



Curso de Especialização em Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas de Concreto

Eng. PhD. Prof. Eliana Monteiro
Eng. MSc. Prof. Carlos Welington

Recife, 09 de dezembro de 2008

1

**Curso de Especialização em Inspeção, Manutenção e Recuperação de
Estruturas de Concreto**

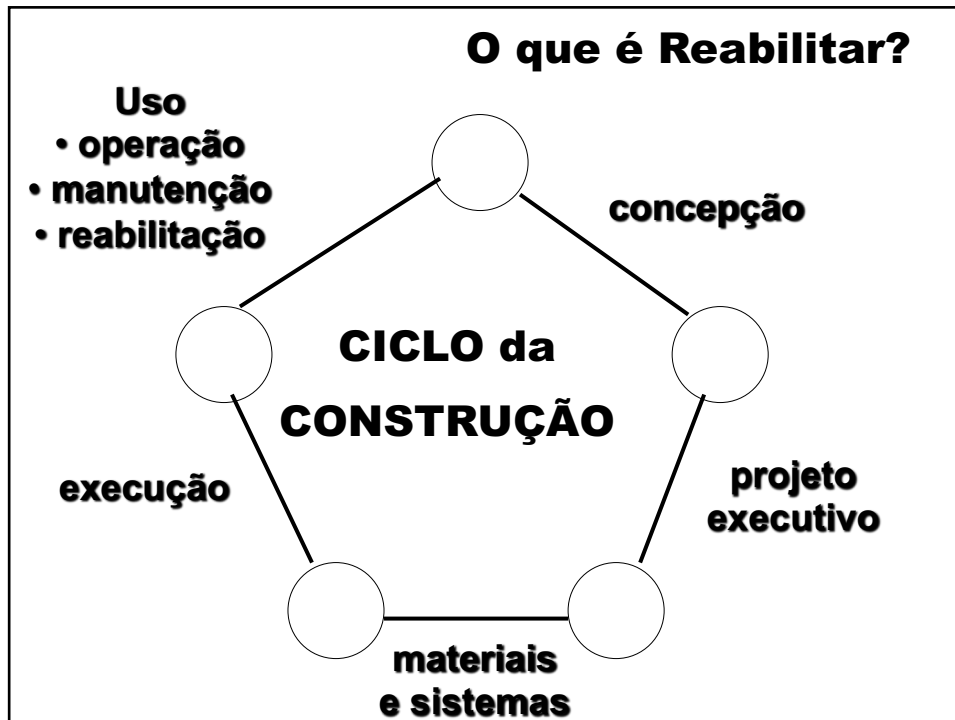
Reabilitação de Estruturas de Concreto. Conceitos

Eng. Paulo Helene

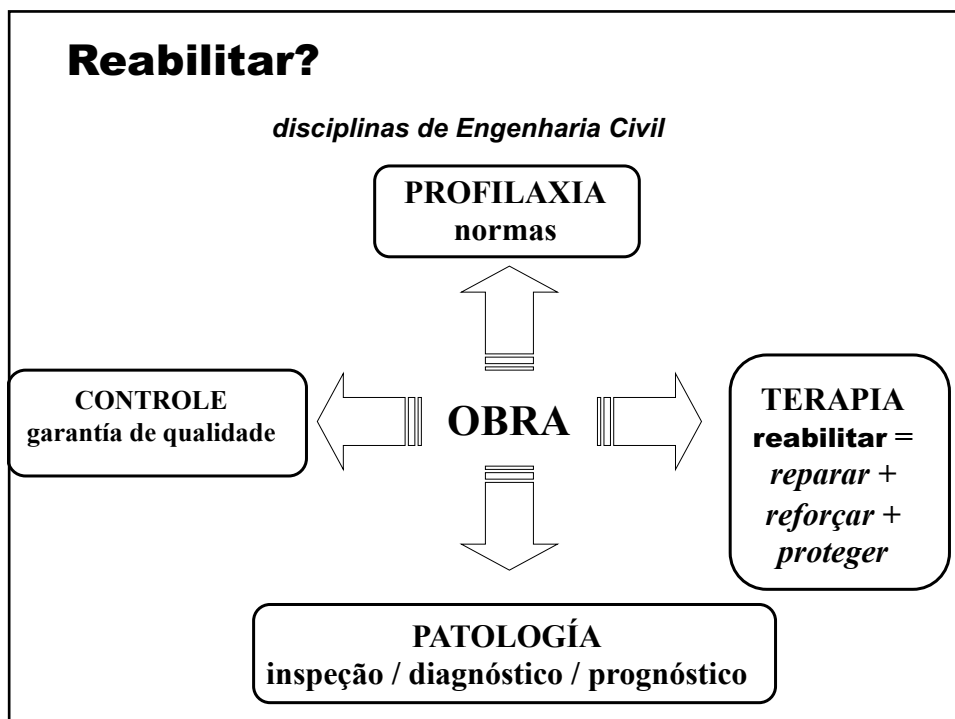
*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Coordinador Internacional de la Red REHABILITAR CYTED
Miembro de Red Prevenir ALCONPAT. CIAM
Vice-Presidente do IBRACON*

Recife, 09 de dezembro de 2008

2



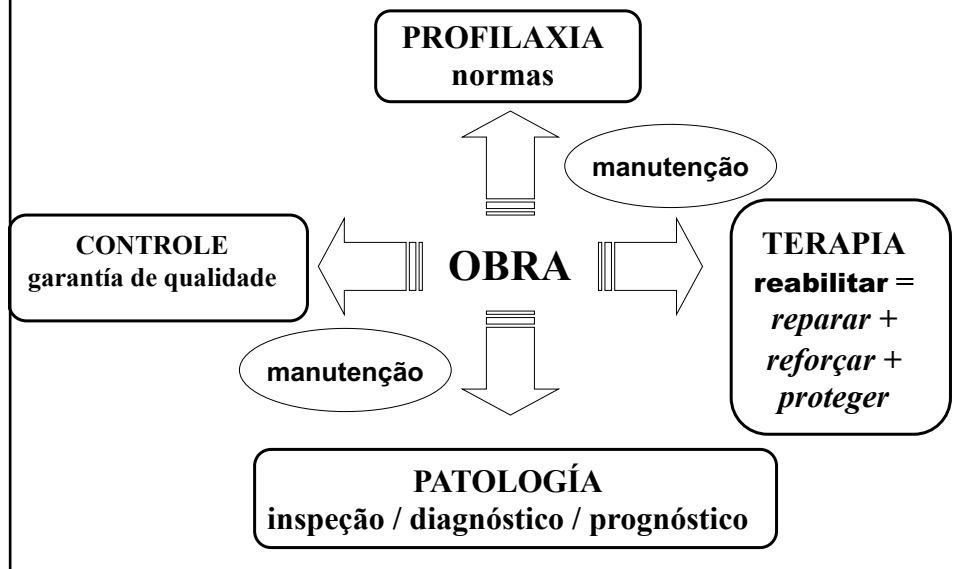
3



4

Reabilitar?

novas disciplinas de Engenharia Civil



5

Reabilitar?

- Intervenção corretiva
- Pressupõem uma inspeção e diagnóstico
- É a Disciplina mais atrasada da Engenharia
- Não há consenso nas soluções
- Não existem critérios claros de desempenho

6

Reabilitar?

**De todas as disciplinas é a
que mais cresce e que
mais se desenvolveu
comercialmente nas duas
ultimas décadas**

7

Considerando o perfil dos assistentes

**Não vou dissertar o óbvio, ou seja,
sobre a importância de conhecer os
procedimentos corretos de
reabilitação estrutural**

8

Introdução

Nos países desenvolvidos se estima que 20 a 40% de todos os recursos invertidos anualmente na industria da construção civil são utilizados na reabilitação e manutenção de estruturas existentes

“Patrimônio Construído”

9

Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México
Departamento de SINALOA / Culiacán

- **302 puentes**
- **Edades de 1 a 50 años**
- **Puente promedio 85m largo x 12m ancho**
- **Costo promedio de US\$ 1,500 / m²**
- **Patrimônio construído de US\$ 450,000,000**
- **Presupuesto anual de US\$ 3,800,000 (0,8%)**
- **Equivalente a 2,5 pontes nuevas / año**
- **Quieren llegar a 5, o sea, $\approx 1,5\%$**

10

Introdução

HARIK ⇒ ASCE USA Bridge Failures

DUNKER & RABAT ⇒ Iowa State University

SKALNY ⇒ Concrete Durability: a Multibillion-Dollar Opportunity

- **720.000 pontes**
- **200.000 deficientes**
- **130.000 restrições de carga**
- **6.000 fora de serviço**
- **150 a 200 tramos graves / ano**

11

Introdução

MAGALHÃES, POLLONI & FURMAN ⇒ Situação crítica das obras de arte SP e BR

KLEIN & CAMPAGNOLO ⇒ UFRGS Pontes e viadutos no país

- **60.000 pontes e viadutos**
- **São Paulo 30 pntes 181 viadutos**
- **SP → 6.128 obras DER / SP**
- **SP → 58% corrosão de armaduras**
- **12% alto risco**
- **22% médio risco**

12

Reparos

Falhas nas juntas de dilatação



falta de vedação da junta de dilatação

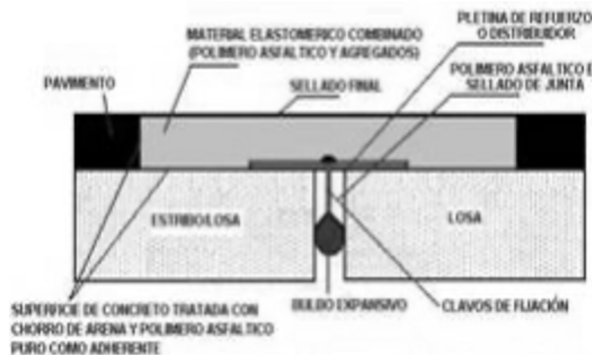
Consequências:

- Lixiviação resultante da percolação de águas pluviais ácidas
- corrosão das armaduras
- bloqueio da junta resultante da entrada de lixo, escombros
- comprometimento dos aparelhos de apoio

13

Reducción del riesgo de fallas en las juntas de dilatación

(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, cap. 9, p. 516 a 533)



e < 8 cm, la diferencia debe ser complementada con grout expansivo de nivelación

Platinas de refuerzo $\rightarrow$ carga viva + polímero $\rightarrow$ evitar entrada agua

Juntas Rellenas Moldeadas- Vaciadas en sitio

de Polímero Sellante

- mov. horizontales hasta 6 cm,
- grandes viaductos y obras nuevas
- rápida instalación y puesta en servicio, son impermeables

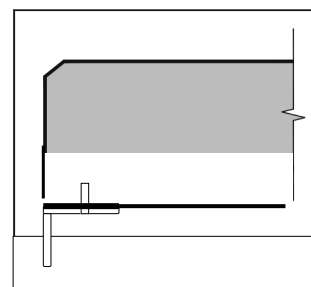
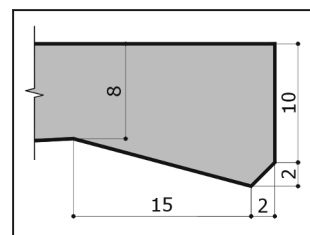
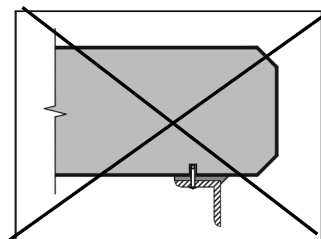
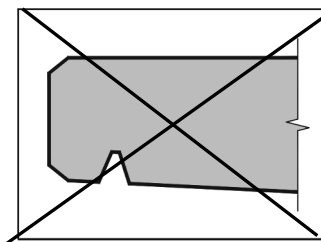
14

Lixiviação



15

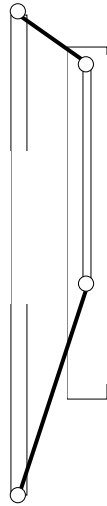
Pingadeiras



(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, cap. 6, p. 310 a 315)

16

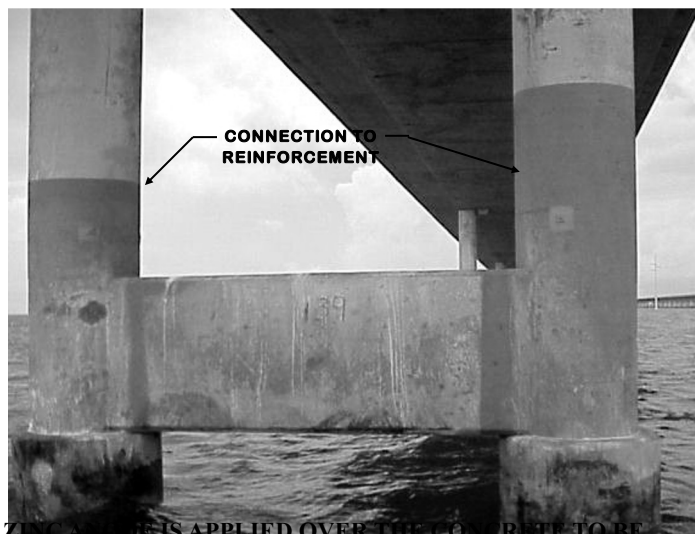
REPAROS



**Proteção catódica tipo
galvânica com anodo
externo de sacrifício**

17

ARC-SPRAYED ZINC SYSTEM



- THE ZINC COATING IS APPLIED OVER THE CONCRETE TO BE PROTECTED AND A CONNECTION TO THE STEEL IS ESTABLISHED.
- THE BOND STRENGTH BETWEEN THE ZINC AND THE CONCRETE IS MAINTAINED AT A MINIMUM OF 90 PSI.

18

APLICACIÓN DE ZINC a CALIENTE

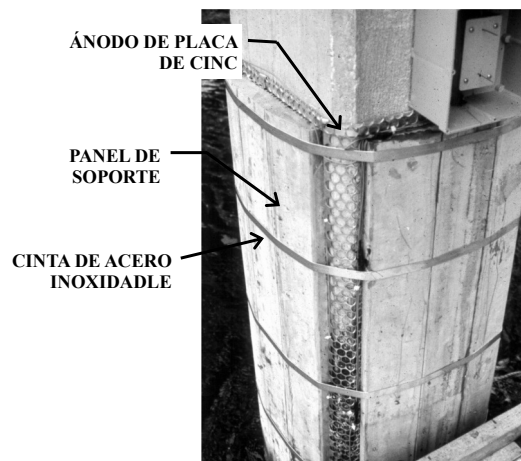


(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, cap. 7, p. 370 a 372)

- PREPARACIÓN REQUIERE LIMPIEZA ABRASIVA DE LA SUPERFICIE Y REMOVIDO DEL HORMIGÓN DEFICIENTE.
- APLICACIÓN REQUIERE EQUIPO ESPECIAL.

19

SISTEMA DE PLACA DE CINC PERFORADA



-EL ÁNODO SE COLOCA SOBRE EL HORMIGÓN Y SE CONECTA DIRECTAMENTE A LA ARMADURA

- LOS PANELES SON FABRICADOS DE MATERIAL DE MADERA Y PLÁSTICO RECICLADO

- ES NECESARIO REPARAR EL HORMIGÓN DELAMINADO ANTES DE INSTALAR EL ÁNODO

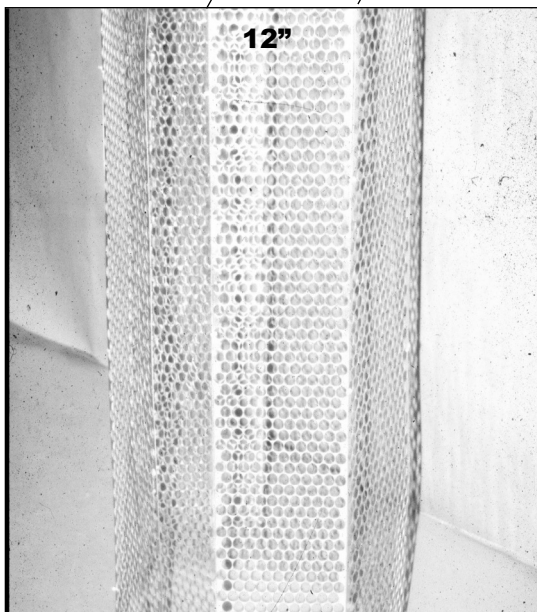
20

ÁNODO DE PLACA DE CINC PERFORADA

- FLEXIBILIDAD: EL ÁNODO SE FABRICA PARA SATISFACER LAS DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA

- CONTENIDO DE CINC ES DE 0.9 LIBRAS POR PIE CUADRADO DE ÁNODO

(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, cap. 7, p. 357 a 362)



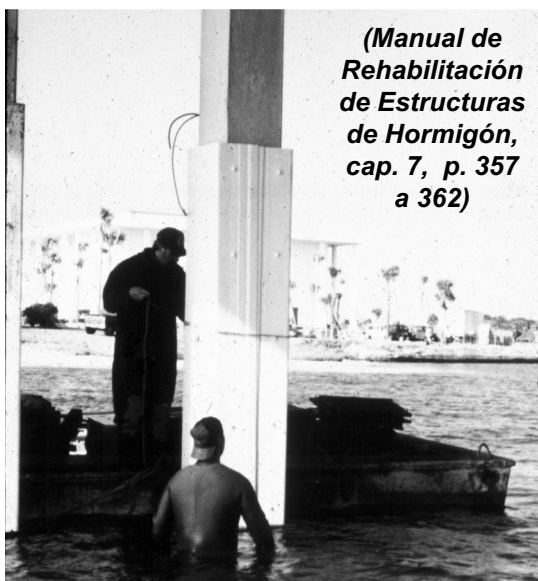
21

ENCAPSULACIÓN DE PILOTES CON ÁNODO DE MALLA DE CINC

- EL MOLDE SE COLOCA ALREDEDOR DEL PILOTE Y EL ESPACIO ANULAR SE FUNDE CON MORTERO

- CONEXIÓN A LA ARMADURA SE ESTABLECE FUERA DEL ENCAPSULAMIENTO

(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, cap. 7, p. 357 a 362)



22

REPAROS



**Protección catódica tipo
galvânica con corriente impresa**

Realcalinización eletroquímica

**Extracción eletroquímica de
cloruros**

23

Reforço de Estruturas de Concreto (*pesquisa*)

24

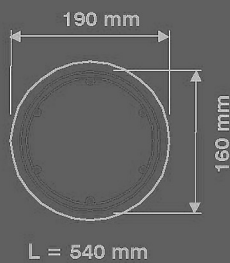
Confinamento ou cintamento de pilares

25



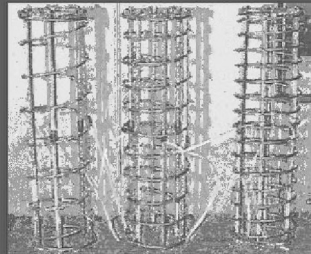
26

ENSAIO DE PILARES DE SEÇÃO CIRCULAR (concretos de classe C15, C30, C45 e C60)



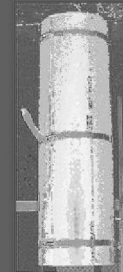
Armadura longitudinal

- 6 Ø 8,0 mm c = 540 mm
- 6 Ø 10,0 mm c = 540 mm
- 6 Ø 12,5 mm c = 540 mm



Armadura transversal

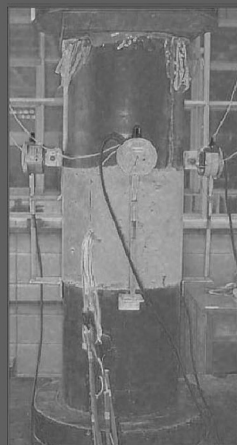
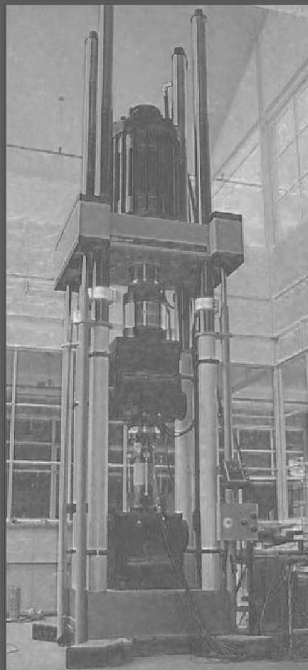
- Ø 5,0 mm c/ 30 mm
- Ø 5,0 mm c/ 50 mm
- Ø 5,0 mm c/ 70 mm



Fôrma de PVC

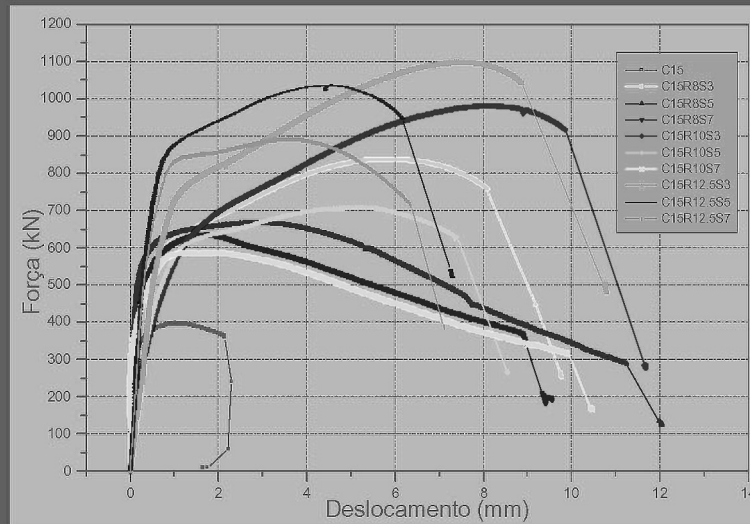
27

ENSAIO MONOTÔNICO À COMPRESSÃO AXIAL



28

EXEMPLO DE DIAGRAMA FORÇA-DESLOCAMENTO: concreto de classe C15



29

$$f_c \rightarrow 1.6 \text{ a } 2.75$$

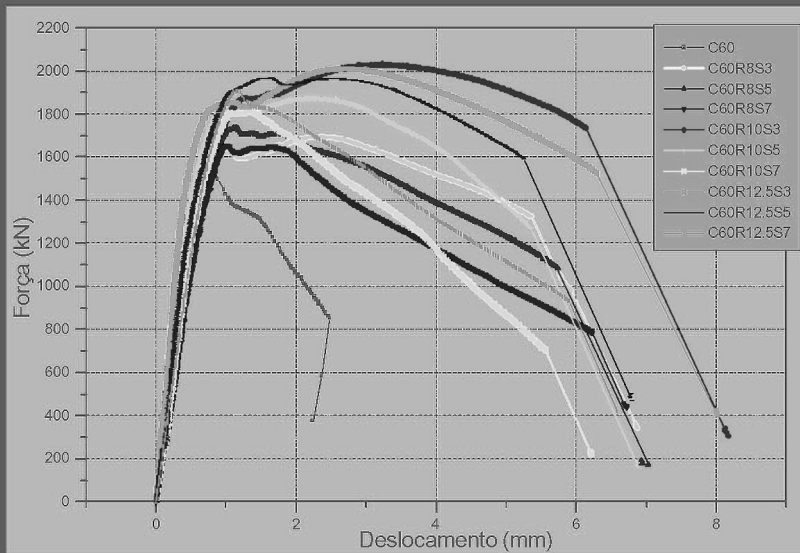
$$\frac{F_{\text{cint}}}{F_{\text{arm}}} = 1.25 \text{ a } 1.75$$

$\downarrow$
 $\phi = 12.5$

$\downarrow$
 $\phi = 8.0$

30

EXEMPLO DE DIAGRAMA FORÇA-DESLOCAMENTO: concreto de classe C60



31

$$f_c \rightarrow 1.05 \text{ a } 1.35$$

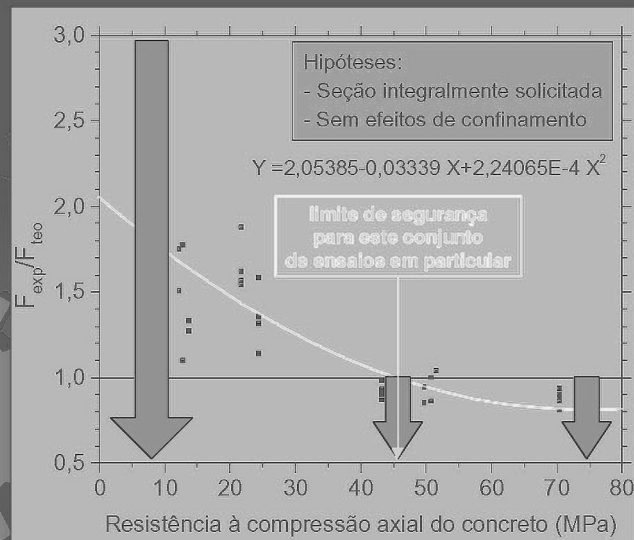
$$\frac{F_{cint}}{F_{arm}} = 1.05 \text{ a } 1.15$$

$$\phi = qq \quad \phi = qq$$

32

CÁLCULO TEÓRICO CONSIDERANDO SEÇÃO PLENA

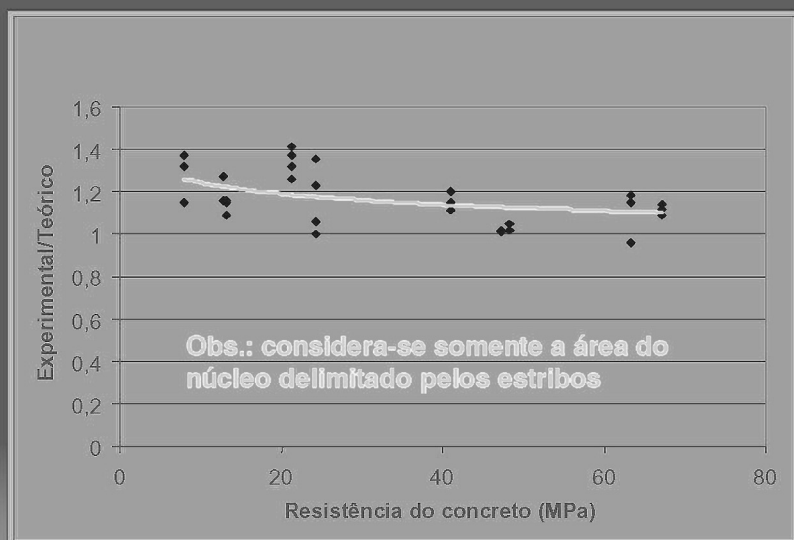
$$F_{u,teo} = A_{c,liq} f_{cm} + A_s f_{ym}$$



33

CÁLCULO TEÓRICO CONSIDERANDO O CONFINAMENTO

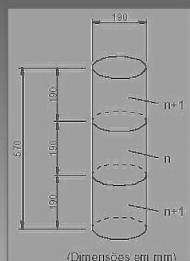
Modelo de CUSSON & PAULTRE (1995)



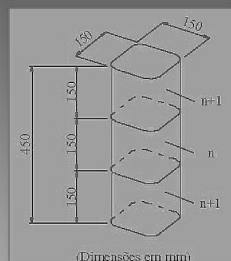
34

CONFINAMENTO DE PILARES COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO

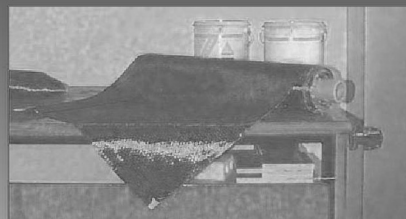
Ensaio de modelos com seção circular e quadrada



seção circular



seção quadrada



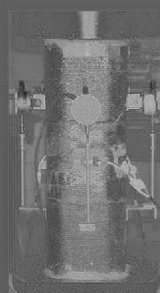
TECIDO SIKAWRAP[®] HEX-230 C

COLAGEM COM SIKADUR-330

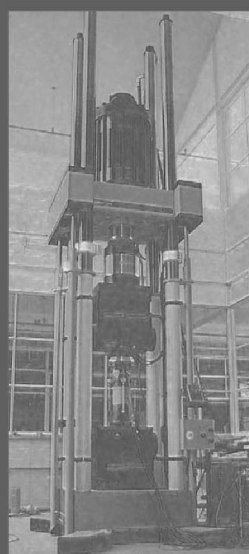


35

CONFINAMENTO DE PILARES COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO

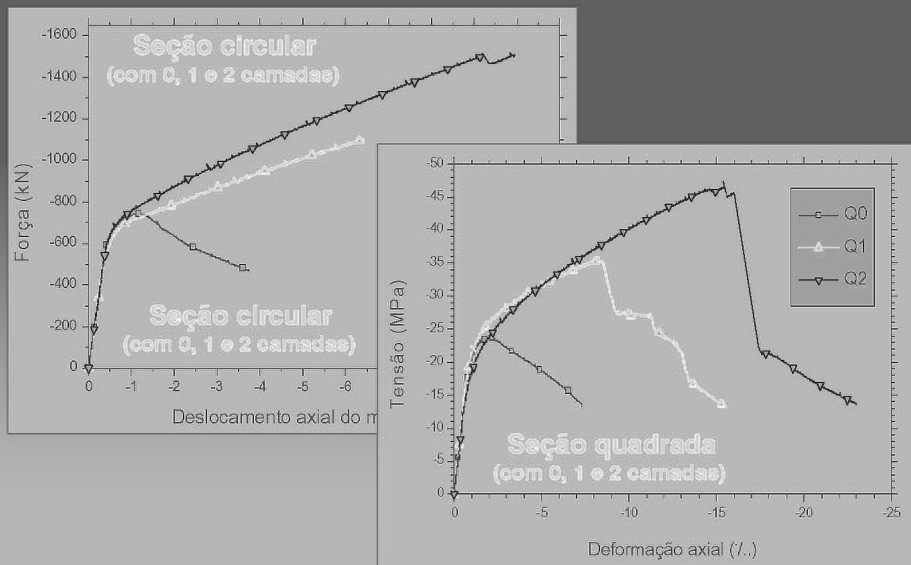


Concreto C20



36

ALGUNS RESULTADOS DE ENSAIOS



37

CONFINAMENTO DE PILARES COM COMPÓSITO DE FIBRA DE CARBONO

CONCLUSÕES PARCIAIS:

- processo eficiente de confinamento;
- propicia aumento linear de resistência e ductilidade, mas a ruptura final é frágil;
- toda a seção transversal de concreto trabalha, inclusive a camada de cobrimento;
- mais eficiente em concretos menos resistentes e mais deformáveis;
- no caso de seção quadrada, a eficiência é menor, com alguma perda de linearidade.

38

Postes de Concreto Armado Centrifugado 30m a 60m

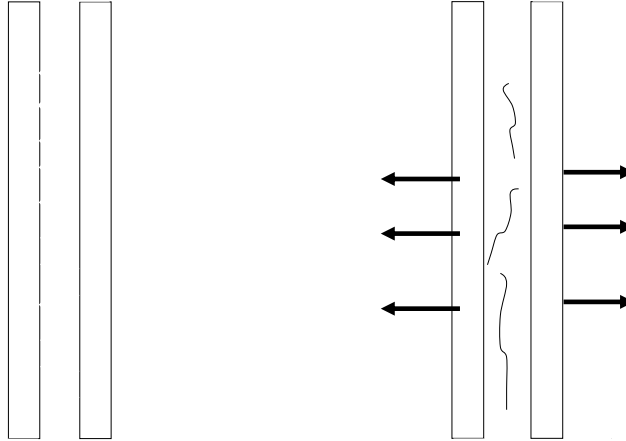


39



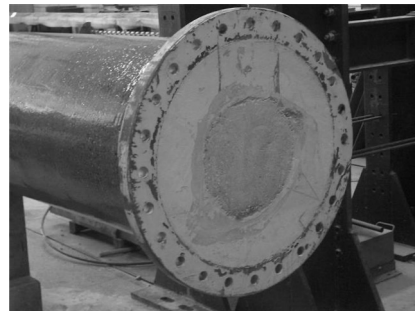
40

Diagnóstico – consequências



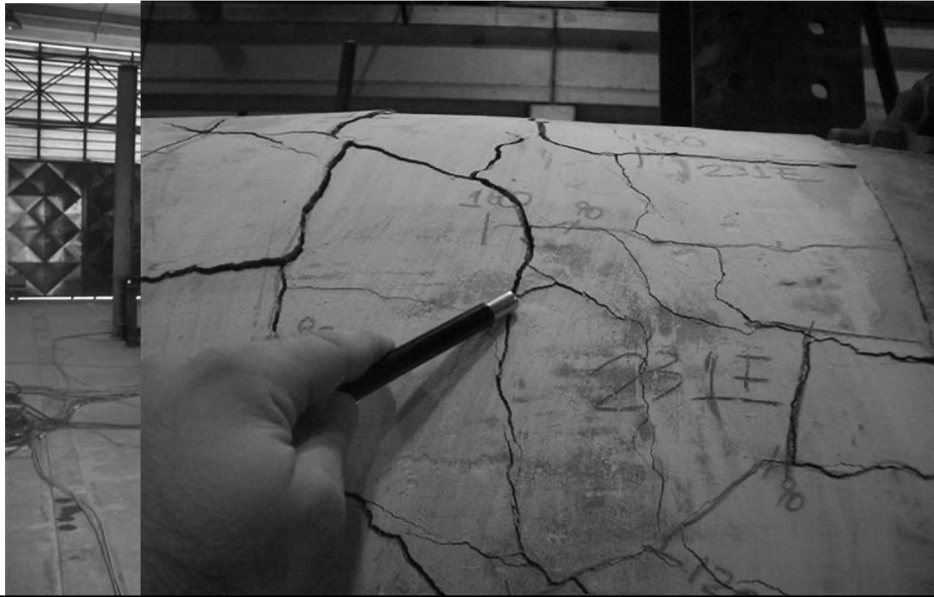
41

Ensaio cíclico



42

Ensaio cíclico



43

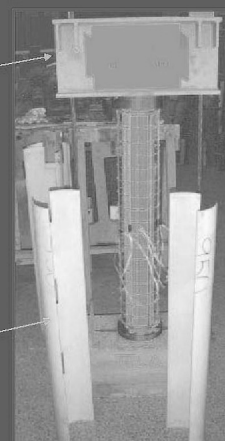
Pré-carregamento dos pilares e concretagem da camisa sob carga



Reforço do pilar de seção quadrada

ancoragens
trave de reação
célula de carga
cordoalhas de protensão
fôrma para concretagem da camisa

NÍVEL DE PRÉ-CARREGAMENTO:
44% a 67% da resistência



Reforço do pilar de seção circular

44

(Manual de
Rehabilitación
de Estructuras
de Hormigón,
cap. 8,
Procedimiento
s de refuerzo
de columnas,
vigas, losas,
cimentación,
p. 377 a 443)

CONCLUSÕES

REFORÇO DE PILARES:

- a resistência do núcleo pode ser sempre considerada, desde que haja adequado confinamento;
- o pré-carregamento não altera a capacidade resistente final, mas pode alterar a deformabilidade;
- camisa de concreto de alta resistência: deve-se prover uma armadura transversal de maior capacidade para aumentar a ductilidade e o cobrimento desta armadura deve ser desprezado;
- camisa de concreto de baixa resistência: a armadura transversal pode estar próxima da mínima recomendada e a resistência do cobrimento pode ser eventualmente considerada;
- a armadura transversal dos pilares de seção quadrada deve ser mais densa.

45



Reabilitação

de pilares

flat residence

Alphaville SP

46



47



48

Cesar Park Hotel

Alphaville SP → 2001

building in construction $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

actual f_{ck} (cores analysis) = 19 MPa

**big concern → 7 floors in construction
over this basement floor**

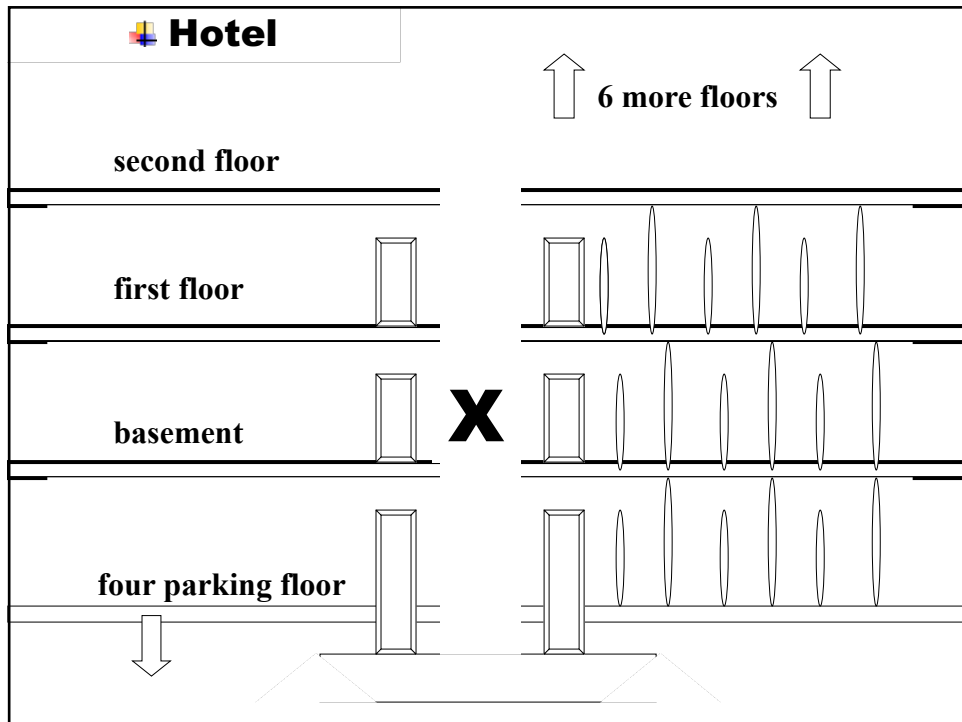
49

Rome Park Hotel

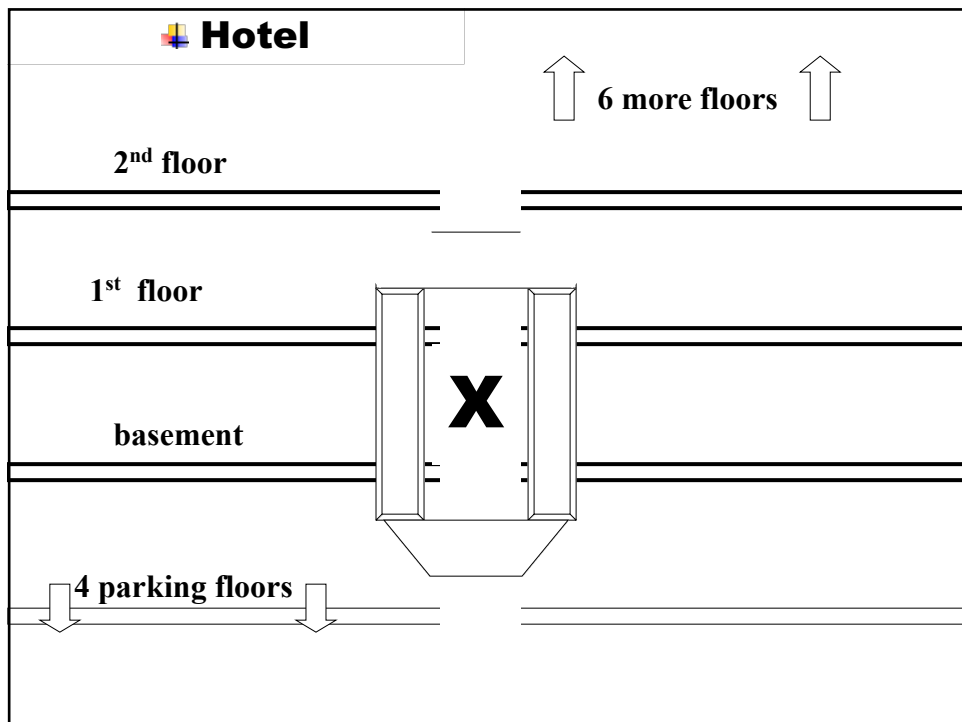
Solution:

- demolish 7 columns, about 7 m³**
- *false work slabs and beams (no)***
- *new foundations (no)***
- transfer these columns to metallic
temporary columns**
- reconstruct the concrete columns**

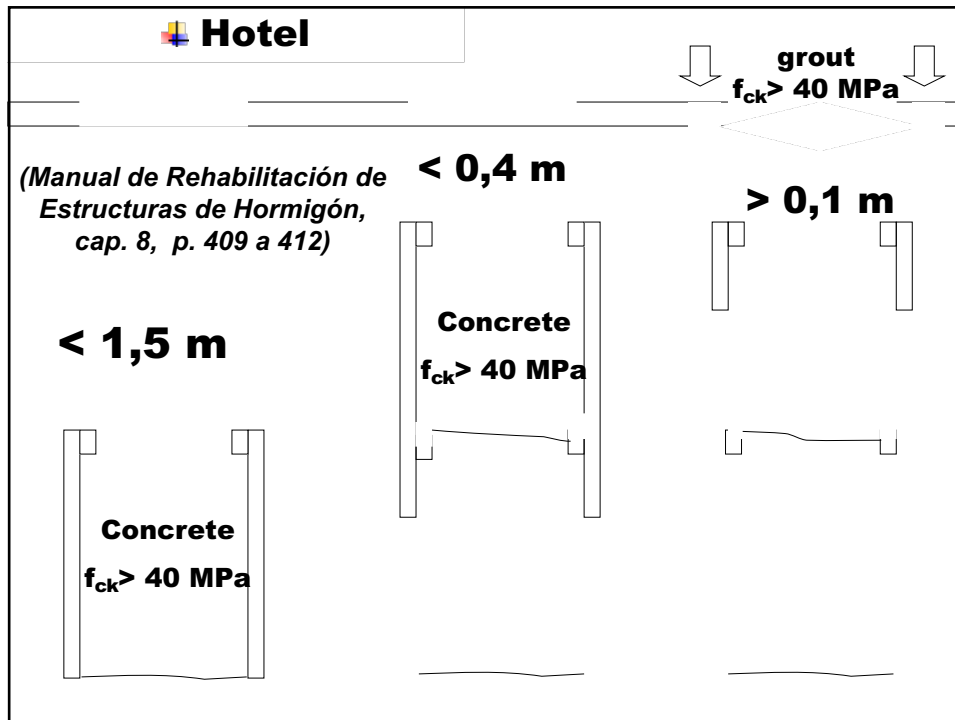
50



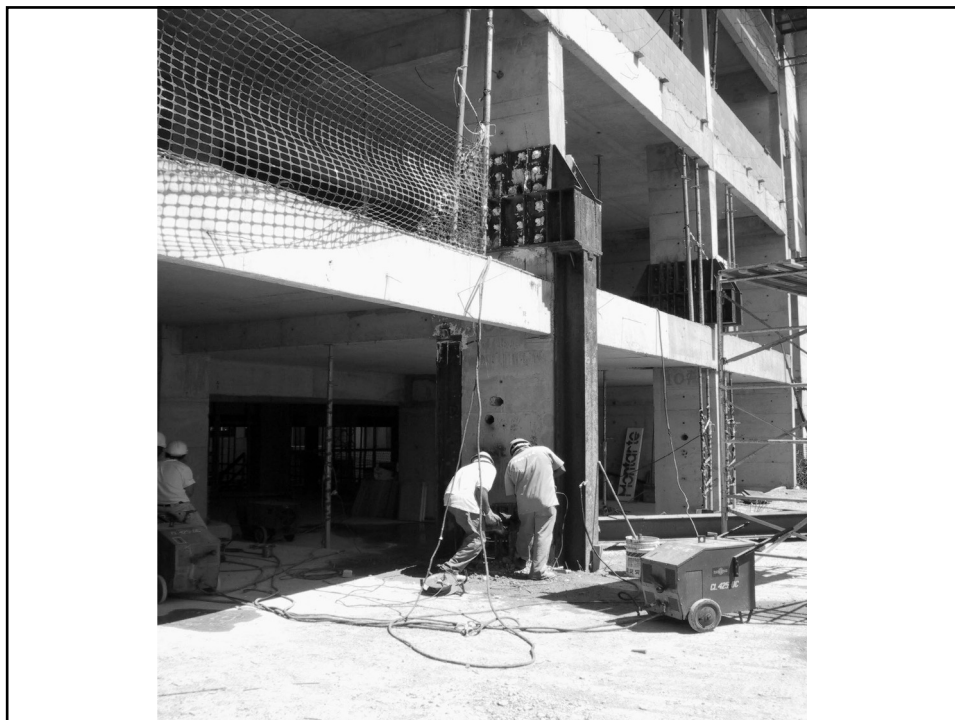
51



52



53



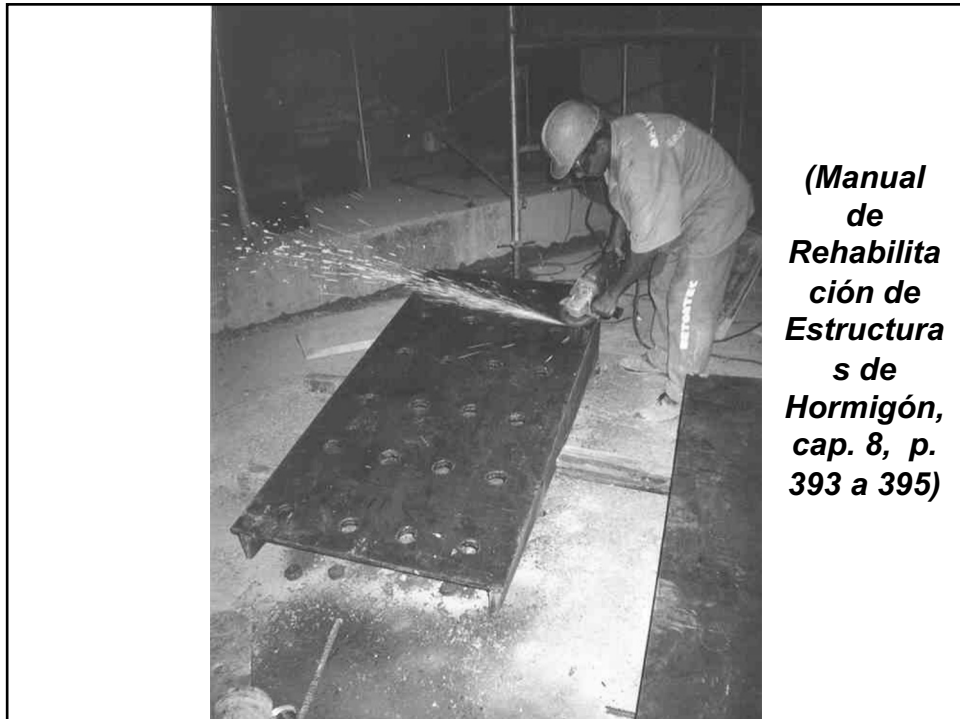
54



55



56



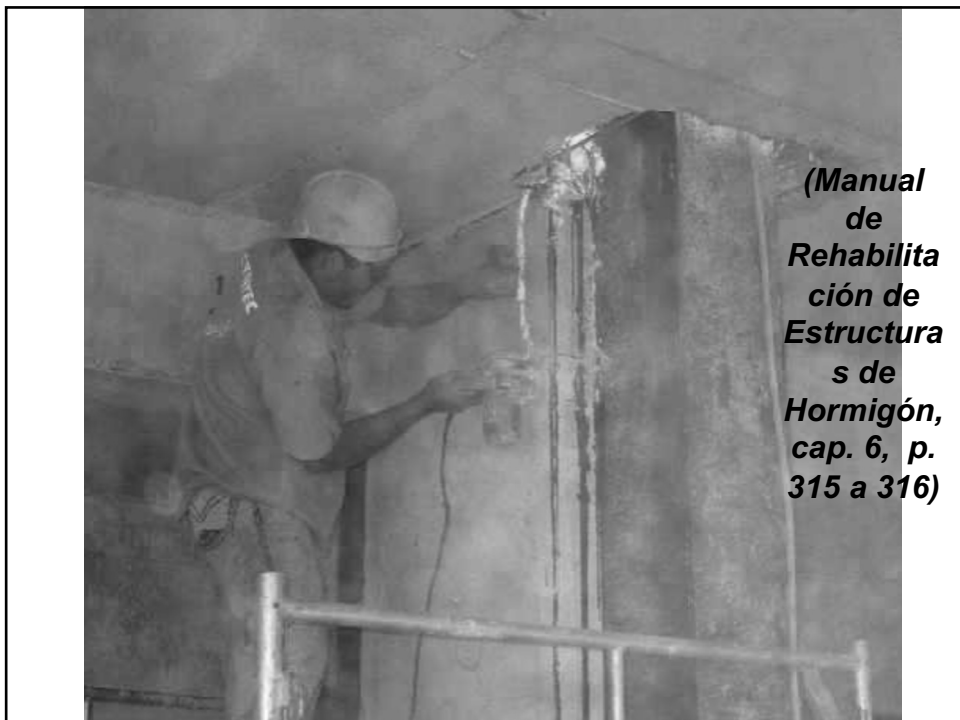
57



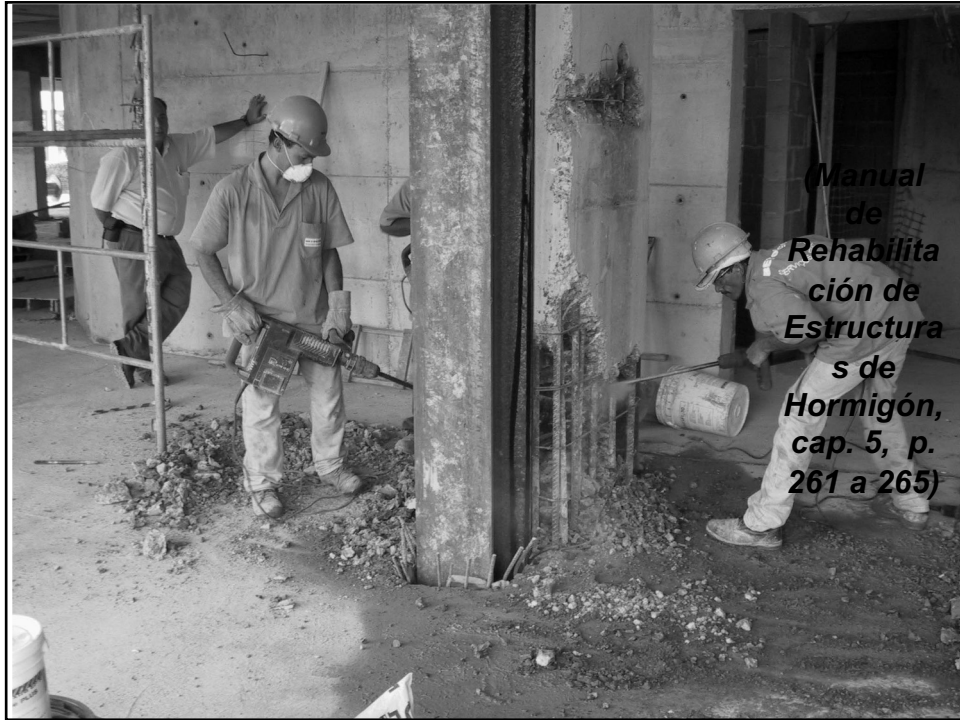
58



59



60



61



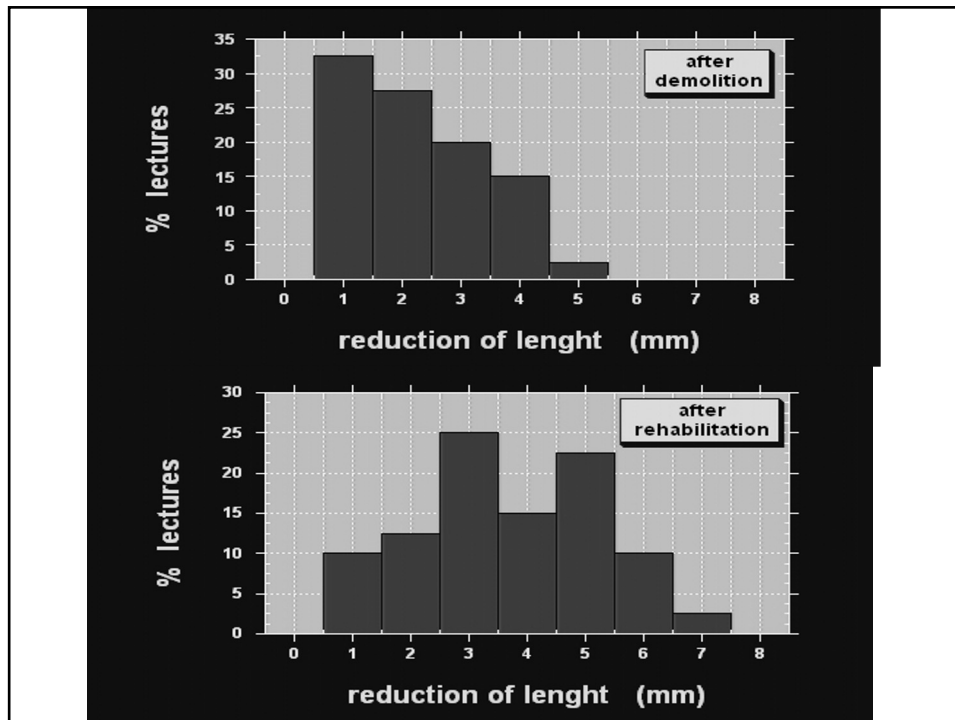
62



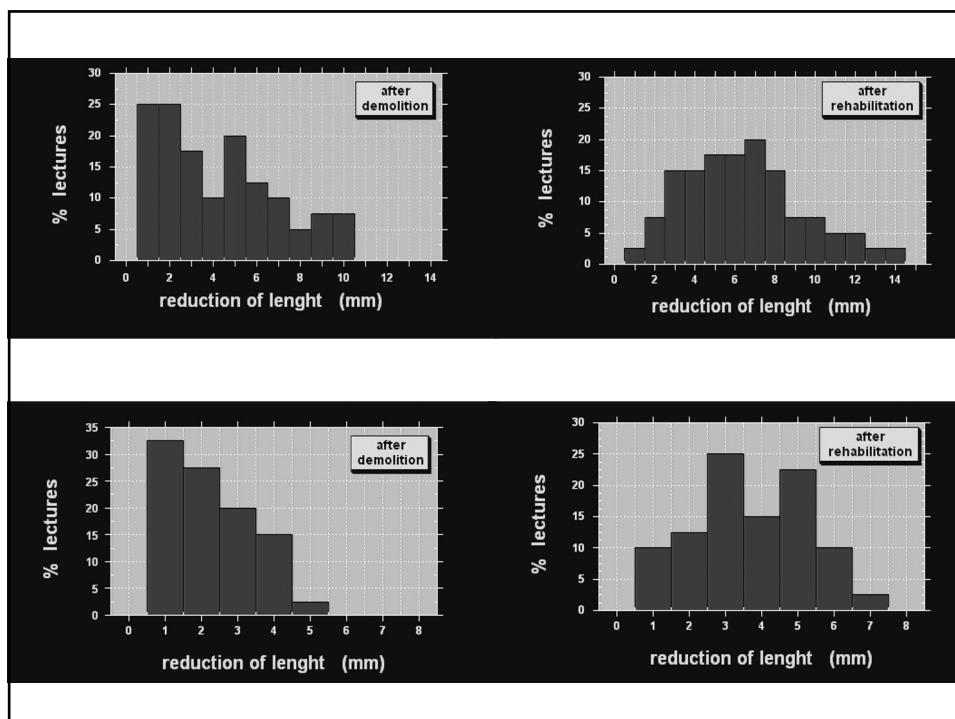
63



64



65



66



67



68



69



70



71



72

Indice	
	Introducción Paulo Helene Brasil
1	Acciones sobre estructuras de hormigón Raul Husni Argentina
2	Orientación para el diagnóstico Vitero O'Reilly Cuba Enio Pazini Brasil

73

Indice	
3	Orientación para selección de la intervención Antonio Aguado España
4	Materiales y sistemas Oladis de Rincón Venezuela
5	Preparación del substrato Harold Muñoz Colombia

74

Indice	
6	Procedimientos de reparación Gaby Quesada Peru
7	Procedimientos de protección contra corrosión Arlindo Silva Portugal Marta Castellote España

75

Indice	
8	Procedimientos de refuerzo Hugo Barrera Chile
9	Procedimientos de protección y mantenimiento de estructuras Jorge Franco Uruguay Fernanda Pereira Uruguay

76

Indice	
10	Composición unitaria de precios Paulo Helene Brasil
11	Control y calidad de la recepción Pedro Castro Mexico
	Glosario Gaby Quesada Peru Pedro Castro México

77

Ejemplo
Reparación localizada

78



**fisuras típicas de
corrosión de la armadura**

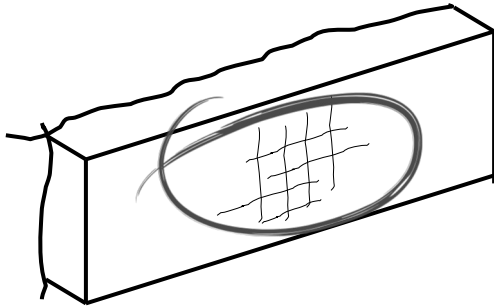
79



fisuras típicas de corrosión de
la armadura

80

Reparación superficial localizada



diagnostico

corrección

materiales

preparación

procedimientos

mantenimiento

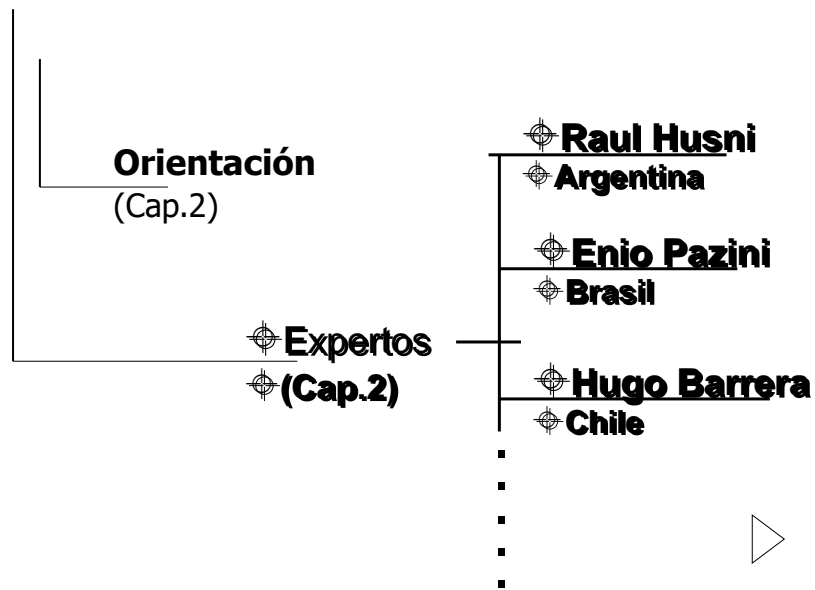


81

2. Orientación para el diagnóstico

82

Problema?



83

Fisuras de corrosión

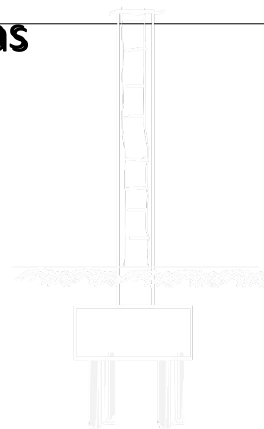
Manifestaciones típicas



viga



losa



columna

84

Fisuras de corrosión

⊕ recubrimiento
insuficiente

Diagnóstico

⊕ carbonatación

⊕ cloruros

⊕ mala ejecución
del hormigón
(coqueras)

⊕ hormigón con
elevada
permeabilidad y/o
porosidad

85



carbonatación

86

Fisuras de corrosión

⊕ recubrimiento
insuficiente

Diagnóstico



carbonatación

⊕ cloruros

⊕ mala ejecución
del hormigón
(coqueras)

⊕ hormigón con
elevada
permeabilidad y/o
porosidad

87

3. Orientación para la selección de la intervención

88

Fisuras de corrosión

Alternativas para corrección

✓ **Protección catódica
corriente impresa**

89



Fisuras de corrosión

Alternativas para corrección

- ✓ **mortero o *grauting* base cemento modificado
con polimeros**
- ✓ **mortero o *grauting* base epoxidica**
- ✓ **mortero o *grauting* base poliester**
- ✓ **mortero o hormigón gunitado**
- ✓ **Realcalinización electroquímica**

90

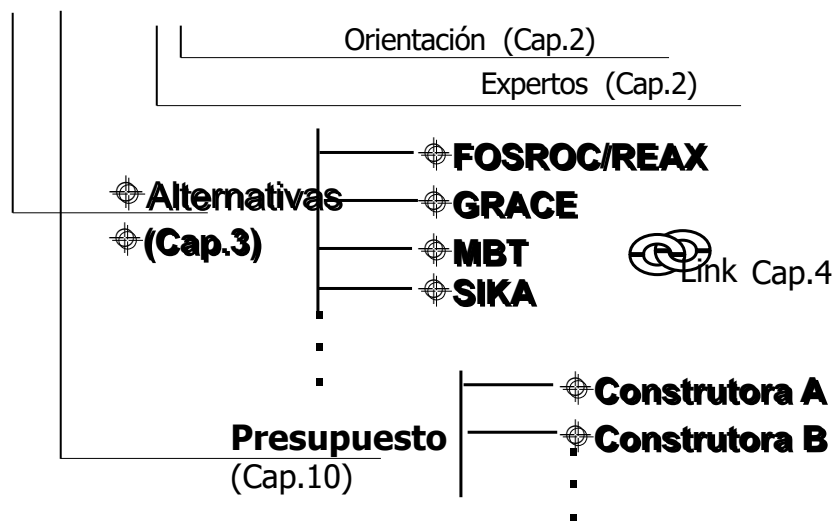
Fisuras de corrosión

Alternativas para corrección

- ✓ mortero o *grauting* base cemento modificado con polimeros
- ✓ mortero o grauting base epoxidica
- ✓ mortero o grauting base poliester
- ✓ mortero o hormigón gunitado
- ✓ Realcalinización electroquímica

91

Problema?



92

Fisuras de corrosión

Alternativas para corrección



mortero o *grauting* base cemento modificado con polimeros



mortero o grauting base epoxidica



mortero o grauting base poliester



mortero o hormigón gunitado



Realcalinización electroquímica

93

4. Materiales y sistemas



94

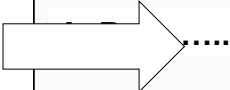
Reparación localizada

Material	Producto	Espesor (cm)	Substrato
mortero polimerico base cemento	A, B, C, ...	$0,5 < e < 2,5$	saturado con sup. seca
mortero base epoxídica	A, B, C, ...	$0,5 < e < 1,5$	sup. seca chorro de aire
mortero base poliéster	A, B, C, ...	$0,5 < e < 1,5$ *	sup. seca chorro de aire



95

Reparación localizada

Produto	Contorno	Acabamento	Cura
	$> 0,5$ cm $> 1,0$ cm pisos	desempenad. madeira, feltro, aço	úmida 7d sem radiação 36h
A, B, C,...	0,5 cm	desempenad. aço	sem radiação 5h
A, B, C,...	0,5 cm	desempenad. aço	sem radiação 5h

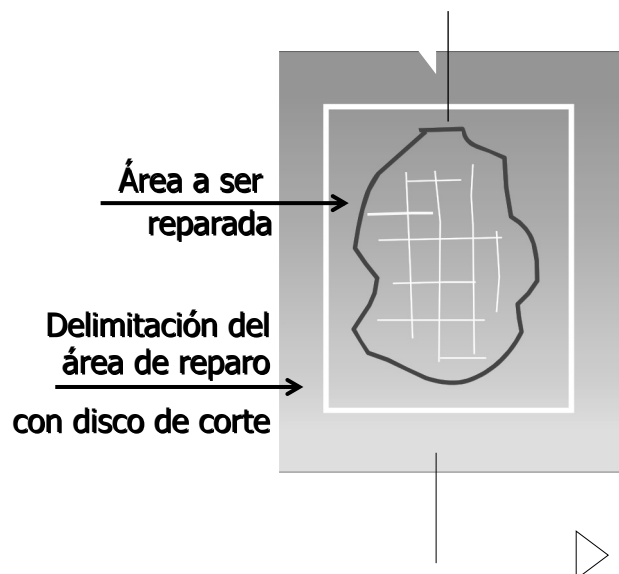
96

5.

Preparación del substrato

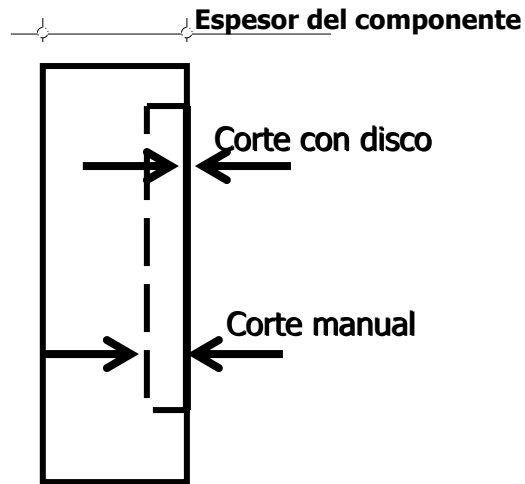
97

Reparación localizada



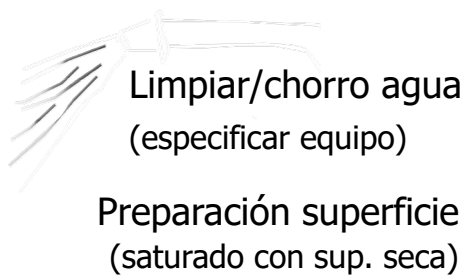
98

Reparación localizada



99

Reparación localizada



100

6.

Procedimientos de reparación

101

Reparación localizada



Cap. 4, 5, 9

Aplicar puente de adherencia

(cfe. espec. Cap. 4)

Aplicar mortero

(especificar procedimiento

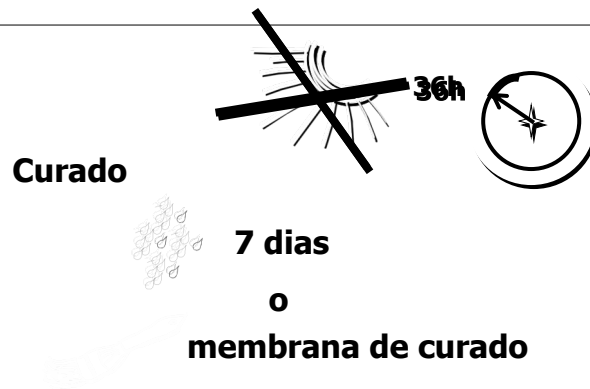
Acabamento pintura) verniz

(especificar procedimiento

especificar material Cap. 4 y 9)

102

Reparación localizada

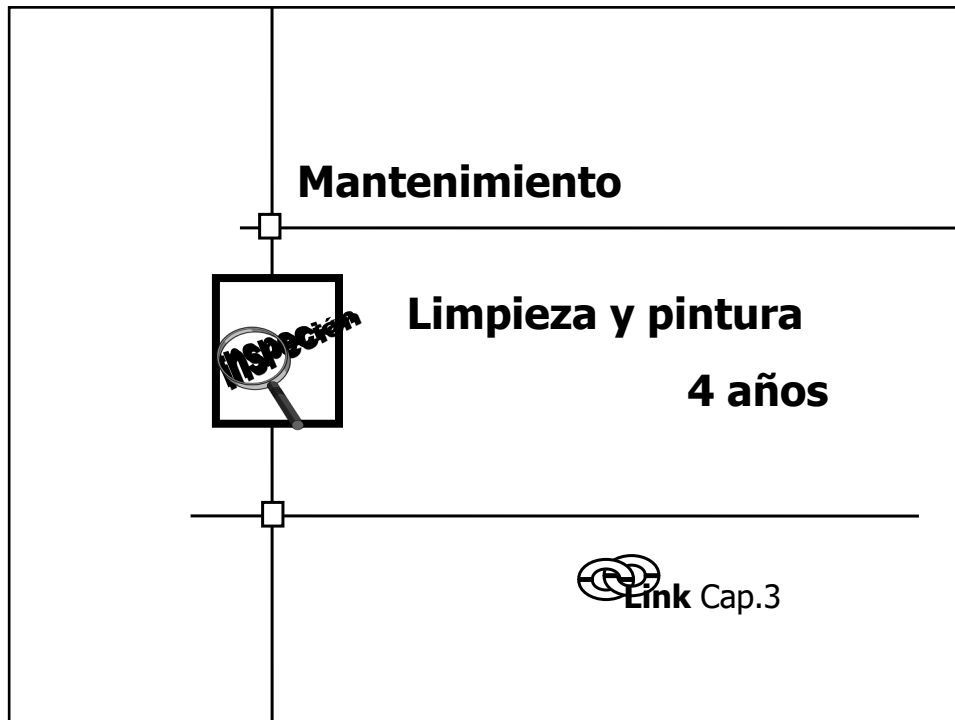


103

9.

Procedimientos de protección y mantenimiento de estructuras

104



105

11.

Control de calidad y de recepción

106

	críterios de recepción
	muestreo de materiales
	control de uso
	control de consumo
	control de MDO
	lista de chequeo

107

10.

Composición unitária de precios

108

Fisuras de Corrosión (carbonatación)

Reparación localizada

***mortero* base cemento modificado con polimero**

- ☐ demolição do concreto
- ☐ limpeza e preparo de la superficie
- ☐ aplicación mortero
- ☐ acabamento, curado

109

Mortero <i>base cemento</i>				
modif. polimero (m ²) (1<e<3cm)				
Insumo	Un.	Coef.	\$ Uni.	\$Tot.
MDO	Pedreiro	H.h	3,00	
	Servente	H.h	1,50	
	Leis sociais	%	134,0	
Subtotal MDO				
MAT	Fornecimento & preparo argam.	kg	52,00	
	Subtotal MAT			
Precio unitario				
Benefícios/despesas indiretas(%)			29,33	
Valor unitario por m²				\$\$\$\$\$

110