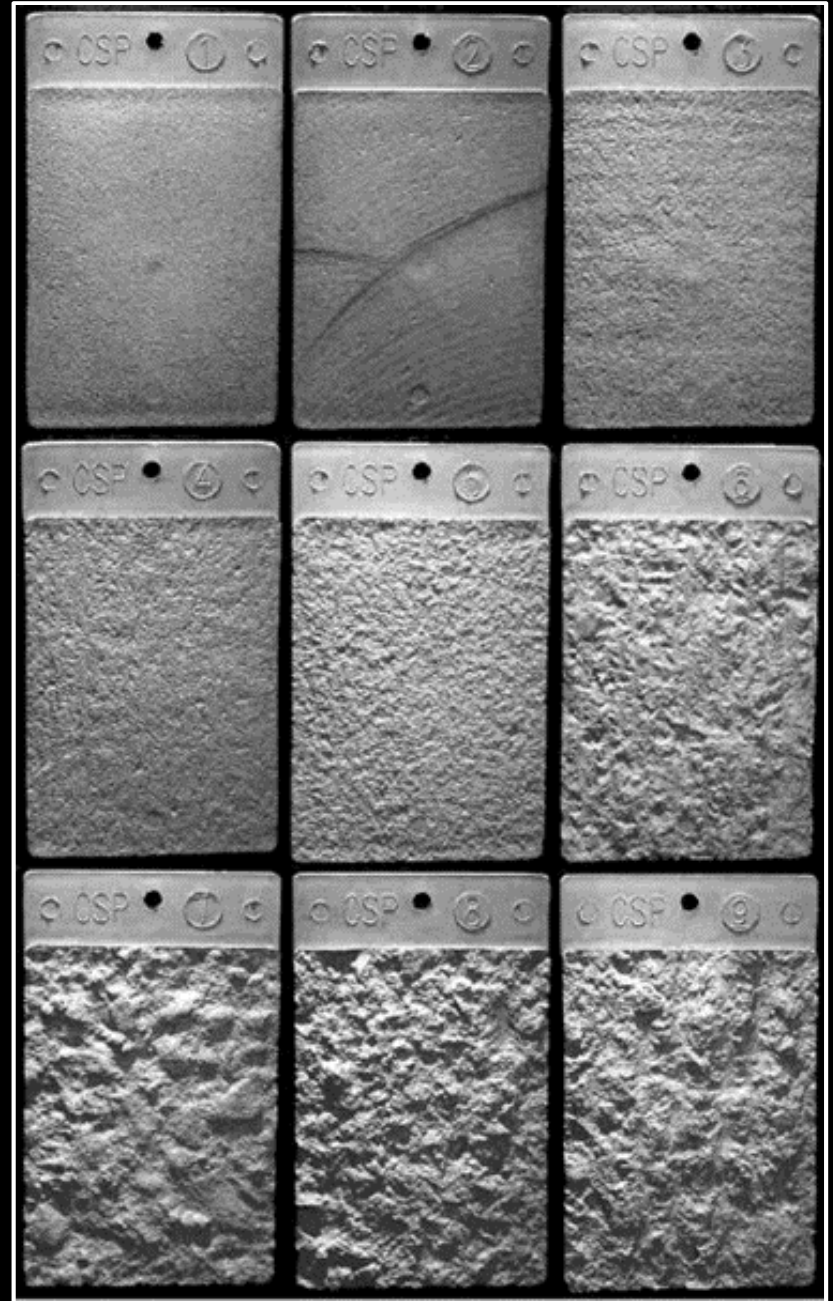


Pandeo del refuerzo vertical



Capítulo 10 – Control de Calidad

- Especificaciones deben incluir requerimientos para inspecciones y pruebas de control de calidad
 - Preparación de la superficie de concreto →
 - Mezclado, colocación y curado de los materiales de reparación
- Pruebas de control de calidad →
 - Tipos de prueba y frecuencia deben ser incluidas en las especificaciones
- Observaciones durante las Reparaciones
 - Verificar que las condiciones son tal como se asumieron en el diseño
 - Reportar cambios en el diseño por escrito a todas las partes implicadas





Comentarios Finales – Impacto del ACI 562

- Mejora de la calidad de las reparaciones
 - Estructuras más seguras
 - Reducción de cantidad reparaciones de **reparaciones** = Ahorros de millones de dólares
- Establecer responsabilidades de Ingenieros y Contratistas
- Requiere adquirir conocimientos y desarrollar habilidades en la industria de la reparación del concreto
 - Reparaciones de estructuras de concreto son una tarea seria
- Uso del ACI 318 en su objetivo primario
 - Eliminación del Capítulo 20 – Evaluación de la Resistencia de Estructuras Existentes

¿ PREGUNTAS ?



gtumialan@sgh.com