

**UFRN** *Curso sobre Diagnóstico e* **universidade**  
*Reabilitação de Estruturas de* **Potiguar**  
*Concreto*

## **Reabilitação de Estruturas Pontes e Edifícios**

**Ing. Paulo Helene**  
*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo PCC.USP*  
*Deputy Chairman of fib (CEB-FIP) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"*  
*Chairman of Red REHABILITAR CYTED*  
*Director of GLARilem*  
*Diretor Conselheiro do IBRACON*

**7-9 Outubro 2002**      **SINDUSCON, Natal, Rio Grande do Norte**      **BRASIL**

1



**Red REHABILITAR**      **Red XV.F**

**Programa XV**  
**Corrosión e Impacto Ambiental sobre los Materiales**

**CYTED**  
**Ciencia y Tecnología para él Desarrollo**

**15 países**      **más de 45 expertos**

**Manual de Rehabilitación de Estructuras**  
**(Reparación, Refuerzo y Protección)**

**[www.rehabilitar.pcc.usp.br](http://www.rehabilitar.pcc.usp.br)**

2



**Universidade de São Paulo**

**Escola Politécnica**

**Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil**

**Maestría y Doctorado**

**Materiales, Construcción, Estructuras, Medio  
Ambiente, Cimentaciones, Urbanización, Gestión  
Económica y de Producción**

**[www.poli.usp.br](http://www.poli.usp.br)**

**[www.pcc.usp.br](http://www.pcc.usp.br)**

3

## **Casos Reales**

- Edifício de Oficinas**
- Luxury Hotel**
- Residence Park Hotel**
  
- Puente Leonel Viera**
- Puente Paulo Guerra**

4



# Edifício de Oficinas

*Brasília*

8



9

## Headquarters Building

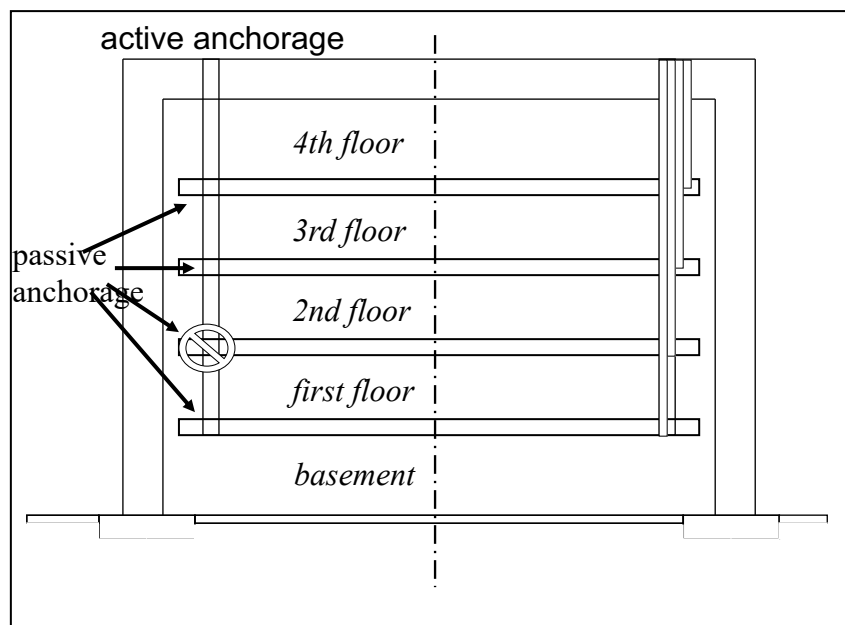
Brasília → 1998

4 años → edificio de oficinas  $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

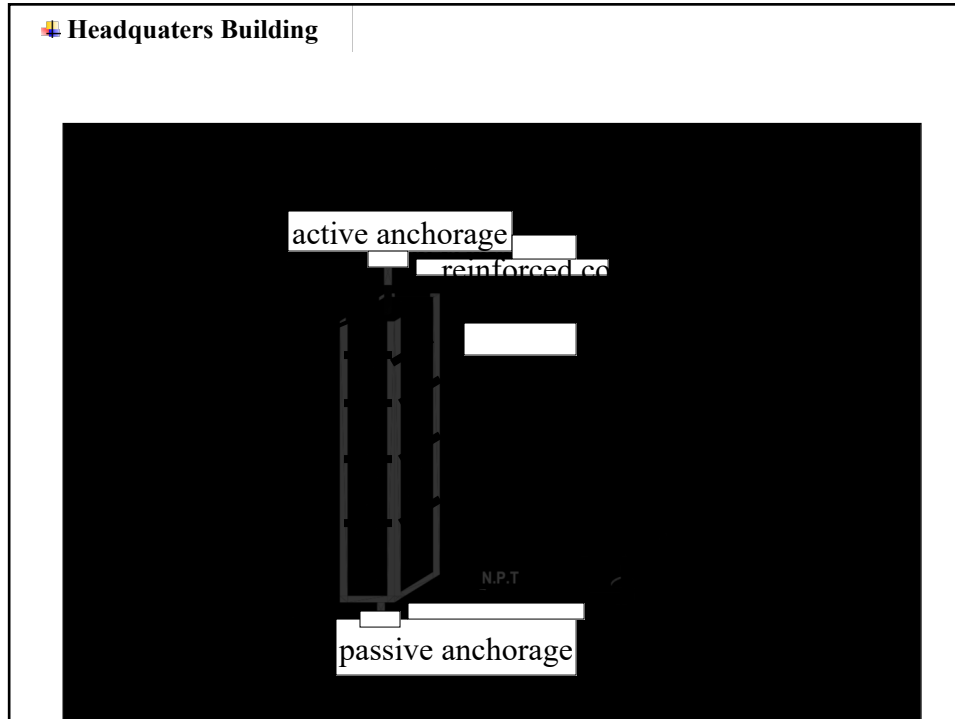
4 Julio uno cable colapsa → ruido enorme  
 → la losa inclina → mesas y caderas  
 resbalan → usuarios huyen  
 → preocupación general

10

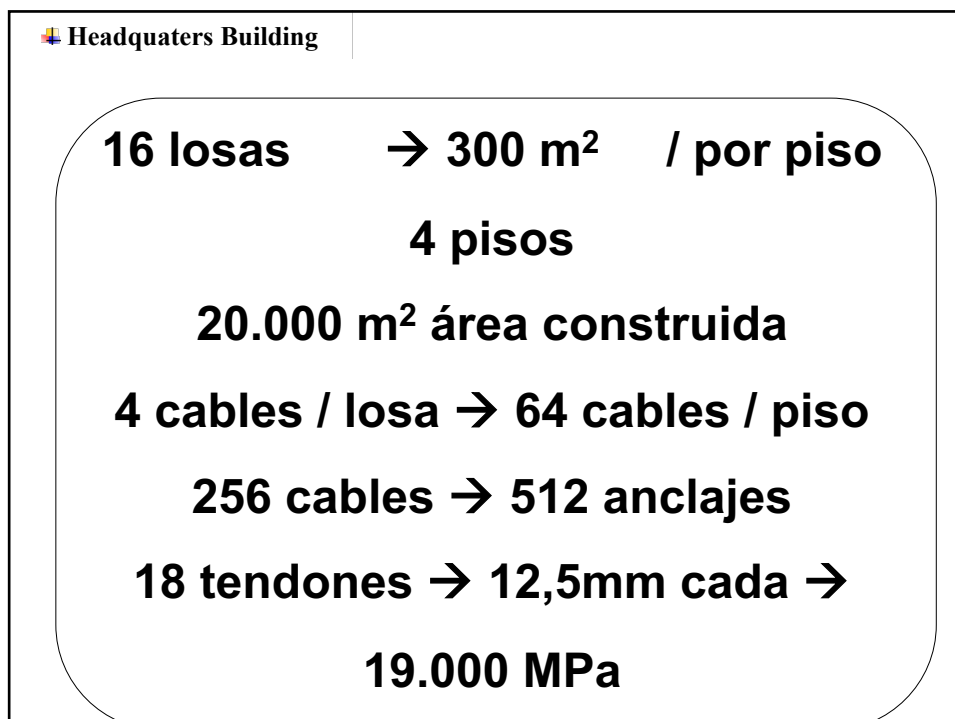
## Headquarters Building



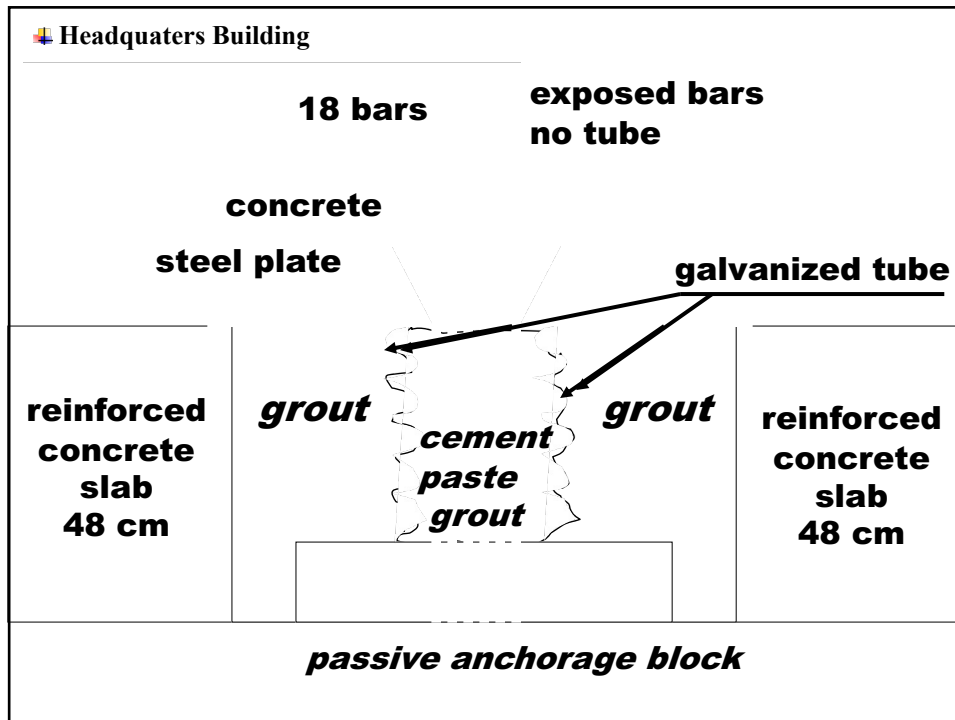
11



12



13



14

Headquarters Building

## Inspección y Diagnóstico

- 14 anclajes inspeccionadas
- $i_{\text{cor}} = 2,25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  perda de masa
- 36% presentava corrosión ~ 2,5 cm
- 2 anclajes, 2 barras colapsadas
- $i_{\text{cor}}$  from 0,01 to 0,96  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
- $E_{\text{cor}}$  from -50 to - 400 mV
- $\text{Cl}^-$  0,06% concreto to 0,54% grout

15

Headquaters Building

## Conclusión

**alto riesgo de  
corrosión en los  
demás cables**

**→ error de diseño**  
**→ materiales con Cl<sup>-</sup>**

16

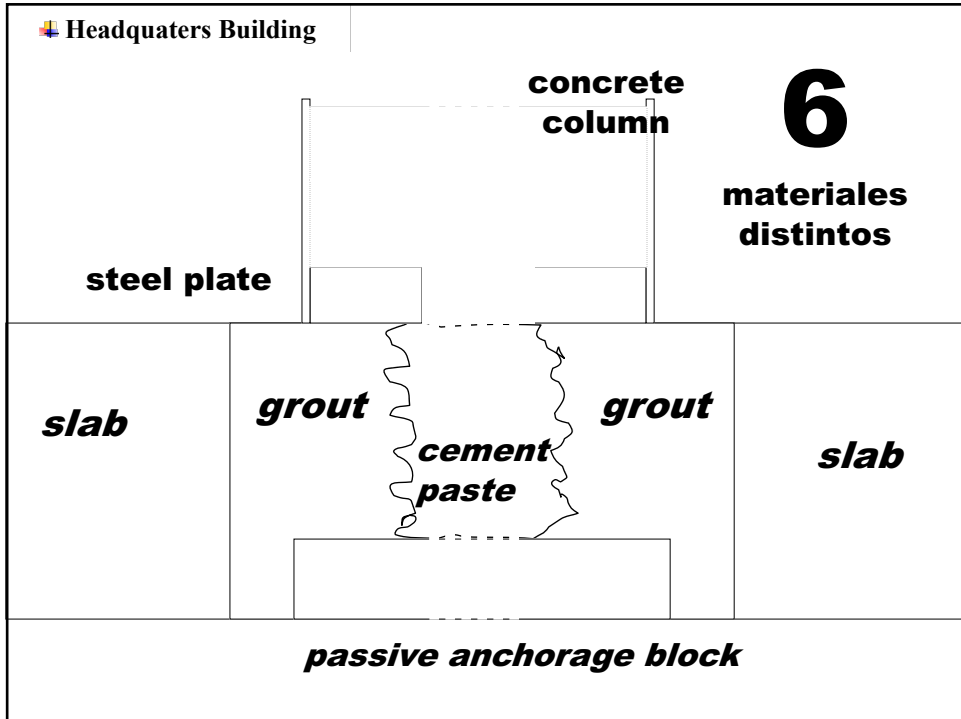
Headquaters Building

## Solución

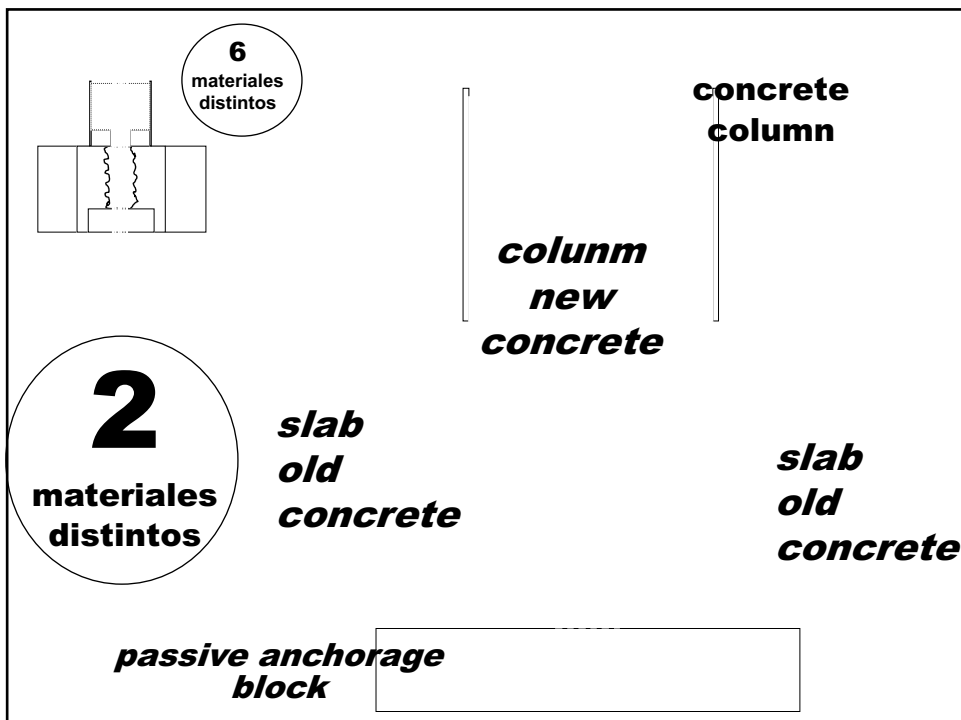
**nuevos anclajes  
para todo**

**\$ 9,5 veces  
él costo inicial**

17



18



19



 **Luxury  
Hotel**

***São Paulo***

20



21



22

✚ Luxury Hotel

**São Paulo → 2002**

**edificio en construcción  $f_{ck} = 50$  MPa**

**efectivo  $f_{ck}$  (testigo analisis) = 21 MPa**

**desafio → 4 pisos en construcción  
por encima de este  
3<sup>rd</sup> piso de aparcamiento**

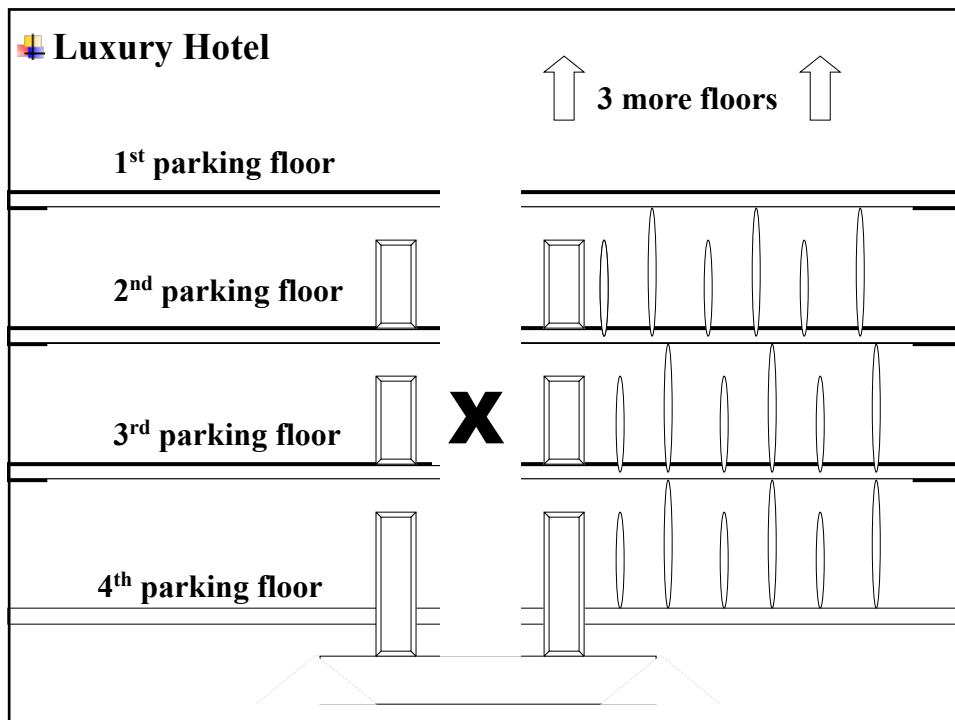
23

 Luxury Hotel

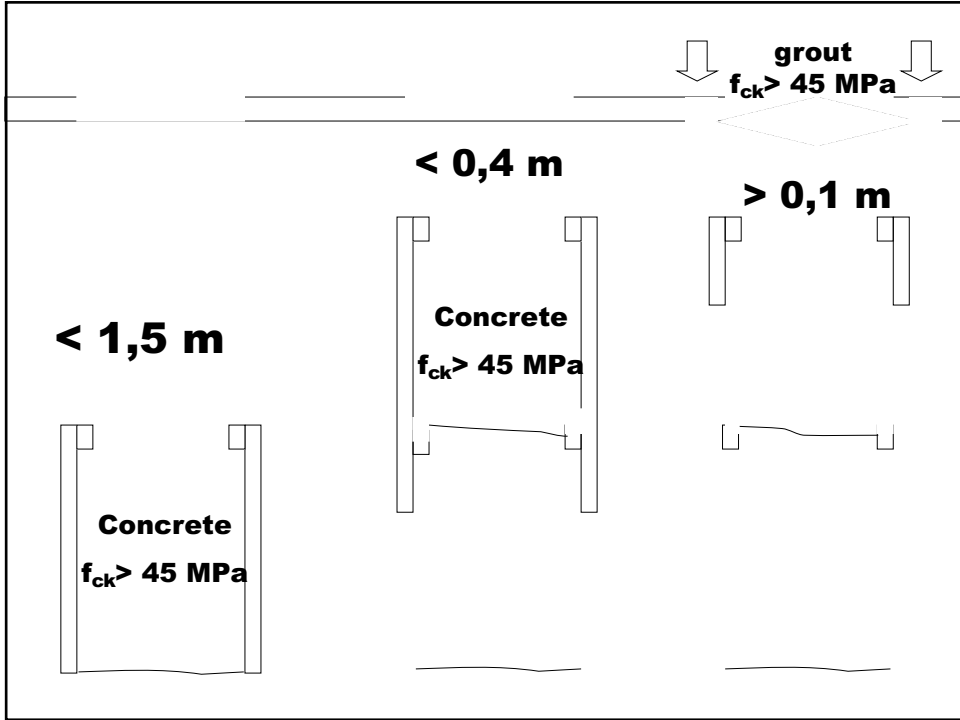
## Solución

- **demoler 14 columnas, cerca de 16 m<sup>3</sup>**
- **cimbrar losas y vigas de los 4<sup>th</sup>, 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> pisos de parqueo**
- **transferir a columnas metálicas temporáias**
- **alargar la cimentación**
- **reconstruir las columnas de hormigón**
- **retirar las columnas metálicas**

24



25



26



27



28



29



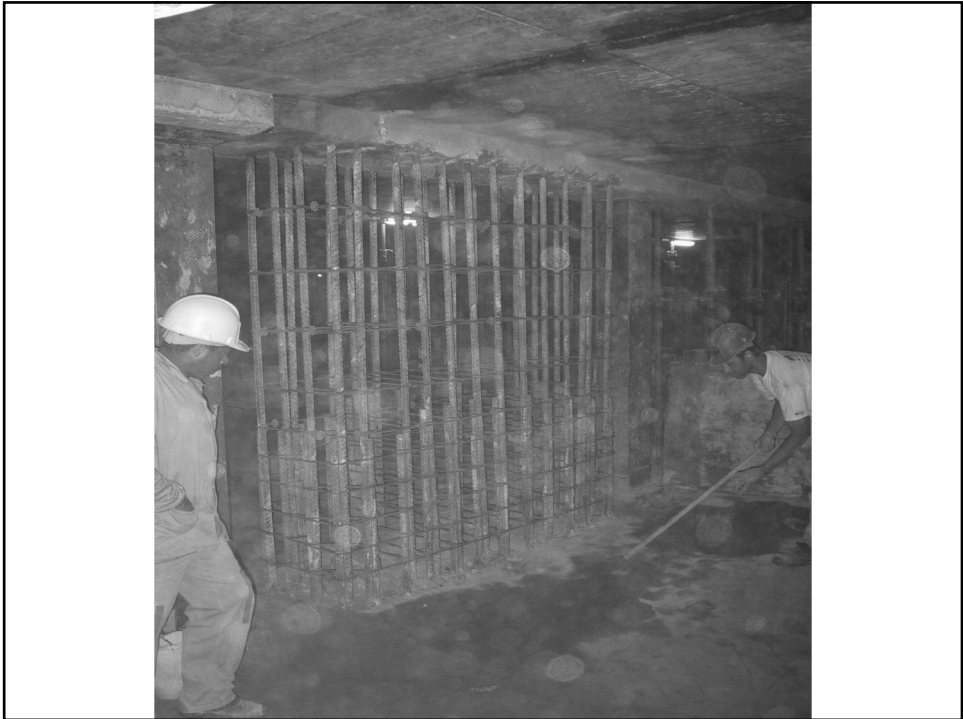
30



31



32



33

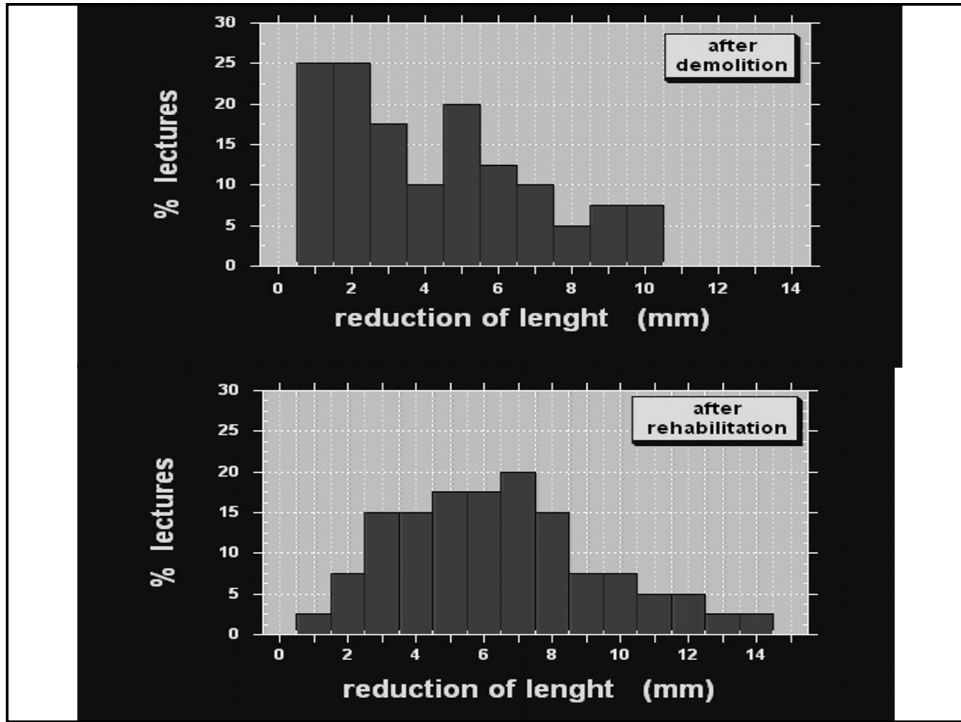


34

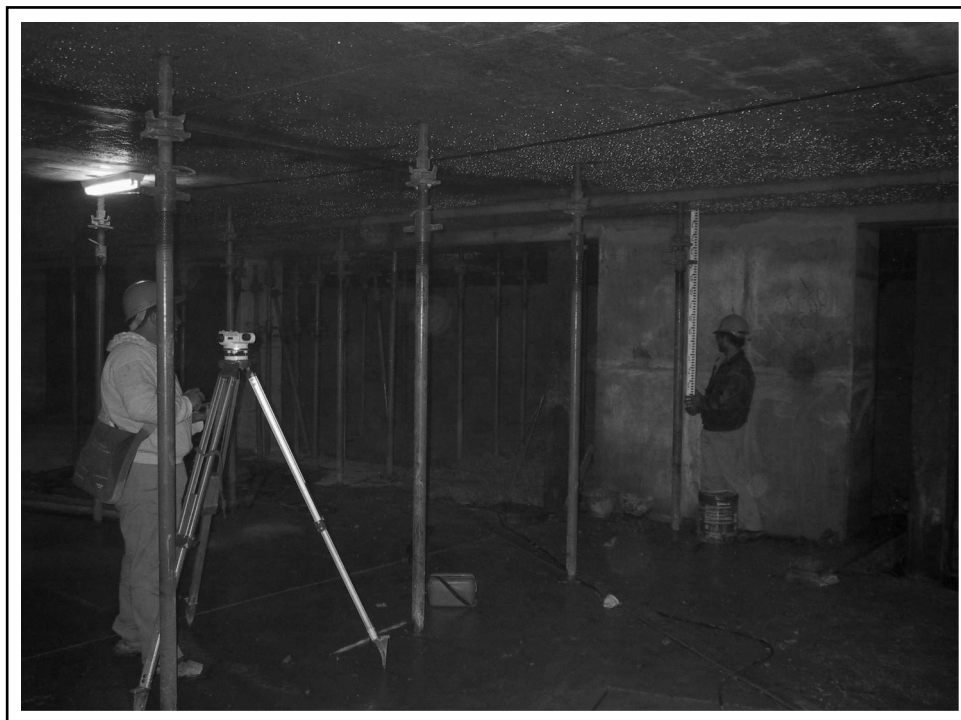


35





36



37



38



39



# **Residence Park Hotel**

***Alphaville SP***

40



41



42

🚧 Residence Park Hotel

**Alphaville SP → 2001**

**Edificio en construcción       $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$**

**efectivo  $f_{ck}$  (testigo analisis) = 19 MPa**

**desafio → 7 pidos en construcción sobre  
esta planta baja piso**

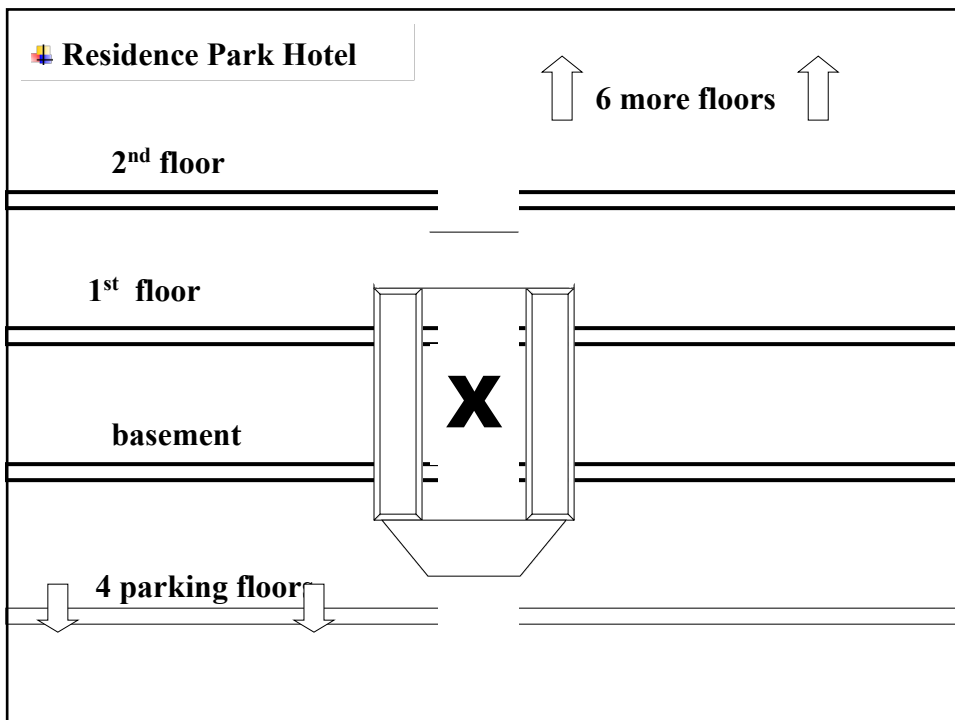
43

Residence Park Hotel

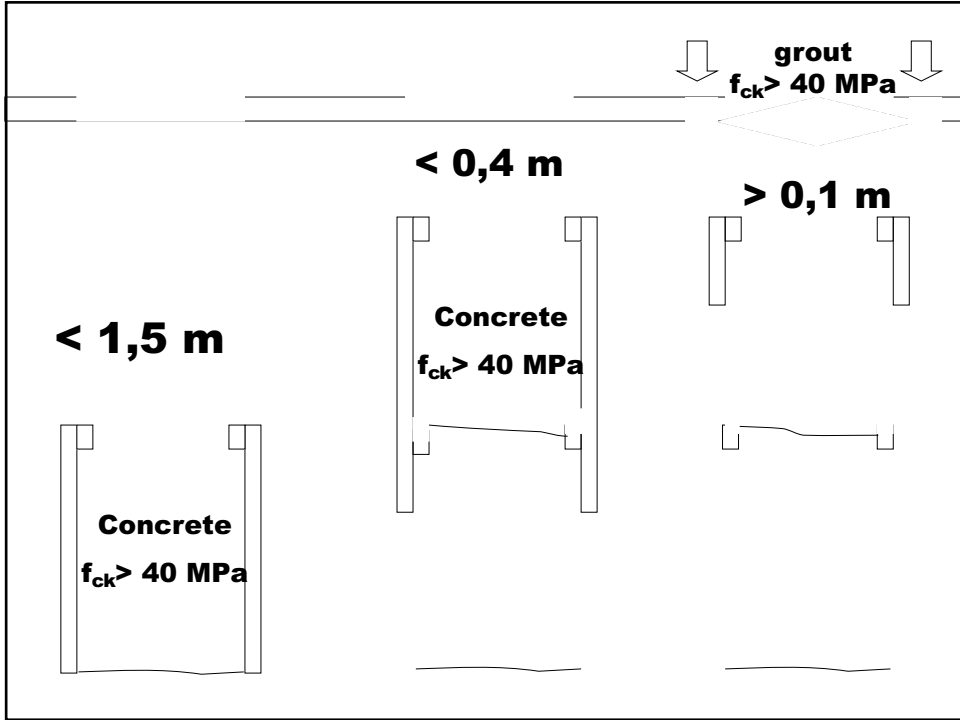
## Solución

- **demoler 7 columnas, cerca de 7 m<sup>3</sup>**
- ***cimbrar losas e vigas !!!***
- ***alargar cimientos!!!***
- **transferir a columnas metálicas temporarias**
- **reconstruir las columnas de concreto**

44



45



46



47



48



49



50



51





52



53



54



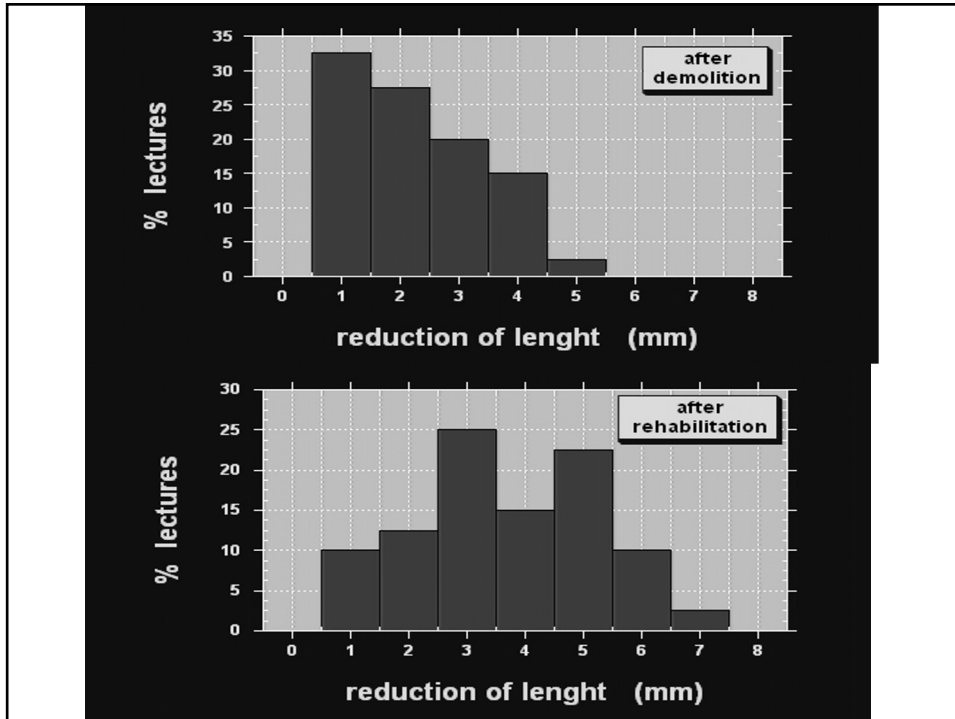
55



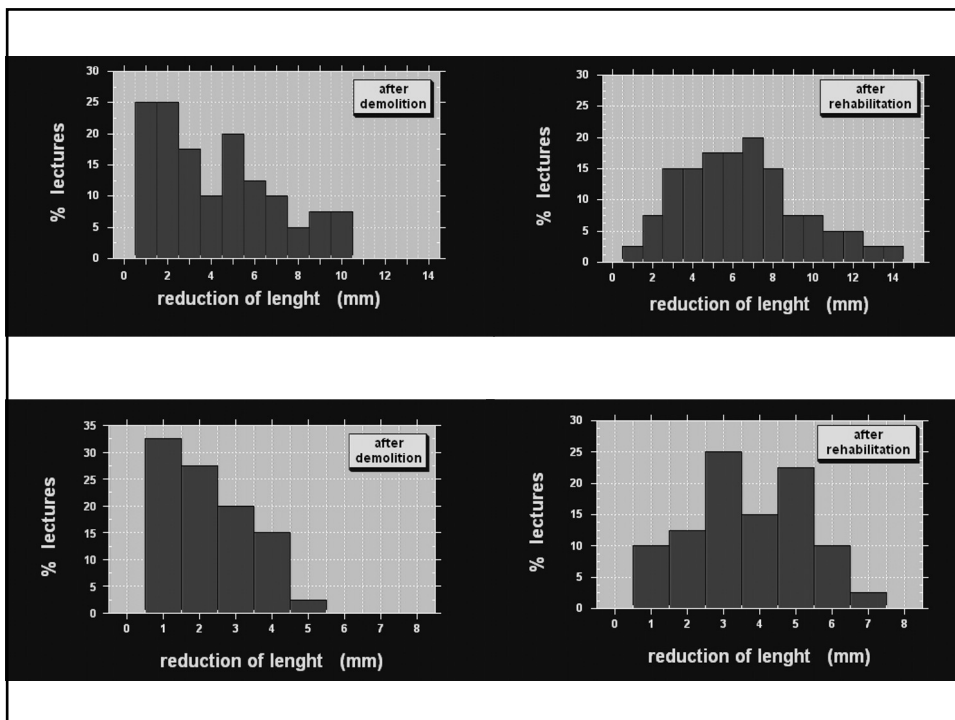
56



57



58



59



60



61



62



63



64

 **Puente**  
**Leonel Viera**  
*Punta del Este*  
*Uruguay*

65



66

#### 🚧 Leonel Viera Bridge

- **Diseño y construcción de 1962 e 1963  
Leonel Viera**
- **Eng<sup>a</sup>. Susana Garcia del MTOP proceso  
tipo "banda tesada"**
- **Arroyo Maldonado, Punta del Este y La  
Barra**
- **estructura viga tipo cajón con 5  
"longarinas"**
- **$f_{ck} = 32,5 \text{ MPa}$**

67



### 🚧 Leonel Viera Bridge

- **Cables de acero galvanizado de la casa Roebling utilizados para exterior**  
**- puentes golgadas -**
- **reaccionar con cemento**  
 **$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{liberar H}^+$**
- **hidrógeno nascente**
- **corrosión fragilizante del acero**

68



69



70



71



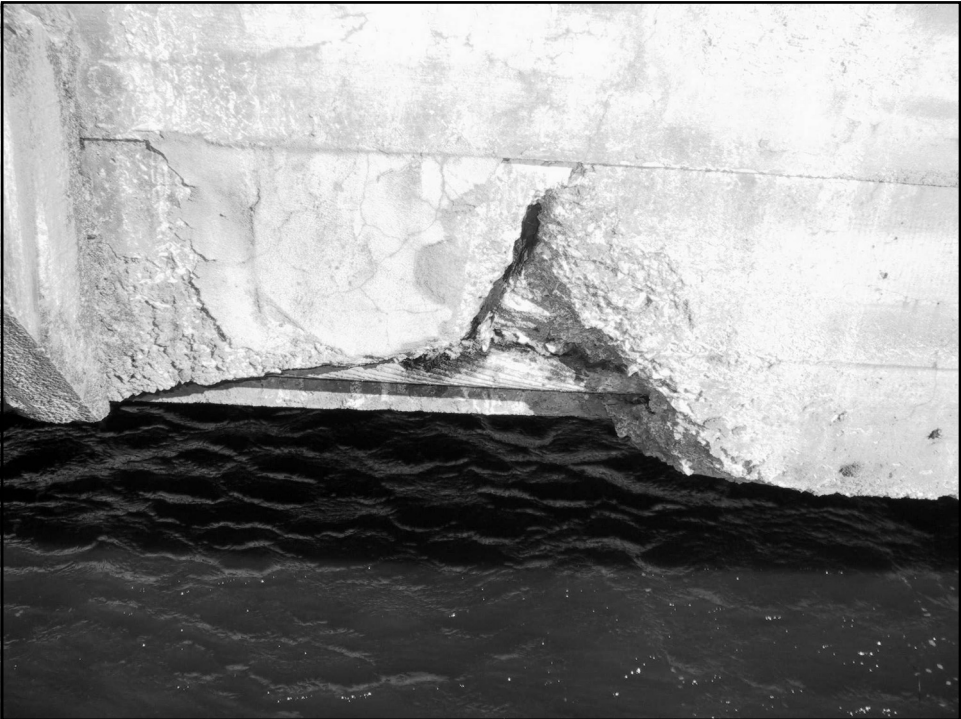
72



73



74



75



76



77

🚧 Leonel Viera Bridge

## Diagnóstico

- **corrosión de armaduras**
- **estructura segura (*cimientos, encepados, losas, vigas*)**
- **cables galvanizados OK pueden seguir dentro del concreto**
- **falta modernizar (*aceras, drenages, guard rail, ...*)**

78



79

 Leonel Viera Bridge

## Solución

→ **reparar con morteros base cemento modificados con polímeros**

→ **abrir todos los cajones (ventanas de inspección)**

→ **modernizar**

80

# **Puente Paulo Guerra**

***Recife  
Pernambuco***

81



82



83



**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
 *antecedentes*

**Ubicación:**

**Recife Pernambuco**  
**sobre una Bahía fuera de la**  
**zona de “splash”**

**Construido: 1977- 1980**  
**22 a 25 años**

84

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
 *antecedentes*

**Infra-estructura:**

**Encepado**



**$f'_c = 15 \text{ MPa}$**

**Superestructura:**

**Tablero de concreto armado**



**$f'_c = 21 \text{ MPa}$**

85

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
*fenómenos esperados*

**corrosión de cabillas**

**lixiviación urbana e industrial**

**expansión por sulfatos**

**acciones mecánicas**

86

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
*Agresividad Ambiental*

Análisis del Agua

<b>pH = 7,5</b>	<b>Cl<sup>-</sup> = 14.000 mg/L</b>
<b>Mg<sup>++</sup> = 900 mg/L</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>++</sup> = 1.900 mg/L</b>

87

## Ponte “ Gob. Paulo Guerra ” Agresividad Ambiental

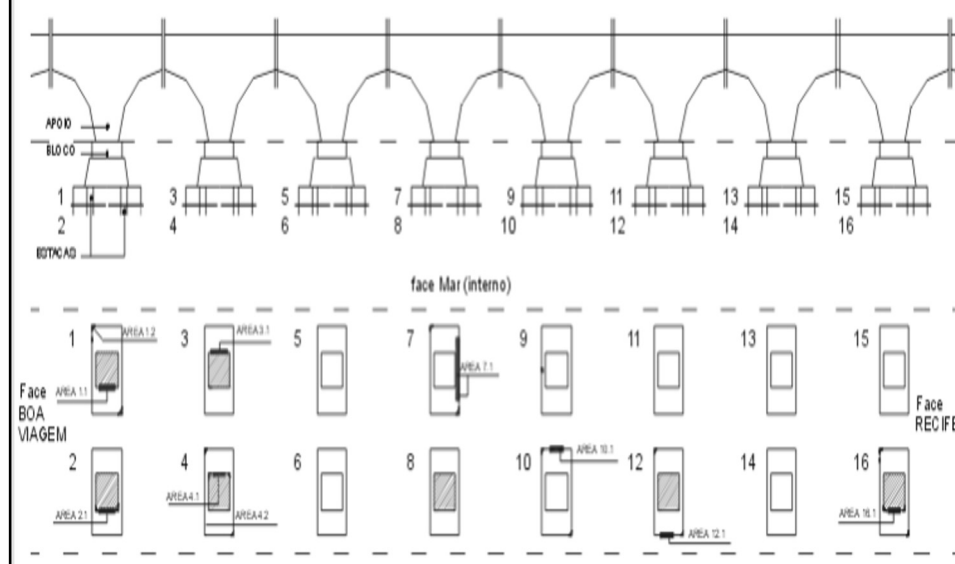
### Núcleos (testigos) de Hormigón

**SO<sub>4</sub><sup>++</sup> en el Hormigón = 0,35% a 0,62%**

**SO<sub>4</sub><sup>++</sup> en el Hormigón = 0,59% p/ 3% gipso**

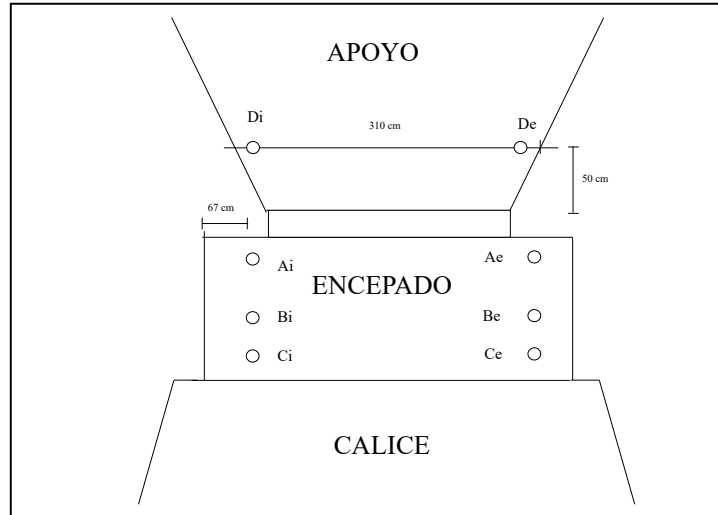
88

## Ponte “ Gob. Paulo Guerra ” Representación esquemática de las áreas inspeccionadas



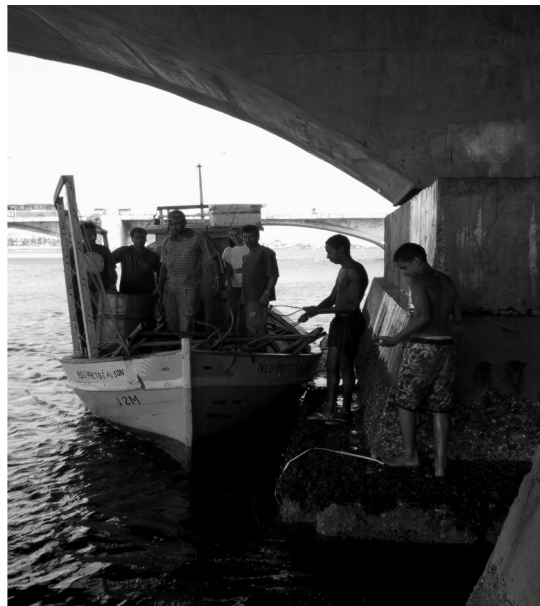
89

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
Diseño esquemático del sistema de fundaciones



90

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
🚧 *Inspección*



91

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
**🇺🇷 Inspección**



Deterioro del aparato de apoyo

92

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
**🇺🇷 Inspección visual**



Super-estructura: Tablero de H.A

93



95

## Puente " Gob. Paulo Guerra "

### 🇨🇷 *Inspección*

→ recubrimiento       $\mu$  25mm     $\sigma$  2,6mm

→ carbonatación      < 12mm

→  $E_{\text{corr}}$                       10 - 450 mV

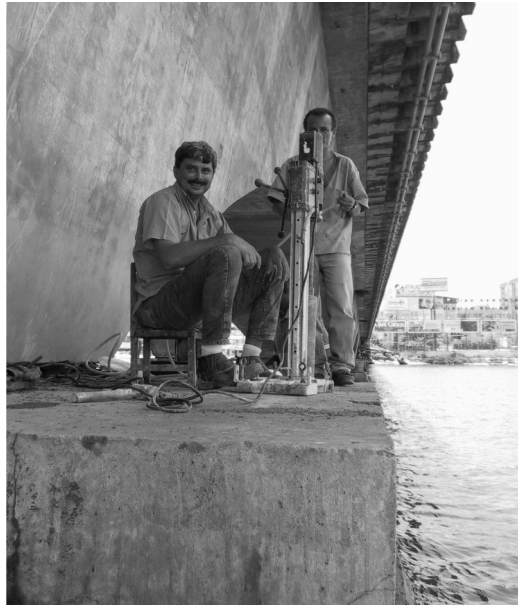
→  $i_{\text{corr}}$                         0,07 - 0,31  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

96



97

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
🚧 *Inspección: extracción de testigos*



98

# Puente " Gob. Paulo Guerra "

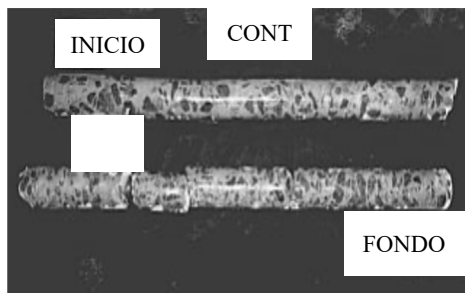
## Inspección



99

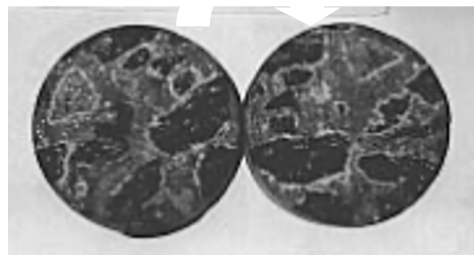
## Inspección

### *extracción de testigos para análisis petrográfico*



Reacción álcali-arido

Testigo vertical del encepado N 4



100



## Puente “ Gob. Paulo Guerra ”

### *Inspección*

#### análisis petrográfico microscópico



**“evidencia de reacción álcali-árido”**

**“no formación de etringita secundaria”**

101

## Puente “ Gob. Paulo Guerra ”

### *Inspección*

→ resistencia  $f'_c$  (nucleos)       $\mu = 28$  MPa

→ módulo de elasticidad      5 - 30 GPa

→ ultrasonido      1500 - 3800 m/s

102



103



104



105

🚧 **Puente Gob. Paulo Guerra “ Soluciones ”**

**corrosión de armaduras**

**“clásica solución de  
cortar, limpiar y  
hormigonar”**

106

**🚧 Puente Gob. Paulo Guerra “ Soluciones ”**

Para los encepados con un grado avanzado  
de reacción alcali-árido

**“nuevas fundaciones, nuevos  
encepados, mantenimiento  
del tablero – nuevo puente!!!”**

107

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”  
• Alternativas**

- ✓ **DEMOLER**
- ✓ **CONSTRUIR OTRA**
- ✓ **SALES DE LITIO**
- ✓ **ZUNCHAR!!!**

108

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**

**Solo confinar los  
bloques con  
fuerzas de  
compresión ???**

**> 8 MPa ?**

109



110



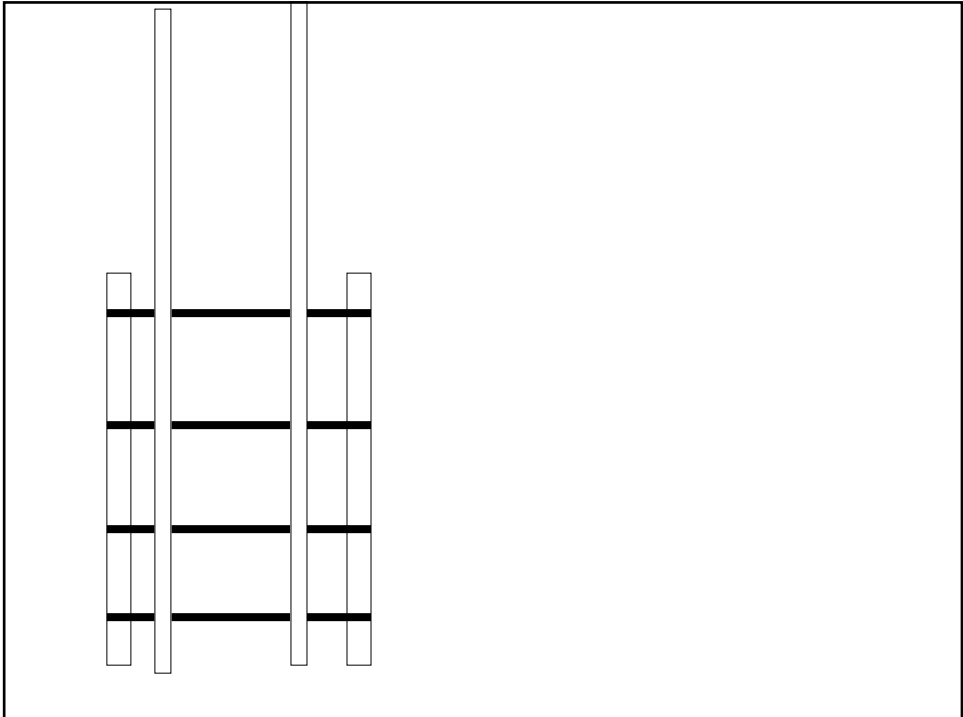
111



112



113



114



115



116





117

## **Correção: “Medicina Curativa”**

- 1. Limpeza Rigorosa;**
- 2. Análise judiciosa da eventual redução de secção;**
- 3. Reconstrução do cobrimento;**

### **DEVE**

- a) Impedir a penetração de umidade**
- b) Reconpor a área da secção original**
- c) Propiciar um meio passivante**

118

## **Correção: “Medicina Curativa”**

### **PROCEDIMENTOS**

- a) Concreto Projetado**
- b) Adesivos + Concreto ou Argamassa normal**
- c) Concretos e Argamassas Poliméricas**
- d) Concretos e Argamassas para grauteamento especiais**
- e) Concretos e Argamassas comuns**