
 <p>SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES <b>SCT</b> INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE</p>	<p><b>IREHABILITARI</b> Red Temática XV.F</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>CYTED</b></p>
<p><b>5º Curso Internacional sobre Corrosión en Puentes y Estructuras Concreto-Metal</b></p> <p><b>Eng. Paulo Helene</b>  <i>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</i></p> <p>I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. a 1º de nov. de 2002</p>	

1

 <p>SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES <b>SCT</b> INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE</p>	<p><b>IREHABILITARI</b> Red Temática XV.F</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>CYTED</b></p>
<p><b>Ejemplos de Casos Prácticos y Uso de Ensayos no Destructivos Inspección Diagnóstico Rehabilitación</b></p> <p><b>Eng. Paulo Helene</b>  <i>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</i></p> <p>I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. a 1º de nov. de 2002</p>	

2



**Red REHABILITAR** **Red XV.F**

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

**CYTED**  
**Ciencia y Tecnología para el 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)**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

3



**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)**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

4

## **Casos Reales**

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

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

5



# **Edificio de Oficinas**

***Brasília***

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

9



10

## 🇧🇷 Headquarters Building

**Brasília → 1998**

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

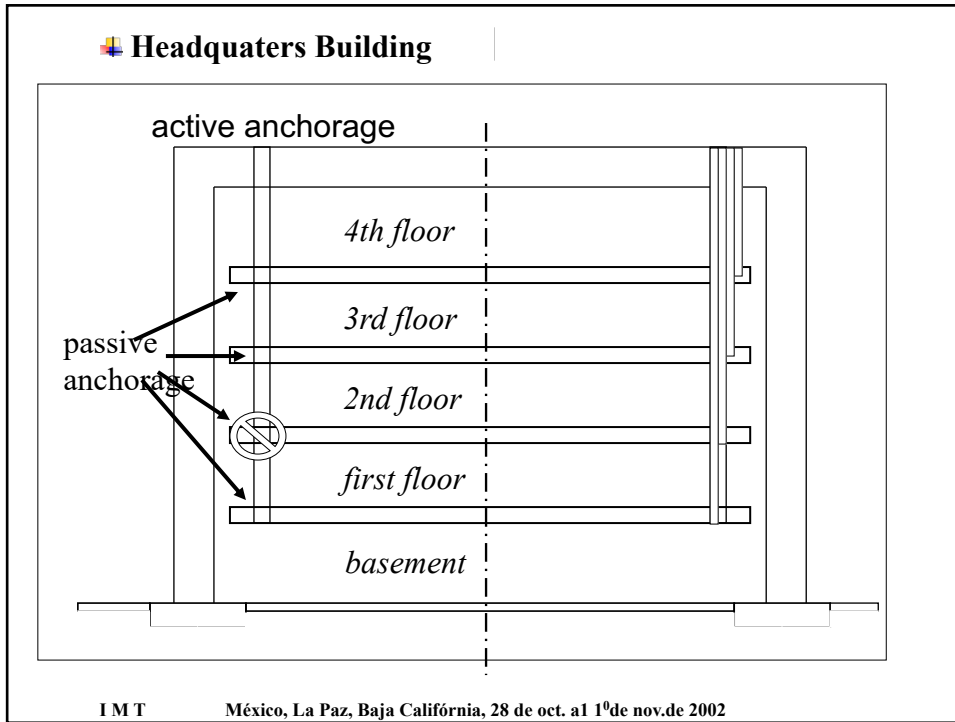
**4 Julio uno cable colapsa → ruido enorme**

**→ la losa inclina → mesas y caderas**

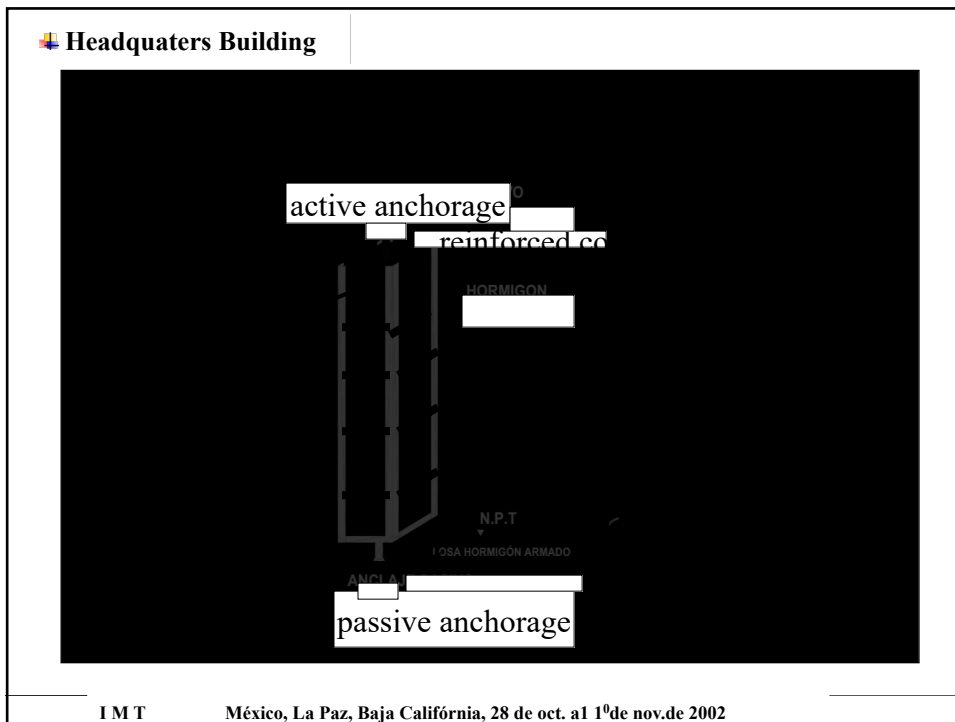
**resbalan → usuarios huyen**

**→ preocupación general**

11



12



13

Headquarters Building

16 losas → 300 m<sup>2</sup> / por piso

4 pisos

20.000 m<sup>2</sup> área construida

4 cables / losa → 64 cables / piso

256 cables → 512 anclajes

18 tendones → 12,5mm cada →

19.000 MPa

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

14

Headquarters Building

18 bars exposed bars no tube

concrete

steel plate

galvanized tube

reinforced concrete slab 48 cm

grout

cement paste grout

reinforced concrete slab 48 cm

passive anchorage block

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

15

## Inspección y Diagnóstico

- 14 anclajes inspeccionados
- $i_{\text{cor}} = 2,25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pérdida de masa
- 36% presentaba 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

## Conclusión

- alto riesgo de corrosión en los demás cables**
- error de diseño
- materiales con  $\text{Cl}^-$

Headquarters Building

# Solución

**nuevos anclajes  
para todo**

**\$ 9,5 veces el costo  
inicial**

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

18

Headquarters Building

**concrete column**

**6 materiales distintos**

**steel plate**

**slab**

**grout**

**cement paste**

**grout**

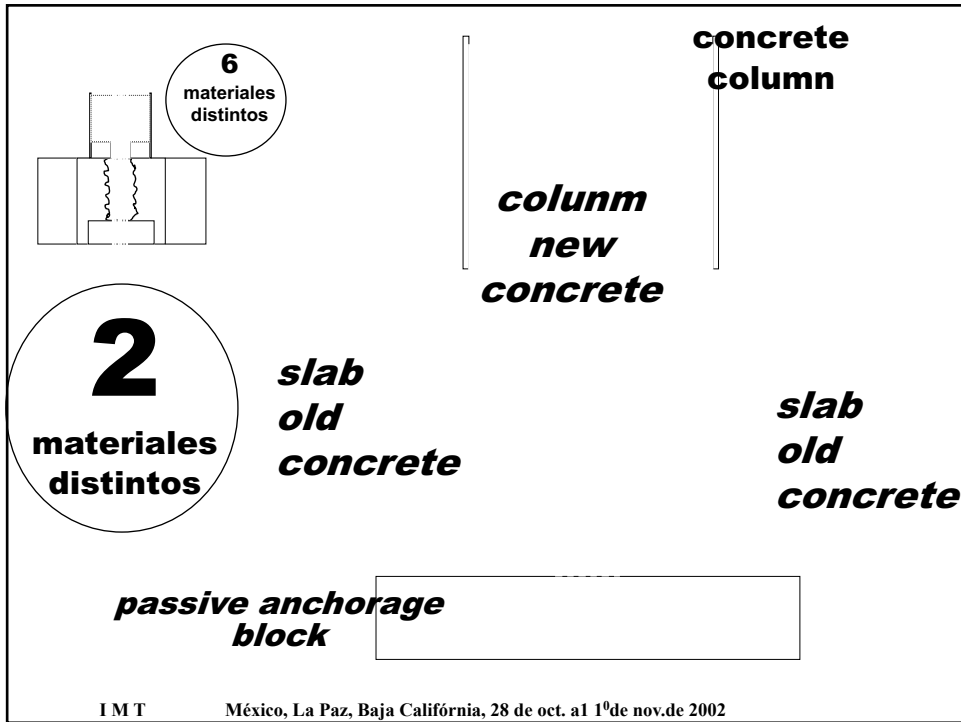
**slab**

**passive anchorage block**

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

19





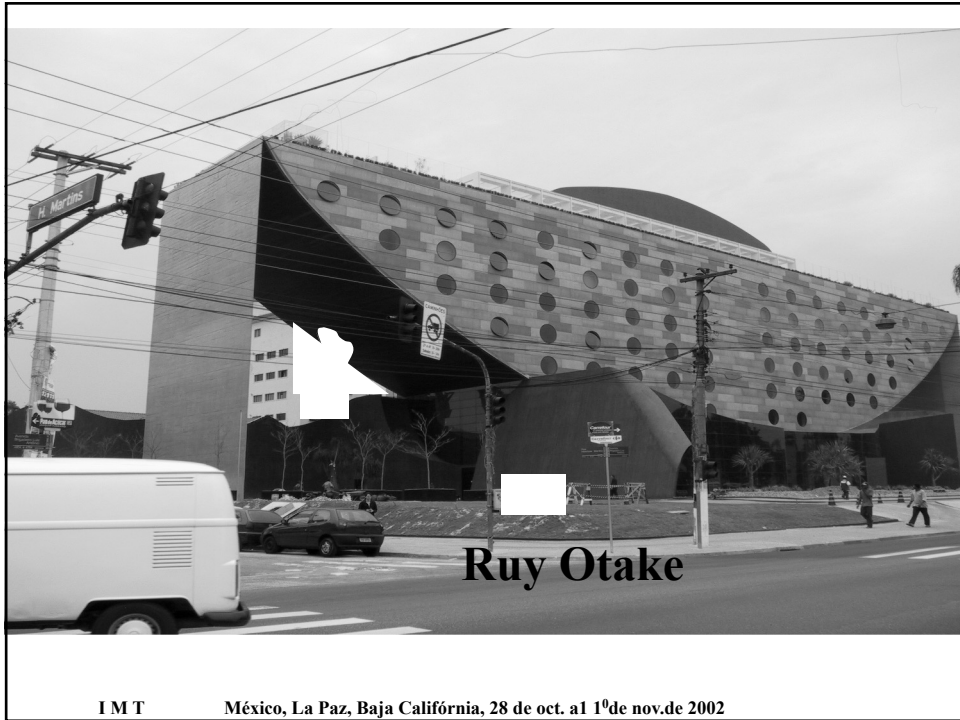
20

**Luxury Hotel**

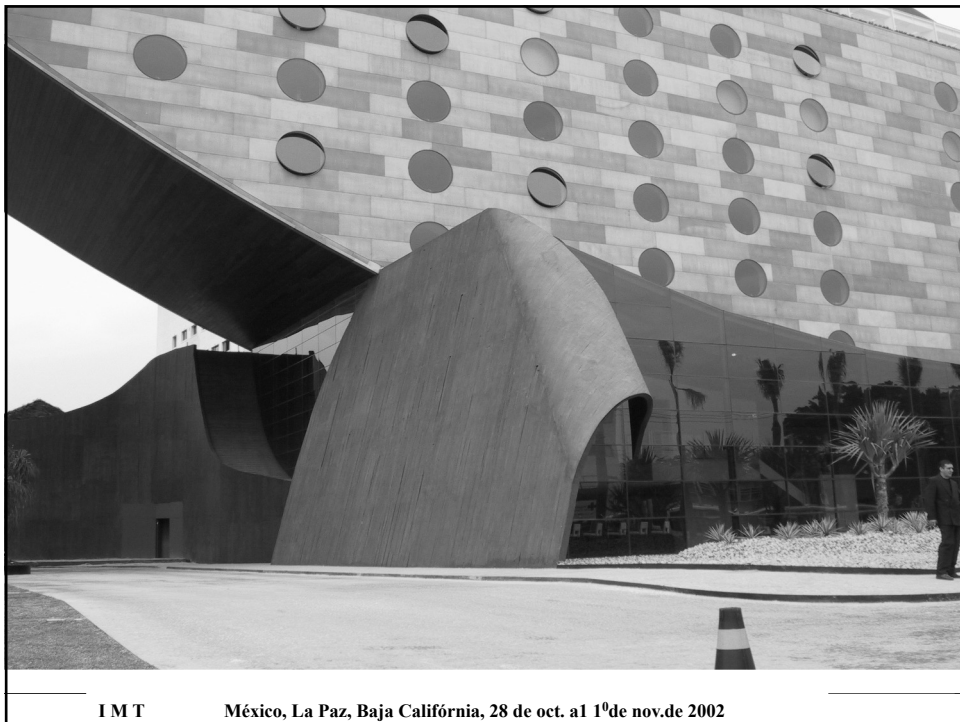
**São Paulo**

IMT México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002


21



22



23

 Luxury Hotel

## Inspección

**São Paulo → 2002**


**edificio en construcción  $f_{ck} = 40$  MPa**

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

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

I M T      México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1<sup>o</sup> de nov. de 2002

24

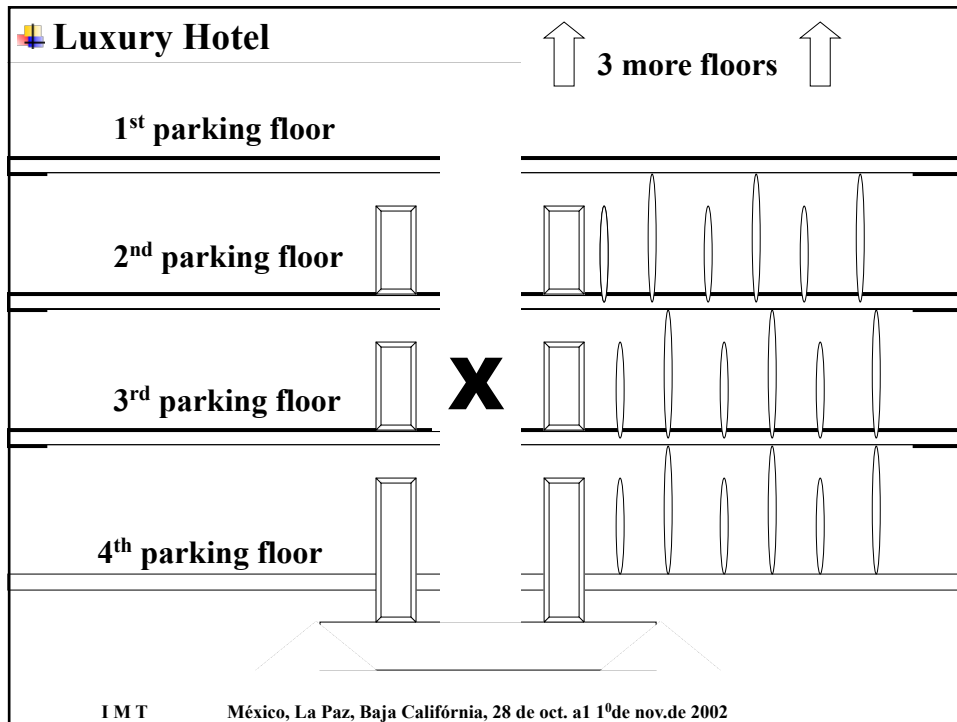
 Luxury Hotel

## Solución

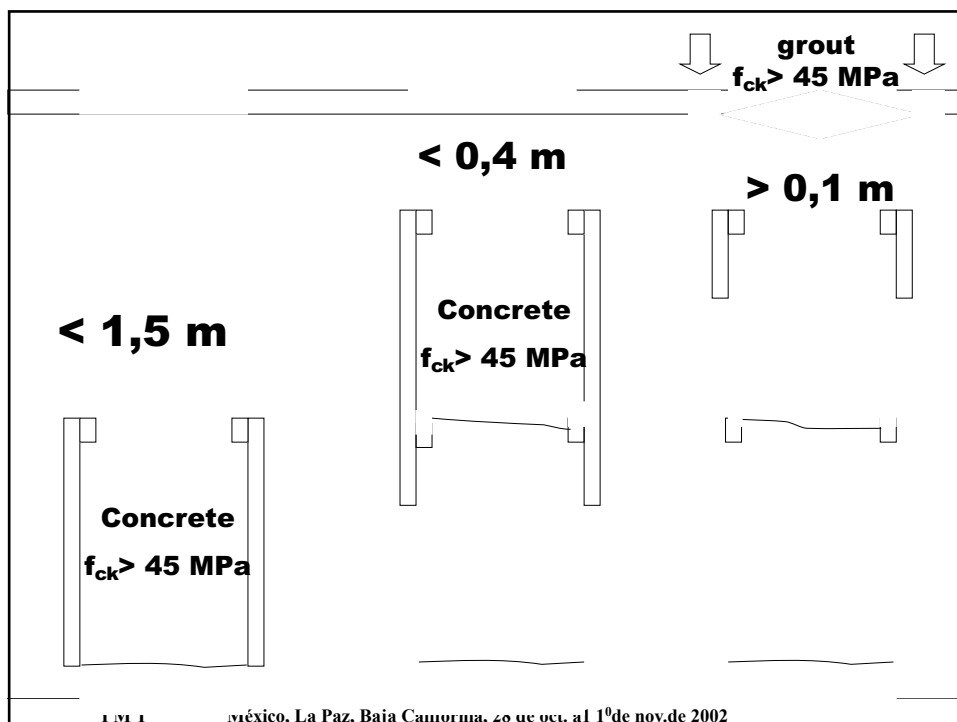
- **demoler 14 columnas, cerca de 16 m<sup>3</sup>**
- **cimbrar losas y vigas de los 4<sup>th</sup>, 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> pisos de parqueo**
- **transferir a columnas metálicas temporáias**
- **alargar la cimentación**
- **reconstruir las columnas de hormigón**
- **retirar las columnas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

I M T      México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1<sup>o</sup> de nov. de 2002

25



26



27



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

28



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

29



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

30



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

31



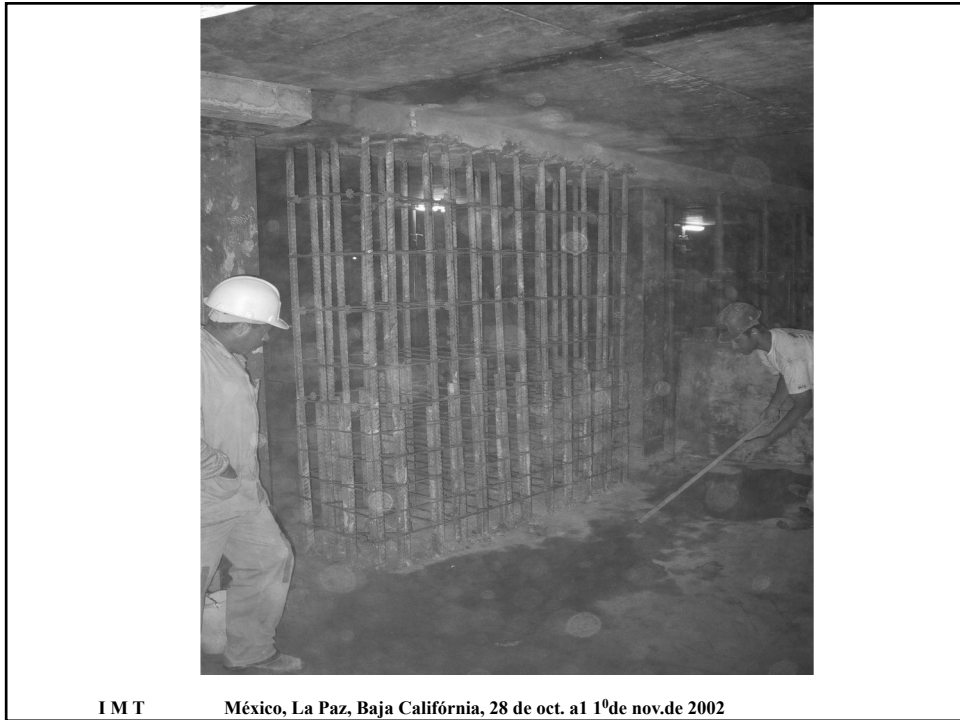
I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

32

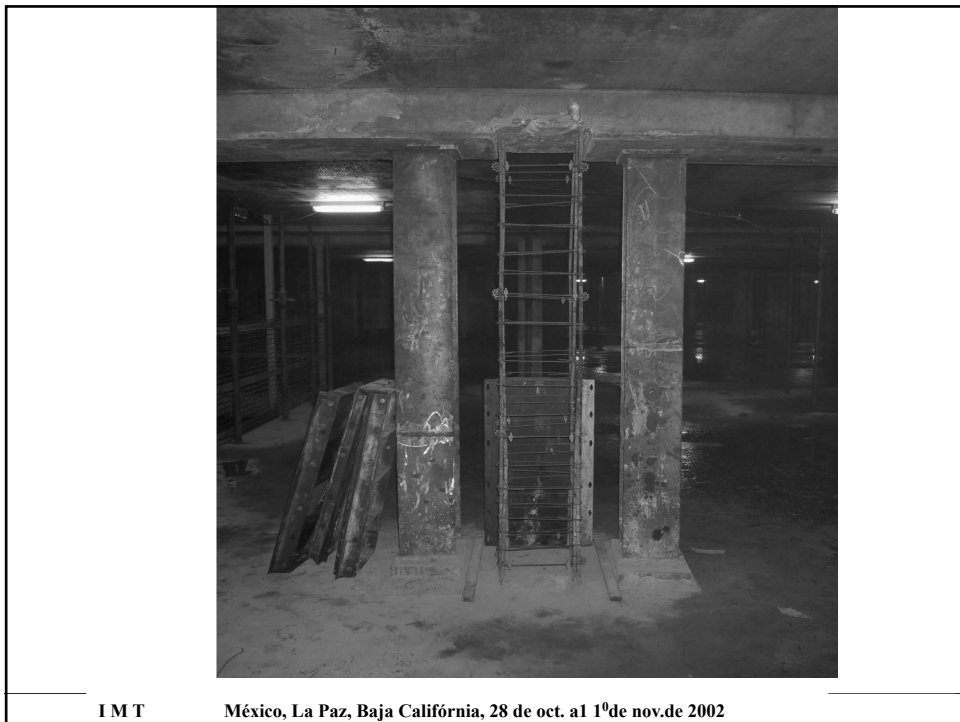


I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

33

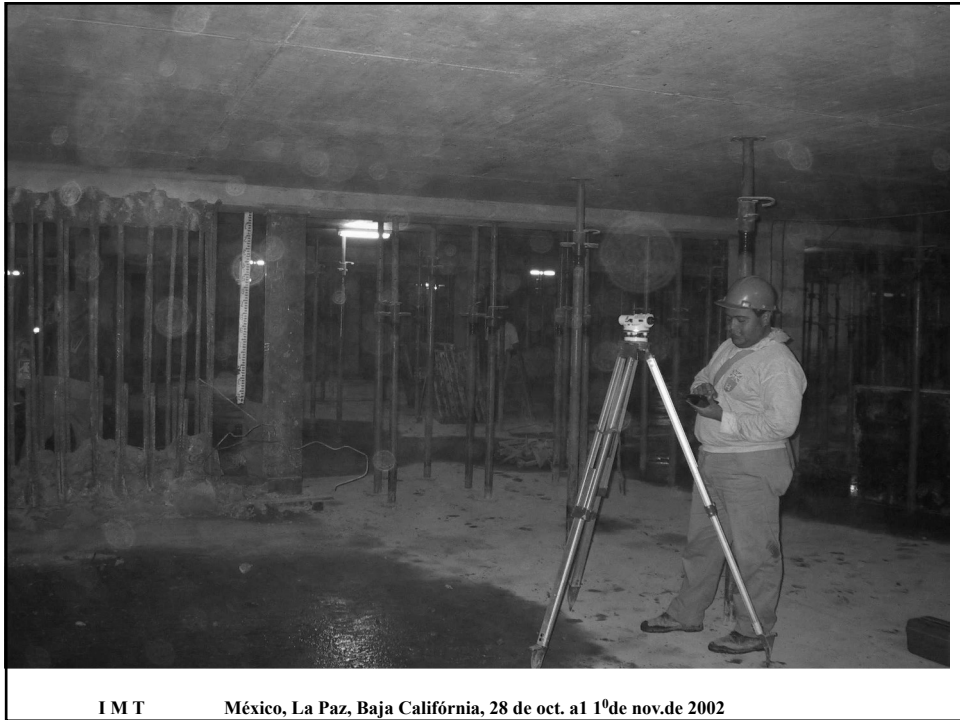


34

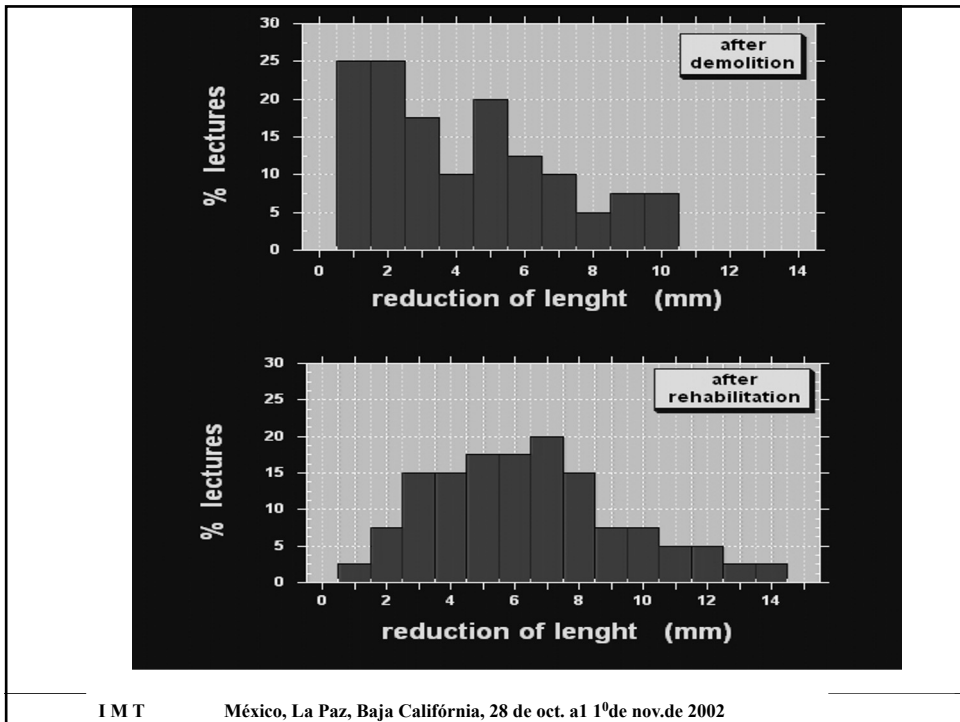


35

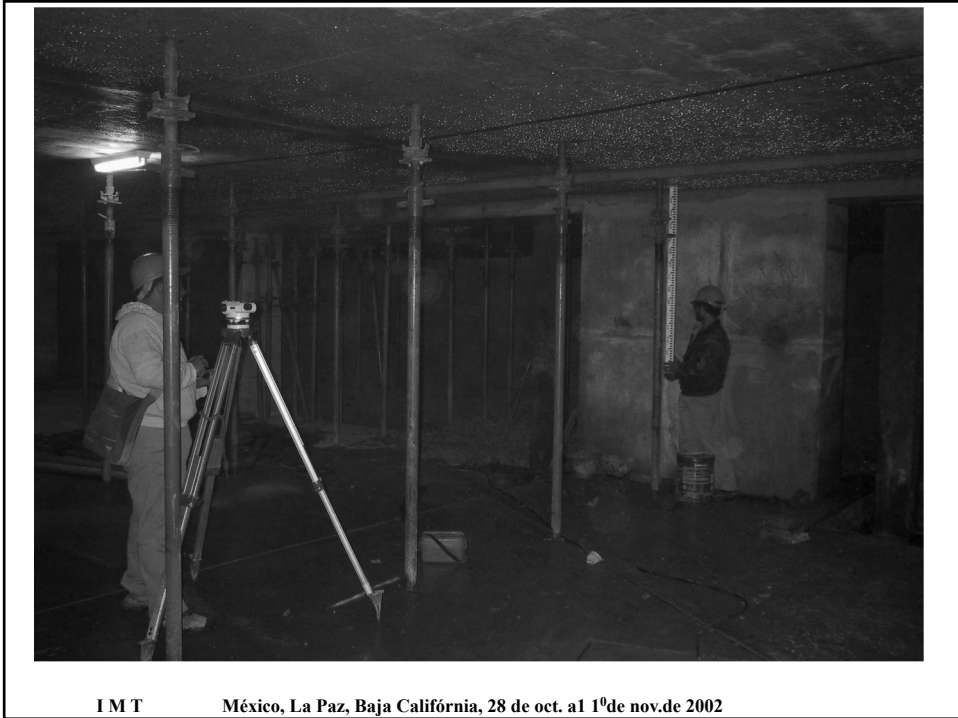




36

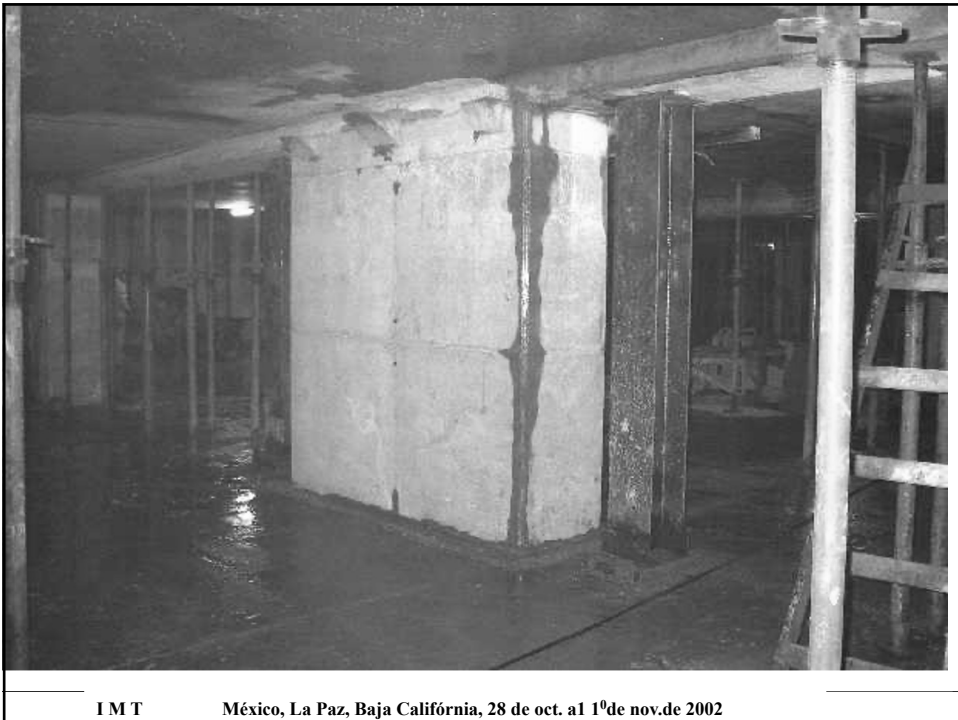


37



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

38



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

39



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

40



# **Residence Park Hotel**

***Alphaville SP***

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

41



42



43

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**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

44

Residence Park Hotel

## Solución

**→ demoler 7 columnas,  
cerca de 7 m<sup>3</sup>**

**→ *cimbrar losas e vigas !!!***

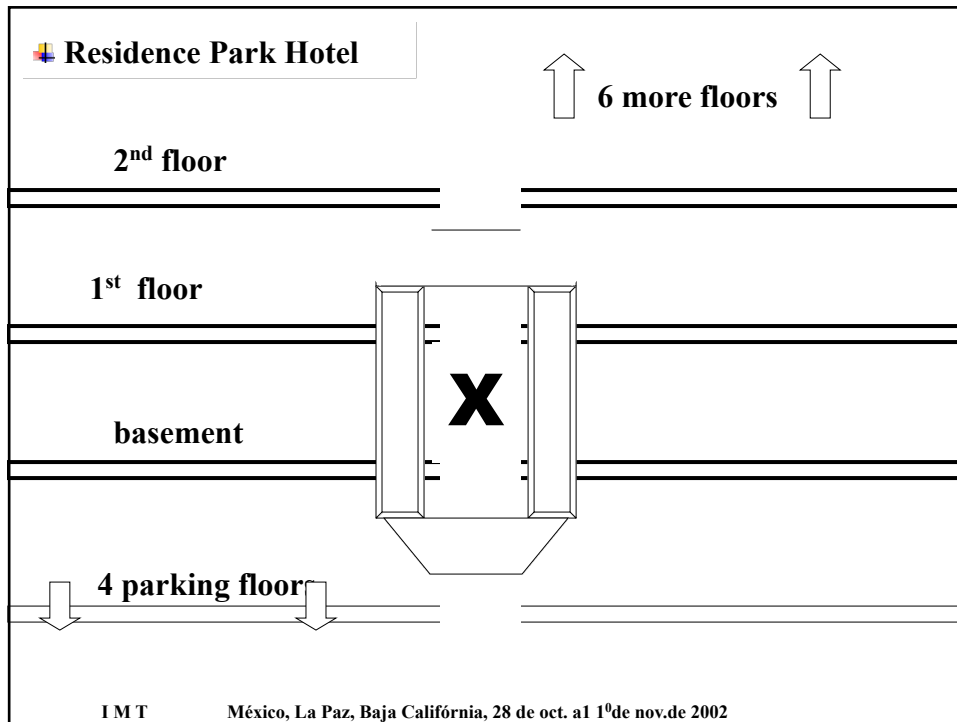
**→ *alargar cimientos!!!***

**→ transferir a columnas metálicas  
temporarias**

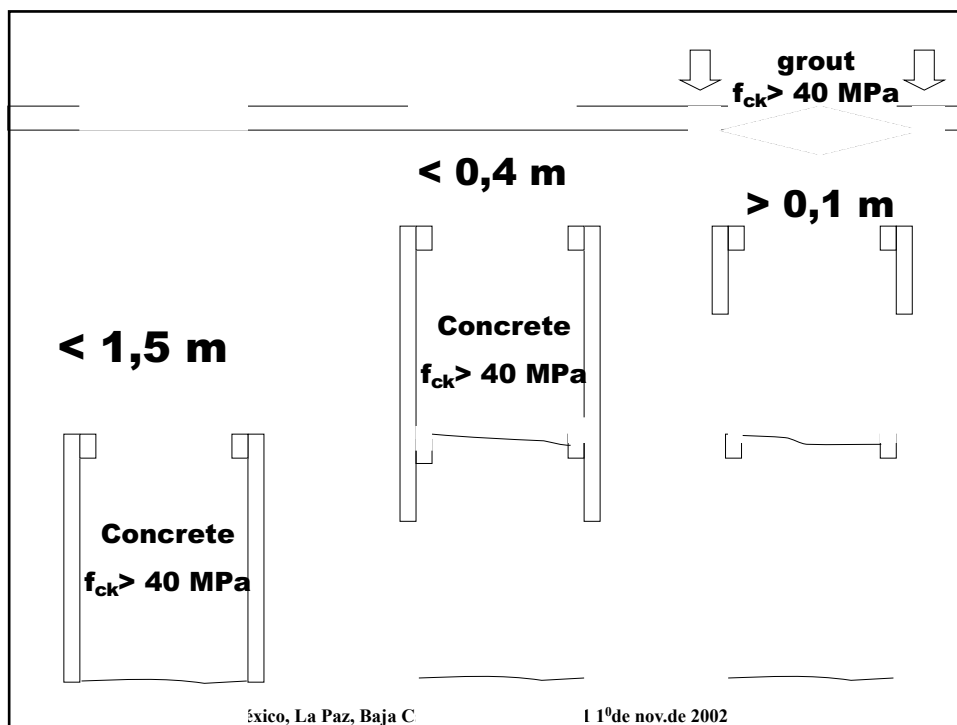
**→ reconstruir las columnas de  
concreto**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

45



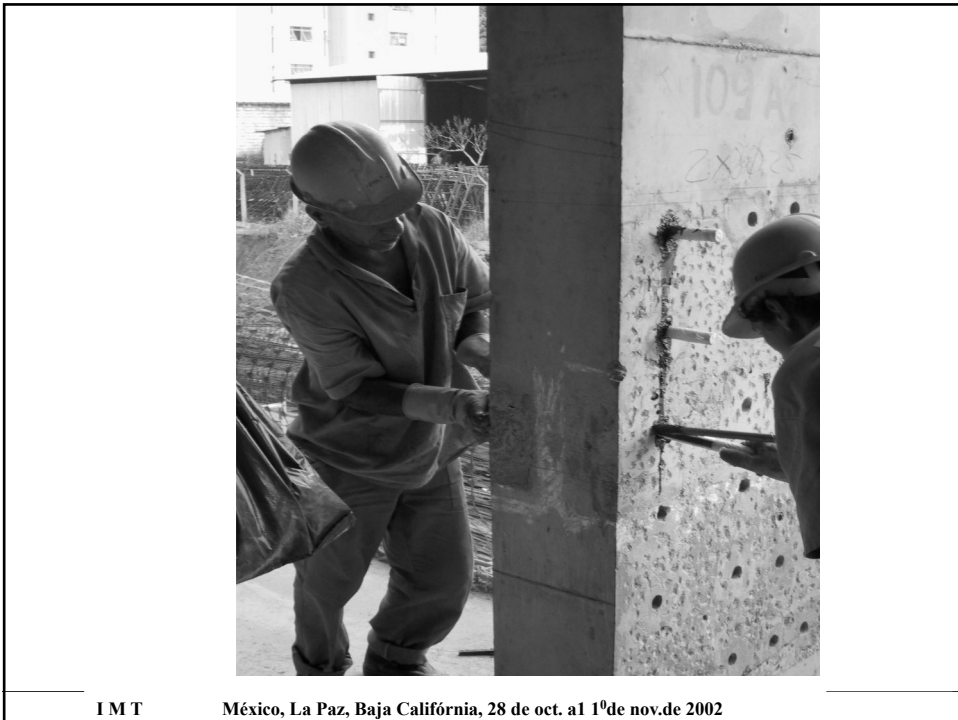
46



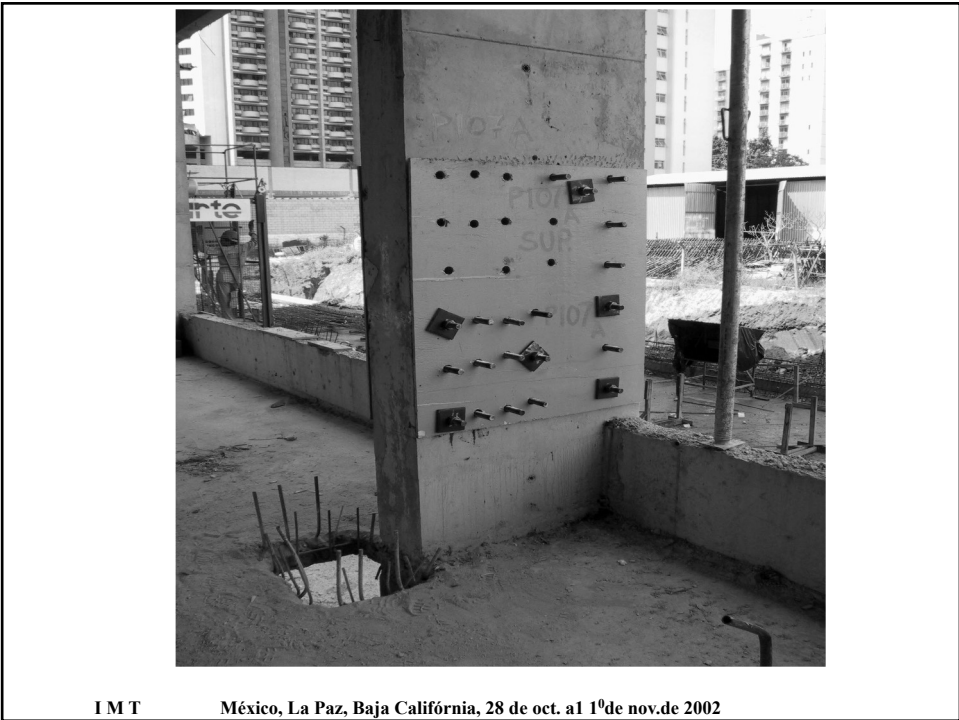
47



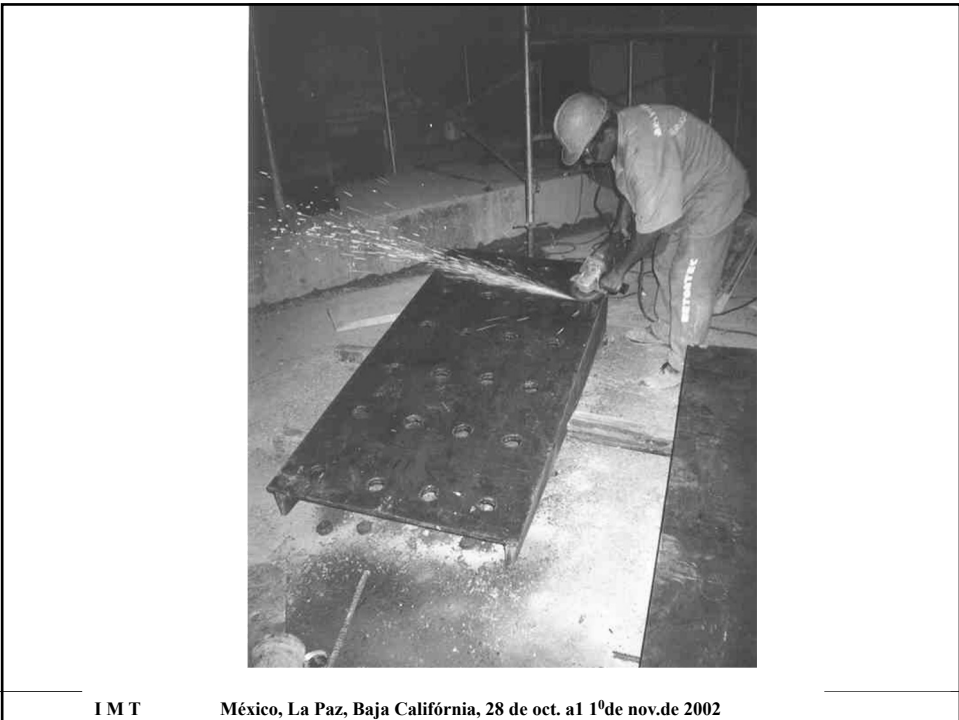
48



49

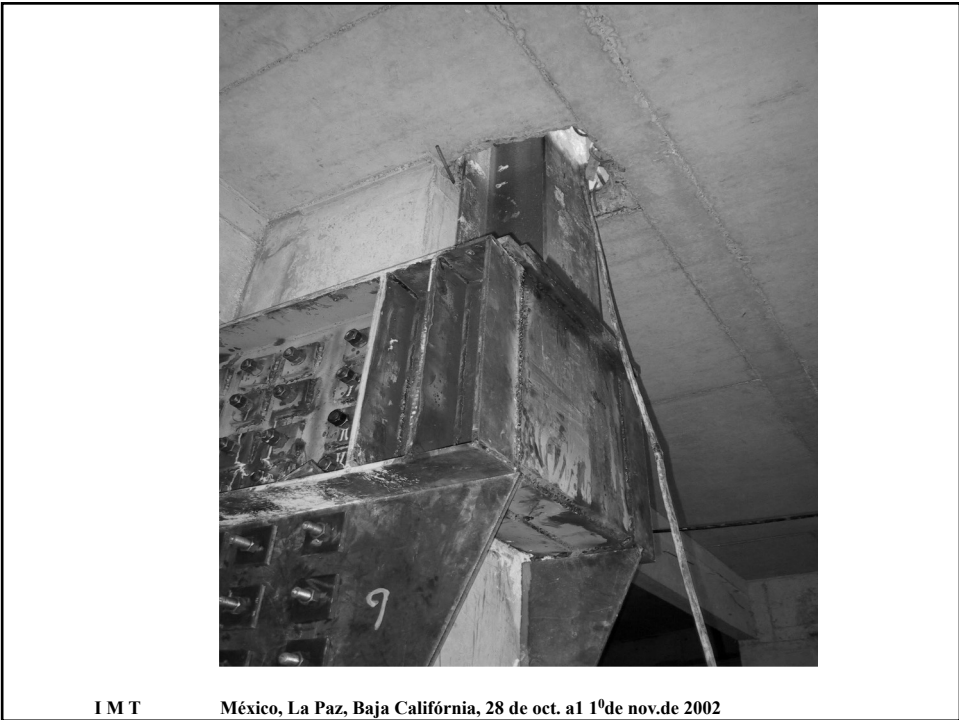


50



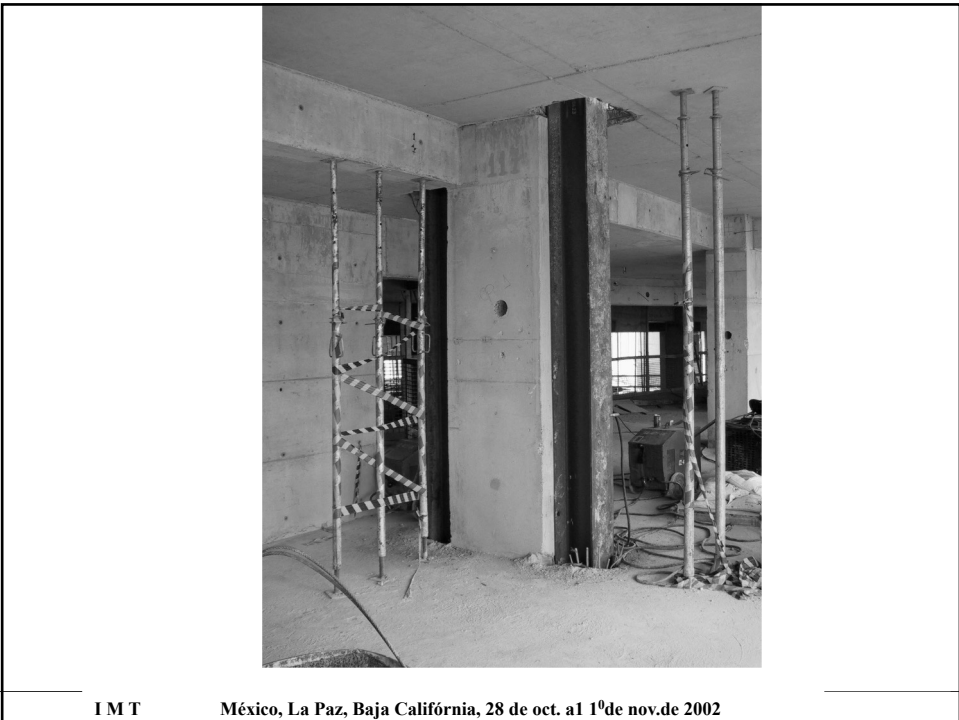
51





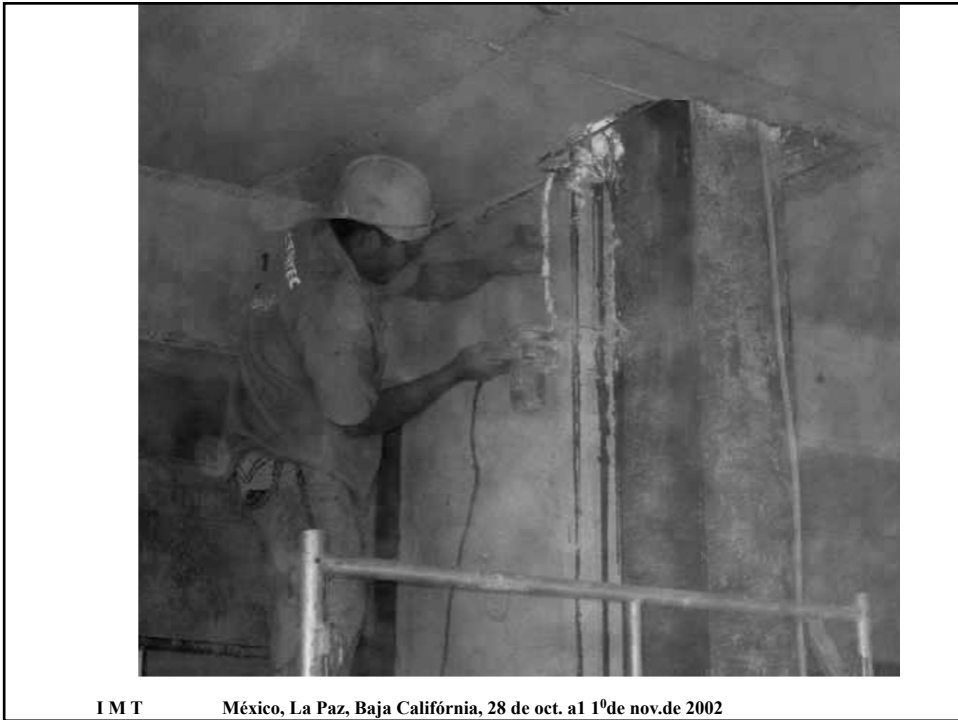
I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

52

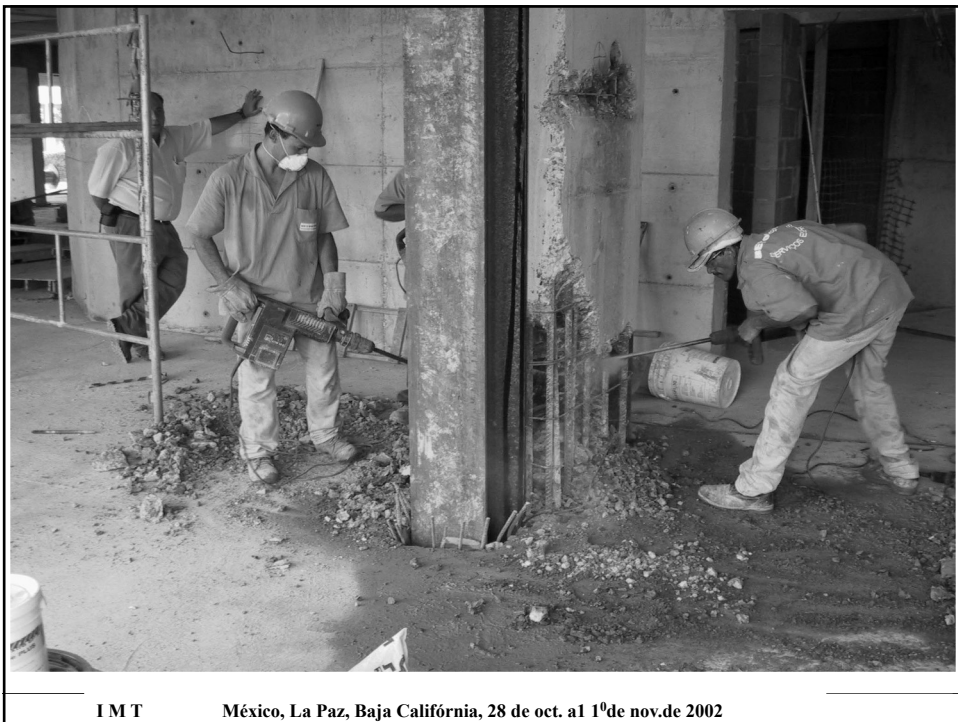


I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

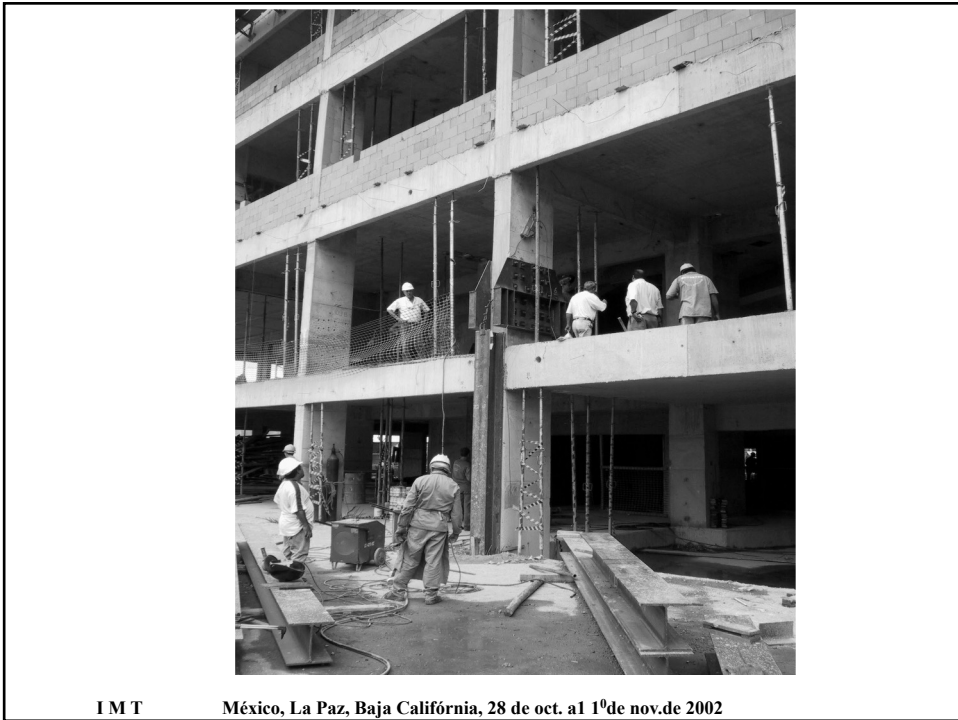
53



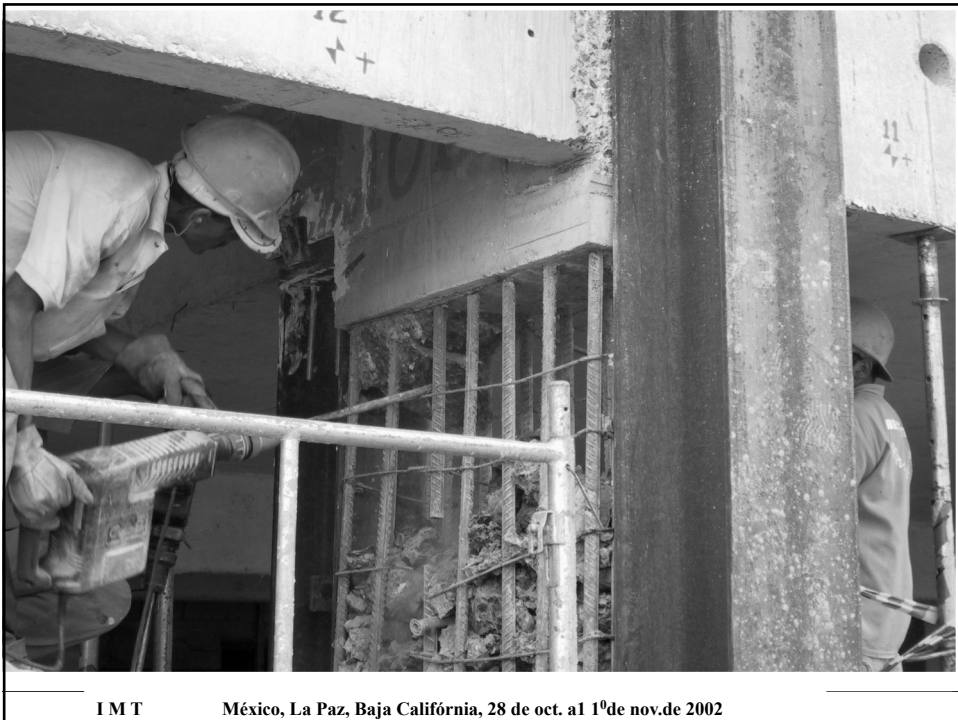
54



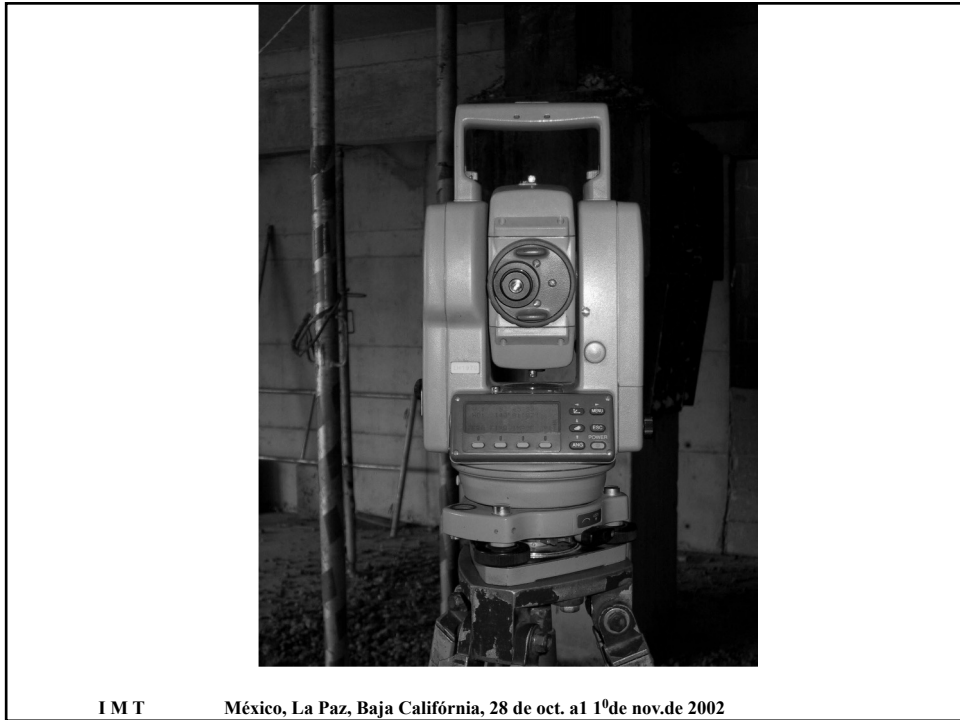
55



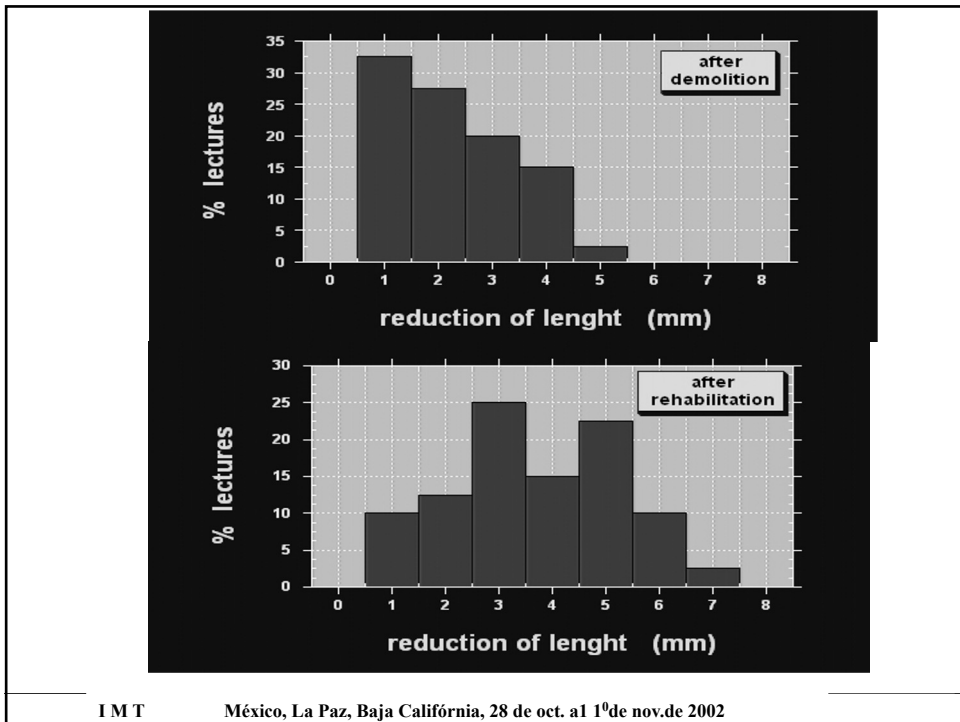
56



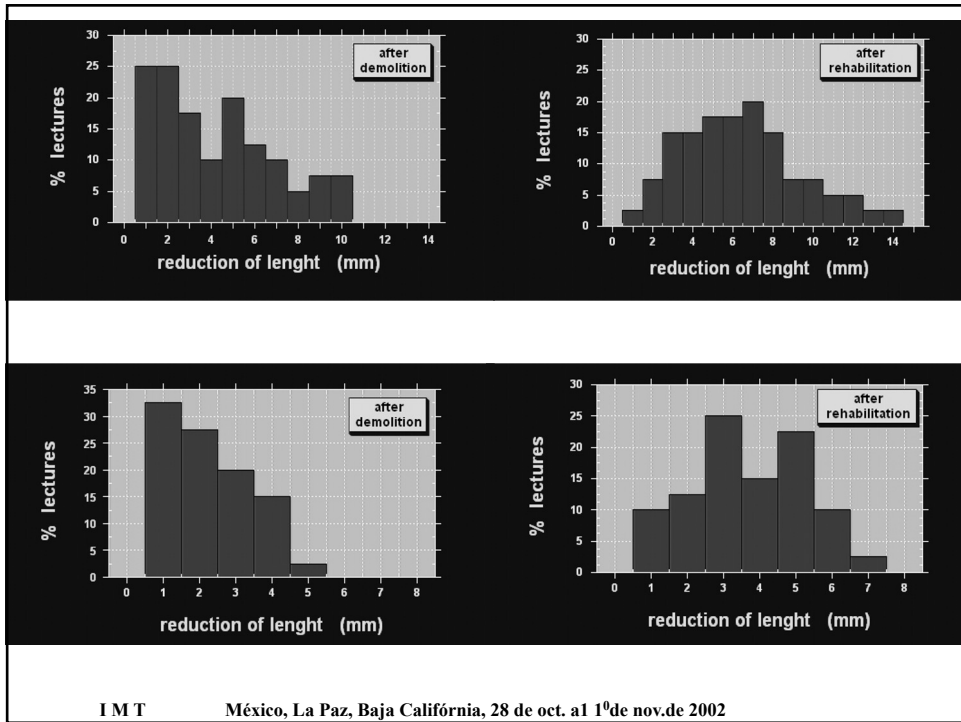
57



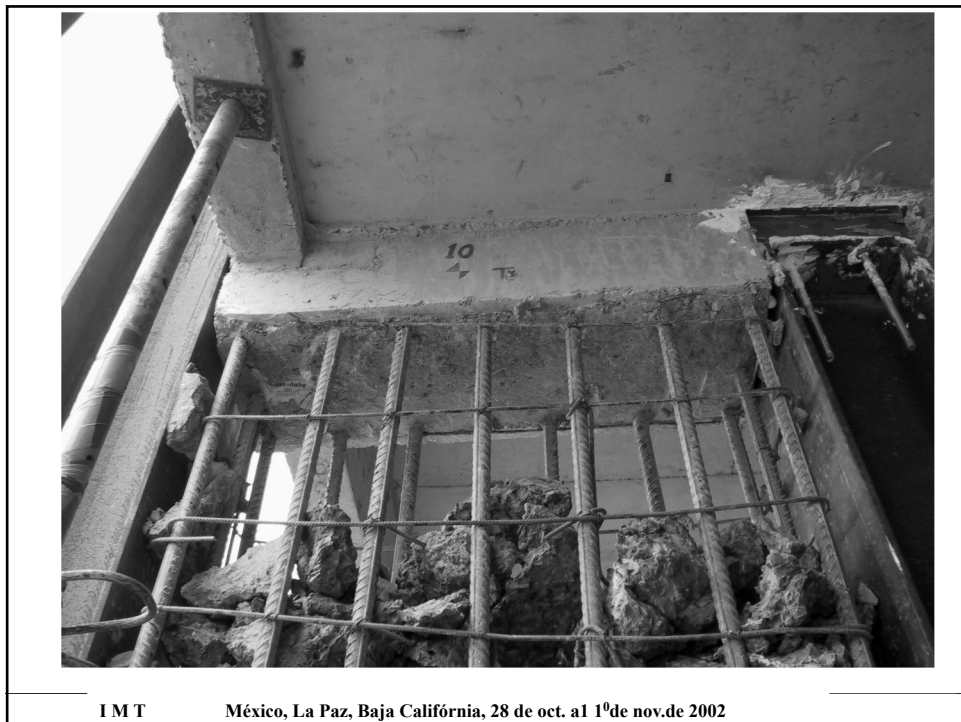
58



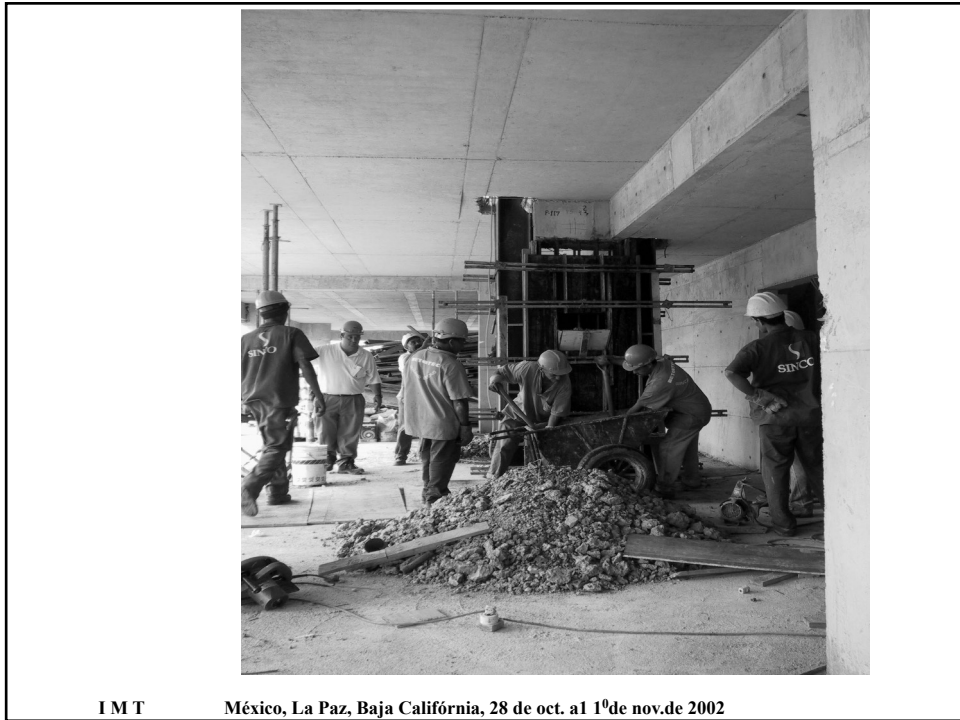
59



60



61



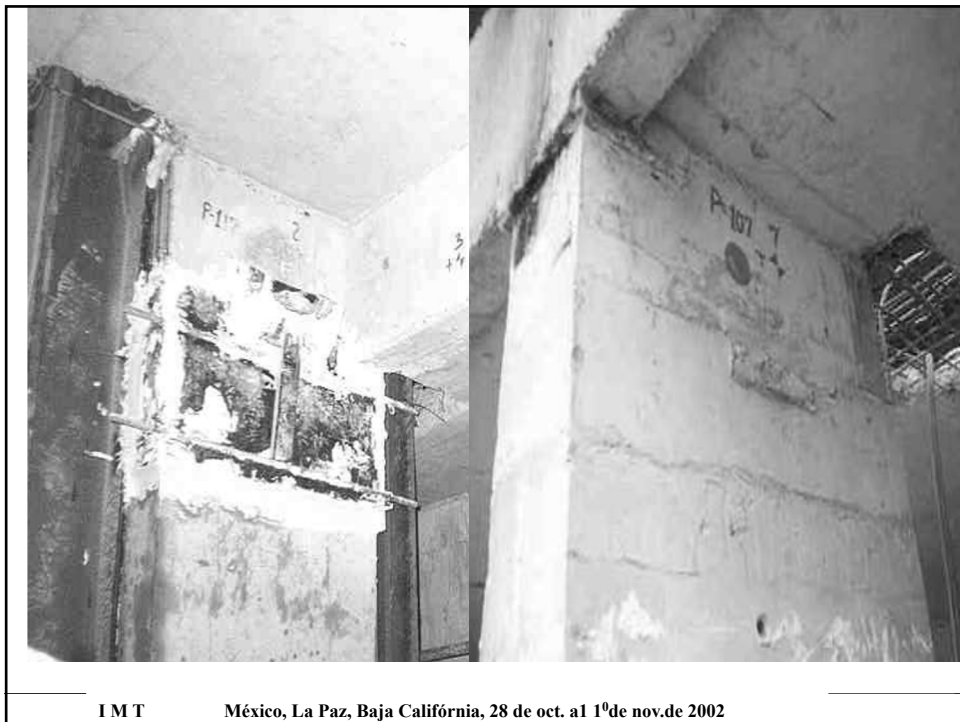
62





I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

64




I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

65

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

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

66



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

67



Leonel Viera Bridge

- **Diseño y construcción de 1962 e 1963 Leonel Viera**
- **proceso constructivo tipo "banda tesada"**
- **Arroyo Maldonado, Punta del Este y La Barra**
- **estructura viga tipo cajón con 5 "longarinas"**
- **$f_{ck} = 32,5 \text{ MPa}$**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

68

Leonel Viera Bridge

- Cables de acero galvanizado de la casa Roebing 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**

69



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

70



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

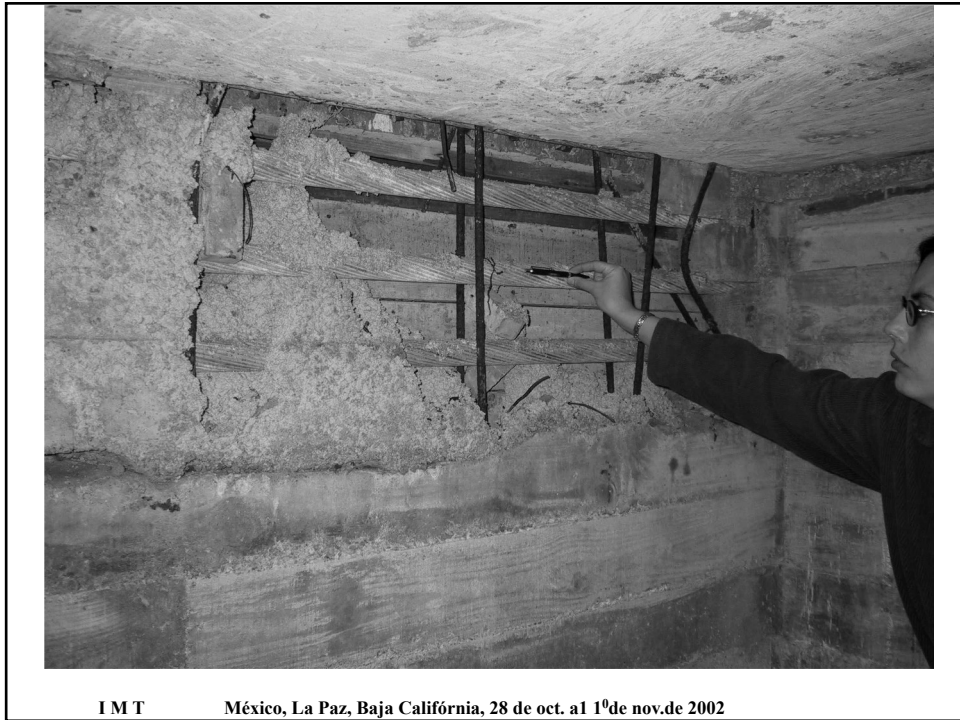
71



72

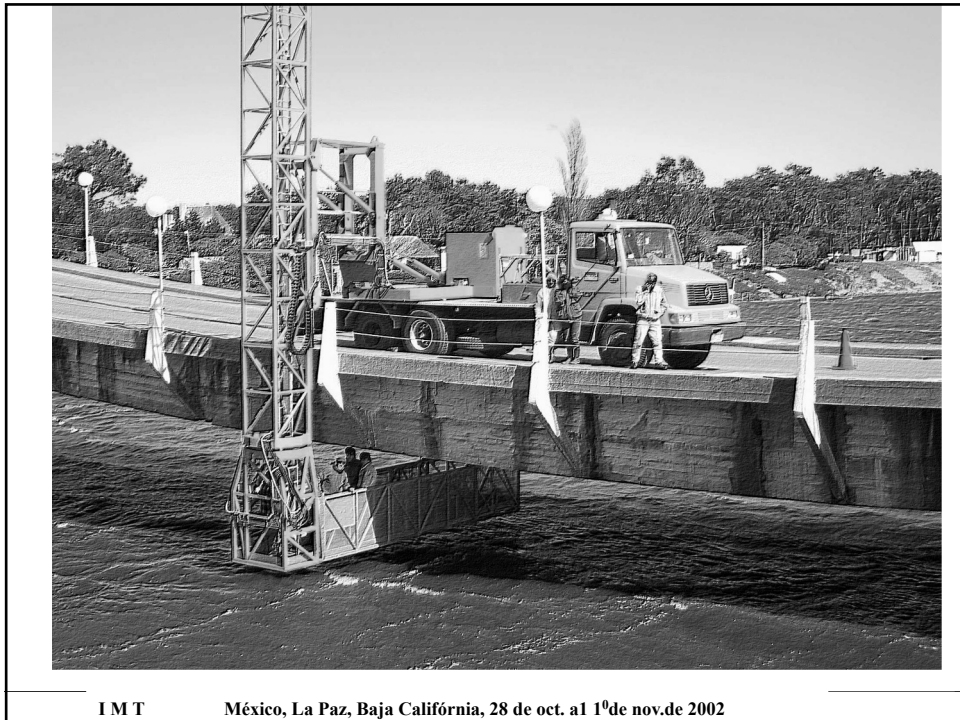


73



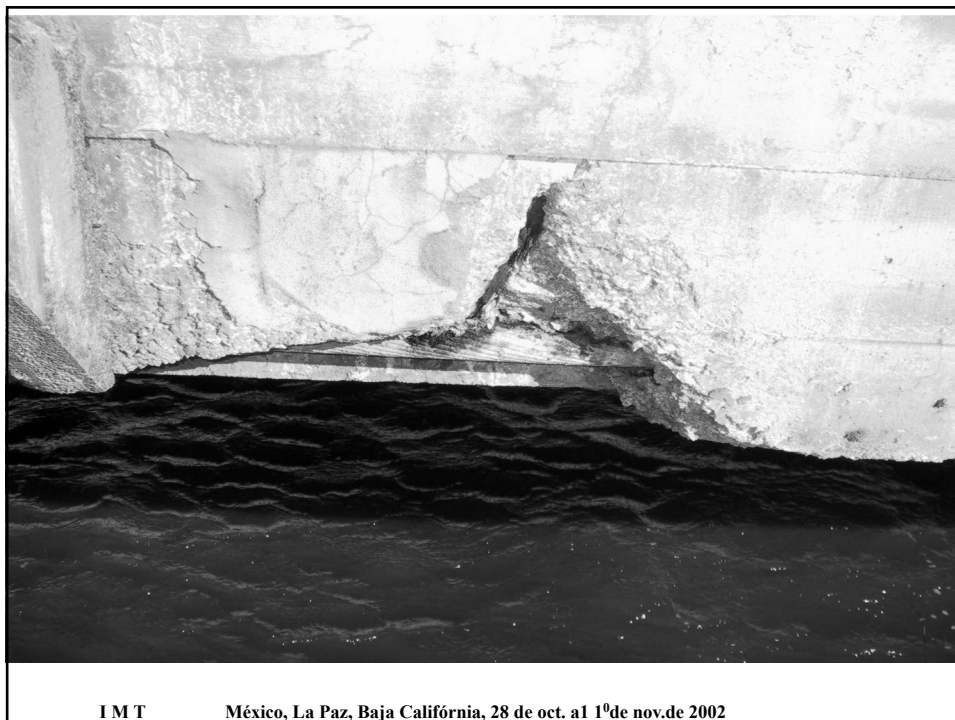
I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

74

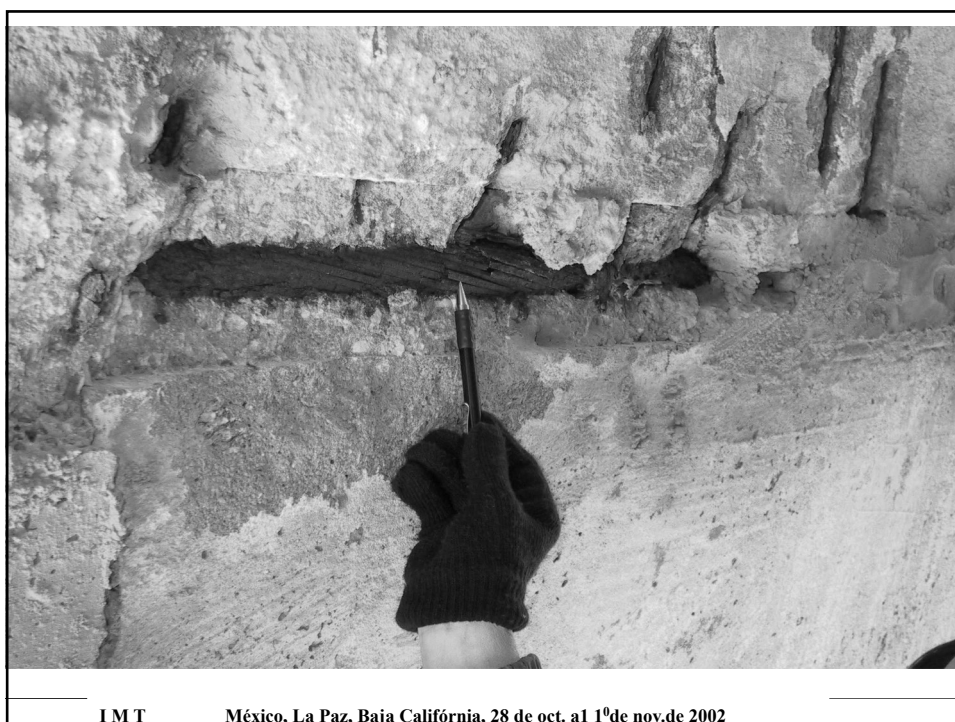


I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

75



76




77



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

78

 Leonel Viera Bridge

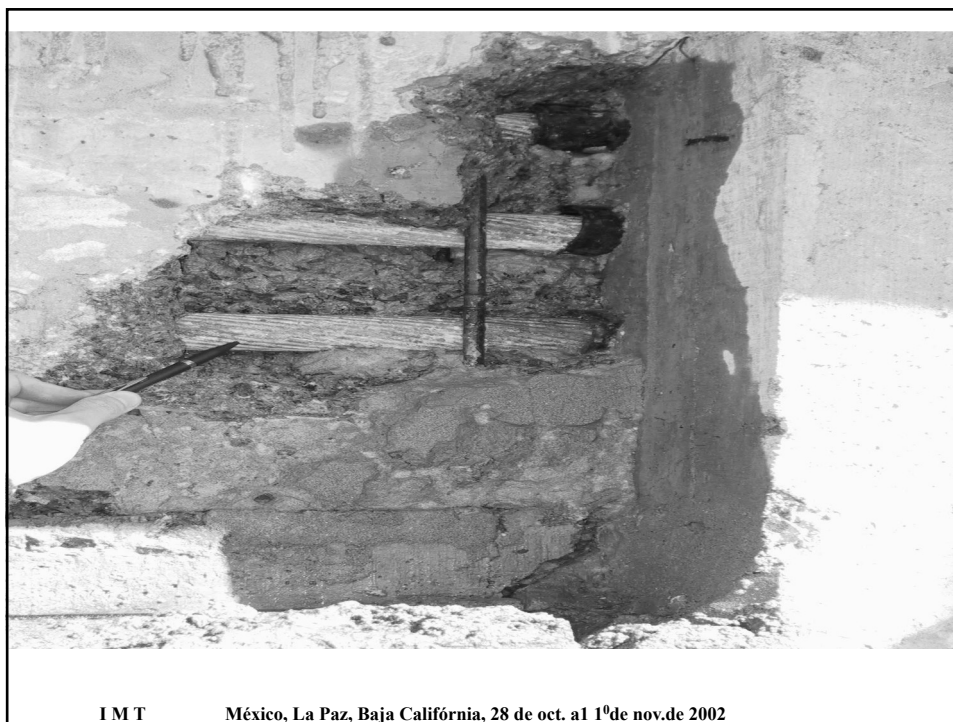
## Diagnóstico

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

I M T

México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

79



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

80

🚧 Leonel Viera Bridge
**Solución**

- **reparar con morteros base cemento modificados con polímeros**
- **abrir todos los cajones (ventanas de inspección)**
- **adecuar funcional y estéticamente**

I M T
México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

81

**Leonel Viera Bridge**

## Adecuación funcional y estética:

- ❖ Cordón de rodamiento
- ❖ Drenaje
- ❖ Senda peatonal
- ❖ Baranda
- ❖ Iluminación

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

82

**Leonel Viera Bridge**

### CORTE TRANSVERSAL C-C

Escala 1:10

**DETALLE 2: CORDONETA / "GUARDA RAIL"**

- Se demolerá cordón existente.
- Se levantará un nuevo cordón de protección ("GUARDA RAIL"), de hormigón vibrado de resistencia a la compresión mayor o igual a 30MPa.
- el recubrimiento será de 3cm mín.
- Se aprovechará la armadura existente del Nervio longitudinal para anclar dicha pieza.
- Los encofrados deberán ser metálicos.

**DETALLE 3: LOSETAS PREF. SUPERIORES NUEVAS DE LA VEREDA.**

**DETALLE 4: GOTERÓN LOSETAS PREF. INFERIORES DE LA VEREDA.**  
Se construirá un goterón de 1x1 cm a 2 cm del borde.

**DETALLE 2: DRENES**  
Se sustituirán los caños Ø 64 existentes por PVC Ø100 y se agregarán 2 más sobre cada cordón en el tramo central, a 6 mts. del eje. Son 10 drenes.

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

83



**Leonel Viera Bridge**

**ILUMINACION EXTERIOR**

**DETALLE 1:**  
LUMINARIA L1 LINEA HYBRID MAXI TI  
o similar calidad.  
material: acero color cromo.

**ALZADOS**  
Escala 1:25

**LUMINARIA 1**  
Escala 1:10

**LUMINARIA L2 DE EMBUTIR EN PISO**  
Material: acero color cromo  
Escala 1:10


Loseta 1. (L1)

Corte 2-2

Corte 1-1

I M T México, La Paz, Baja Calíornia, 28 de oct. a1 1ºde nov.de 2002

84

 **Puente**  
**Paulo Guerra**

***Recife***  
***Pernambuco***

I M T México, La Paz, Baja Calíornia, 28 de oct. a1 1ºde nov.de 2002

85



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

86



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

87

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

**Ubicación:**

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

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

88

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

**Infra-estructura:**

**Encepado**



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

**Superestructura:**

**Tablero de concreto armado**



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

89

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

**corrosión de cabillas**

**lixiviación urbana e industrial**

**expansión por sulfatos**

**acciones mecánicas**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

90

**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>

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

91

## Ponte “ Gov. Paulo Guerra ” Agresividad Ambiental

### Núcleos (testigos) de Hormigón

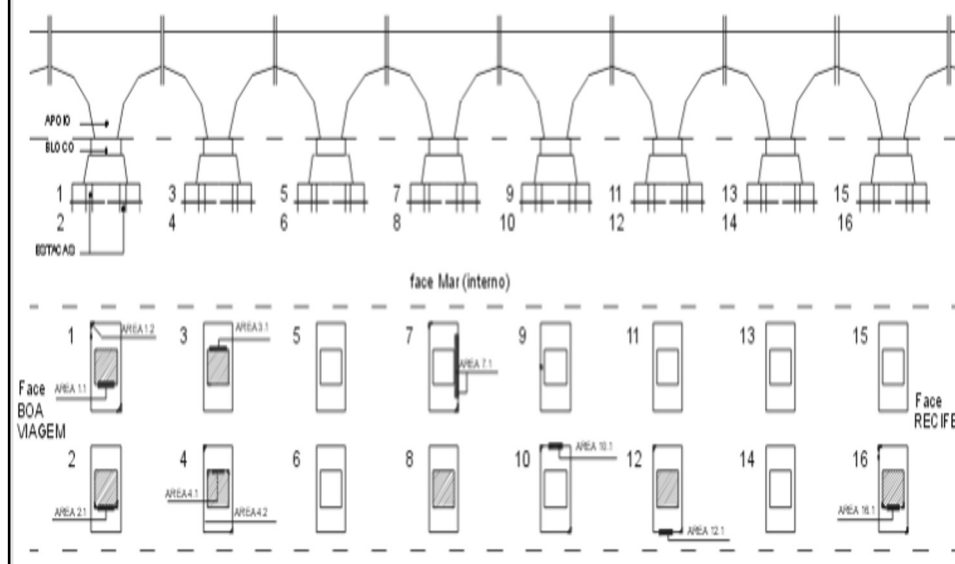
**SO<sub>4</sub><sup>++</sup> en el Hormigón = 0,35% a 0,62%**

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

I M T      México, La Paz, Baja Califórnia, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

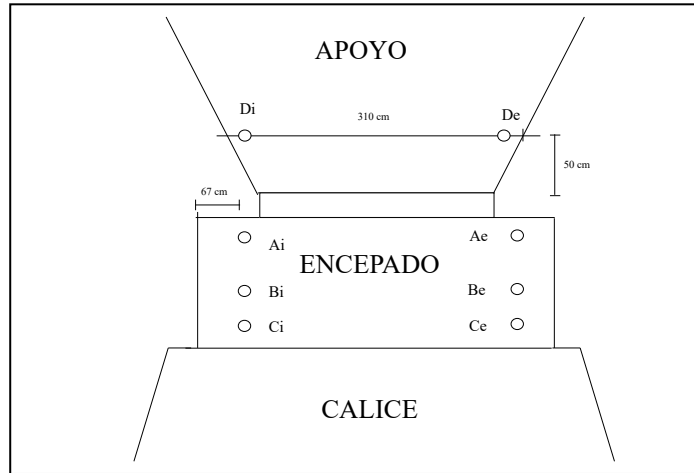
92

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



93

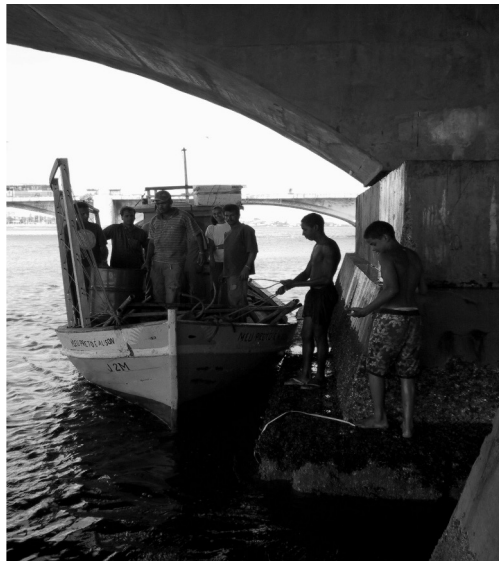
**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
**Diseño esquemático del sistema de fundaciones**



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

94

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



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

95

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
**🇲🇽 Inspección**



Deterioro del aparato de apoyo

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

96

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
**🇲🇽 Inspección visual**



Super-estructura: Tablero de H.A

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

97



99

## Puente " Gob. Paulo Guerra "

### Inspección

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

→ carbonatación      < 12mm

→  $E_{corr}$                       10 - 450 mV

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

I M T

México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

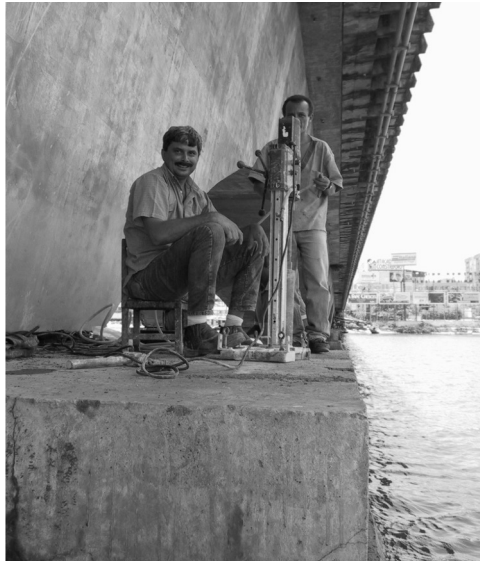
100





101

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




I M T

México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

102

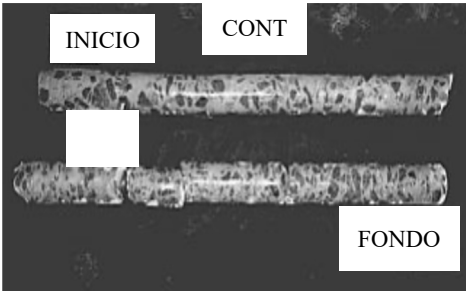
**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**  
**Inspección**



I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

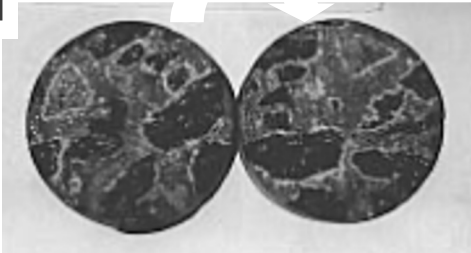
103

**Inspección**  
**extracción de testigos para análisis petrográfico**



INICIO CONT FONDO

Reacción álcali-arido



Testigo vertical del encepado N 4

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

104

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

**análisis petrográfico  
microscópico**



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

**“no formación de etringita secundaria”**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

105

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

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

→ módulo de elasticidad       $5 - 30 \text{ GPa}$

→ ultrasonido       $1500 - 3800 \text{ m/s}$

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

106



107



108



109

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

**corrosión de armaduras**

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

I M T

México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

110

## 🚧 **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!!!”**

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

111

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

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

I M T México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002

112

**Puente “ Gob. Paulo Guerra ”**

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

**> 8 MPa ?**

I M T

México, La Paz, Baja California, 28 de oct. al 1º de nov. de 2002