

CURSO - TALLER  
CONTROL DE CALIDAD Y PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES



**Corrosión de armaduras de refuerzo: Patología por cloruros en edificaciones y obras de infraestructura.**

**Dr. Pedro Castro Borges**



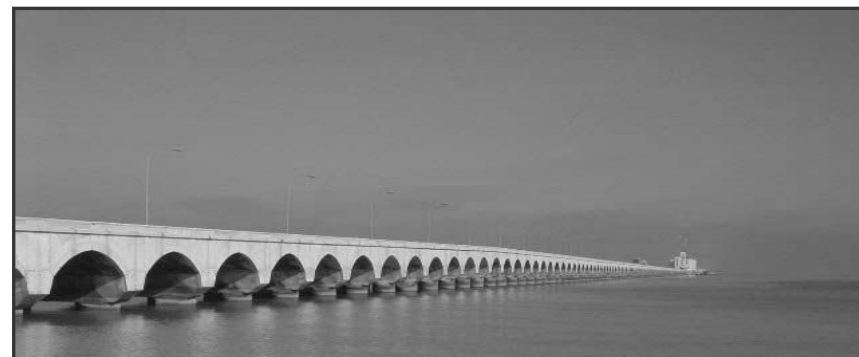
**CURSO - TALLER**  
**CONTROL DE CALIDAD Y PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES**



**Construcción, inspección, reparación, rehabilitación y refuerzo de muelles**

**(Partes 1 y 2)**

**Dr. Pedro Castro Borges**



# Construcción e inspección por corrosión Parte I



**Construcción del muelle**

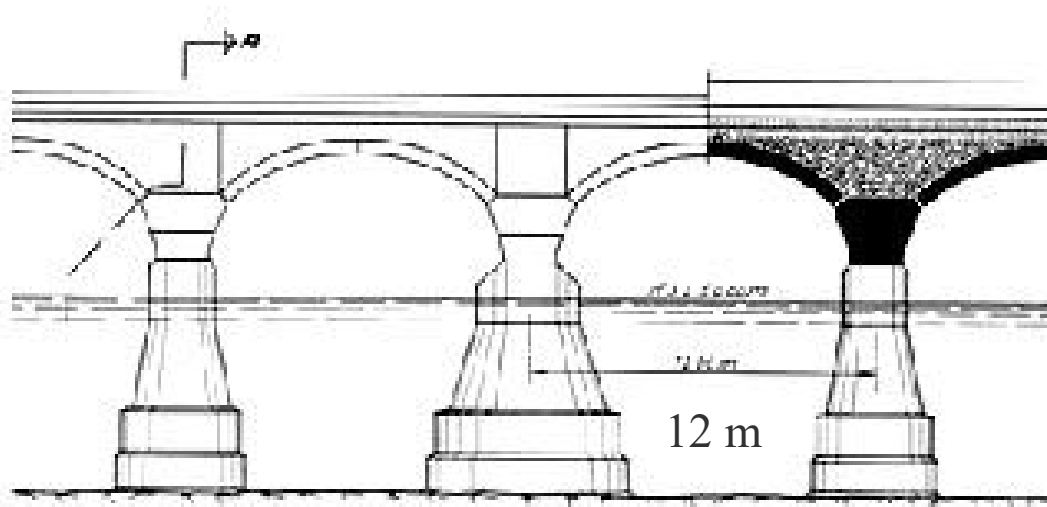
**68 años después**

# Construcción del muelle

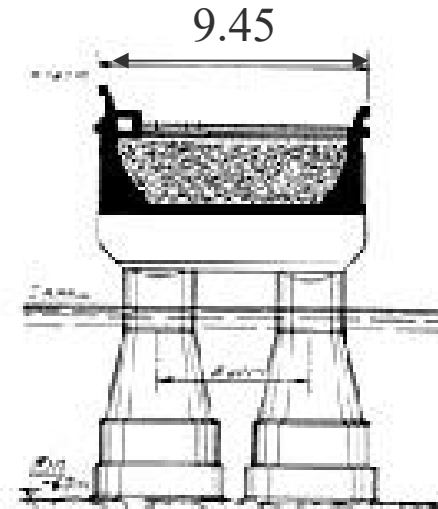
**El muelle consistió de 3 partes:**

- ✓ **Terraplén de piedra de 145 m de longitud**
- ✓ **Viaducto de 1752 m de longitud, formados por arcos y pilotes de concreto macizo, con cabezales reforzados con acero inoxidable.**
- ✓ **Embarcadero de 50 m de ancho y 205 m de longitud, con profundidades de agua que variaban entre 18 y 20 pies**

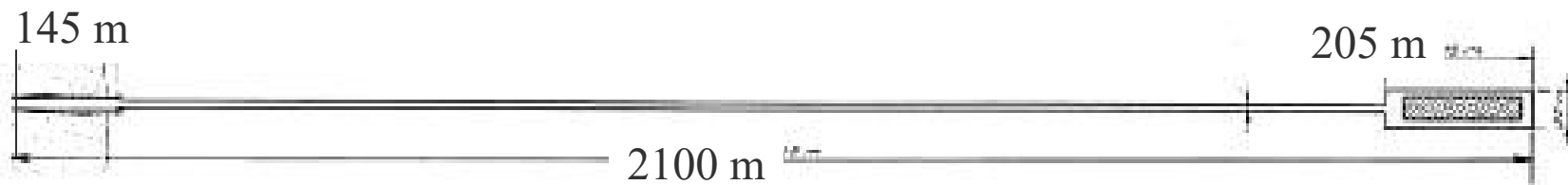
## Sección longitudinal y transversal del muelle



Sección longitudinal

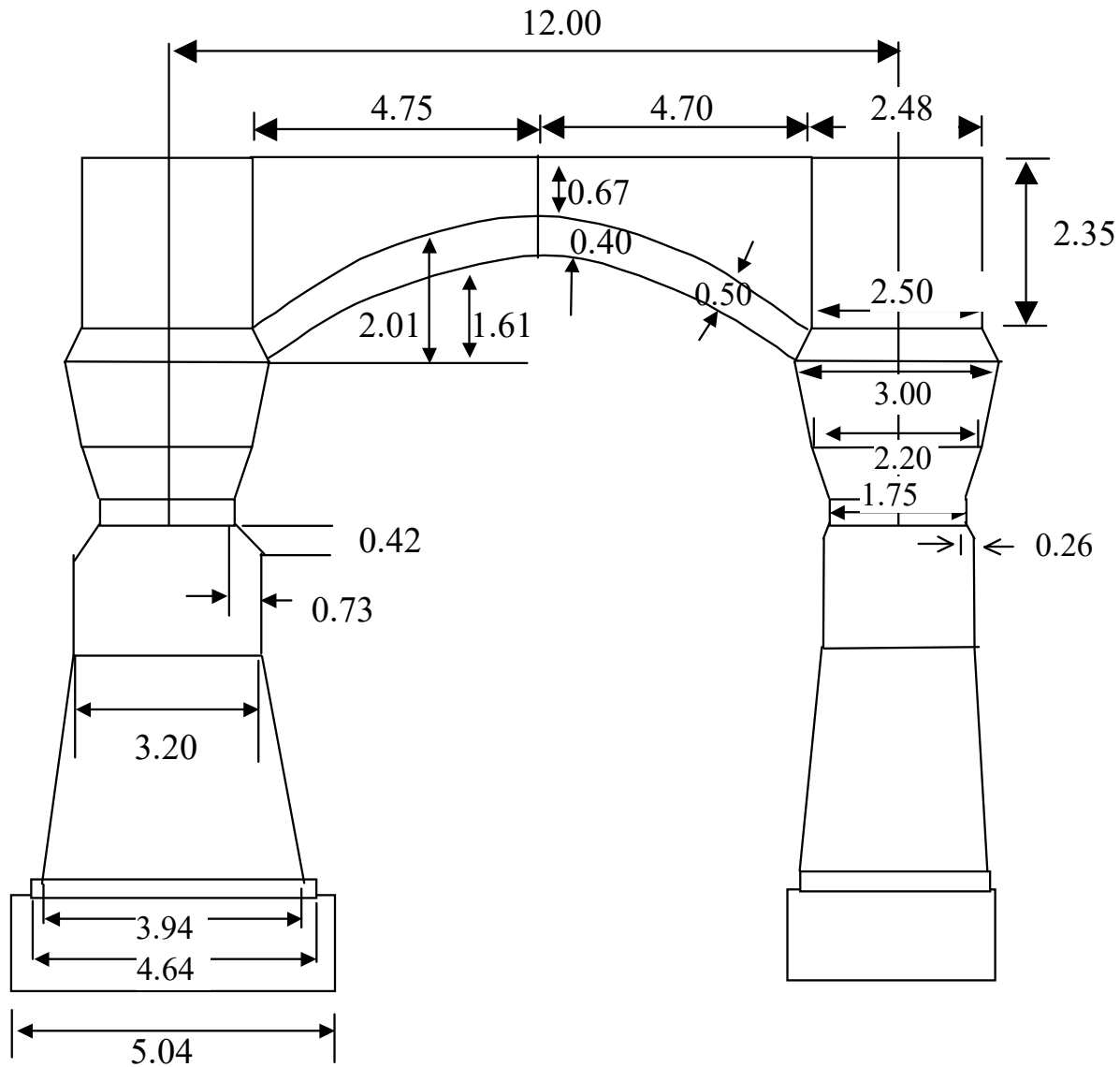


Sección transversal



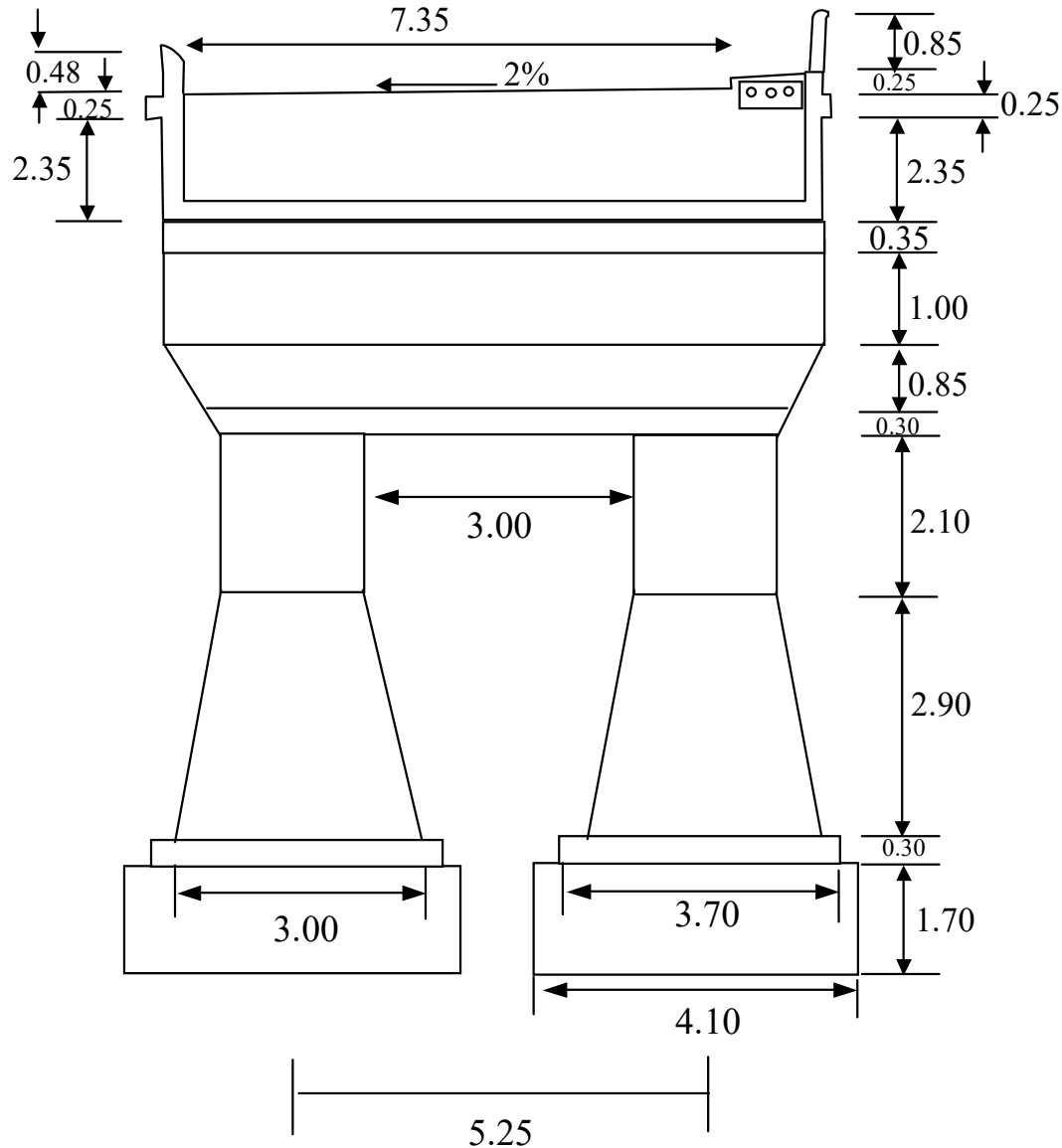
Planta

## Sección longitudinal





## Sección transversal



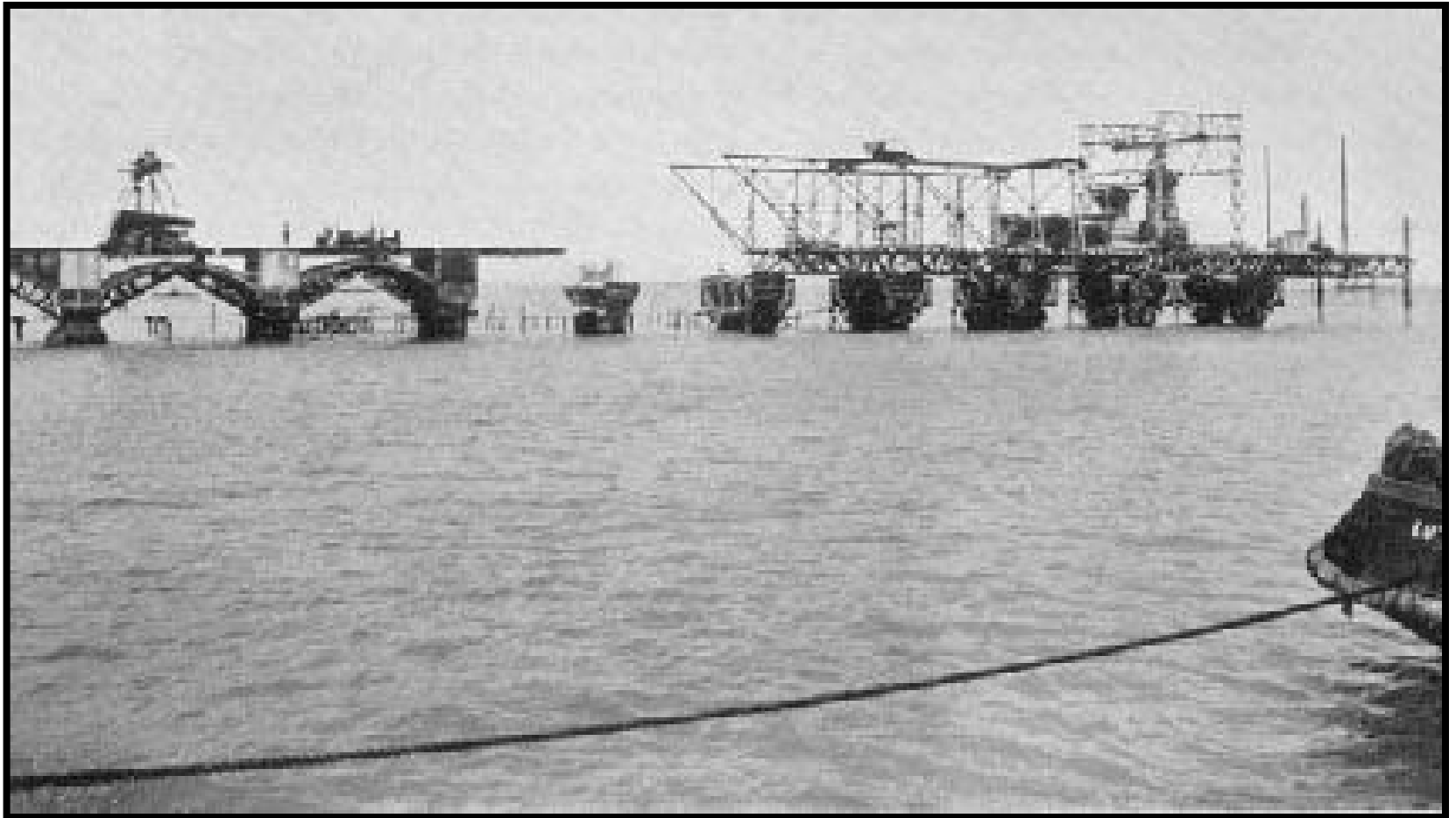
# Construcción del muelle

Planta mezcladora sobre el puente móvil de trabajo (Traveller II).

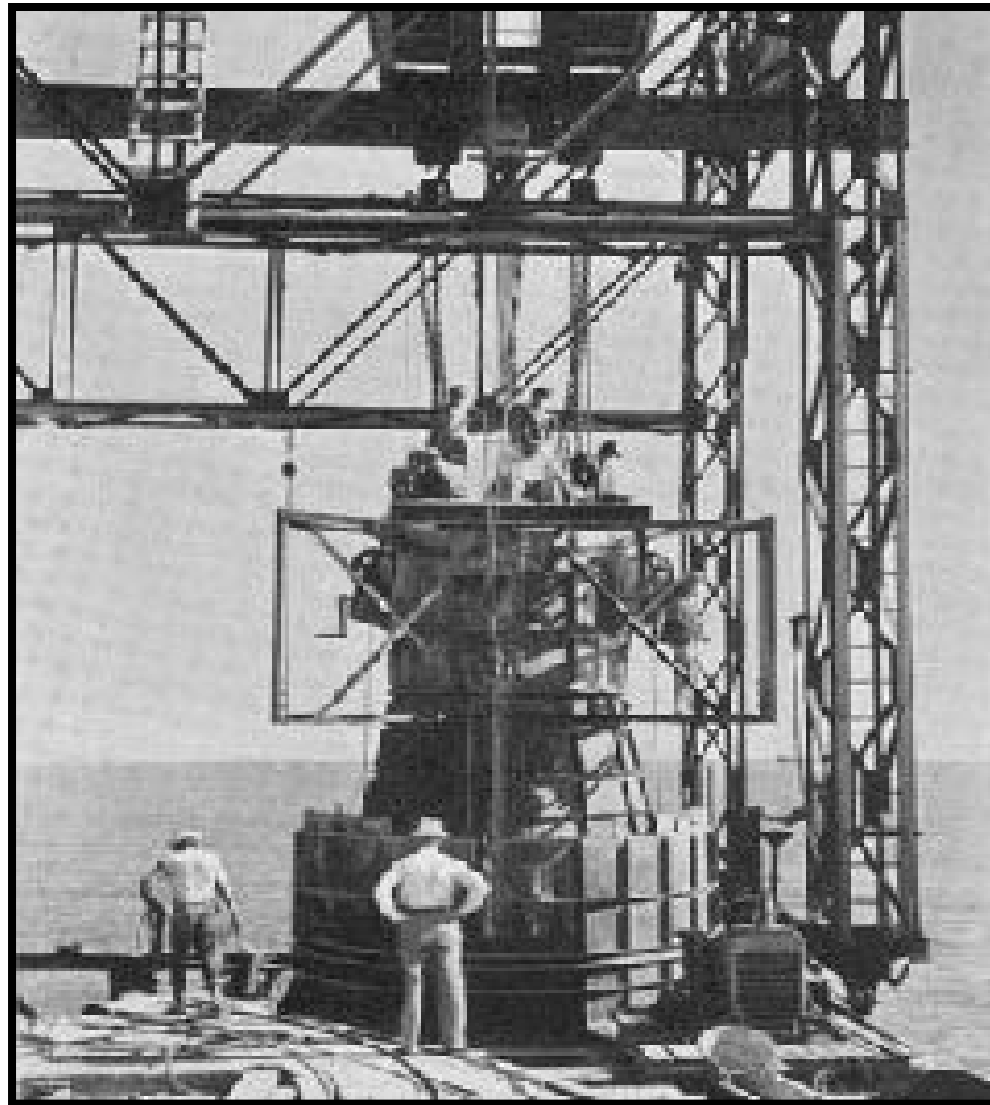


# Construcción del muelle

**Puentes móviles de trabajo en operación (Traveller I y II ).**

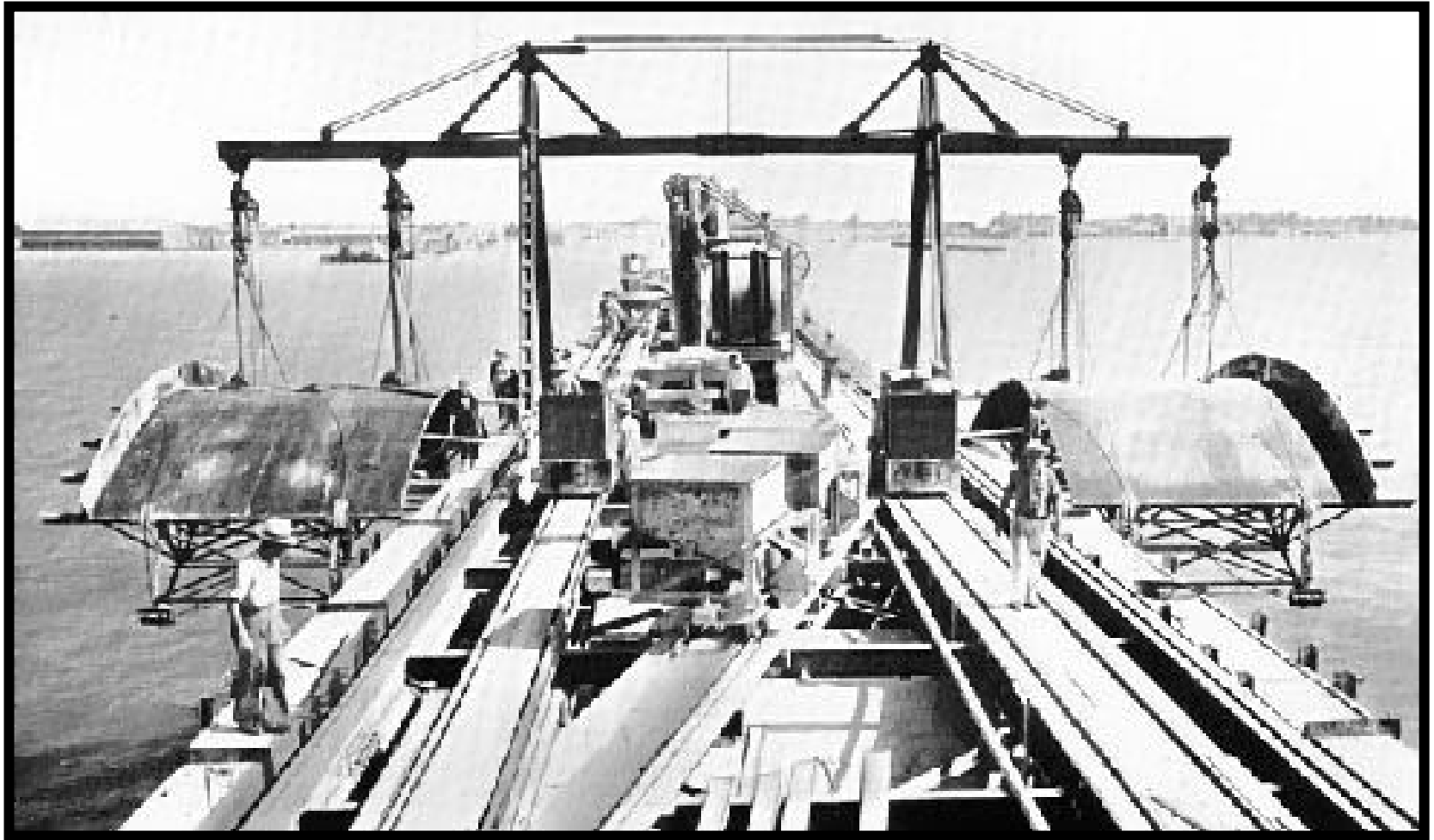


## Encofrado de los pilotes



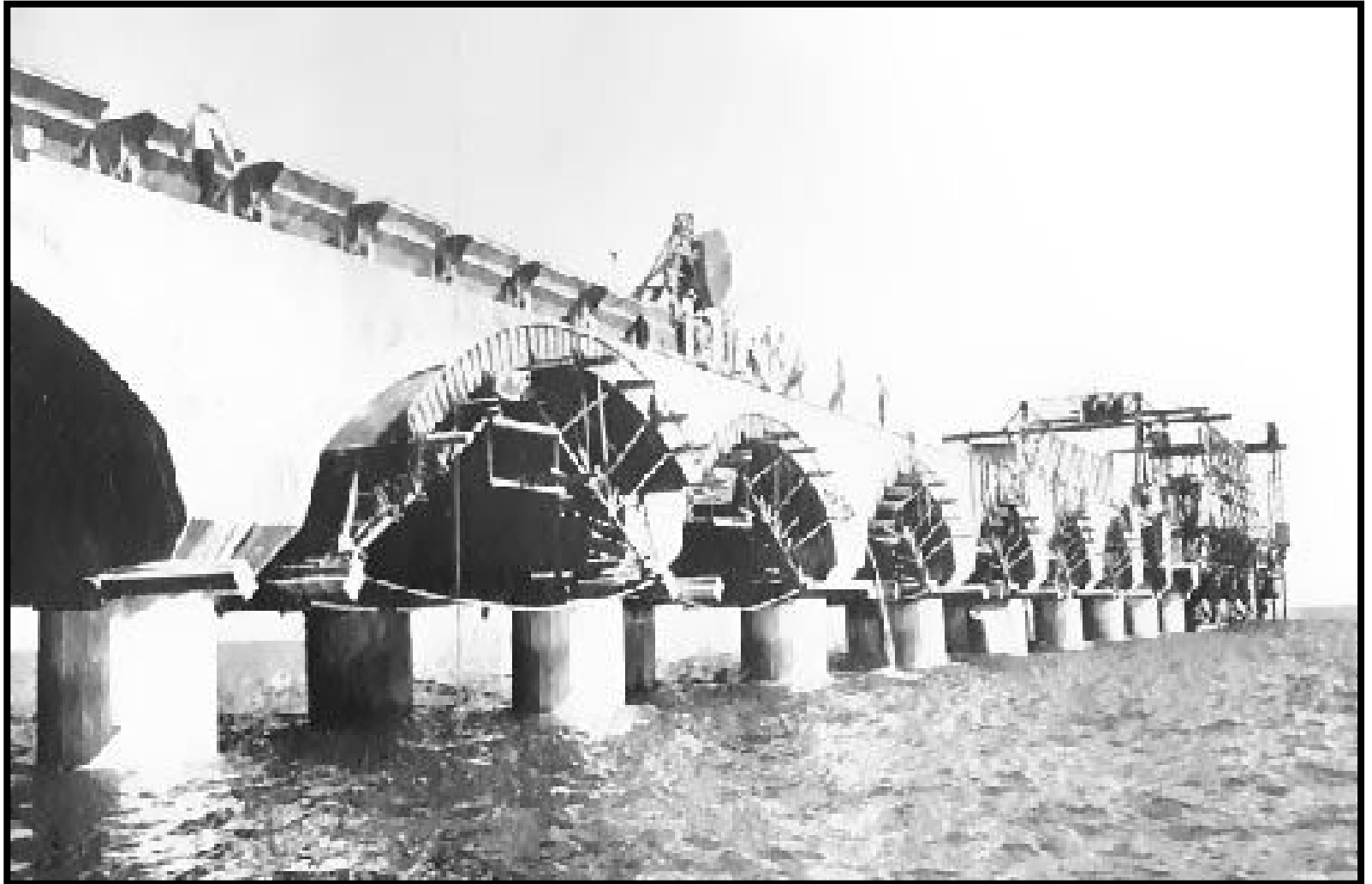
# Construcción del muelle

## Transporte de los moldes metálicos para los arcos



# Construcción del muelle

## Colado de los arcos



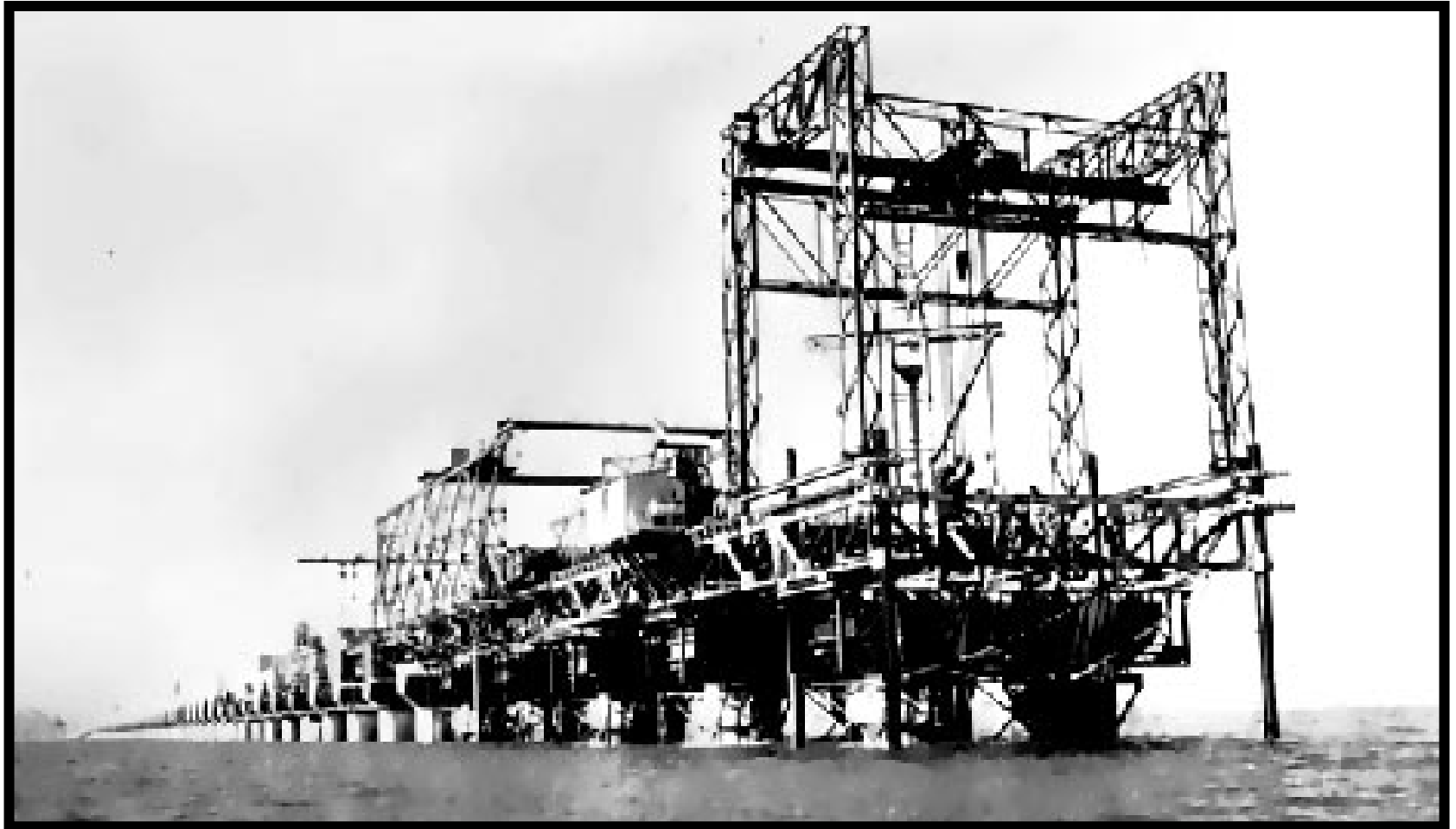
# Construcción del muelle

Pilotes cercanos a la playa



# Construcción del muelle

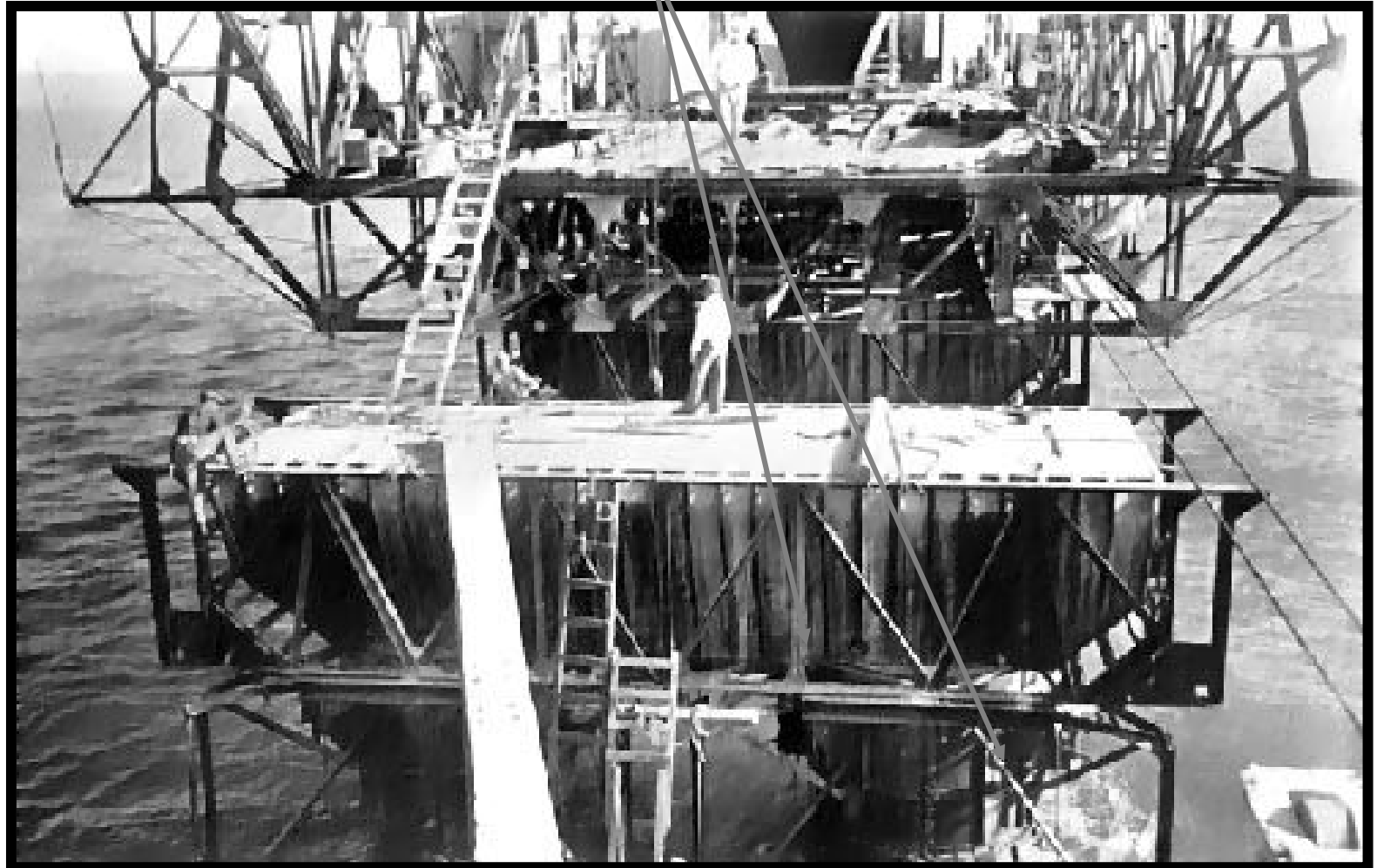
**Colado subacuático de los pilotes.**



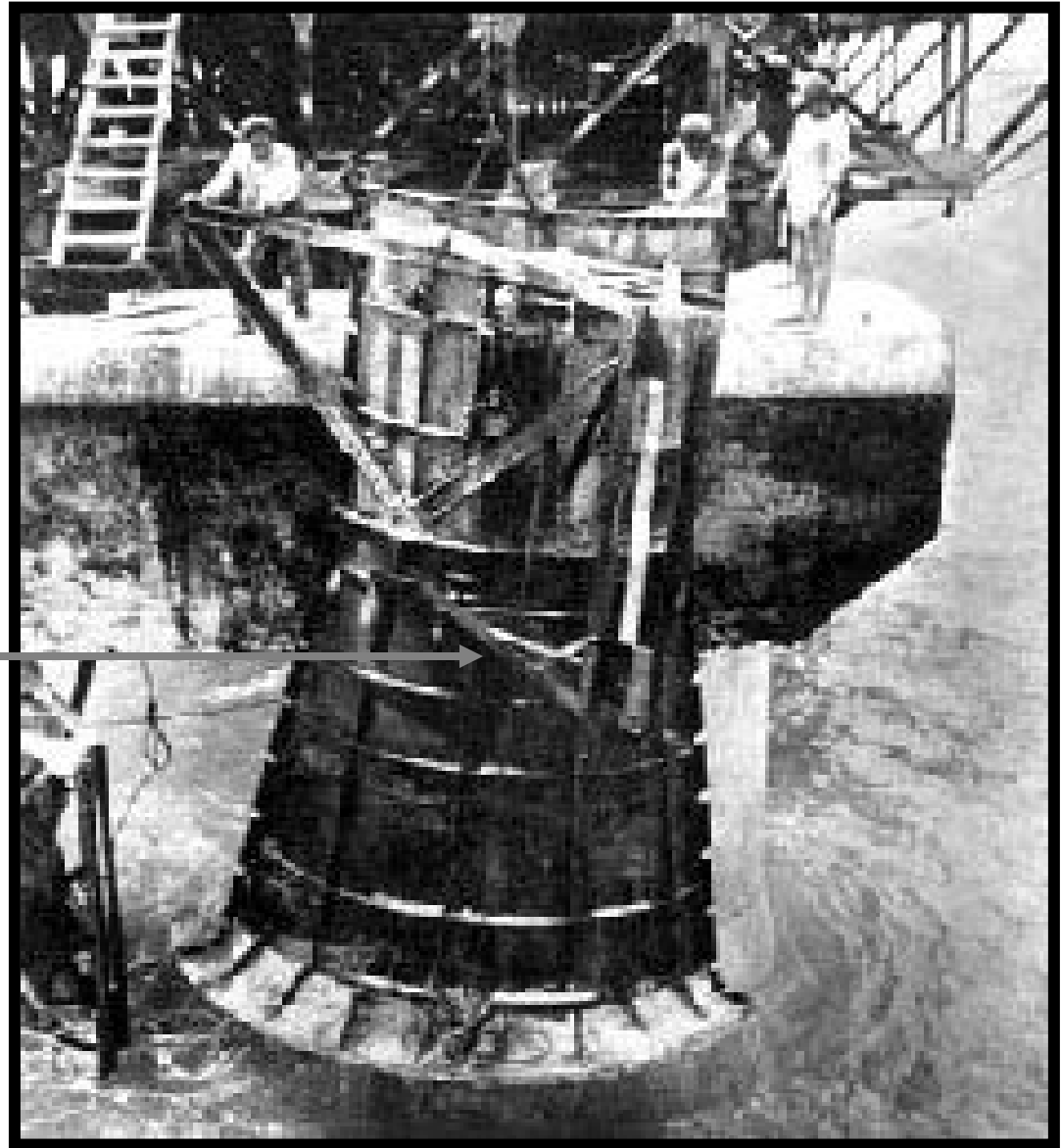


# Construcción del muelle

**Pilote y cabezal listos para desmoldar.**



Desencofrado del pilote



# Construcción del muelle

## Desplazamiento del Traveller II hacia adelante



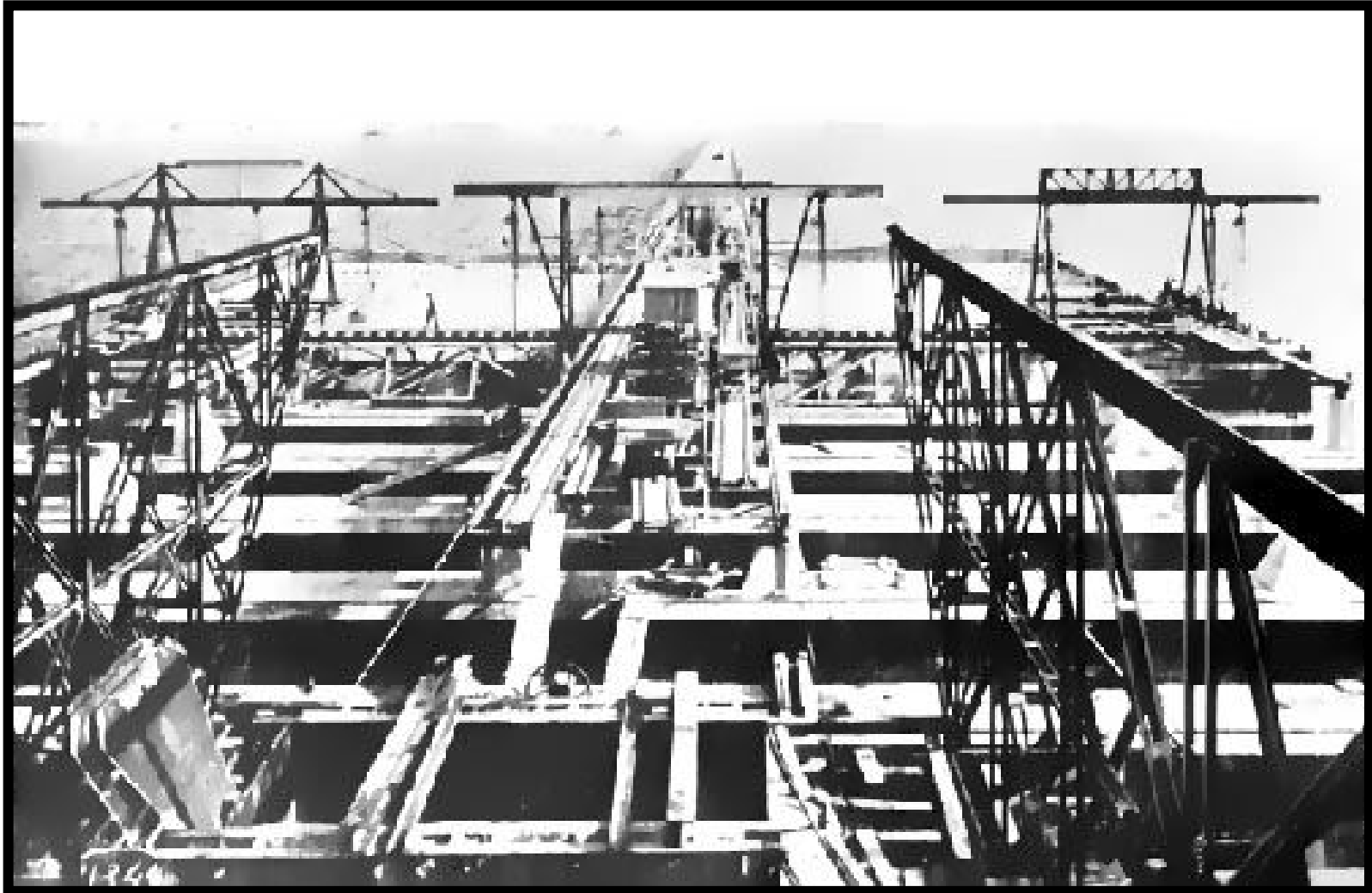
# Construcción del muelle

## Construcción del embarcadero



# Construcción del muelle

## Construcción de los arcos del embarcadero



# Construcción del muelle

## Vista aérea del embarcadero (1941)



# Construcción del muelle

## Vista aérea del muelle (1941)



# 68 años después





# 68 años después

¿Cómo ha sido su comportamiento mecánico?

¿Cuál ha sido su uso?

¿Cuál ha sido el efecto del medio ambiente?

¿Qué se propone?



# 68 años después

## Uso del muelle

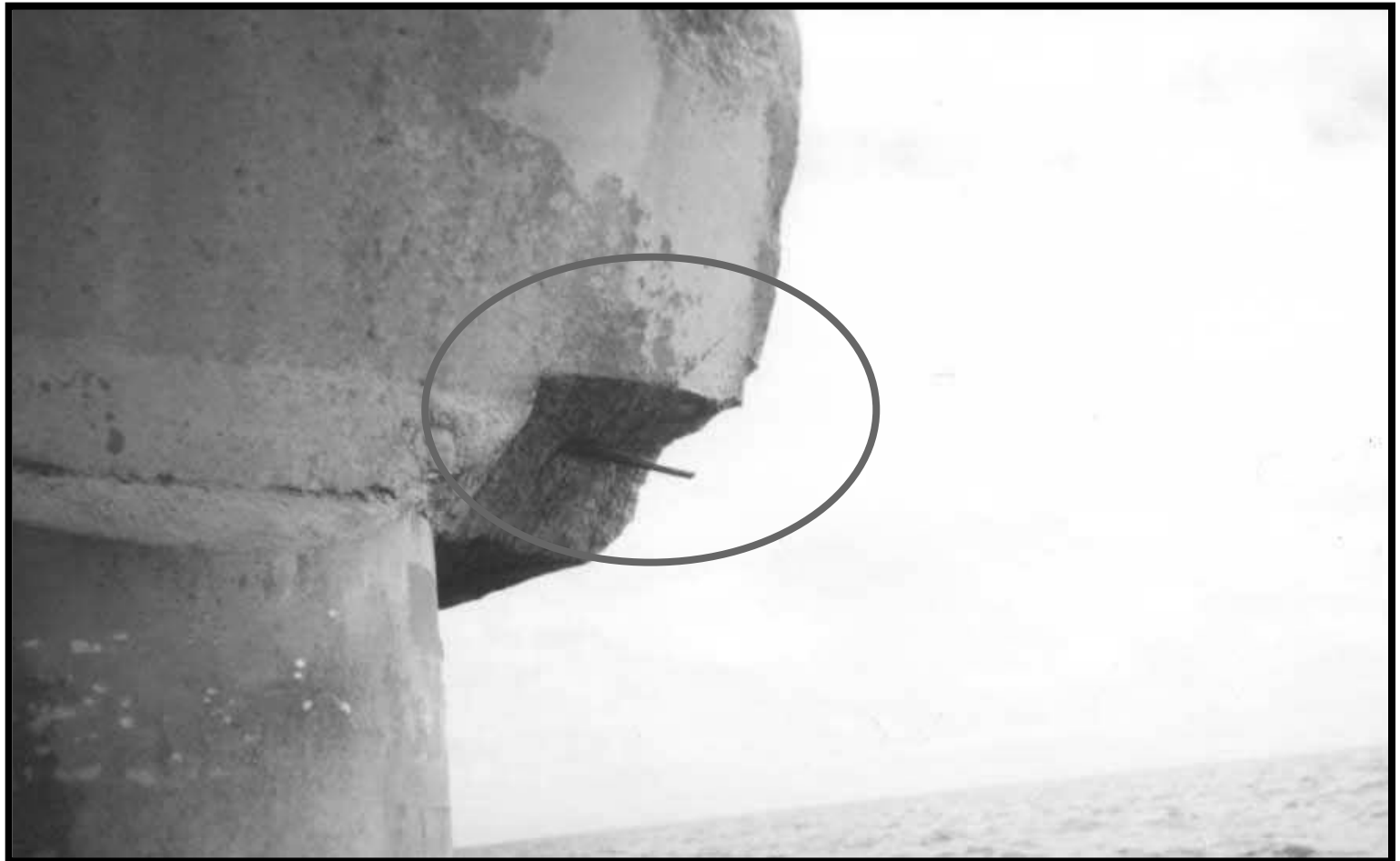
- **Comercial.**
- **Turístico.**

# 68 años después

1. Ha mostrado un buen desempeño durante su vida de servicio.
2. Hasta antes del 2003 no había recibido mantenimiento mayor.

## 68 años después

**Delaminación de la subestructura del muelle inducida aparentemente por el impacto de los barcos.**



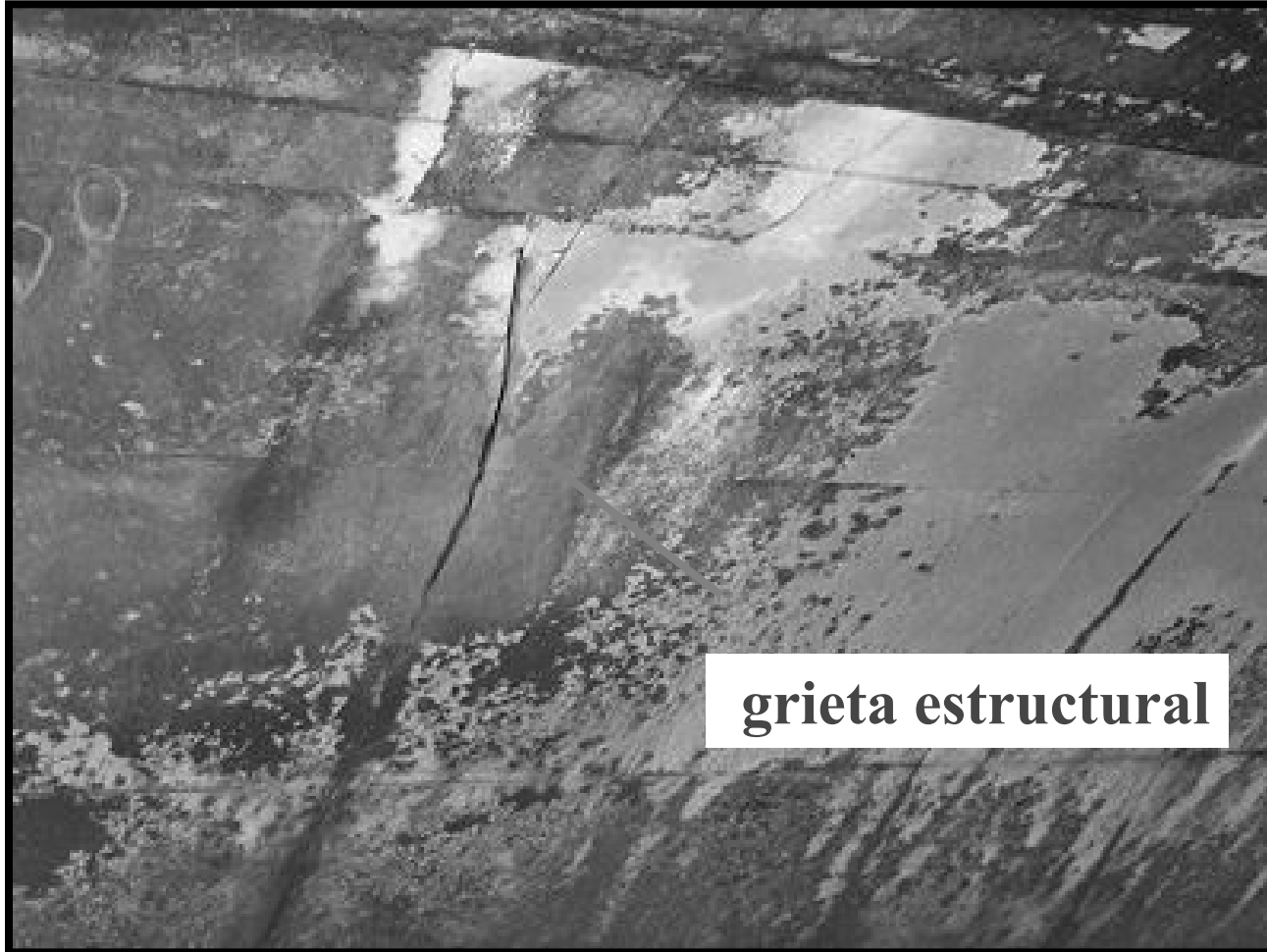
# 68 años después

Pilote que presenta una pérdida considerable de material



**68 años después**

## **Comportamiento mecánico**



## 68 años después

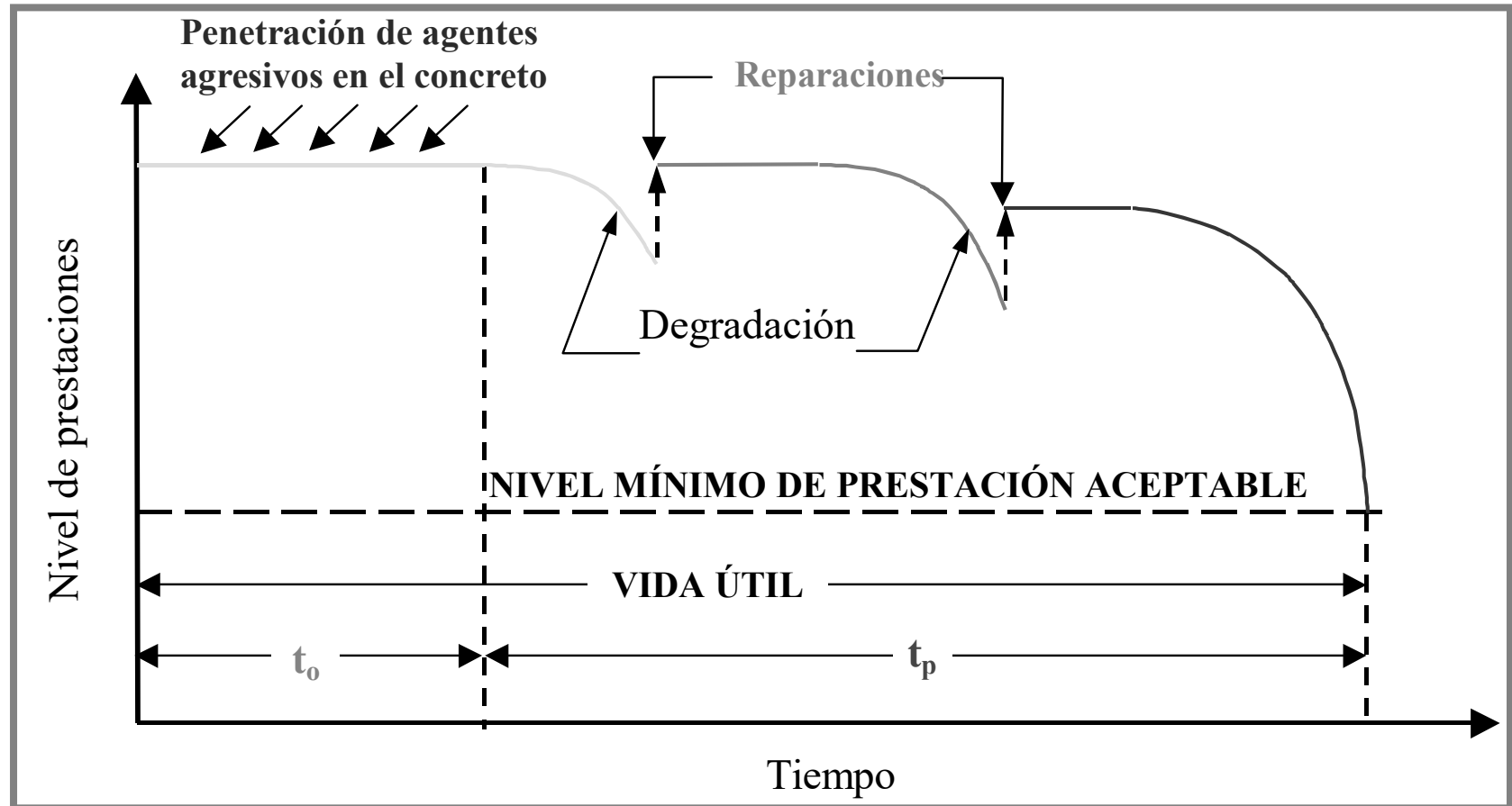
### Vida útil de una estructura de concreto reforzado

Se entiende por vida útil al período de tiempo en el que la estructura conserva sus características geométricas, de funcionalidad y de seguridad para las cuales fue proyectado sin costos inesperados de reparación o mantenimiento. Se consideran los períodos:

- tiempo de iniciación,  $t_0$
- período de propagación,  $t_p$

# 68 años después

Representación gráfica de la vida útil de una estructura de concreto armado<sup>1</sup>



1 M.A. Sanjuán, P. Castro, Acción de los agente químicos y físicos sobre el concreto, Ed. IMCYC, pag. 31.



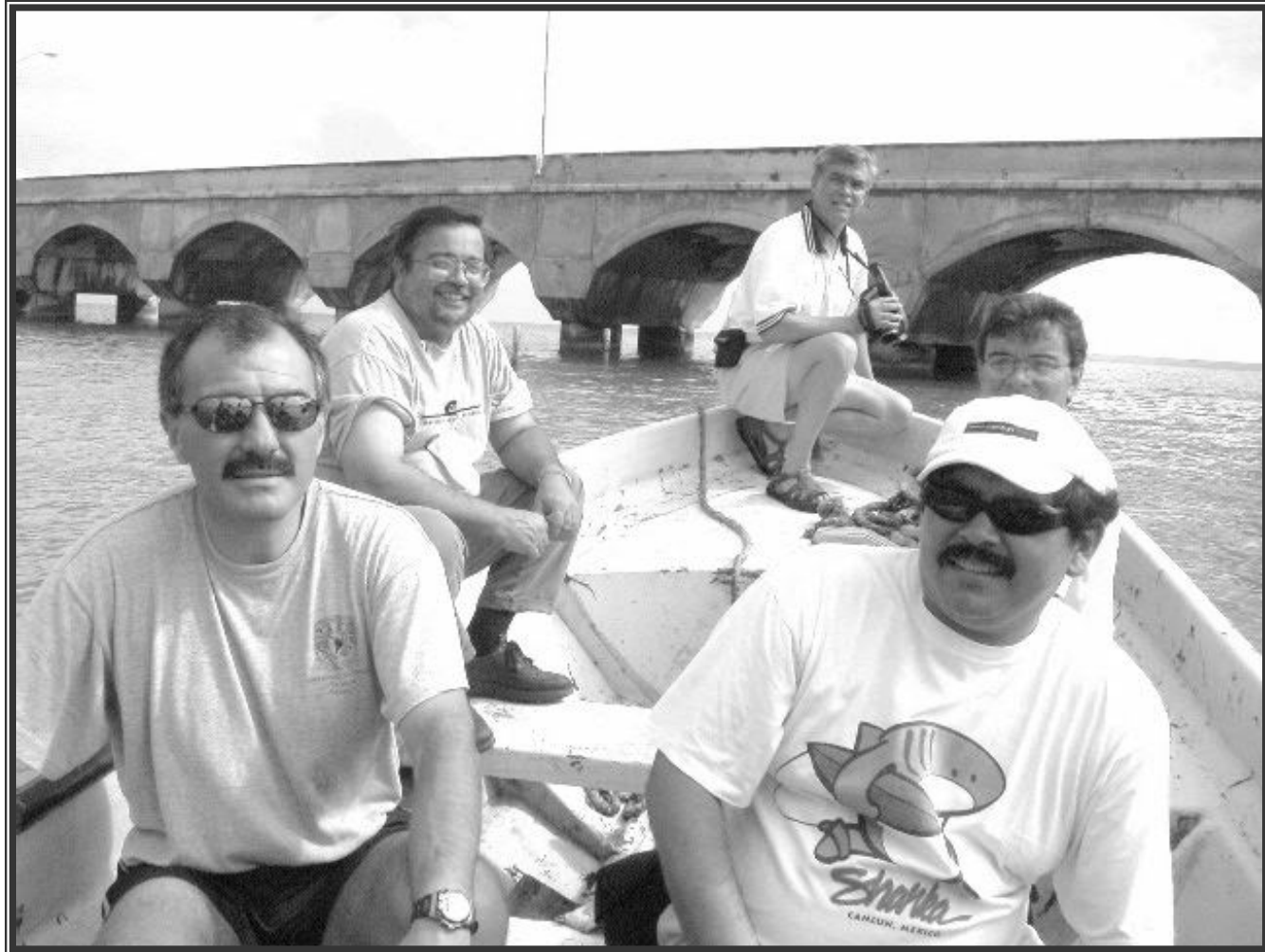
# **Inspección por corrosión del muelle 2000**

# Inspección por corrosión

- Inspección visual a lo largo de 2 Km. del muelle y de su subestructura.
- Inspección detallada
- Selección del lugar de pruebas
- Realización de las pruebas

# Inspección por corrosión

## Inspección preliminar: inspección visual



# Inspección por corrosión

## Inspección preliminar: inspección visual



# Inspección por corrosión

## Inspección preliminar: inspección visual



# Inspección por corrosión

## Inspección preliminar: inspección visual



# Inspección por corrosión

## Inspección preliminar: inspección visual



# Inspección por corrosión

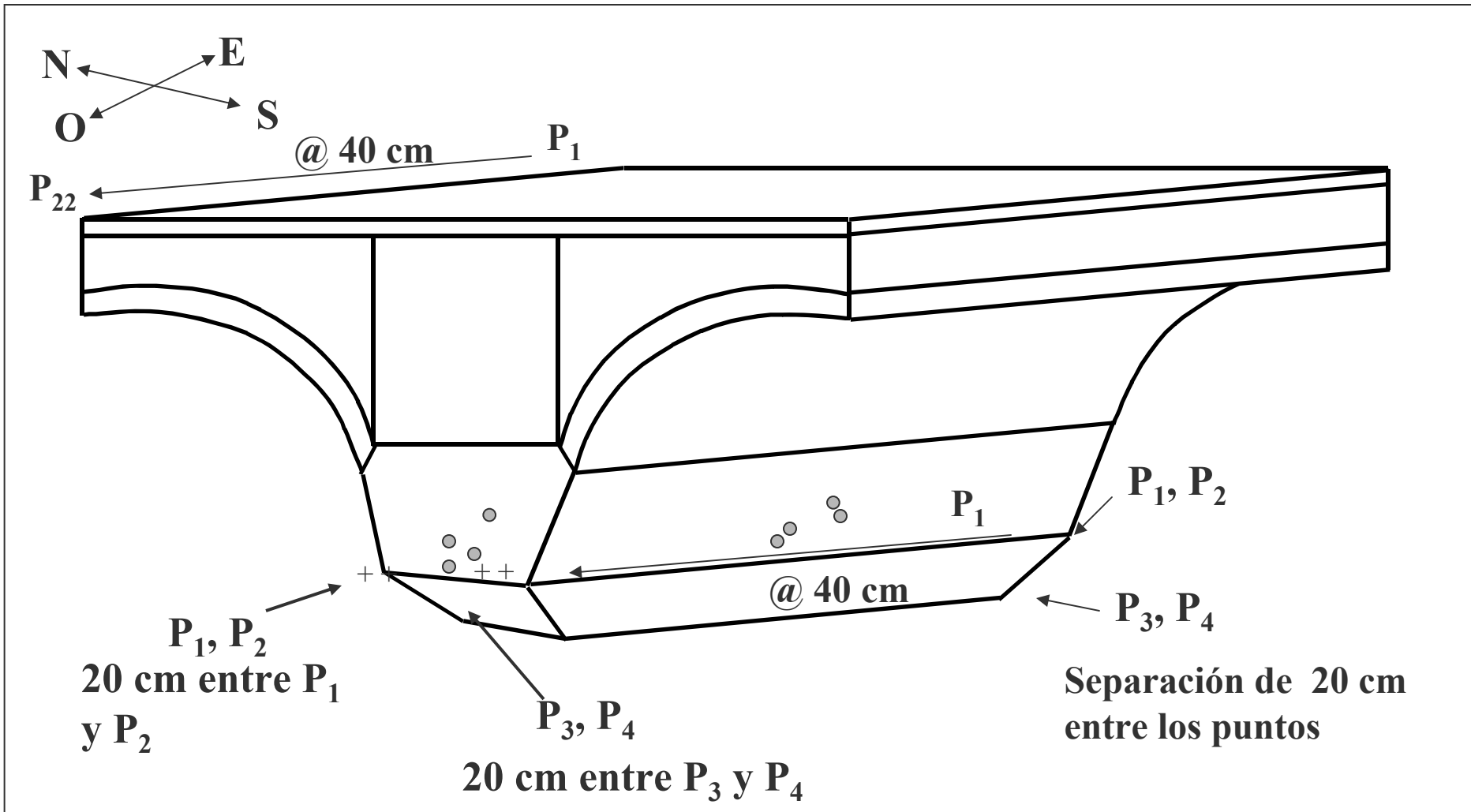
## Inspección detallada: Selección del lugar de las pruebas (Viga # 9)





# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Selección del lugar de las pruebas (Viga # 9)



Localización de los puntos donde se extrajeron los corazones y se realizaron las mediciones electroquímicas (viga #9)

# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Selección del lugar de las pruebas (Viga # 9)



**Extracción de los corazones**

# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Selección del lugar de las pruebas (Viga # 9)



**Extracción de los corazones**

# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Selección del lugar de las pruebas (Viga # 9)

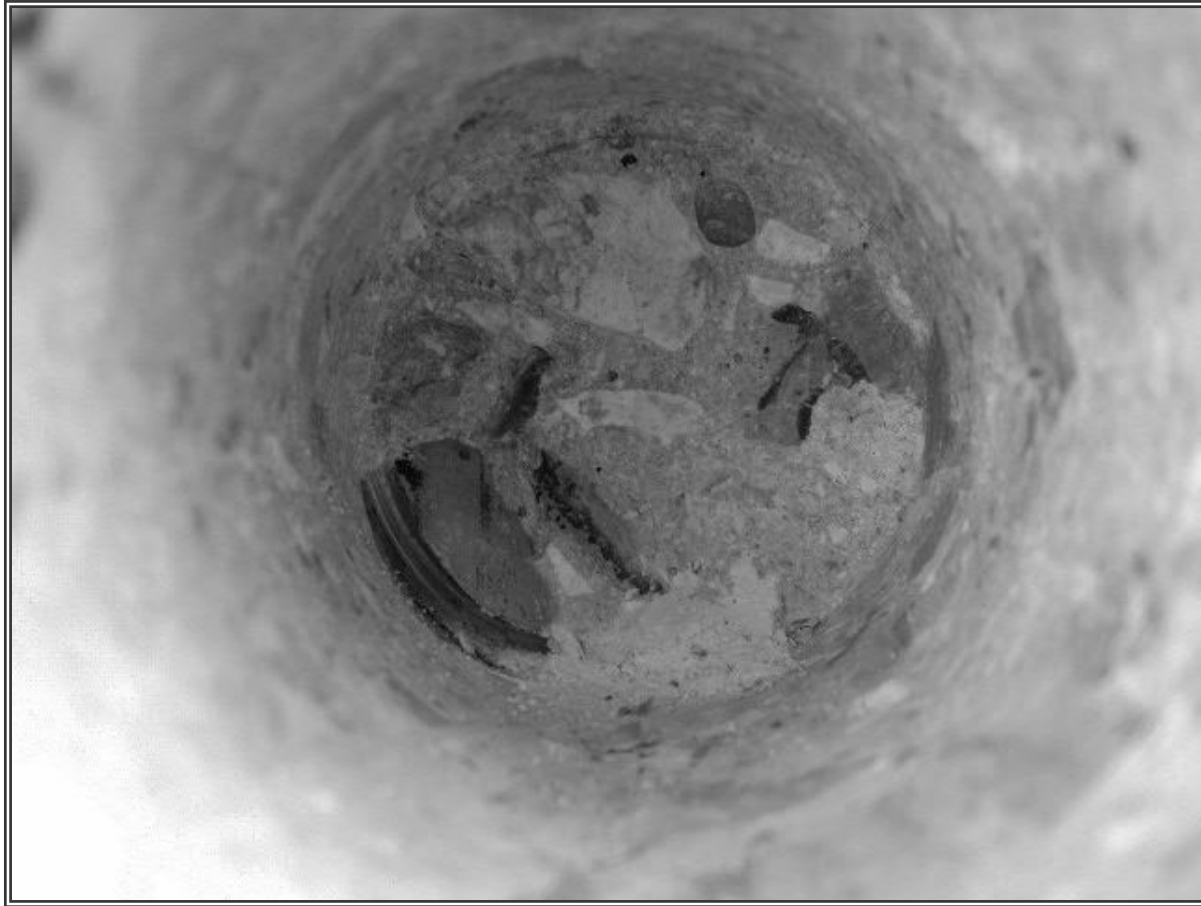


**Extracción de los corazones**



# Inspección por corrosión

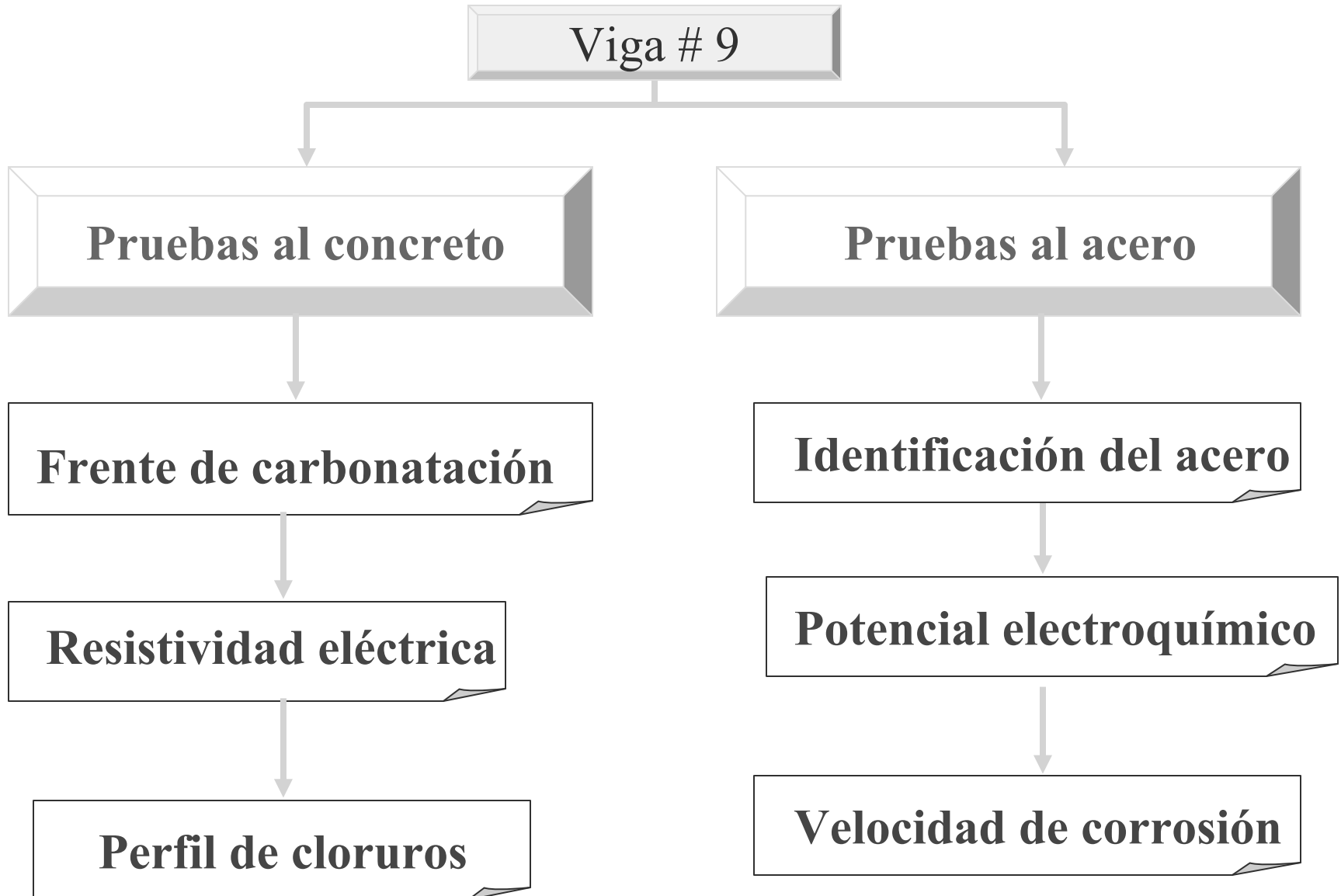
**Inspección detallada: Selección del lugar de las pruebas (Viga # 9)**



**Extracción de los corazones**

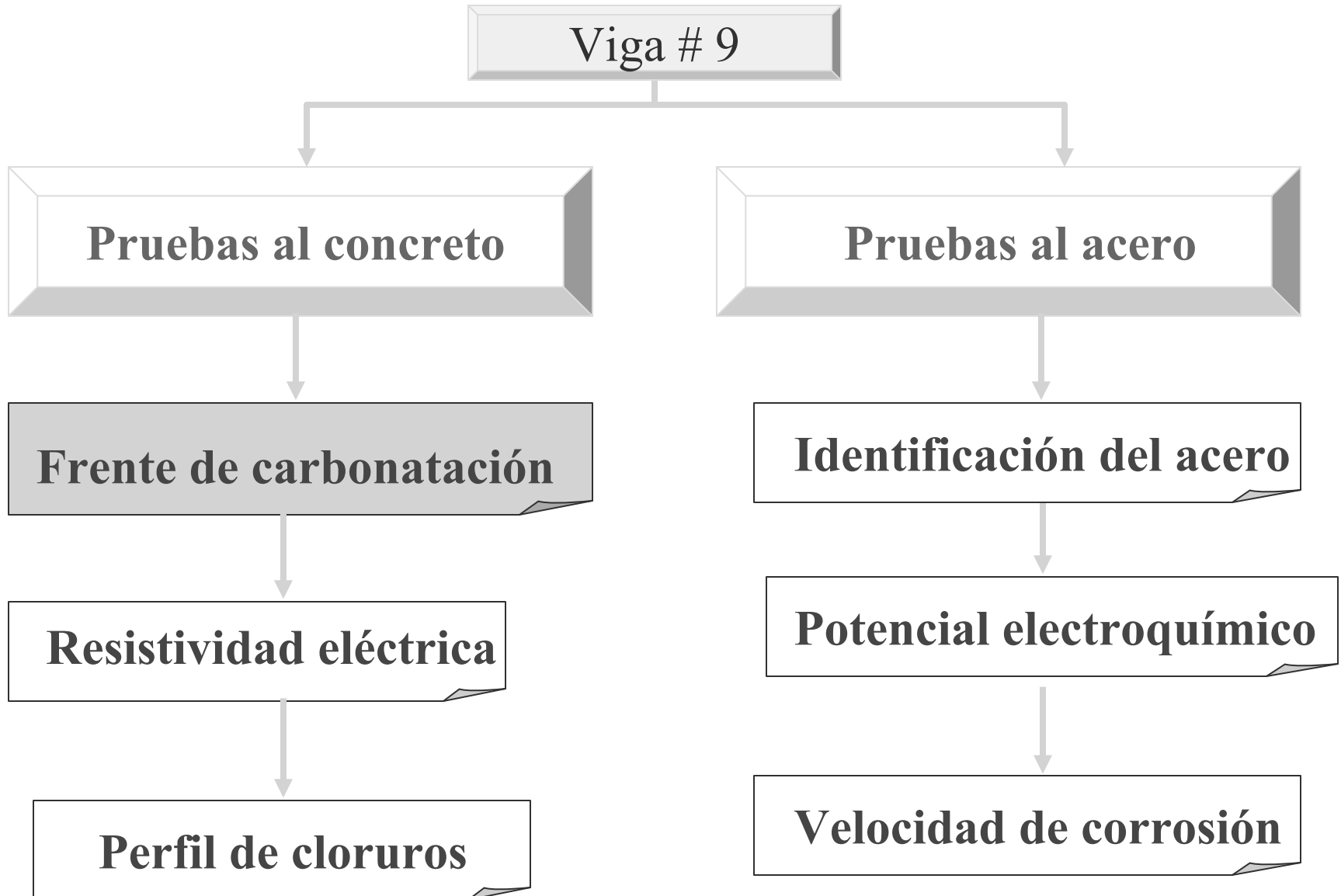
# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Pruebas



# Inspección por corrosión

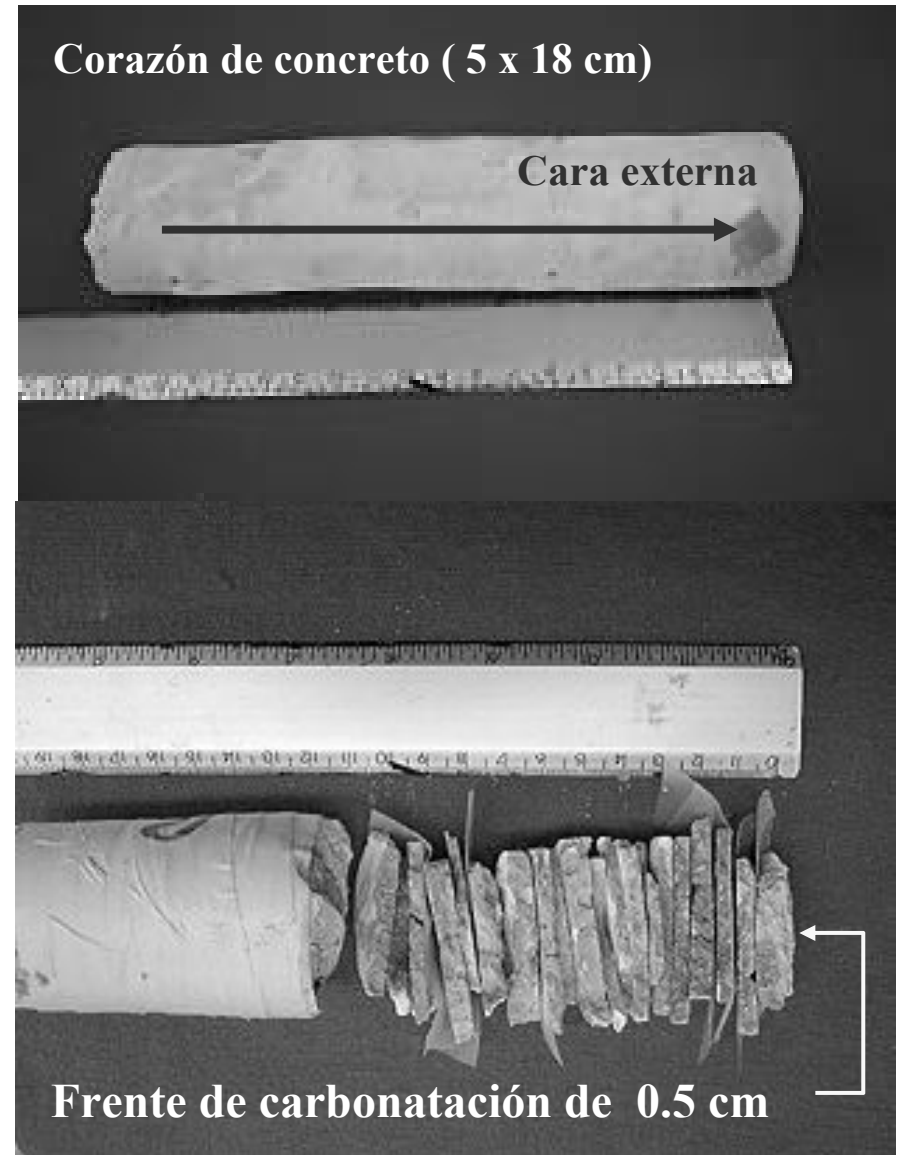
## Inspección detallada: Pruebas



# Inspección por corrosión

## Resultados

**La carbonatación  
es despreciable**

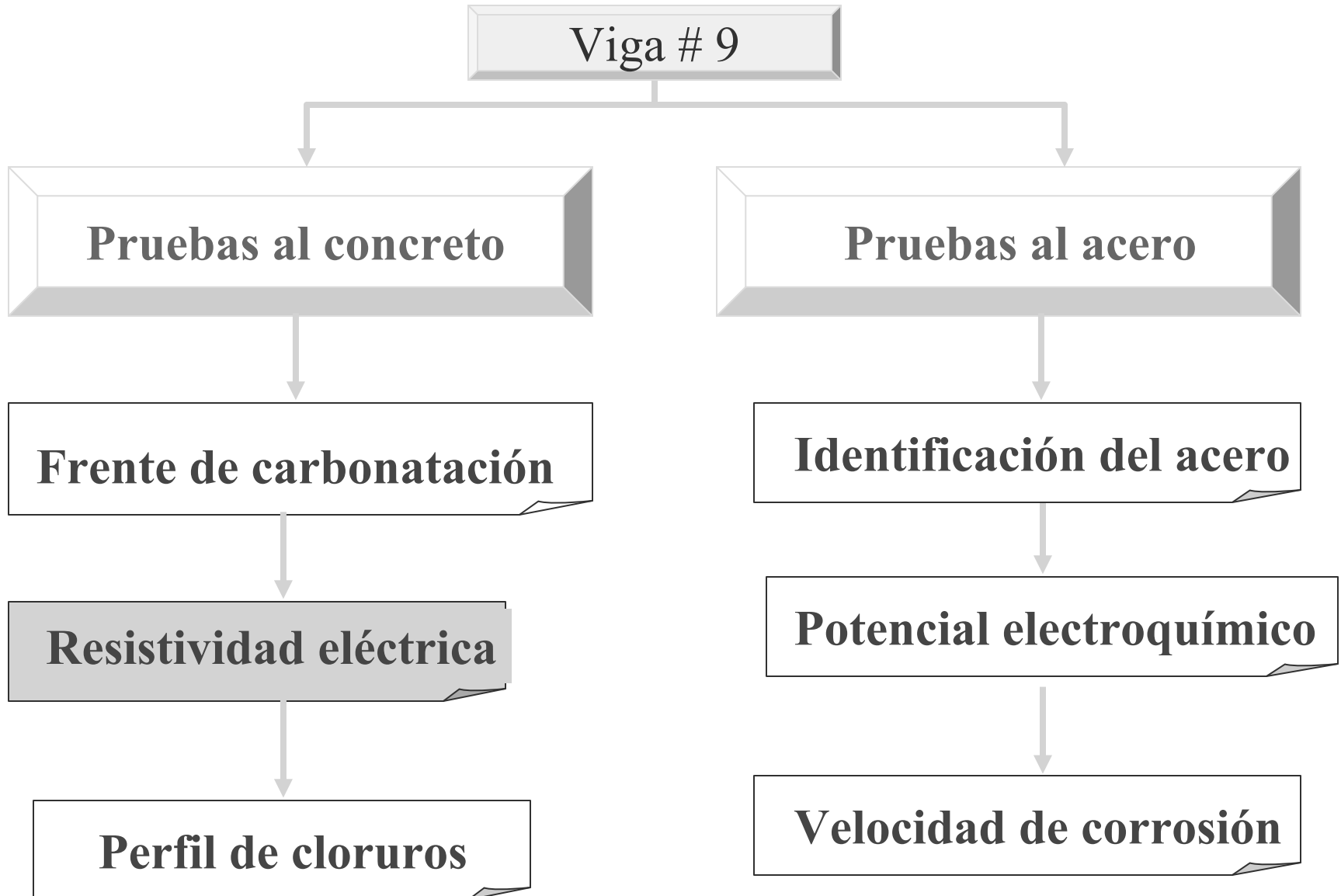


**Prueba de carbonatación en un corazón de concreto (cara sur del muelle)**

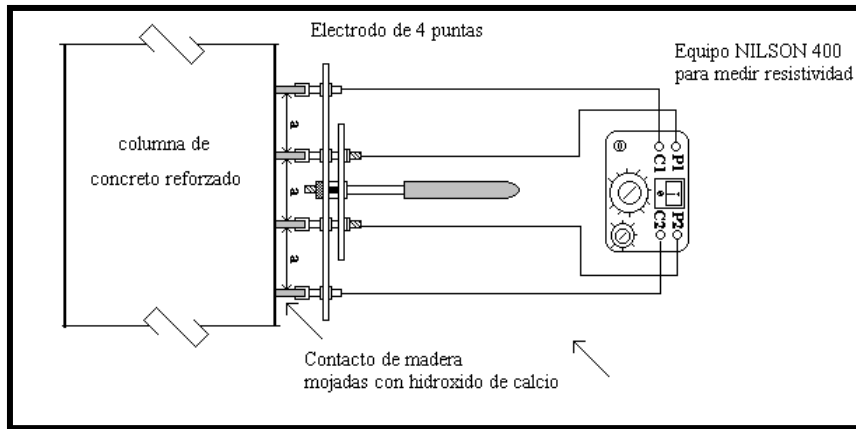


# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Pruebas



## Resistividad eléctrica (ASTM G 57-78)



**Diagrama del arreglo de Wenner para medir resistividad en el concreto**



## Resultados

### Criterio de evaluación

### Resistividad del concreto <sup>2</sup>

Resistividad $K\Omega$ - cm	Velocidad de corrosión
< 5	Muy alto
5 – 10	Alto
10 – 20	Moderado / bajo
> 20	Bajo

<sup>2</sup> S.G. Millard, "Corrosion rate measurement of in-situ reinforced concrete structures", Proc. Instn Civ. Engrs Structs & Bldgs, 1993, 99, Feb., p. 85

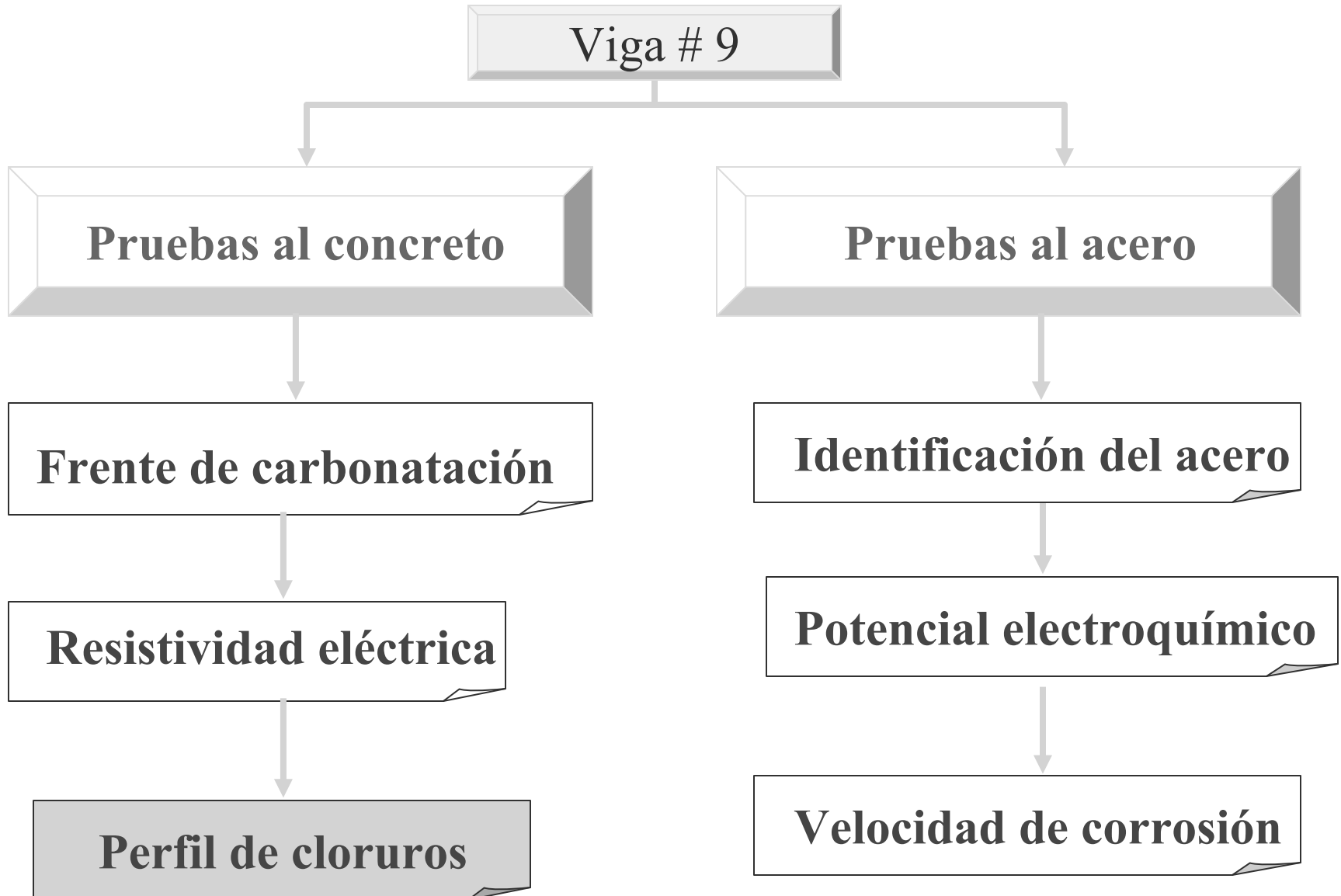
# Resultados

## Viga # 9

<b>Resistividad Kohm - cm</b>			
<b>Cara</b>	<b>Punto Este → Oeste</b>		
	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>3</sub></b>
<b>Norte</b>	<b>1.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>
<b>Sur</b>	<b>2.51</b>	<b>1.57</b>	<b>2.2</b>
<b>Cara</b>	<b>Punto Este → Oeste</b>		
	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>3</sub></b>
<b>Este</b>	<b>2.2</b>	<b>1.63</b>	<b>1.88</b>
<b>Oeste</b>	<b>0.94</b>	<b>0.63</b>	<b>1.26</b>

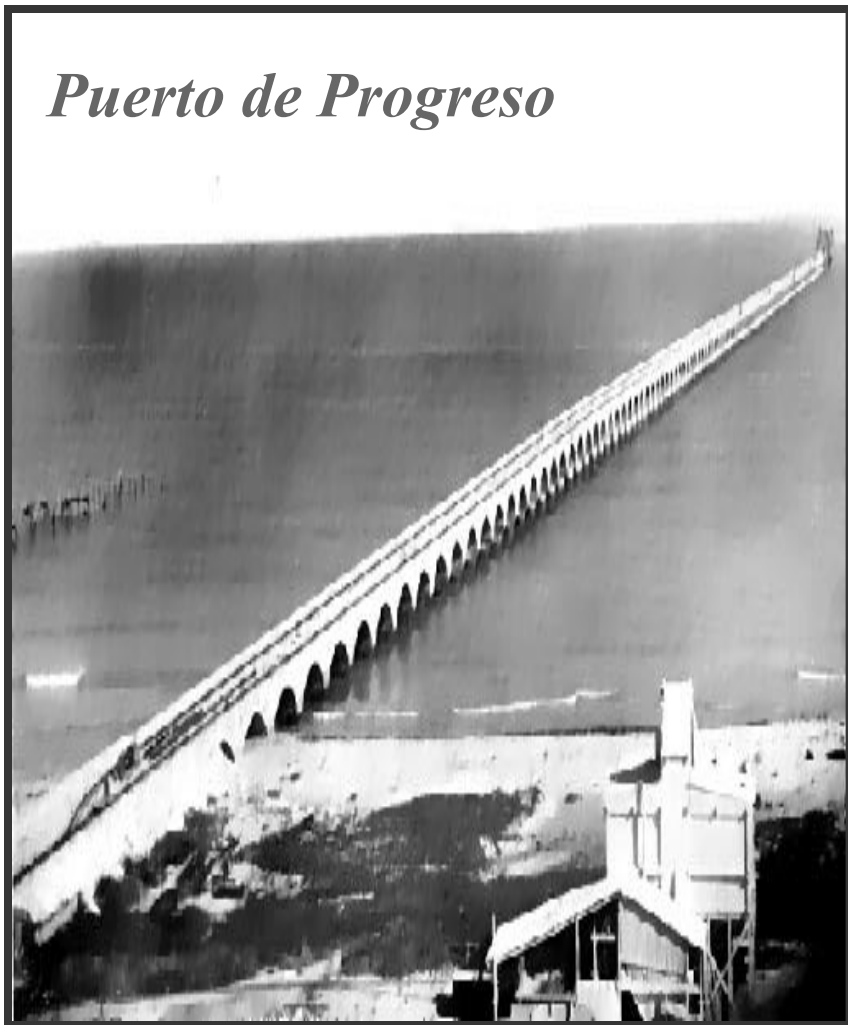
# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Pruebas



# Resultados

## *Puerto de Progreso*



### Contaminantes

- ✓ Cl<sup>-</sup> 430.36 mg /m<sup>2</sup>d (S<sub>3</sub>)
- ✓ SO<sub>2</sub> 10.85 mg/m<sup>2</sup>d (P<sub>1</sub>)

### Condiciones ambientales

- ✓ Temp. 26.3°C
- ✓ HR 79%
- ✓ TOW 89494 h ( $\tau_5$ )

**Alta corrosividad para el Fe (> C<sub>5</sub>)**

# Inspección por corrosión



Se empleó acero inoxidable en las vigas para prevenir grietas por contracción y como protección contra la corrosión.

El tiempo de vida útil estimado para el acero inoxidable es de 75 años.

# Inspección por corrosión



Muelle de pescadores construido en los años 50, paralelo al muelle de Progreso, con acero al carbono.



# Inspección por corrosión

Imágenes que muestra la destrucción de la cubierta del muelle luego del paso del huracán Gilberto en 1988

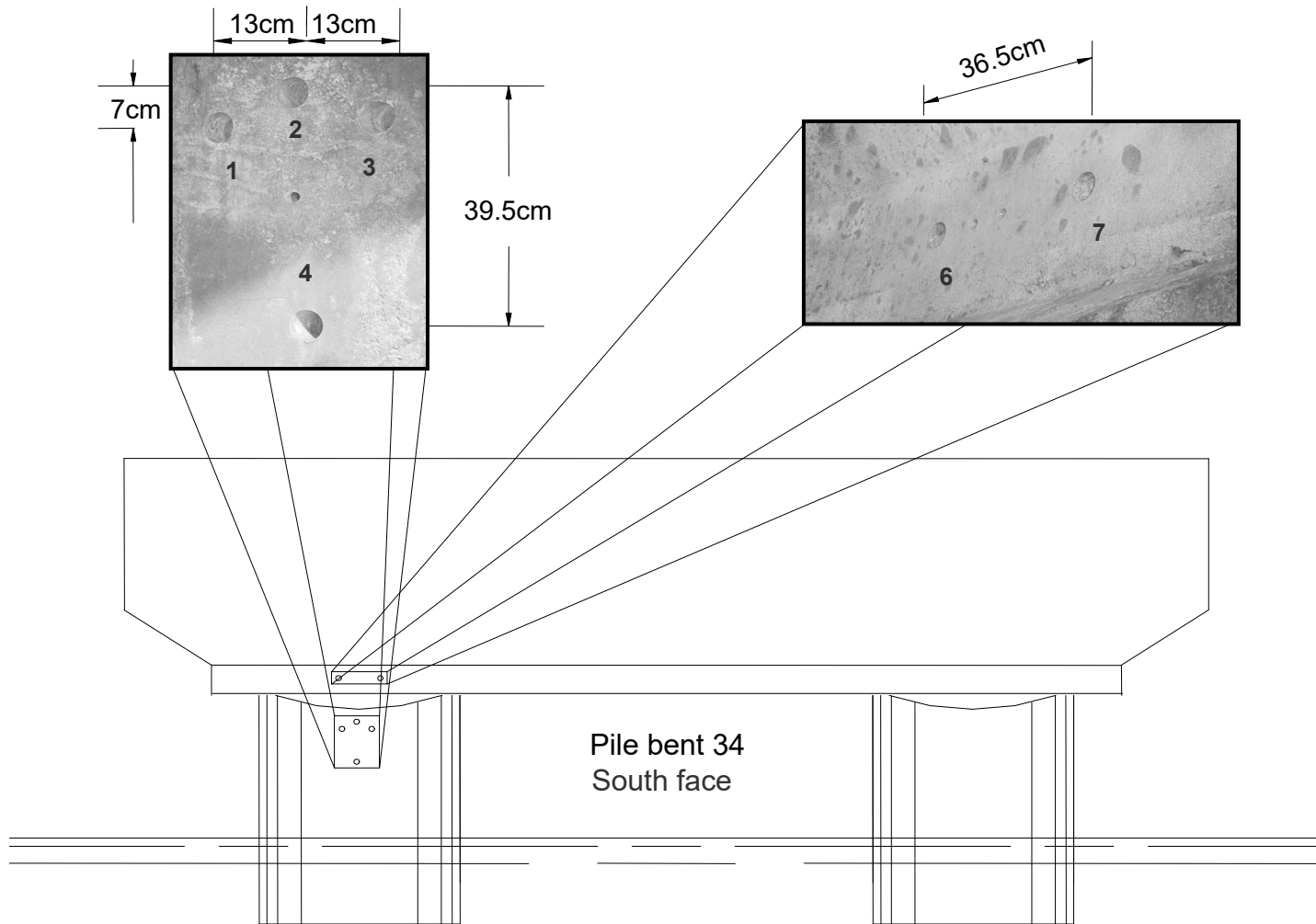


# Inspección por corrosión



Viga 9.

Daños visuales de corrosión en la cara Este de la viga



Esquema típico para la toma de muestras de las vigas y columnas

## Procedimiento experimental

## Inspección por corrosión



Vista frontal, Cara Norte



Vista lateral, Cara Este.

## Procedimiento experimental

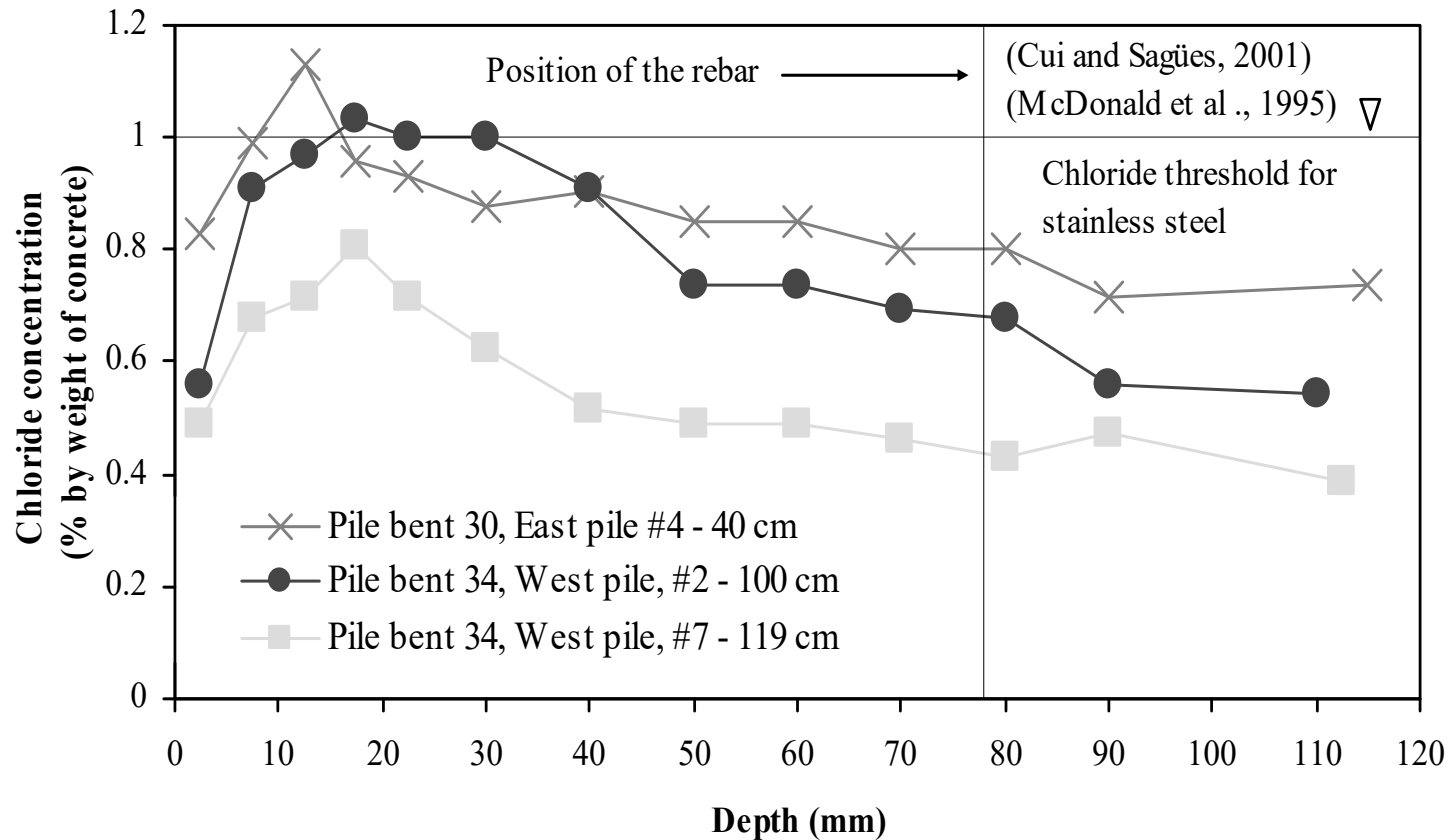


Columna, Cara Sur



Viga, Cara Sur

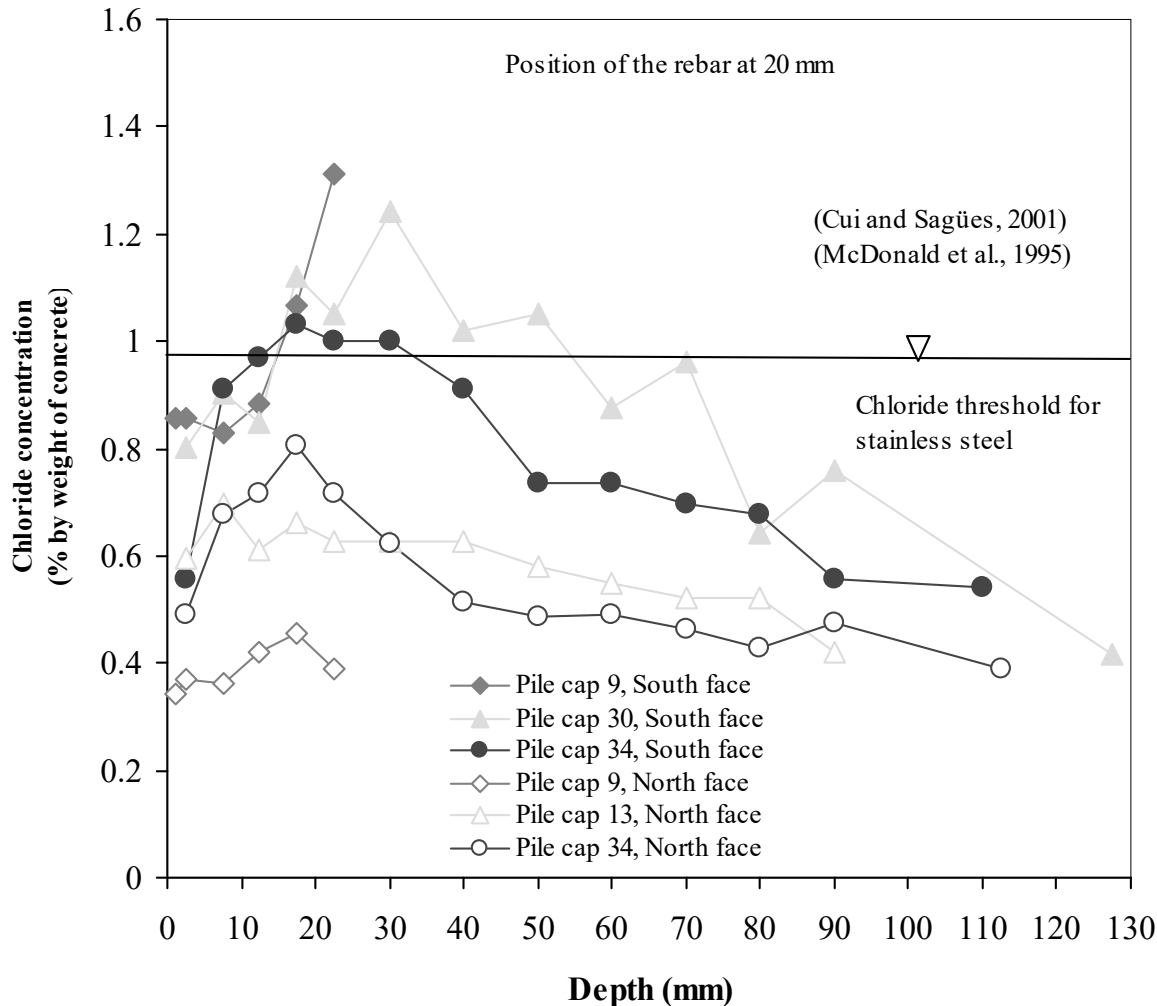
## Resultados



Perfil de cloruros de tres pilas representativas

- El umbral de cloruro no se ha alcanzado a nivel de la barra de refuerzo
- A mayor distancia de la zona de salpique, menor concentración de cloruro,
- La calidad del concreto puede ser decisivo para observar diferencias en el perfil de cloruro

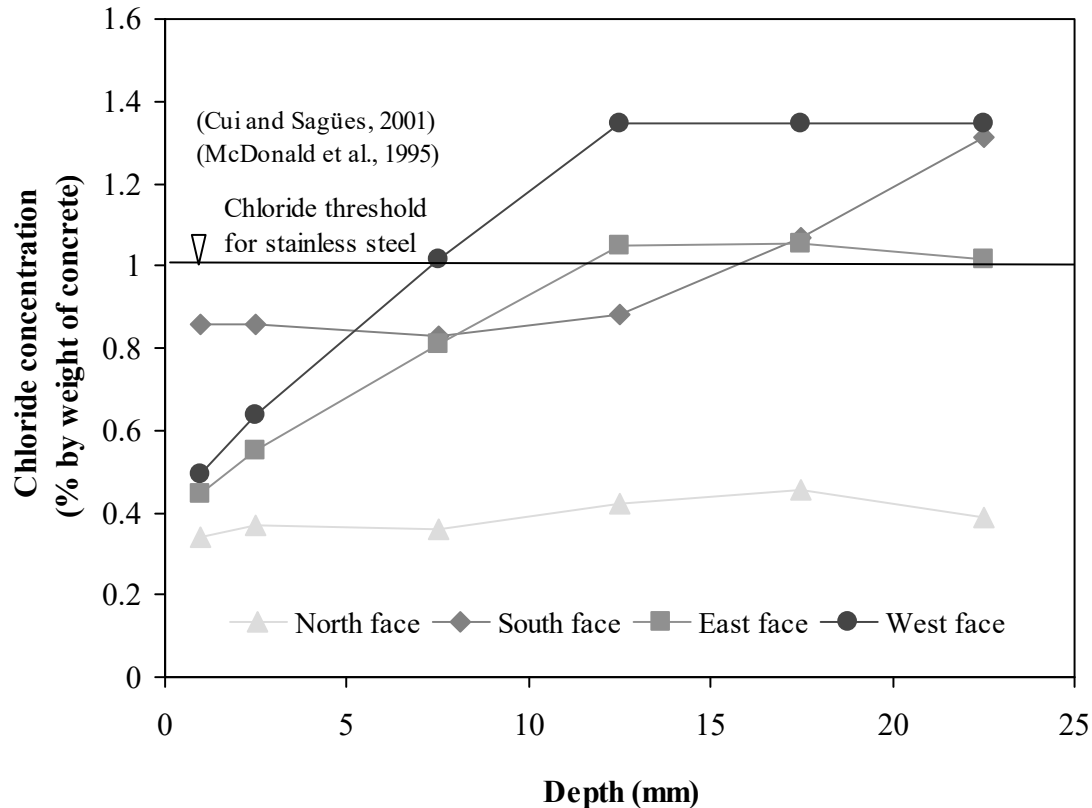
## Resultados



La cara norte (afectada por la brisa marina) tiene un perfil de concentración menor que la cara sur.

El efecto de los ciclos climáticos (vientos, aislamiento), las mantiene secas disminuyendo el ingreso de los iones cloruro. (De Coss et al, 1998; Troconis et al, 2006).

Influencia de la orientación geográfica en el perfil y la concentración de cloruros

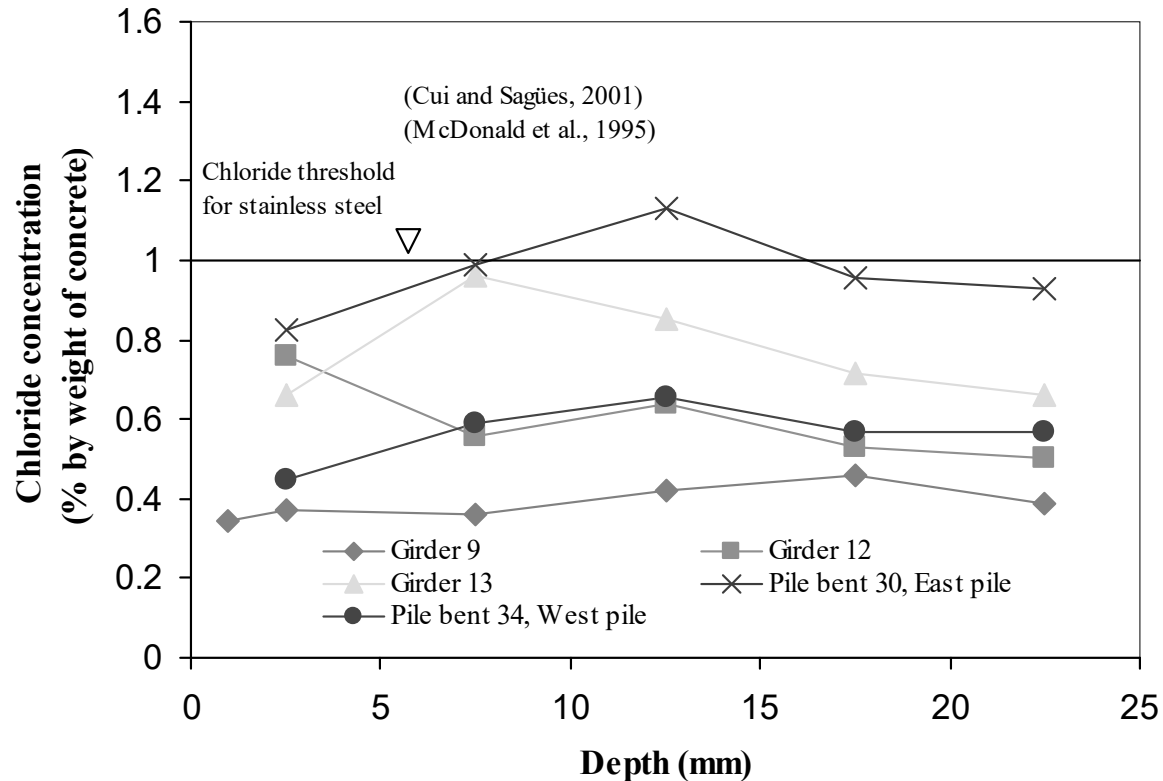


Cambios en la zona de “secado y mojado” a la misma profundidad

- Estas partes de los perfiles son afectadas por varios factores como el viento , el efecto piel, etc.,
- Las caras Norte y Este se ven más afectadas por los ciclos de secado y mojado que las caras Sur y Oeste.
- La concentración superficial no es suficiente para determinar la influencia de la orientación geográfica de la estructura



## Resultados

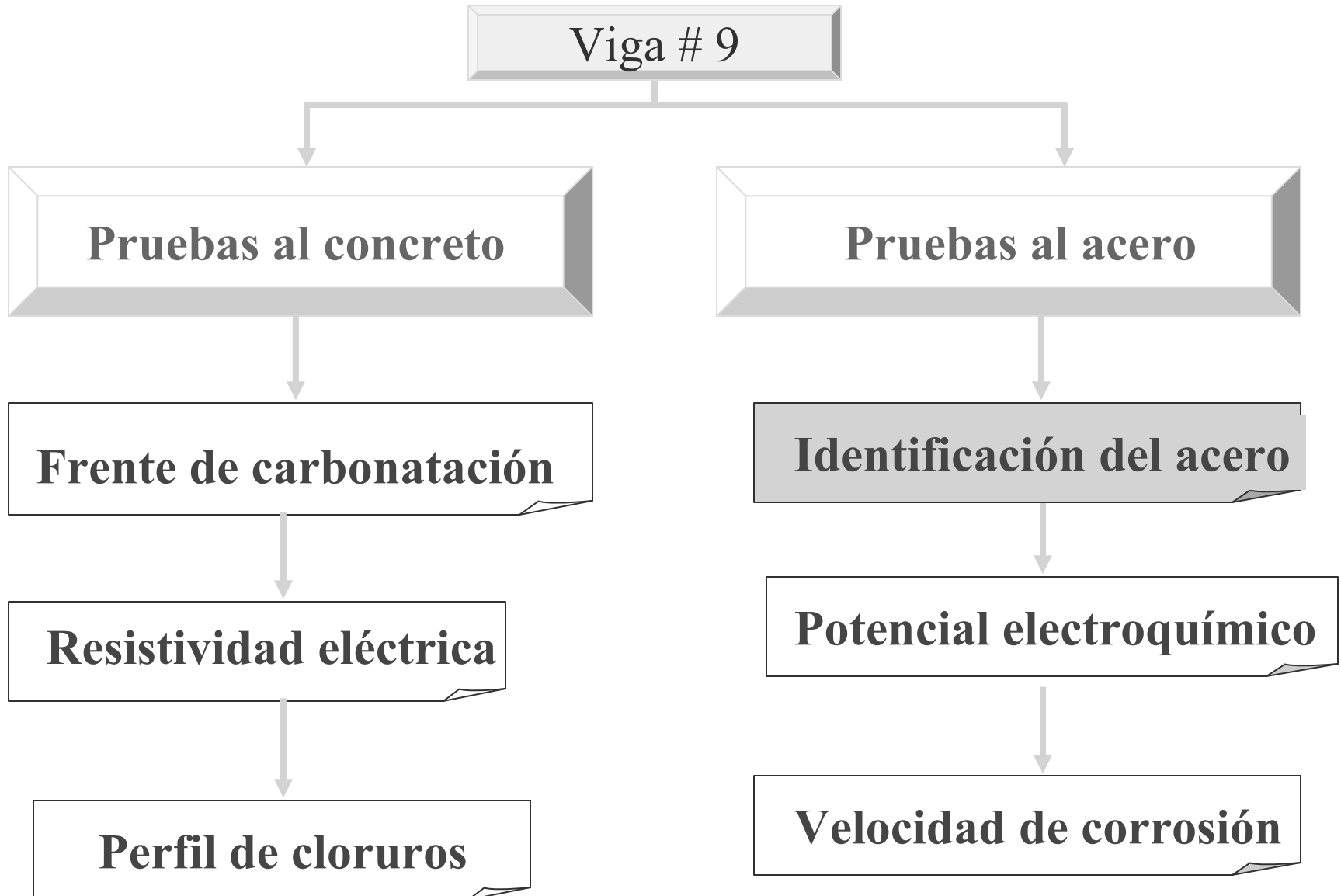


Influencia de la distancia del mar en el perfil de concentración de cloruros

- Mientras más cerca de la costa, el perfil de concentración de cloruros es más bajo en las vigas que están en la misma orientación Norte.
- Esta influencia se puede determinar a partir de los primeros 12,5 mm de la superficie para este tipo de concreto.

# Inspección por corrosión

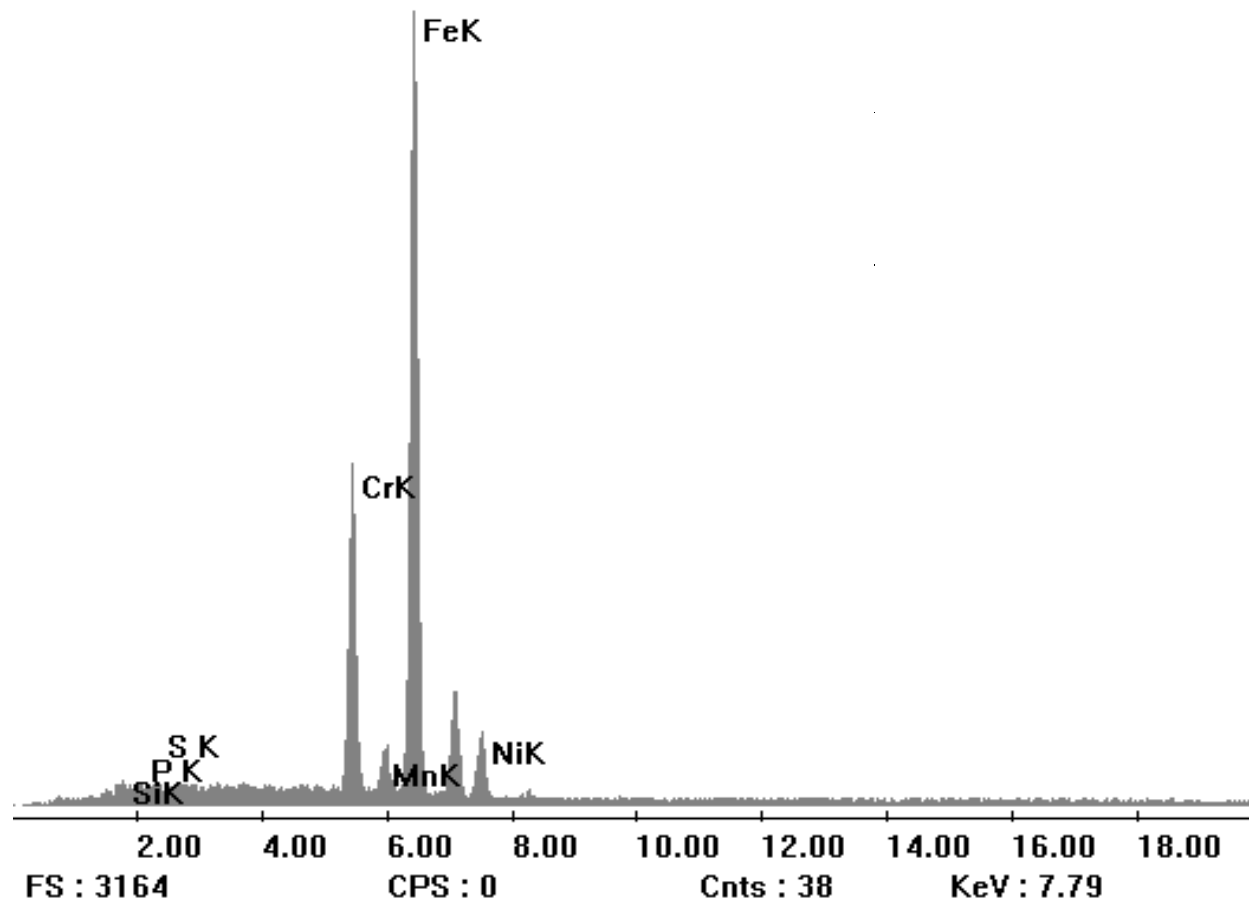
## Inspección detallada: Pruebas



## Resultados

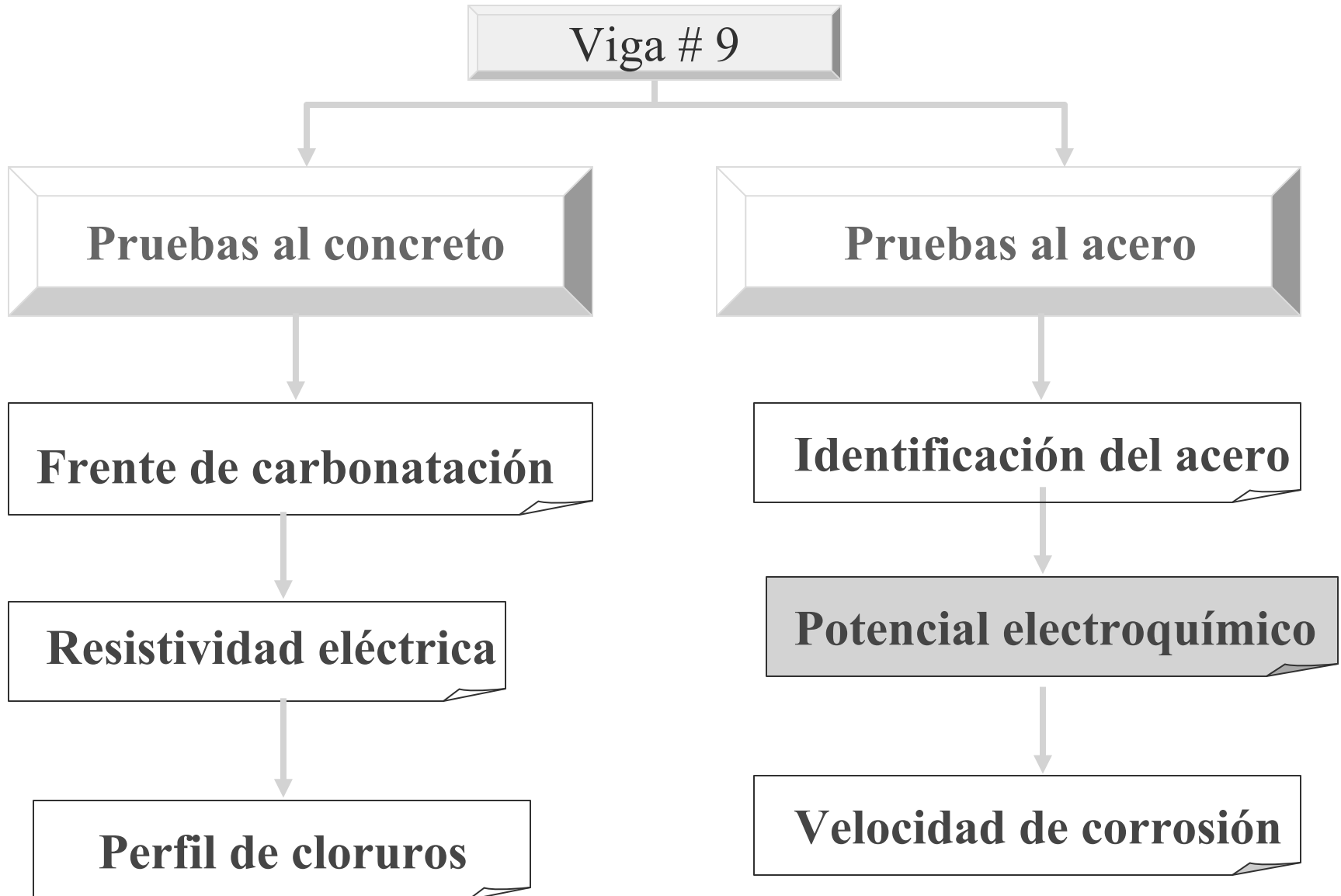
### Acero inoxidable AISI 304<sup>4'</sup>:

Análisis del acero inoxidable usando microscopía electrónica de barrido (MEB)



# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Pruebas



### Criterio de evaluación

**Potencial de corrosión vs ESC (ASTM C876-91).**

Potencial (mV)	Condición
$E_{corr} > -200$	< 10% probabilidad de corrosión
$-200 > E_{corr} > -350$	Corrosión incierta
$E_{corr} < -350$	> 90% probabilidad de corrosión

## Resultados

### Viga # 9

Potencial de corrosión (mV vs CSE)											
Cara	Punto										
	Este → Oeste										
Norte	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>
	-278	-276	-276	-272	-263	-280	-283	-283	-283	-290	-291
	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>
	-278	-285	-283	-285	-285	-285	-287	-281	-268	-309	-346
Sur	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>
	-479	-473	-475	-471	-466	-463	-479	-463	-463	-466	-451
	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>
	-452	-452	-447	-446	-443	-444	-445	-440	-439	-441	-441

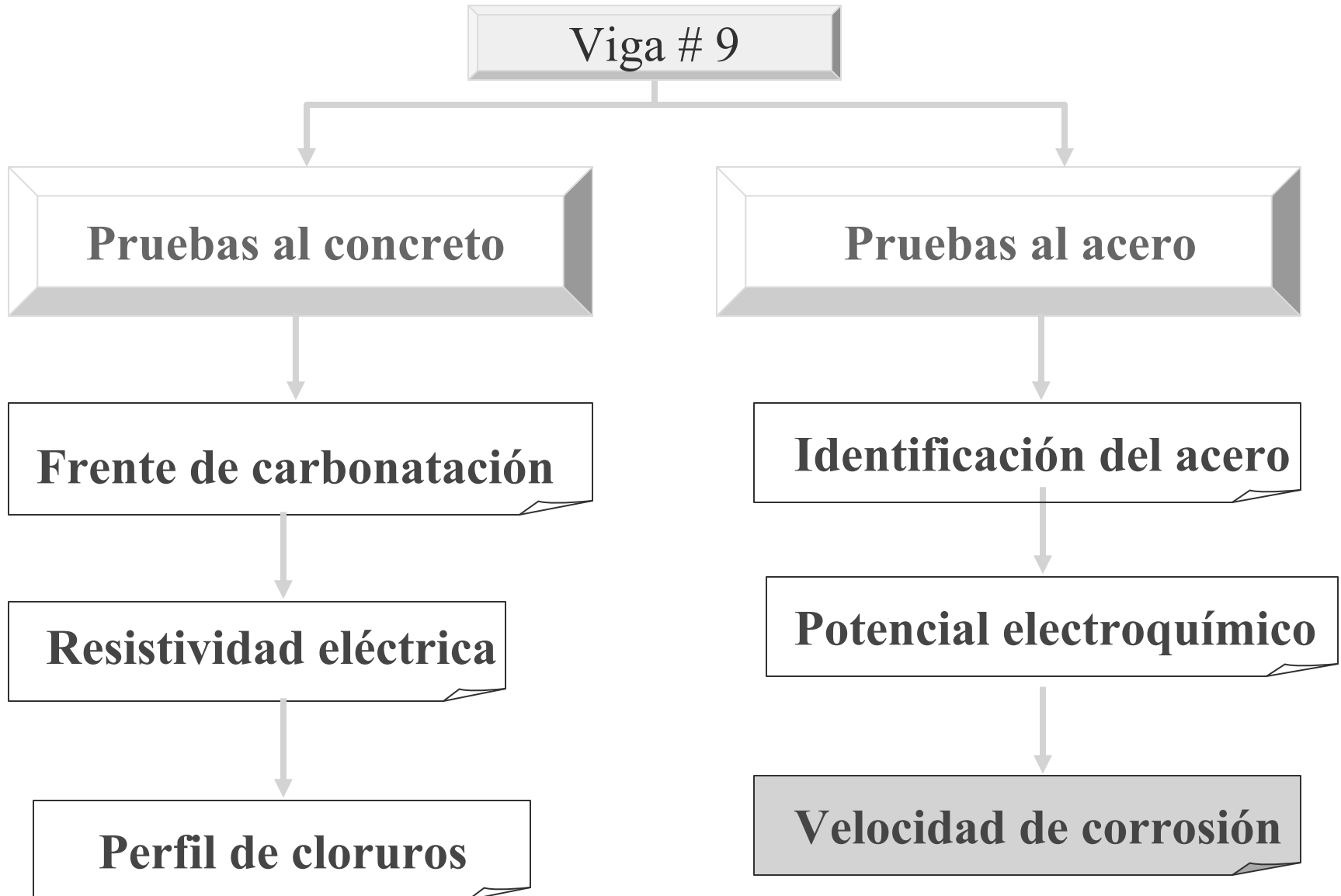
## Resultados

### Viga # 9

Potencial de corrosión (mV vs CSE)				
Cara	Punto Sur → Norte			
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>
Este	-536	-553	-340	-350
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>
Oeste	-475	-475	-358	-363
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>

# Inspección por corrosión

## Inspección detallada: Pruebas





## Resultados

### Velocidad de corrosión

#### Corrosímetro comercial

- Resistencia a la polarización,  $R_p$  (ASTM G59-91).
- Suprime “la caída ohmica” (IR)
- Confina el área de medición (anillo de guarda)



Rodríguez S, et al. “Medida de la velocidad de corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón, mediante un equipo desarrollado dentro del proyecto Eureka EU-401”, Hormigón y acero, 1993 James Instruments NDT Catalog, USA, 1998

Dr. Pedro Castro Borges

## Resultados

### Criterio de evaluación<sup>3</sup>

#### Velocidad de corrosión, $I_{corr}$

$i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Nivel de corrosión
<b>&lt; 0.1</b>	<b>Despreciable</b>
<b>0.1 – 0.5</b>	<b>Moderado</b>
<b>0.5 – 1</b>	<b>Elevada</b>
<b>&gt; 1</b>	<b>Muy elevada</b>

3 Manual de inspección , evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, CYTED, (Manual DURAR, p 134)

## Resultados

### Viga # 9

Velocidad de corrosión ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )			
Cara	Punto Este $\rightarrow$ Oeste		
<b>Norte</b>	$P_1$	$P_{11}$	$P_{22}$
	<b>0.067</b>	<b>0.015</b>	<b>0.030</b>
<b>Sur</b>	$P_1$	$P_{11}$	$P_{22}$
	<b>0.22</b>	<b>0.618</b>	<b>0.1</b>

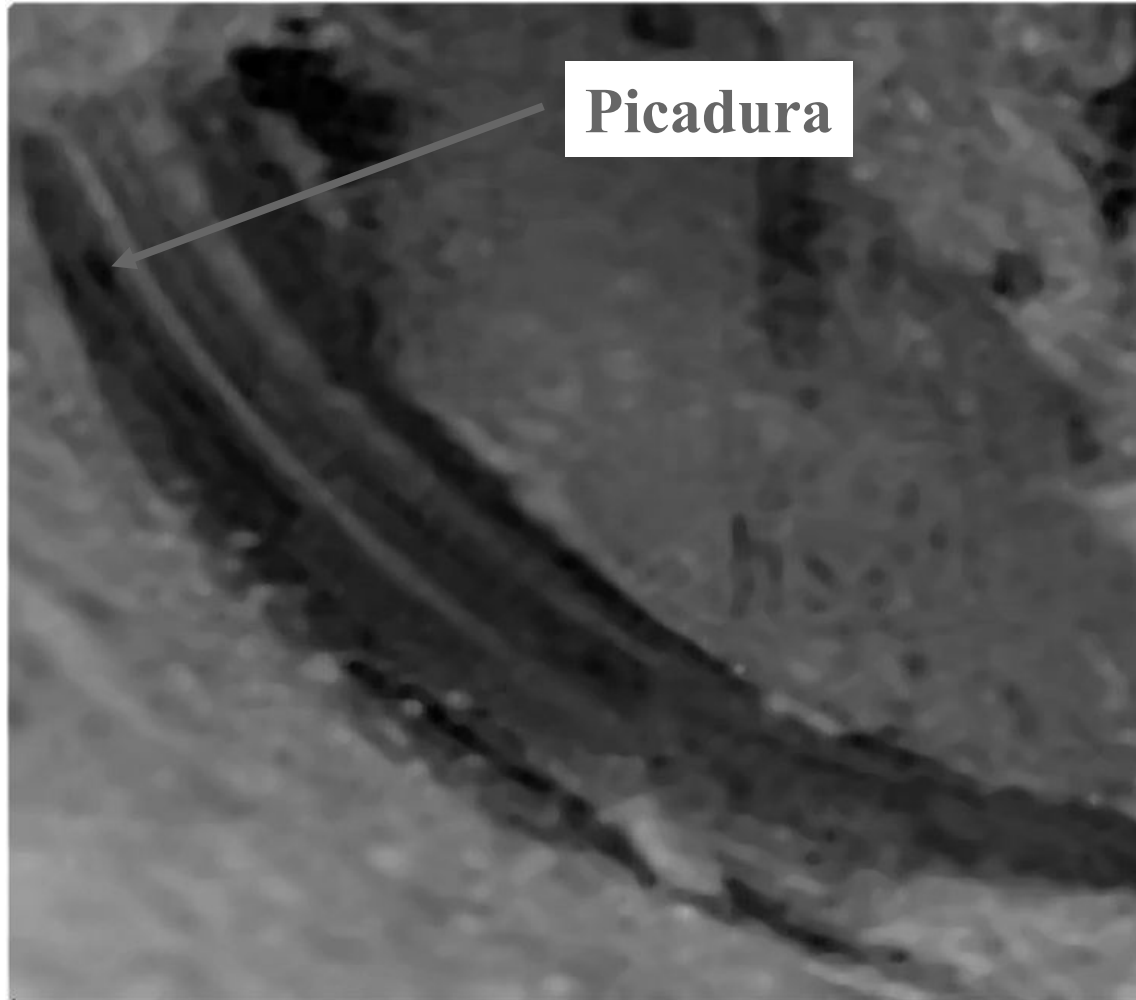
## Viga # 9

Velocidad de corrosión ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )		
Cara	Punto Sur $\rightarrow$ Norte	
<b>Este</b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>4</sub></b>
	<b>0.519</b>	<b>0.306</b>
<b>Oeste</b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>4</sub></b>
	<b>0.868</b>	<b>0.351</b>

## Resultados

Los resultados obtenidos en Ecorr, icorr y el contenido de cloruros, a la profundidad de la barra, confirman que el acero inoxidable en la viga # 9 esta en el **proceso de corrosión**.

## Resultados



## Resultados

- Hay diferentes microclimas en una misma viga
- Se pudo observar una influencia de la orientación geográfica de los elementos en el perfil de concentración de cloruros.
- Se pudo determinar una clara influencia de la distancia al mar en el perfil de la concentración.

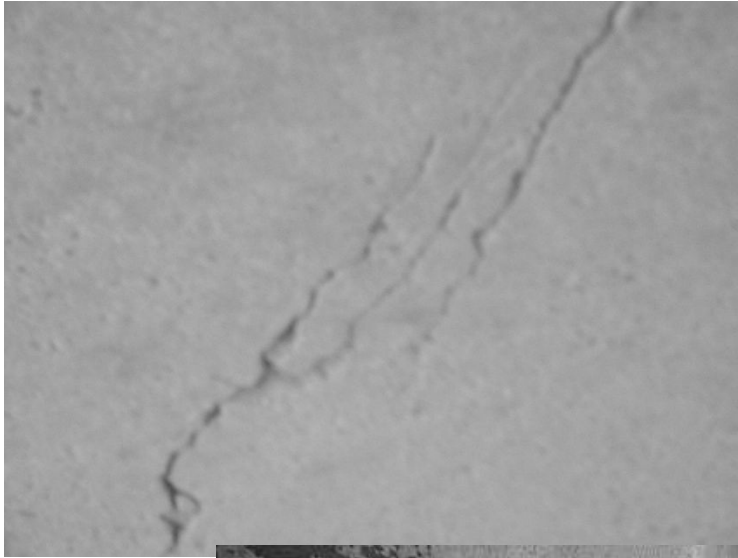
# **Parte II**

## **Inspección por carga, rehabilitación y reforzamiento**



# Inspección en 2003

# Grietas



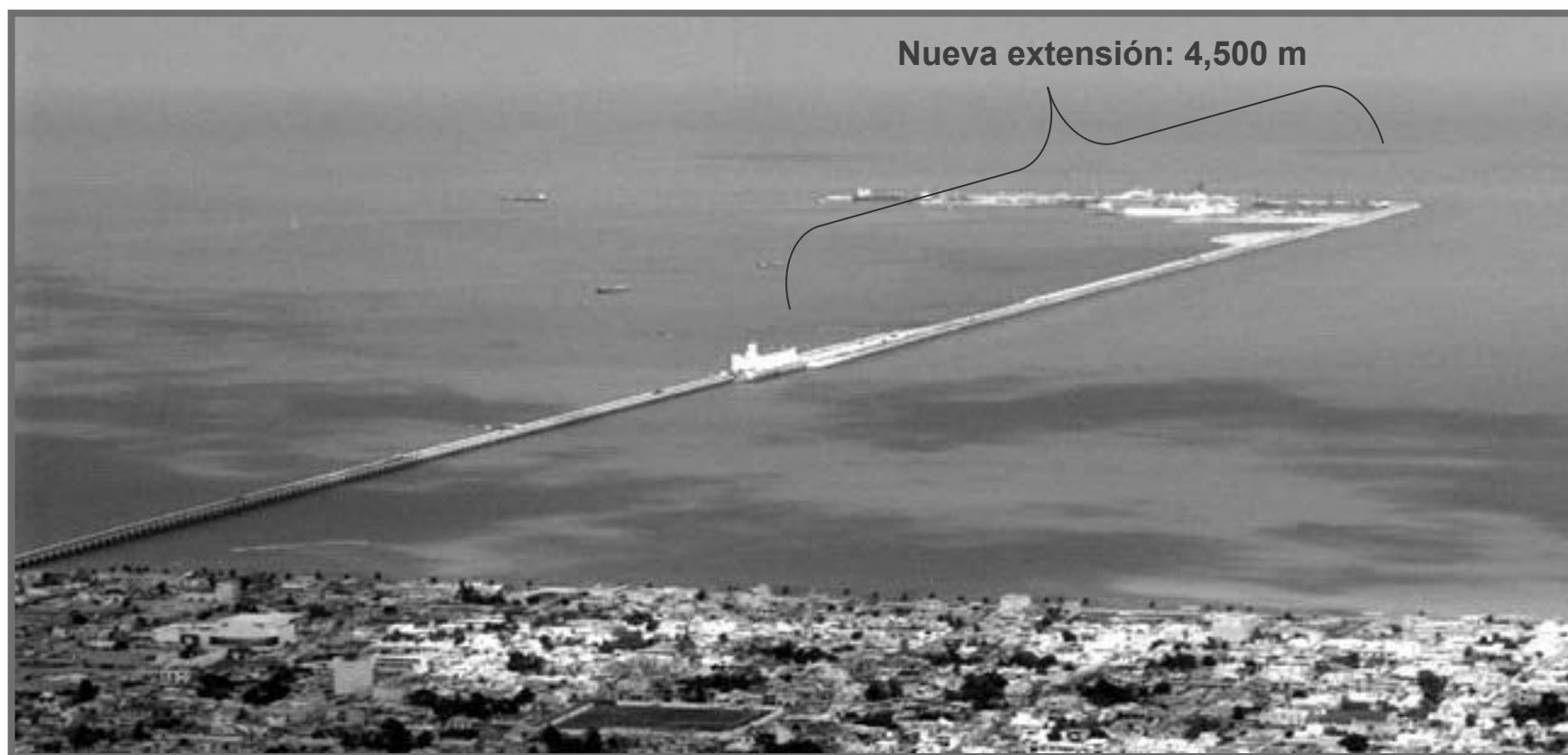
## Proyecto estructural (1947)

- Las cargas fueron para dos ejes de trenes, uno paralelo al otro.
- Carga uniforme de 4 ton/m<sup>2</sup> en la plataforma del muelle
- Esfuerzos permisibles en pilotes y arcos: 25 kg/cm<sup>2</sup>.
- Esfuerzos permisibles en la cimentación: 15 kg/cm<sup>2</sup>.

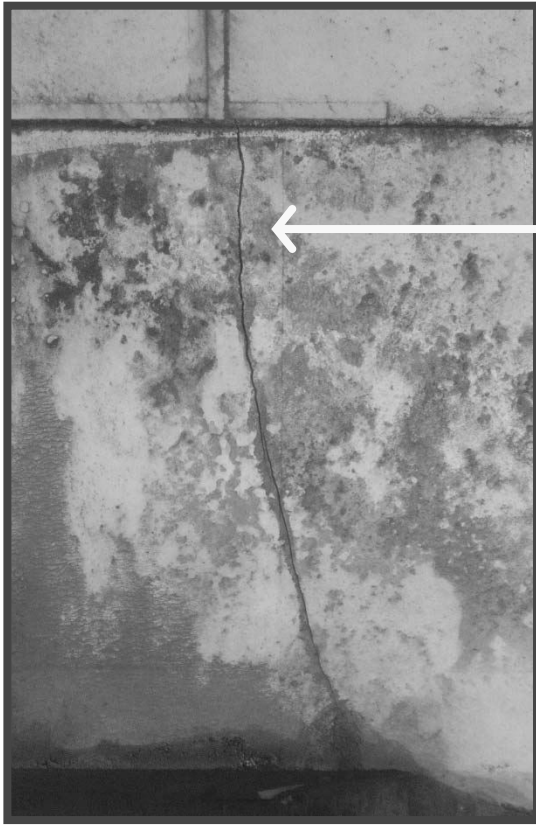


**Muelle antiguo: 2,200 m (1947)**

## ¡En la actualidad!

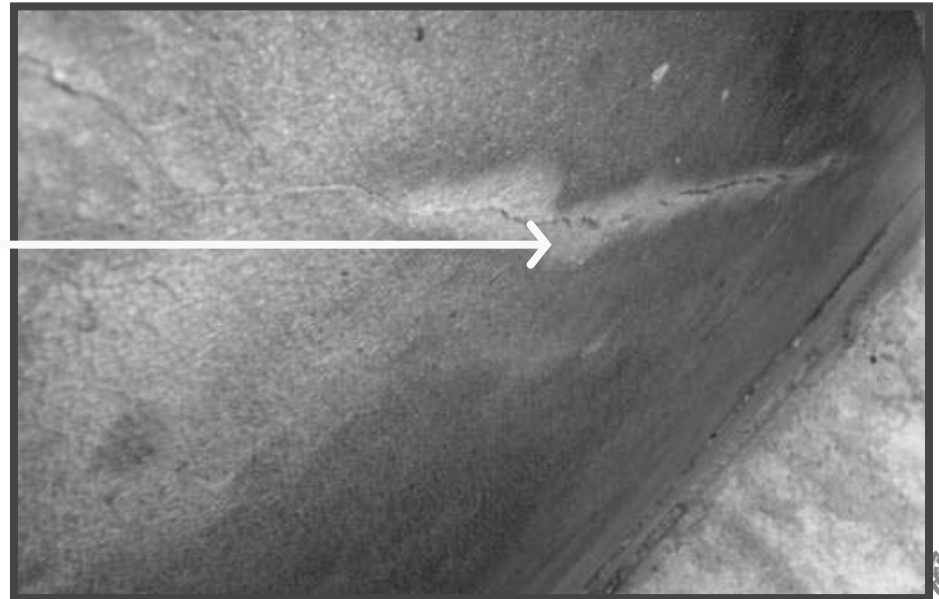


- Durante 1980's, el antiguo muelle de Progreso fue unido a la terminal remota. Esta modificación transformó al puerto de Progreso en un puerto de agua profunda, donde pueden atracar barcos hasta con 8 m de calado
- Debido a lo anterior, el tráfico aumentó en dos líneas más de tráfico (>10 veces mayor que la carga de diseño)



**Grieta**

Grietas estructurales que han  
aparecido en arcos y vigas





Esfuerzos permisibles en pilotes y arcos: 25 kg/cm<sup>2</sup>.  
Esfuerzon permisibles en la cimentación: 15 kg/cm<sup>2</sup>.

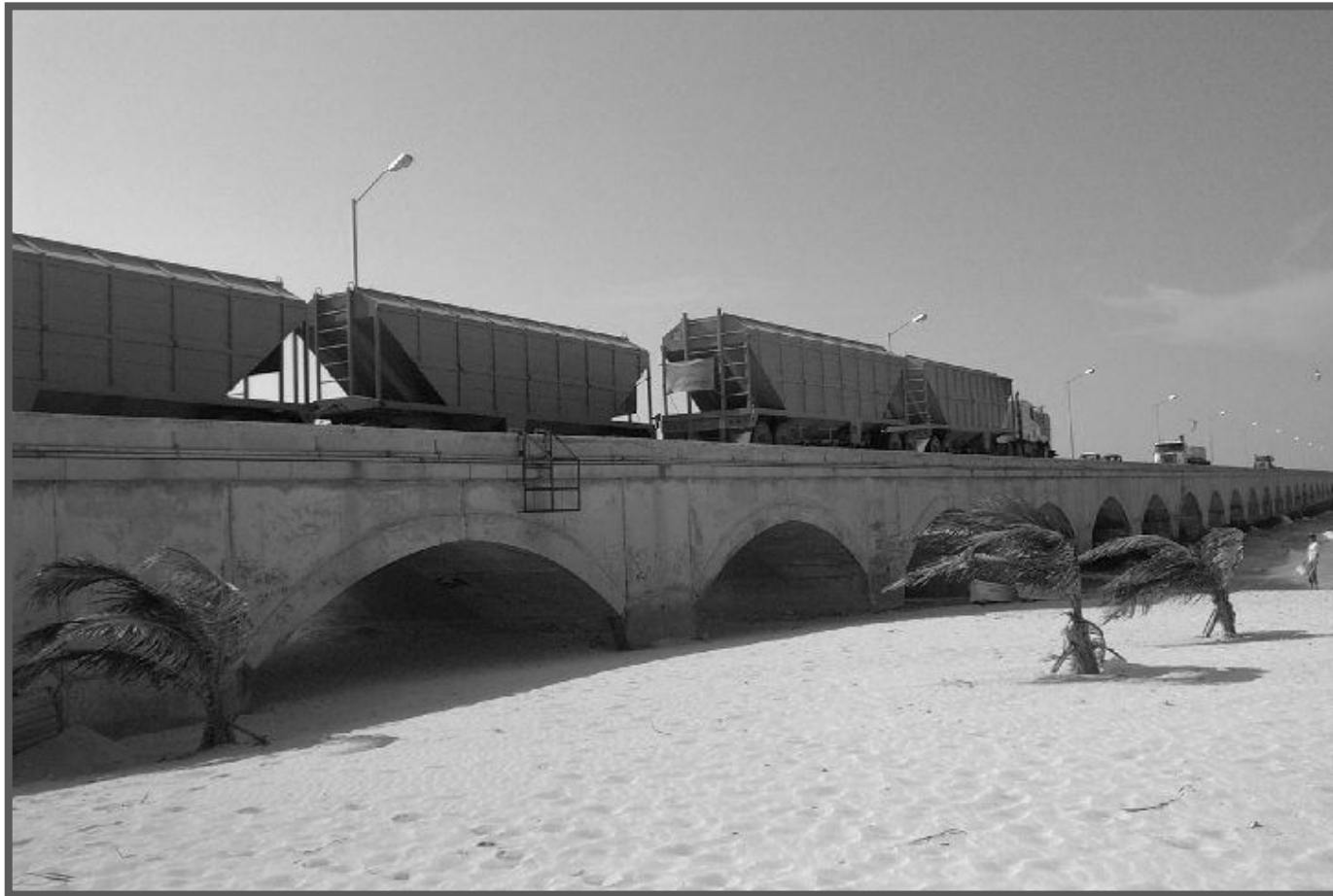
**CARGAS ACTUALES = ??????????**



## ¡Cargas actuales!



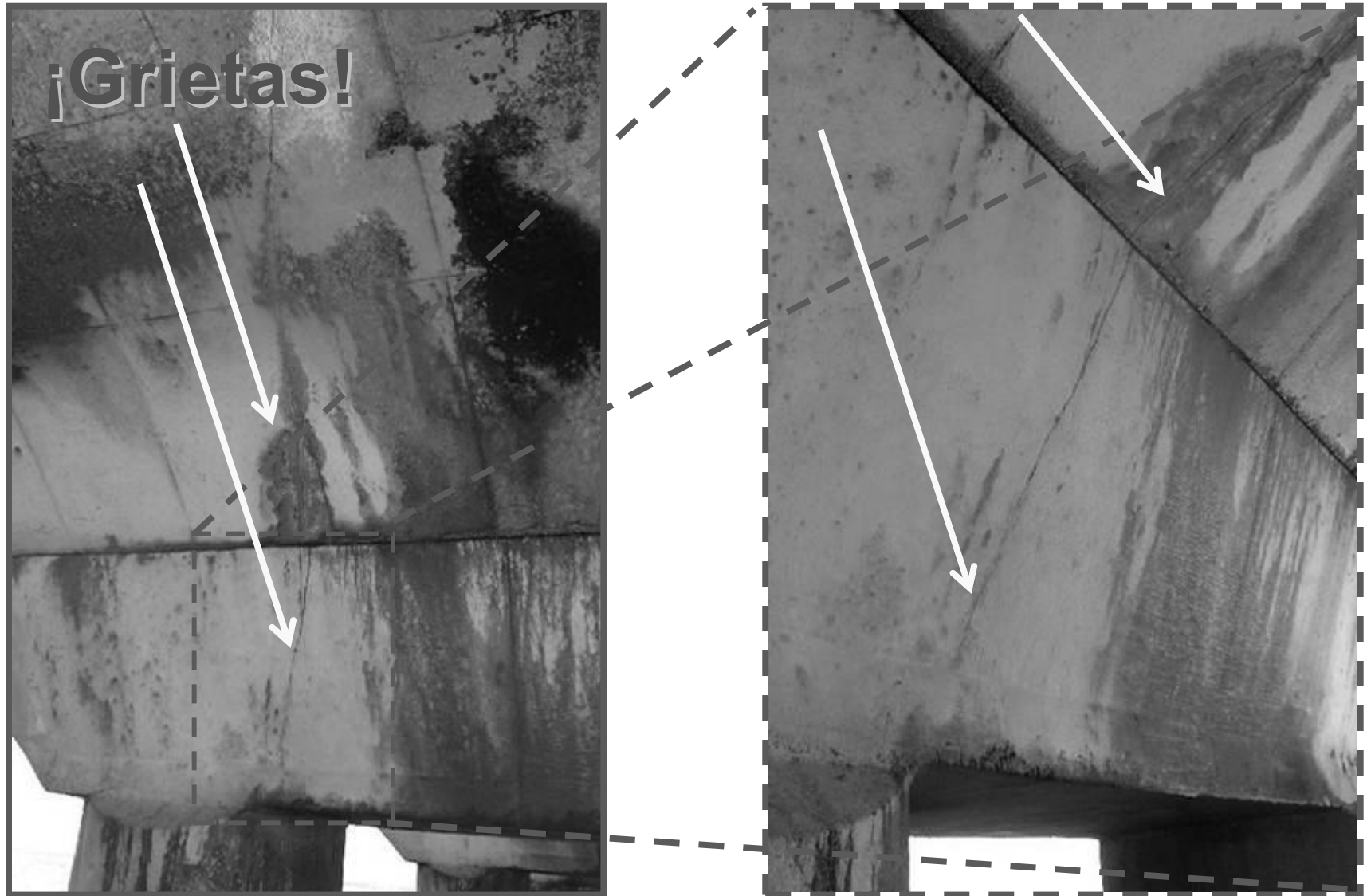
4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.



## ¡Cargas actuales!

4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.

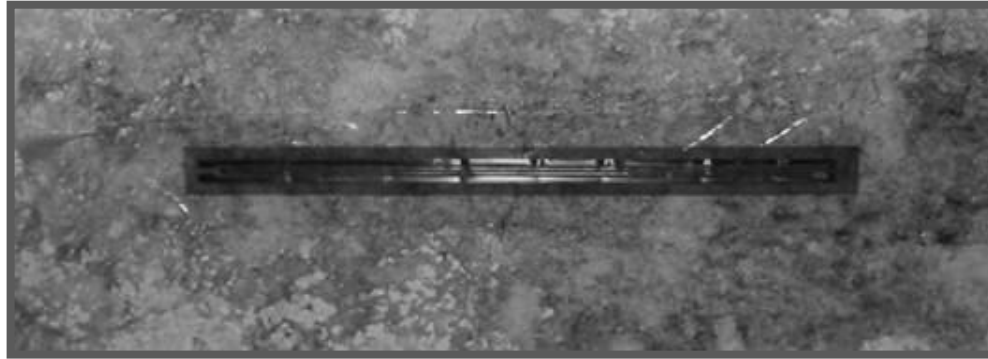




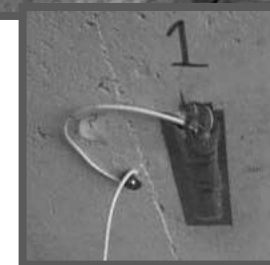
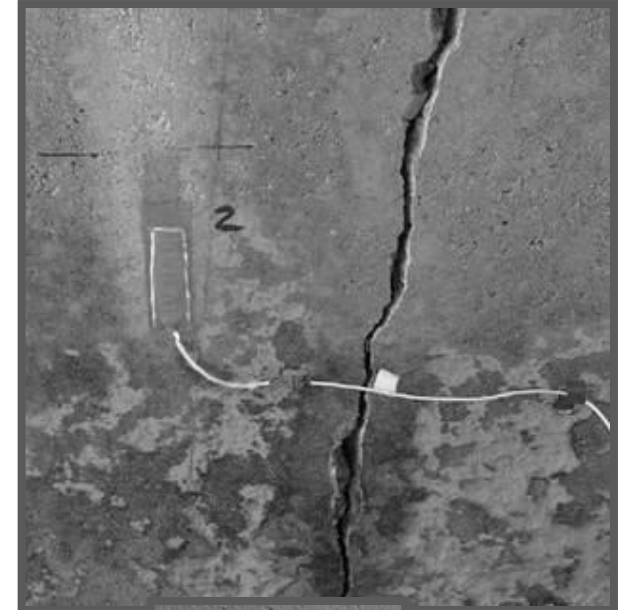
4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.

## Pruebas de capacidad de carga: Carga estática

- Se seleccionaron dos arcos agrietados en 2004 (seis más durante 2005 y 2006)
  - Uno en la playa y otro sobre el agua



**Detalle de las pruebas**

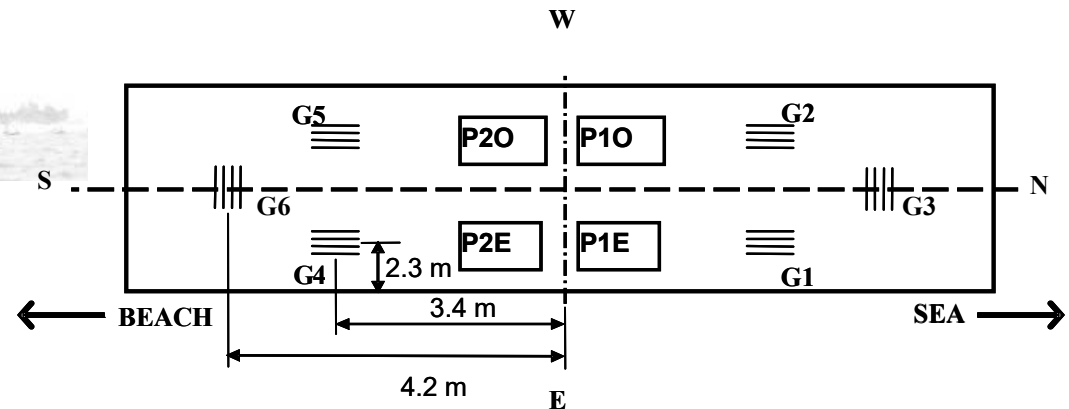


4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.



Galgas extensiométricas

## Esquema representativo de la posición de las galgas



4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.



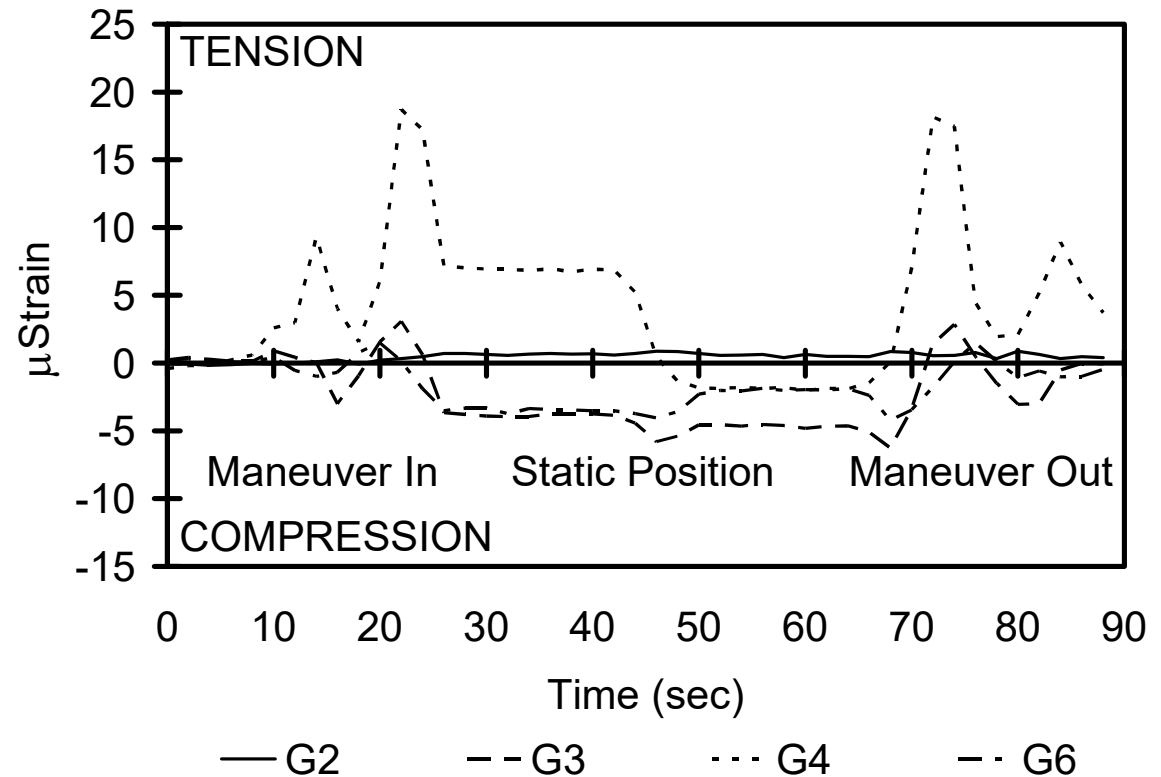
24 ton

- Capacidad de carga estática:
- Para aplicar la carga vertical se emplearon los ejes traseros de camiones pesados.
- Se emplearon cajas con diferentes capacidades de carga.
- Las cargas soportadas por los ejes traseros fueron de 105 kN y 236.5 kN para los camiones 1 y 2 respectivamente.

4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.

## Pruebas de carga estática

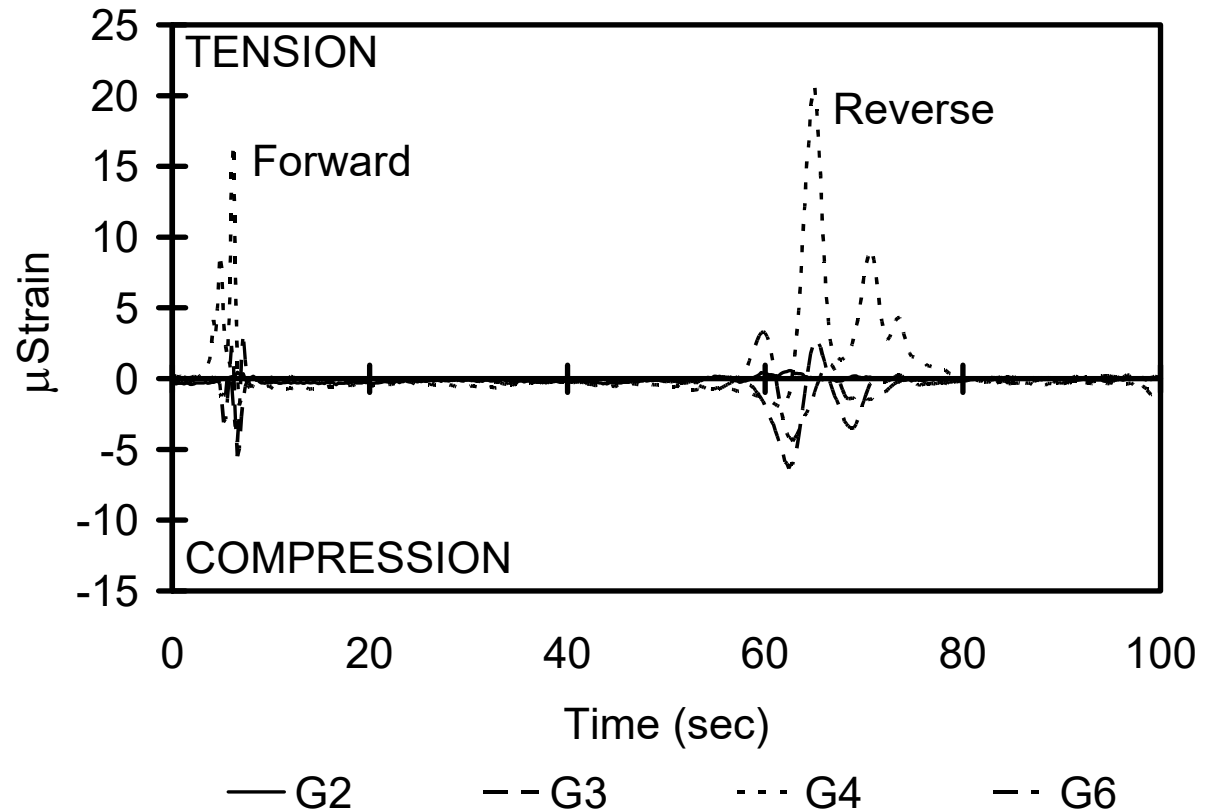
- La resistencia a la compresión obtenida en corazones de concreto fue de 240 Kg/cm<sup>2</sup>.
- El esfuerzo a la tensión obtenido fue de 17 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Estimación del módulo de elasticidad: 23 GPa (270,000 Kg/cm<sup>2</sup>).



4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.

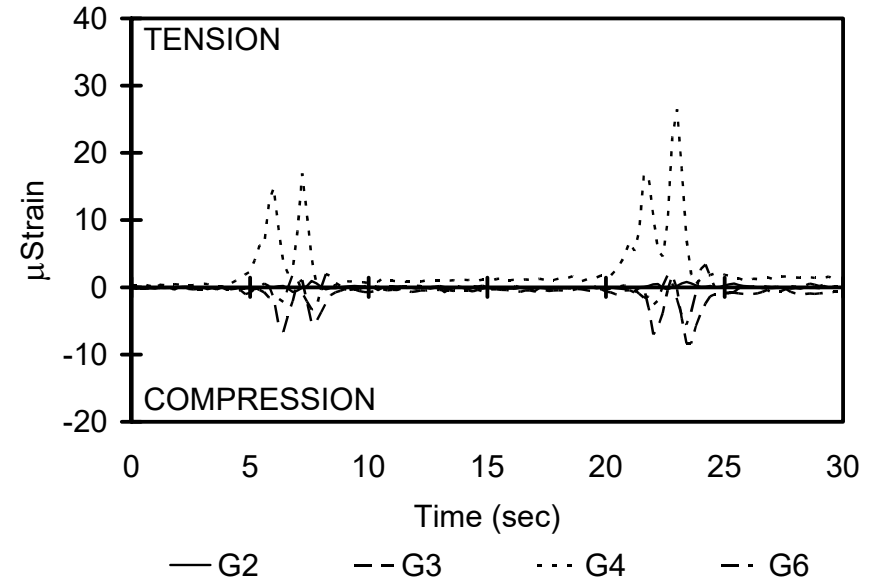
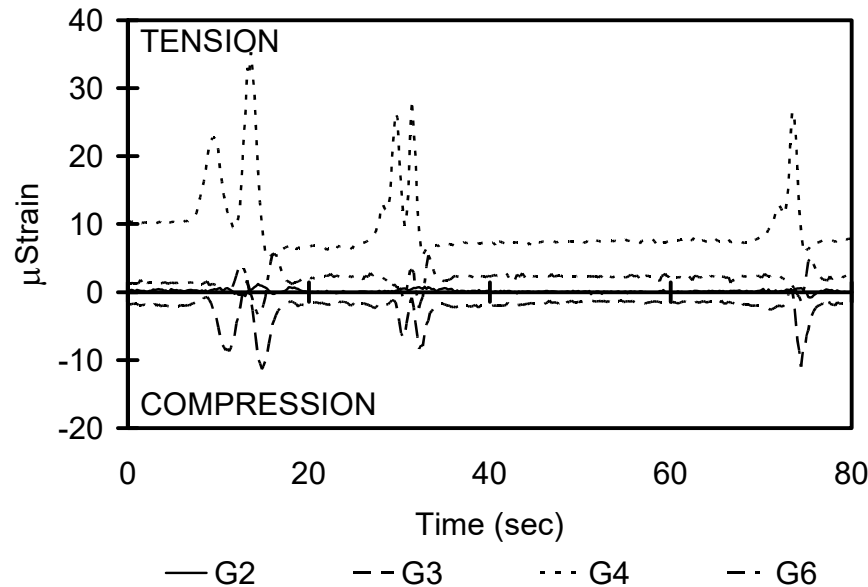
## Pruebas de carga dinámica

- Carga de 236.5 kN (camión de prueba)
- Velocidad of 30 km/hr
- Velocidad en reversa de 5 a 10 km/hr



4. Torres A.A., Fabela M.J., Vázquez D., Martínez M., Castro P., Moreno E.I., Cuadros H.D., Structural Evaluation and Rehabilitation of Concrete Arches in the Progreso Pier, in *ICCRRR 2005, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, London, Cape Town Sudáfrica, 2005, pp. 603-608.

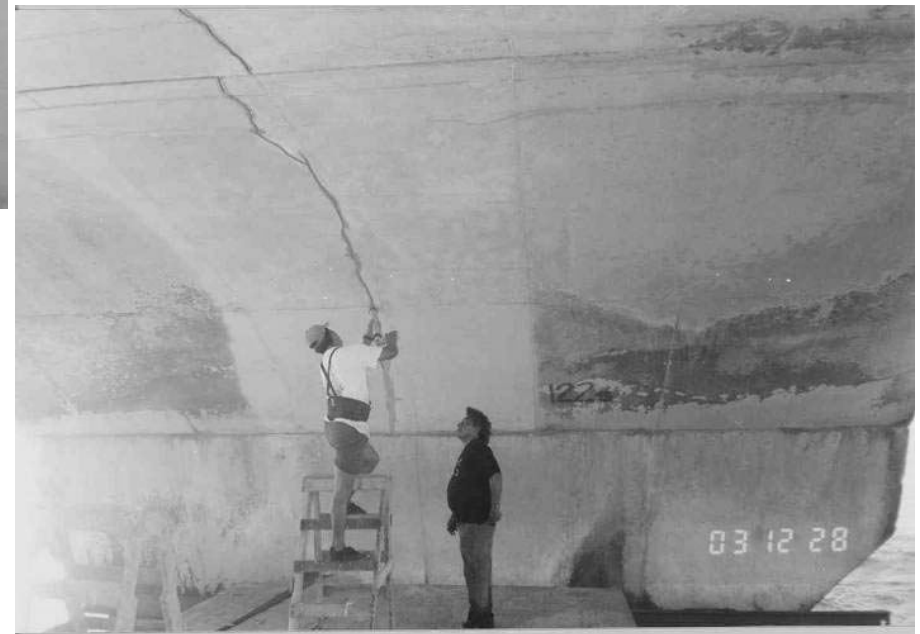
## Pruebas de carga dinámica aleatoria



- Pruebas no controladas
- Viaducto abierto al tráfico



➤ 2003: 54 arcos fueron reforzados con polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP)



**Rehabilitación de uno de los arcos agrietados**





Rehabilitación de los arcos agrietados

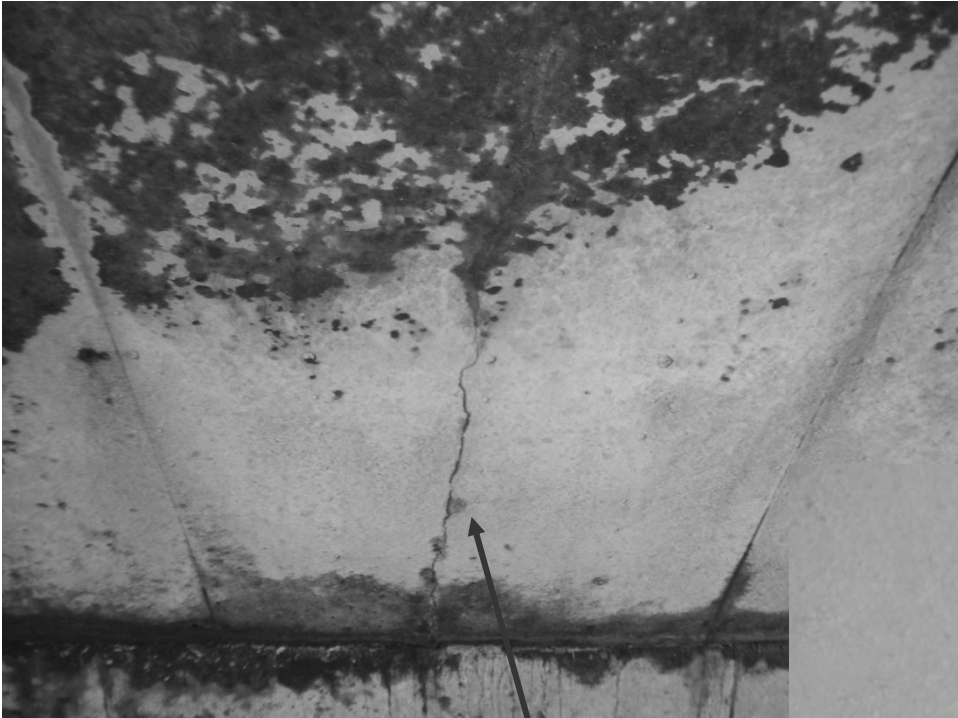


# **Inspección del viaducto (2004-2007)**

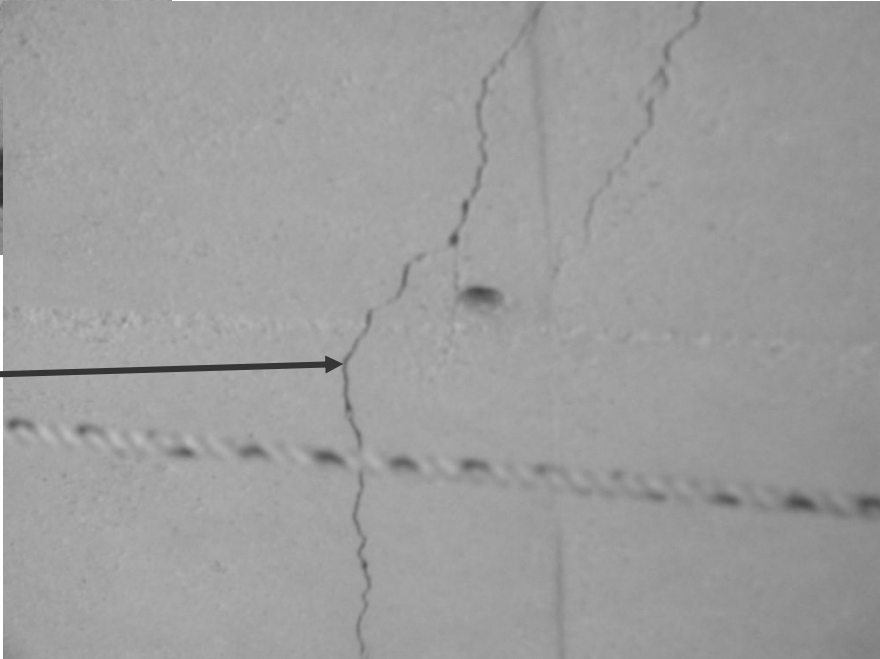
## **¡NUEVAS GRIETAS!**

# Mecanismo de agrietamiento

Arco 15

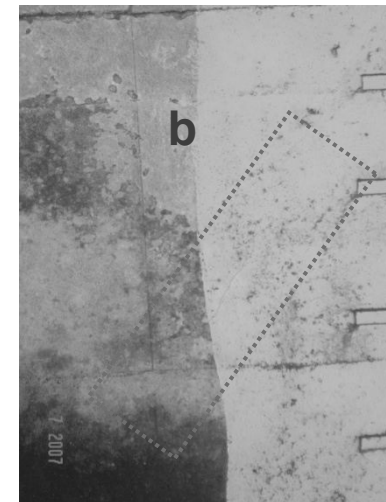
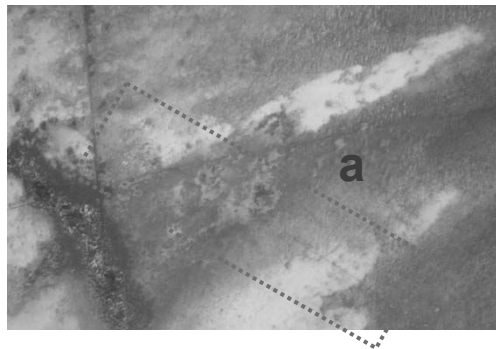
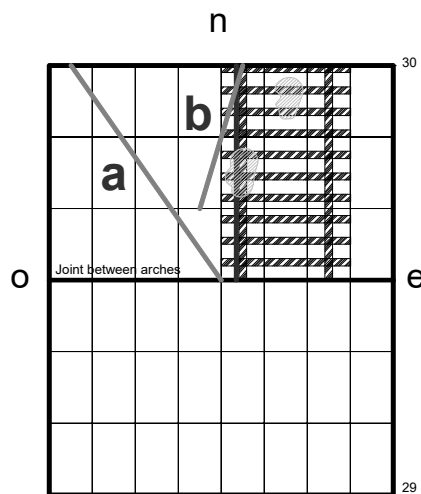


**¡GRIETAS!**

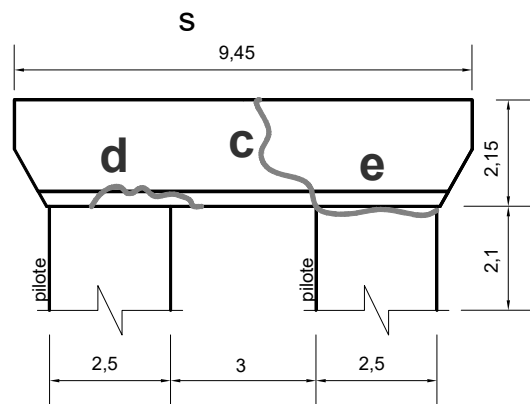


Arco 35

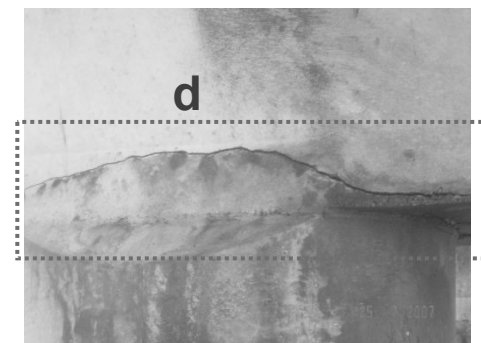
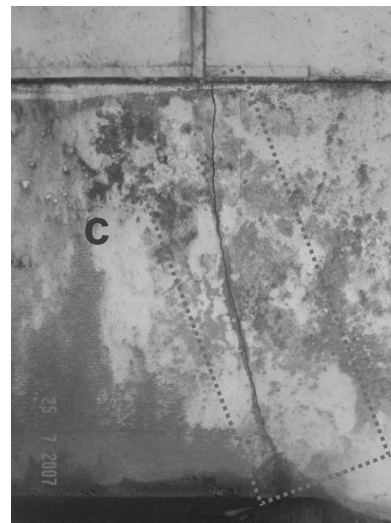
arch 30

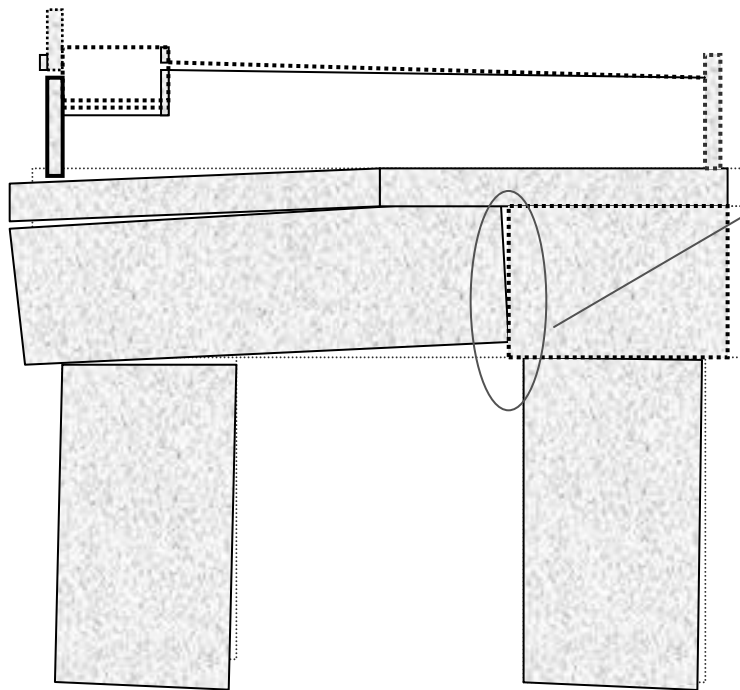
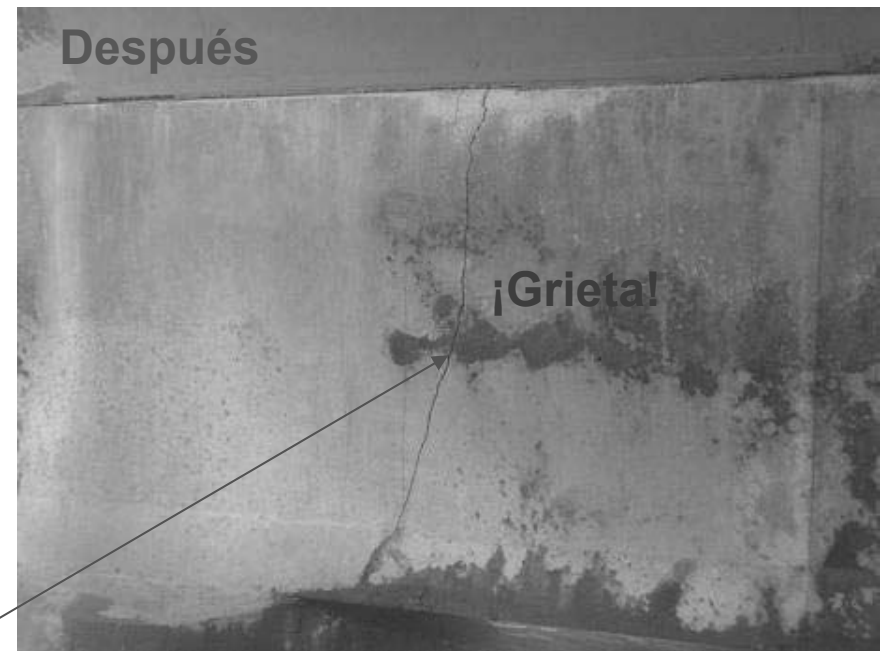


Daño observado en el arco 30, rehabilitado en 2003



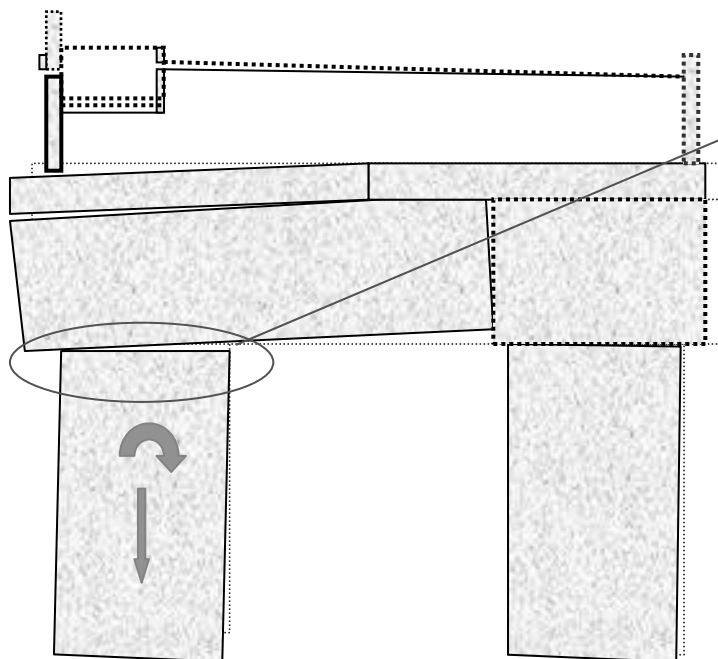
Girder 30, south face





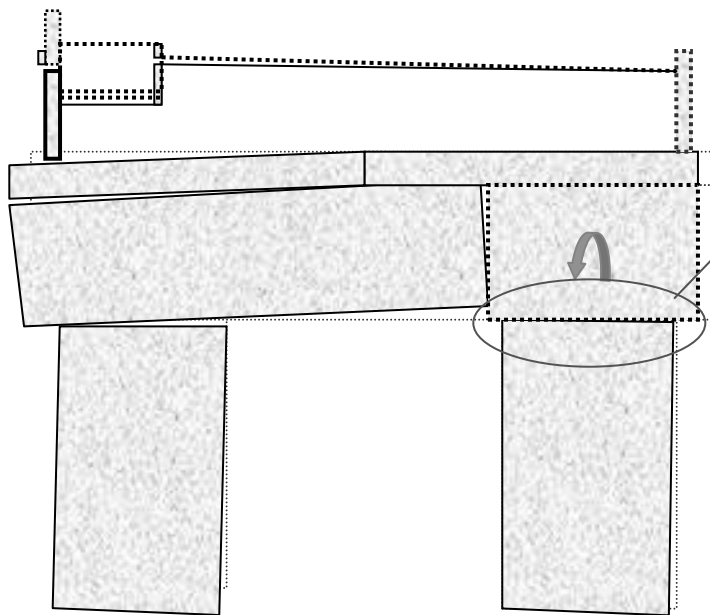
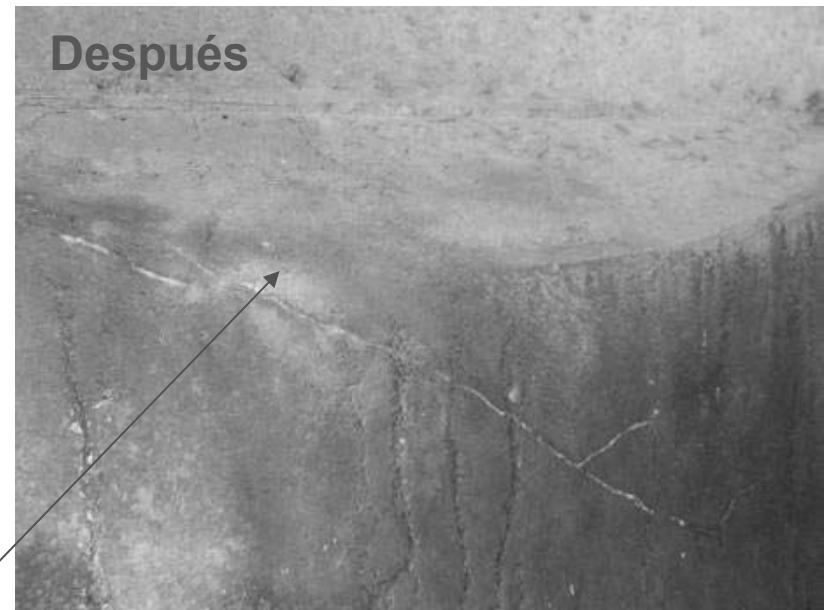
### Mecanismo de falla del arco 30

Agrietamiento casi vertical de la trabe-  
cabezal de 6 mm de ancho  
aproximadamente



## Mecanismo de falla del arco 30

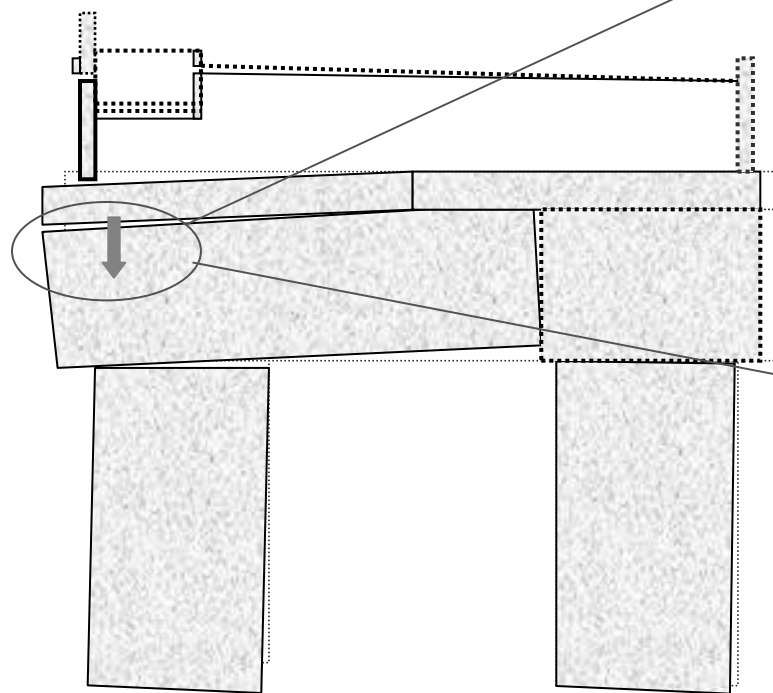
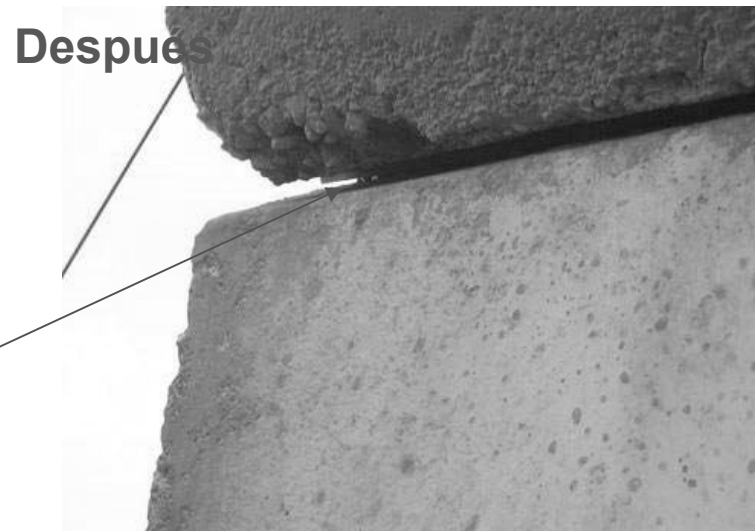
Abertura de la junta de la pila poniente y la trabe cabezal con abertura del orden de 2 cm.



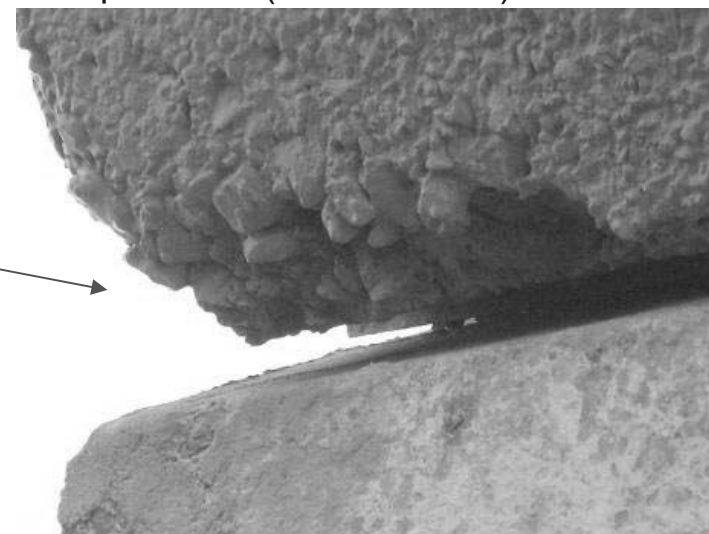
### Mecanismo de falla del arco 30

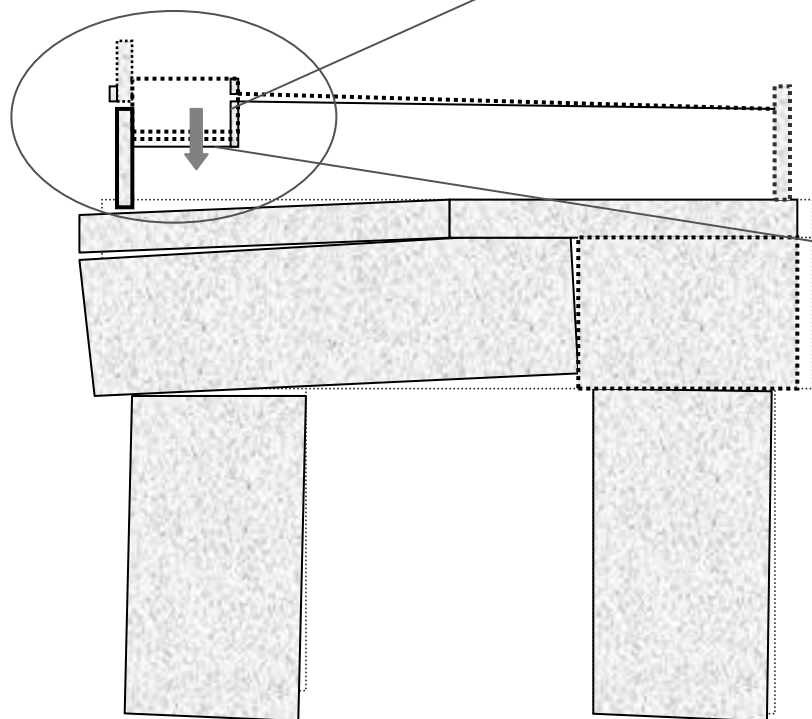
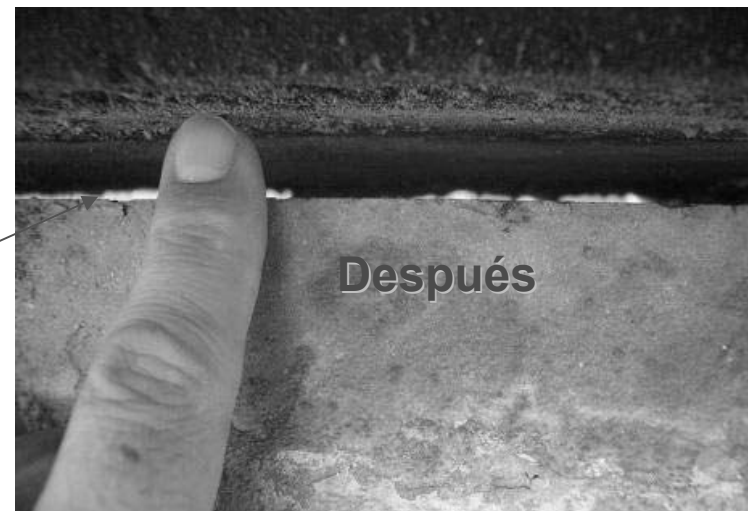
Agrietamiento de la junta de la trabe cabezal y pila oriente. (Falla por flexión con giro)



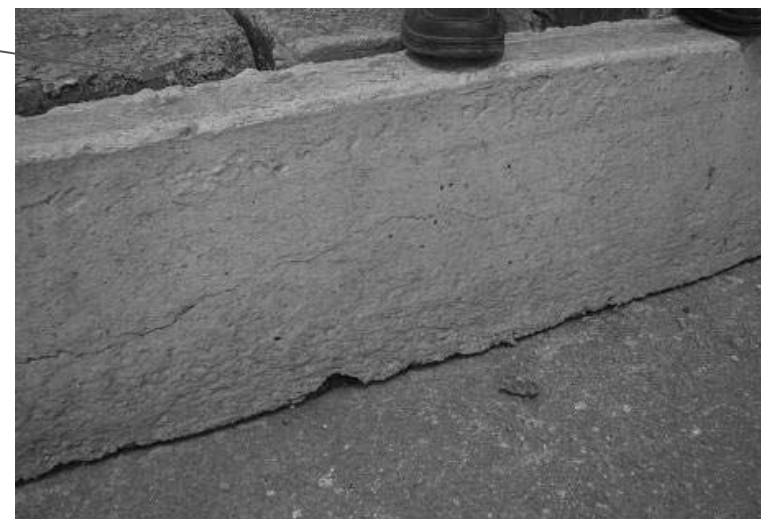


Separación de la placa de plomo en el arranque del arco del lado poniente. (asentamiento)

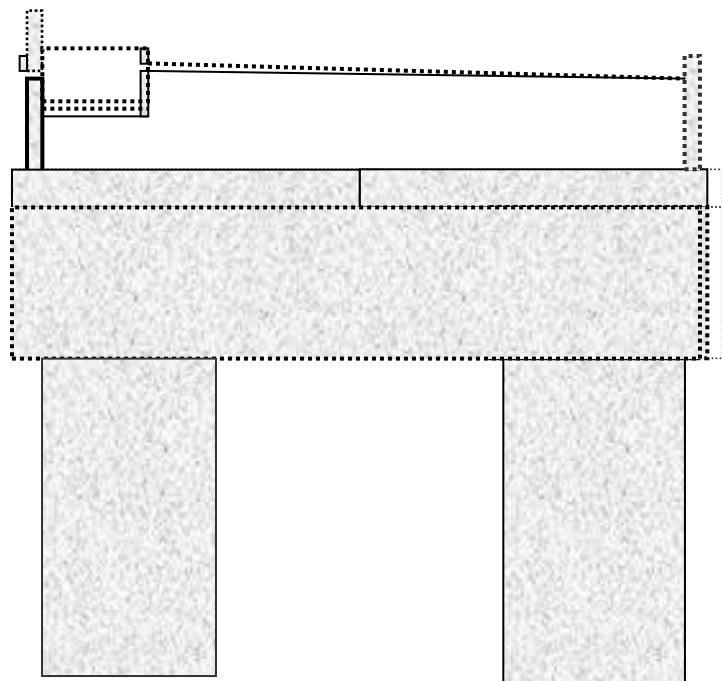




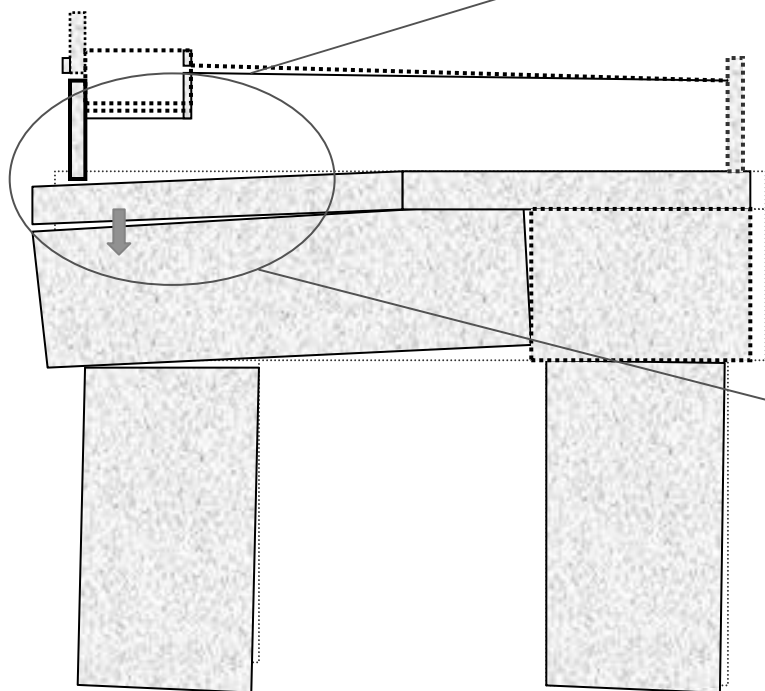
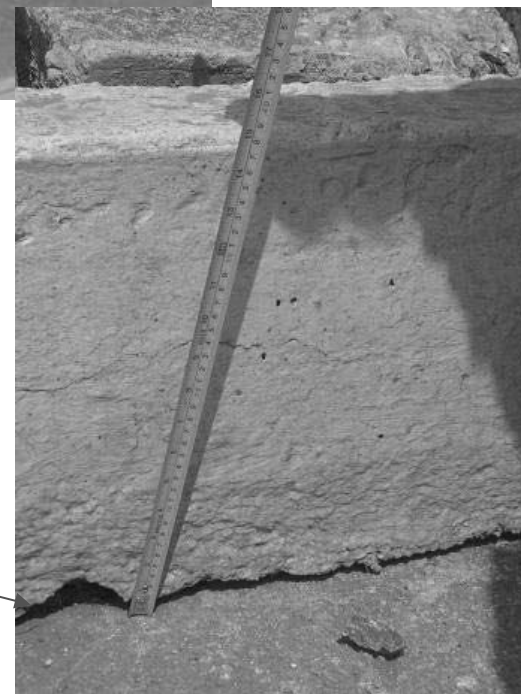
Separación en la junta constructiva en el muro de la fachada poniente a la altura del inicio del pretil (asentamiento de la pila)



Antes



Después



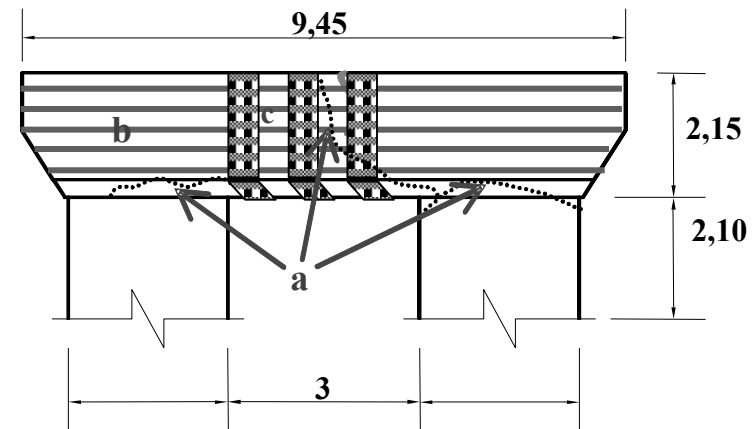
Hundimiento diferencial del pavimento, respecto a la  
guarnición poniente

# **Procedimiento de reparación Ejemplo del arco 30**

# Procedimiento de reparación del arco 30, 2008



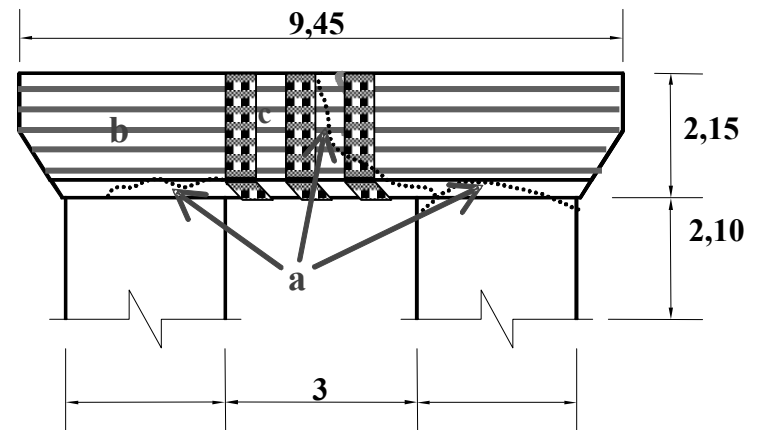
## Rehabilitación del arco 30



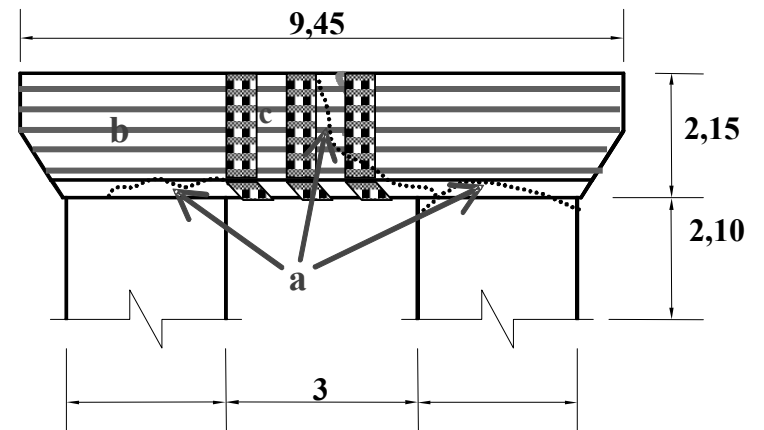
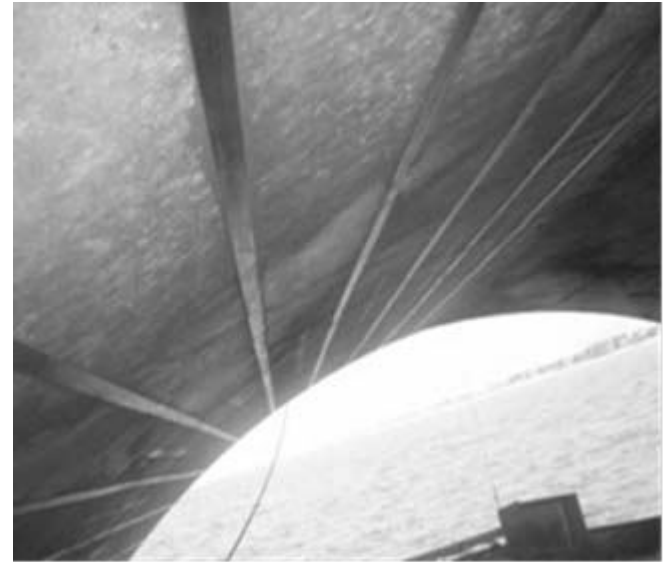
# Procedimiento de reparación del arco 30, 2008



Rehabilitación del arco 30

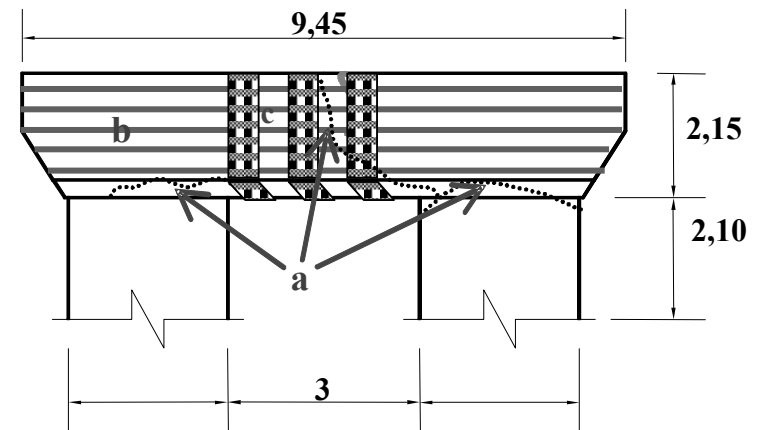


# Procedimiento de reparación del arco 30, 2008





# Procedimiento de reparación del arco 30, 2008



# Metodología de la reparación

# Metodología de la reparación

1. Limpieza de la superficie a través de chorro de arena (sandblast). Esto se efectúa con una máquina presurizada (110-120 psi) y arena sílice.
2. Limpieza del excedente de polvo en la superficie del arco con aire comprimido y escoba.
3. Trazo y nivelación de la superficie con esmeril.
4. En caso de presencia de grieta en la superficie del arco, se realiza una abertura de la grieta de 5mm y se le inyecta resina epóxica (SIKADUR 31).
5. Se corta y se limpia la fibra con un solvente compatible con el sistema de reparación. Las dimensiones de la tira de la fibra son 5cm de ancho, 9.1 m de largo y 1.4 mm de espesor.
6. Se prepara la resina SIKADUR 30 de dos componentes pasta: endurecedor, mezclando con relación 3:1

# Metodología de la reparación

7. Se deja reposar la mezcla 10 min. Posteriormente se aplica una capa uniforme sobre una cara de la tira de la fibra y una capa sobre la superficie del arco (trazo), para garantizar una mejor adherencia.
8. Se colocan las tiras separadas 50 cm (centro a centro) en la superficie del arco y a través de un rodillo se elimina las burbujas de aire que pudieran estar presentes.
9. Se retira el excedente de resina a través de una espátula y se realiza un achaflanado para una mejor presentación visual de las tiras de fibra.
10. Transcurridos 30 minutos, se aplica una pintura (SIKAURETANO 800) de dos componentes.

# Procedimiento de reparación del arco 30, 2008

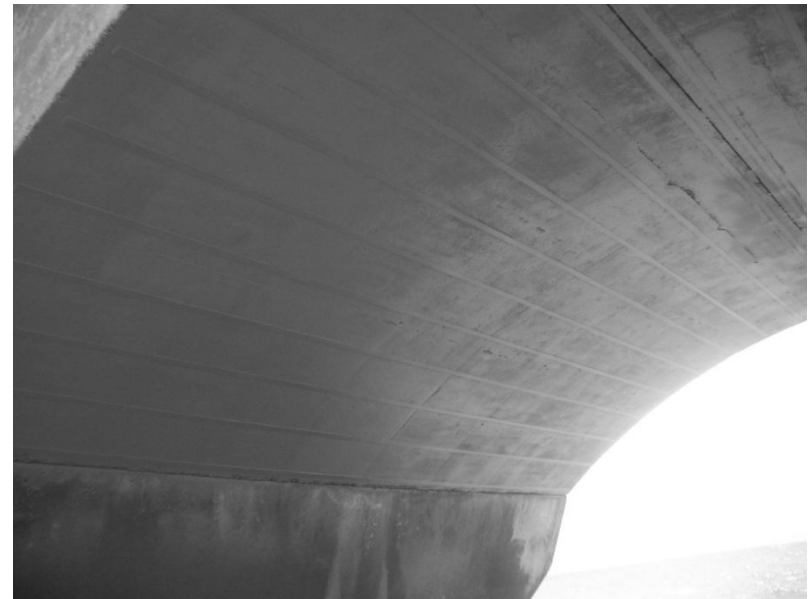


## VIDEO



# Procedimiento de refuerzo

# Procedimiento de refuerzo



# Procedimiento de refuerzo





# Estrategias para la extensión de la vida de servicio del muelle

1) Mantenimiento continuo para preservar la belleza arquitectónica del muelle:

- Controlar las cargas actuales del muelle

2) Se le recomienda a la administración portuaria lo siguiente:

- Reforzar todos los arcos como método de prevención

- La construcción de un muelle paralelo al actual.

# Conclusiones

- Se efectuó una breve revisión del diseño y construcción del muelle de Progreso.
- Se presentó una breve discusión acerca de las últimas inspecciones por durabilidad y carga a fin de discutir las razones del porqué han surgido síntomas de deterioro estructural durante fechas recientes.
- Se describió los métodos de reparación para controlar ésta situación, así como las estrategias para extender la vida de servicio del muelle.

# Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte parcial del CONACyT (31350 U y E-130.1527), CINVESTAV del IPN Unidad Mérida, Instituto Mexicano del Transporte y la FIUADY para el desarrollo de esta investigación. Los autores también agradecen a M. Balancán, J. Maldonado y G. Díaz por su colaboración en la realización de las pruebas.

Gracias por su atención

# Bibliografía

- P. Castro-Borges, A. A. Torres-Acosta, et al, “The Progreso pier: brief store of performance and failure mechanism of its arches”, 2nd Internacional RILEM Workshop on Concrete Durability and Service Life (Concrete life 2009), 7-10 de Septiembre de 2009, Haifa, Israel
- P. Castro-Borges, E. I. Moreno, A. A. Torres-Acosta, M. J. Fabela, “The Progreso Pier: A Mexican Historic Heritage”, memorias en CD del 1<sup>st</sup> International Conference on Construction Heritage in Coastal and Marine Environments, Damage, Diagnostic. Maintenance and Rehabilitation, MEDACHS08, 28-30 Enero de 2008, Lisboa, Portugal.
- P. Castro-Borges , M. A. Cárdenas, A. A. Torres-Acosta, M. Martínez-Madrid, E. Moreno, O. Troconis de Rincón, “Chloride profiles in a 63-year old concrete pier reinforced with 304 stainless steel in México”, in Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Concrete under Severe Conditions. Environment and Loading, Edited by F. Toutlemonde and co-editors, ISSN 1626-4704, Tours Francia 4-6 June 2007
- P. Castro, A. Torres, E. Moreno, O. Troconis, A. Knudsen, M. Martínez, “El muelle de Progreso: un ejemplo de estructura durable”, Memorias del V Curso Internacional sobre Corrosión en Puentes y Estructuras Concreto-Metal, p. 253-263, La Paz, BCS, 2002
- P. Castro, O. Troconis, E. Moreno, A. Torres-Acosta, M. Martínez-Madrid, A. Knudsen, "Performance of a 60-year-old concrete pier made with stainless steel reinforcement in Mexico", Materials Performance NACE, Vol. 41, No 10 (2002) 50-55 .

# Bibliografía

- P. Castro, O. Troconis, E. I. Moreno, A. A. Torres, M. Martínez, A. Knudsen, “ Inspecting a half-century concrete pier made with stainless steel reinforcement in México”, II Nace Mexican Section Corrosion Congress, Trabajo S10-T1, CD ISBN 970-18-8178-8, 2002. Cancún, Q. Roo
- P. Castro, O. Troconis, E. Moreno, "Inspecting a half-century concrete pier made with stainless steel reinforcement in Mexico", CORROSION NACE Expo 2002, paper 02207, Congreso Anual de la NACE-International, Denver, Colorado, USA, Marzo 2002.