

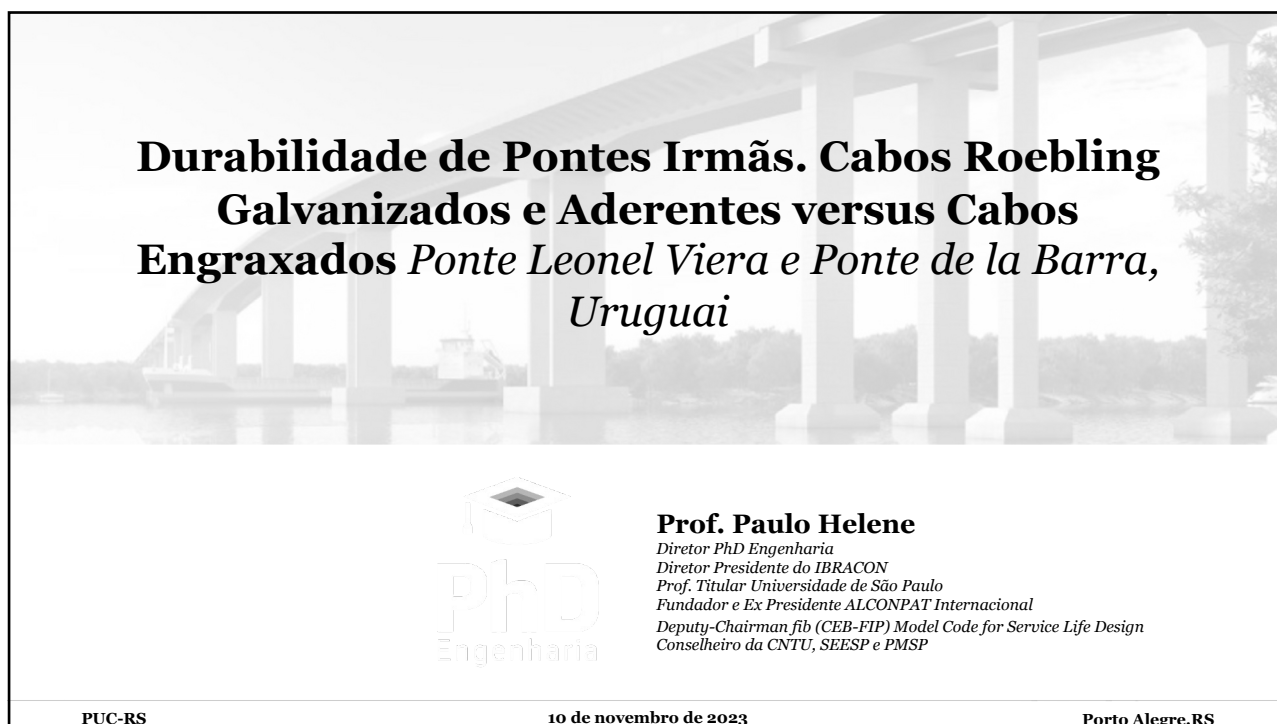


III SSBPE
2023

**III Seminário Sul
Brasileiro de Pontes e
Estruturas**

10 de novembro
PUCRS
Porto Alegre - RS

1



**Durabilidade de Pontes Irmãs. Cabos Roebling
Galvanizados e Aderentes versus Cabos
Engraxados** *Ponte Leonel Viera e Ponte de la Barra,
Uruguai*

**Prof. Paulo Helene**
*Diretor PhD Engenharia
Diretor Presidente do IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Fundador e Ex Presidente ALCONPAT Internacional
Deputy-Chairman fib (CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro da CNTU, SEESP e PMSP*

PUC-RS 10 de novembro de 2023 Porto Alegre, RS

2

AGRADECIMENTOS, ESCLARECIMENTOS E CRÉDITOS

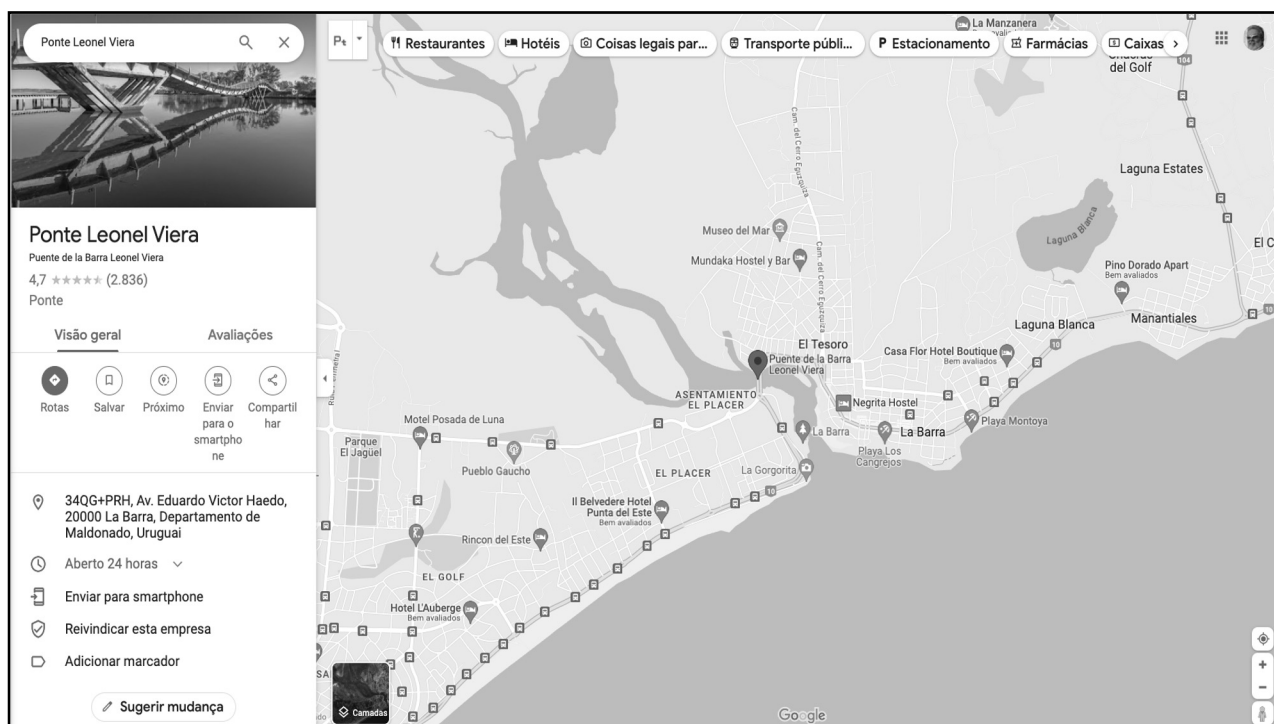
Ano 2.000 → A inspeção, diagnóstico e recomendações para intervenção corretiva da ponte Leonel Viera foi contratado por la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay y la Intendencia Municipal de Maldonado. Agradeço à Ing. Susana García pela confiança e intercâmbio de ideias. O projeto final de intervenção ficou a cargo do Eng. Alberto Ponce Delgado.

Ano 2.023 → A inspeção, diagnóstico e recomendações para intervenção corretiva da ponte de la Barra foi contratado pelo Eng. Antonio Dieste a serviço da SACEEM. Agradeço aos Eng. Antonio Dieste e Pablo Castro pela confiança e intercâmbio de ideias. O projeto final de intervenção ficou a cargo de SACEEM.

Ano 2.000 e 2.023 → Em ambas inspeções colaborou comigo o Eng. Dr. Leonal Tula. Para esta apresentação colaborou comigo a Enga. Jéssika Pacheco.

Ressalva: Esta apresentação é apenas para fins educacionais. As hipóteses, opiniões e pontos de vista expressos nesta apresentação representam a opinião do autor e não representam uma posição oficial ou legal do poder público Uruguiaio, da SACEEM nem dos Eng. Antonio Dieste e Pablo Castro. Também não representa a opinião do IBRACON, da PhD Engenharia, da USP, da ABPE, ou de qualquer uma das partes intervenientes. Esta apresentação não é um aconselhamento jurídico e nem um laudo ou parecer técnico judicial.

3



4



**Puente Leonel Viera
(Puente de La Barra)**

Ponte Leonel Viera → 1.965 → corrosão cabos em 2.000
VU de Serviço 35 anos → 58 anos

Ponte de la Barra → 2.000 → colapso parcial em 2.022
VU última 22 anos → 23 anos

5

Leonel Viera, construtor, não completou o curso de engenharia. 1913-1975.

Projetou e construiu a cobertura tensionada do Cilindro Municipal de Montevideo, que foi referência para a construção do Madison Square Garden, a ponte Leonel Viera em Maldonado, que inspirou o poema de Pablo Neruda, o Monumento a John Kennedy na Argentina, entre muitas outras obras.

Prof. titular de Procedimientos de Construcción na Universidade de Uruguai.

Considerado entre os maiores gênios da construção civil do Uruguai, junto com Eládio Dieste.

<https://www.gub.uy/ministerio-educacion-cultura/comunicacion/noticias/homenaje-leonel-viera>



posición fotográfica Leonel Viera. Estructuras en tensión.

Assistir m... Ce

YouTube

6

Metalúrgica, John A. Roebling's Sons Company, 1848-1952 (1973), ponte do Brooklyn, ponte Golden Gate, aviões, cabos submarinos, edifícios, e muitas outras pontes, inclusive a ponte Leonel Viera, sendo que neste caso foram usados cabos aderentes dentro do concreto.

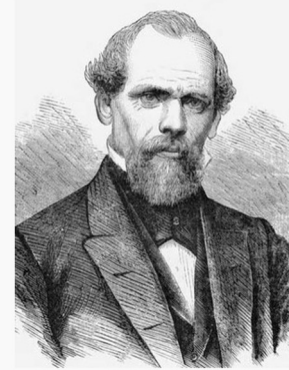
Centro manufatureiro em Trenton e New Jersey, USA.

Considerado entre os dez maiores engenheiros dos USA.

Cordoalhas de aço galvanizado a quente com 19 a 37 fios.

<https://www.bbc.com/travel/article/20180211-made-of-steel-how-a-new-jersey-town-rewired-history>

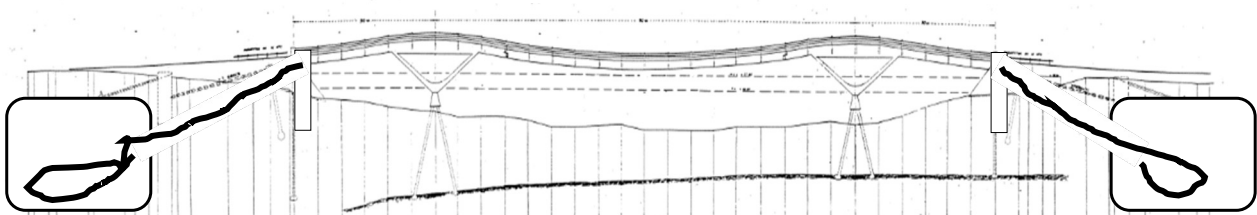
John Augustus Roebling



Nascimento	Johann August Röbling 12 de junho de 1806 Mühlhausen, Reino da Prússia
Morte	22 de julho de 1869 (63 anos) Nova Iorque

7

Ponte Leonel Viera (1963→1965) cabos aderentes contínuos galvanizados

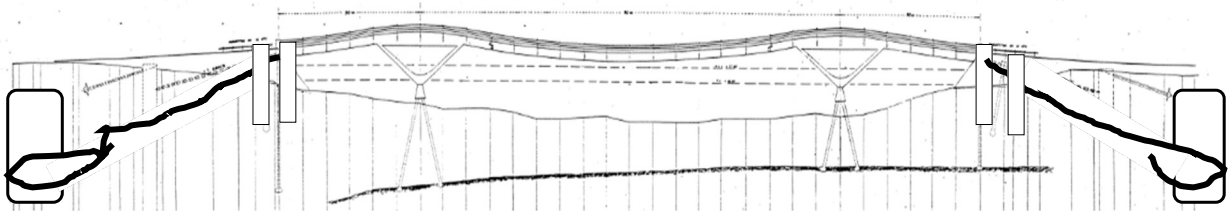


Protensão Engenhosa

1. Estica os cabos e ancora nos grandes maciços;
2. Completa armadura frouxa;
3. Apoia lajes pré-fabricadas desconectadas;
4. Carrega as lajes com carga de projeto;
5. Concretagem;
6. Retira as cargas;
7. Concreta acabamentos.

8

Ponte de la Barra (2000) cabos aderentes + cabos engraxados



Protensão Tradicional

1. Usa os cabos aderentes para suportar o peso próprio;
2. Usa os cabos não aderentes para suportar as cargas acidentais;
3. Com isso reduz volume do maciço;
4. Cria junta de dilatação....

9

PLANTA MACIZO DE ANCLAJE

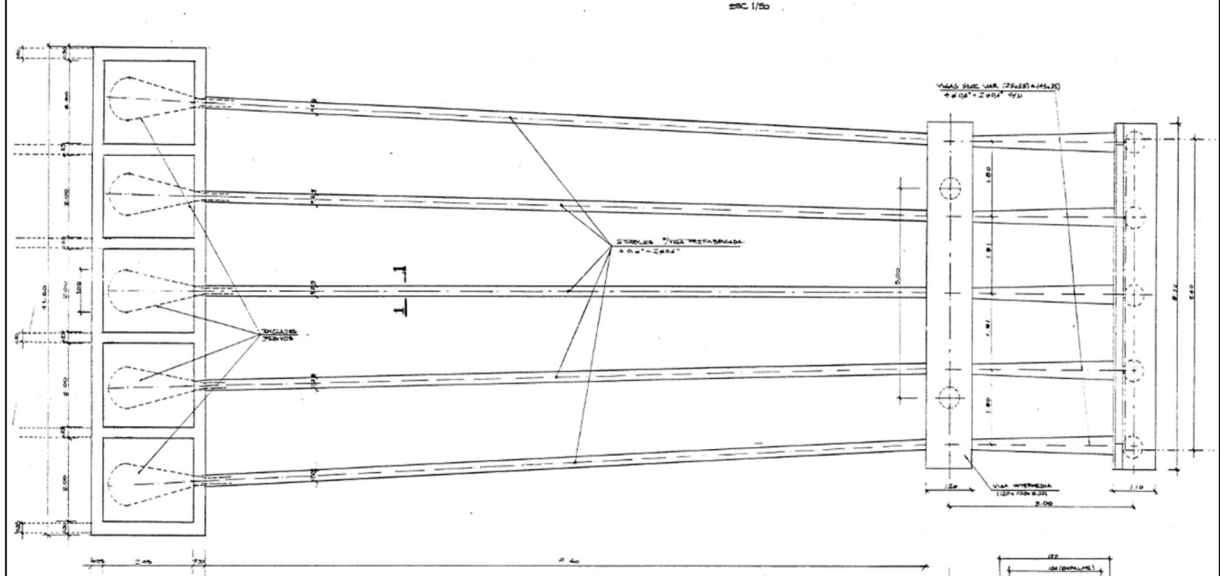


Figura 2.2. Detalhe en planta del sistema de anclaje en los estribos de cabecera y macizo externo.

10

la diaria maldonado

PORTADA
POLÍTICA
MUNDO
DEPORTE
OPINIÓN
CULTURA
MÁS
INGRESÁ
SUSCRIBITE
MENÚ

Informe técnico indica “peligro real” de derrumbe del puente de La Barra

Publicado el 10 de octubre de 2022

[Maldonado > Turismo](#)

🕒 1 minuto de lectura

Hasta el viernes, el puente había descendido un metro y diez centímetros; se prohibió la navegación en la zona.

11

☰

1 Nov, 2023

Argentina

Colombia

España

México

Perú

Mundo

Últimas Noticias

REGISTRO

intobae

Últimas Noticias
Rusia invade Ucrania
Deportes
Venezuela
Tecnología
ESPN
Qué Puedo Ver
Entretenimiento
Leamos
EEUU

AMÉRICA LATINA >

Tratan de salvar a uno de los puentes de La Barra en Punta del Este ante el riesgo de colapso

La estructura ondulante ya descendió más de un metro y está más afectada de lo que se pensaba. El intendente Enrique Antía reconoció la “situación delicada” y “el riesgo latente de que se pueda caer” pero dijo que intentan apuntalarlo para que circule el tránsito liviano durante la temporada de verano

12



13



14



15

Mientras continúan los trabajos en el puente afectado, instalarán sistemas de control de velocidad y peso en el Leonel Viera

Este martes quedó colocado un tercer pilote y se rellenaron, con diez metros cúbicos de hormigón cada uno, los dos que ya estaban colocados

26 octubre, 2022



Las obras en el puente afectado continúan y este martes quedó colocado el tercero de los cuatro pilotes que está previsto colocar, y se rellenaron, con diez metros cúbicos de hormigón los dos que ya están colocados desde hace unos días.

En las próximas horas, si el tiempo lo permite, continuarán los trabajos hasta completar los pilotes necesarios para sostener las vigas restantes que servirán para apuntalar el puente.

Por otra parte, el equipo de buzos trabajó inspeccionando el fondo donde van a colocarse los otros pilotes, lo que se conoce como "hincado" de los mismos.

16

Descrição “ponte Leonel Viera”

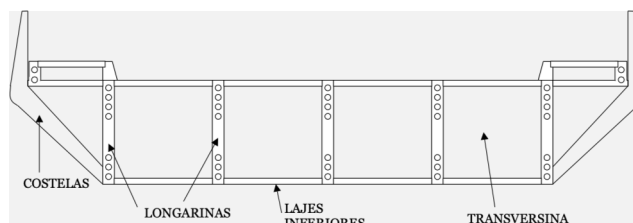
- Projetada e construída pelo “construtor” Leonel Viera, início 1963, inaugurada em 1965;
- Situada na desembocadura do Arroyo Maldonado com o Oceano Atlântico, Departamento de Maldonado, Uruguai;
- Procedimento construtivo singular chamado “banda tensada”;
- Risco de reação: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{liberar H}^-$
- Hidrogênio nascente
 - corrosão fragilizante do aço

17

Descrição “ponte Leonel Viera”

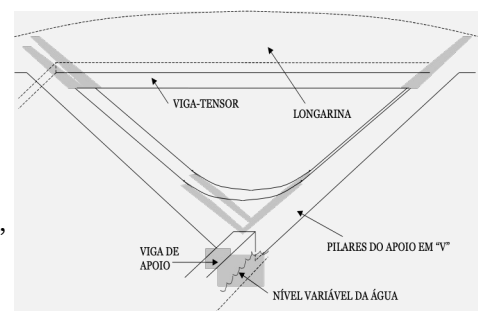
Estrutura/projeto

- f_{ck} : 22 MPa (32 MPa)
- cimento: 375 kg/m³
- a/c: 0,5



Seção transversal da ponte

- Tabuleiro tipo caixa constituído de longarinas e transversinas isoladas
- Longarinas: cabos da casa Roebling de aço galvanizado
- Mesa superior e inferior em laje armada
- 5 vigas longarinas e dois apoios formados por pilares em “V”
- 3 vãos com 30m, 90m e 30m de luz



18

“ponte Leonel Viera → 2.000”



19

Inspeção → 2.000

***“ponte
Leonel
Viera”***

ensaios realizados “in situ”

- Posição, diâmetro e cobrimento → pacometria
 - Dureza superficial por esclerometria
 - Profundidade de carbonatação
 - Resistividade elétrica superficial
 - Potencial de corrosão

20

***“ponte
Leonel
Viera”***

Inspeção → 2.000

ensaios realizados “in lab”

- Resistência à compressão
 - Módulo de elasticidade
 - Teor de cloretos
- Absorção de água, massa específica
 - Reconstituição de traço
 - Análise petrográfica
- Metalografia e ensaios no cabo galvanizado

21

Inspeção

observação visual e registro fotográfico



***“ponte
Leonel
Viera”***

22

Inspeção

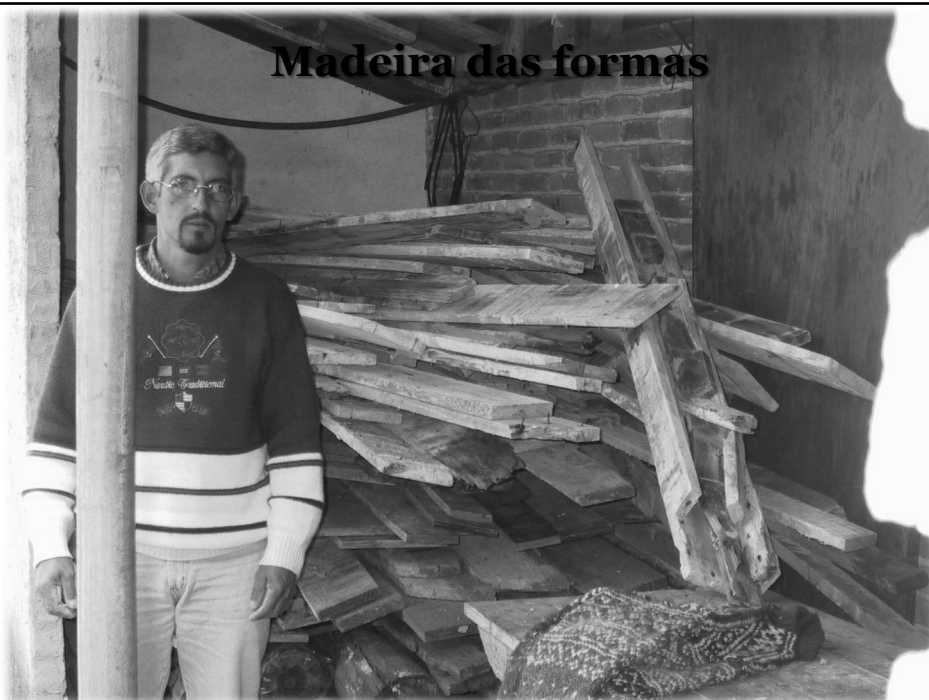
***“ponte
Leonel
Viera”***



23

Madeira das formas

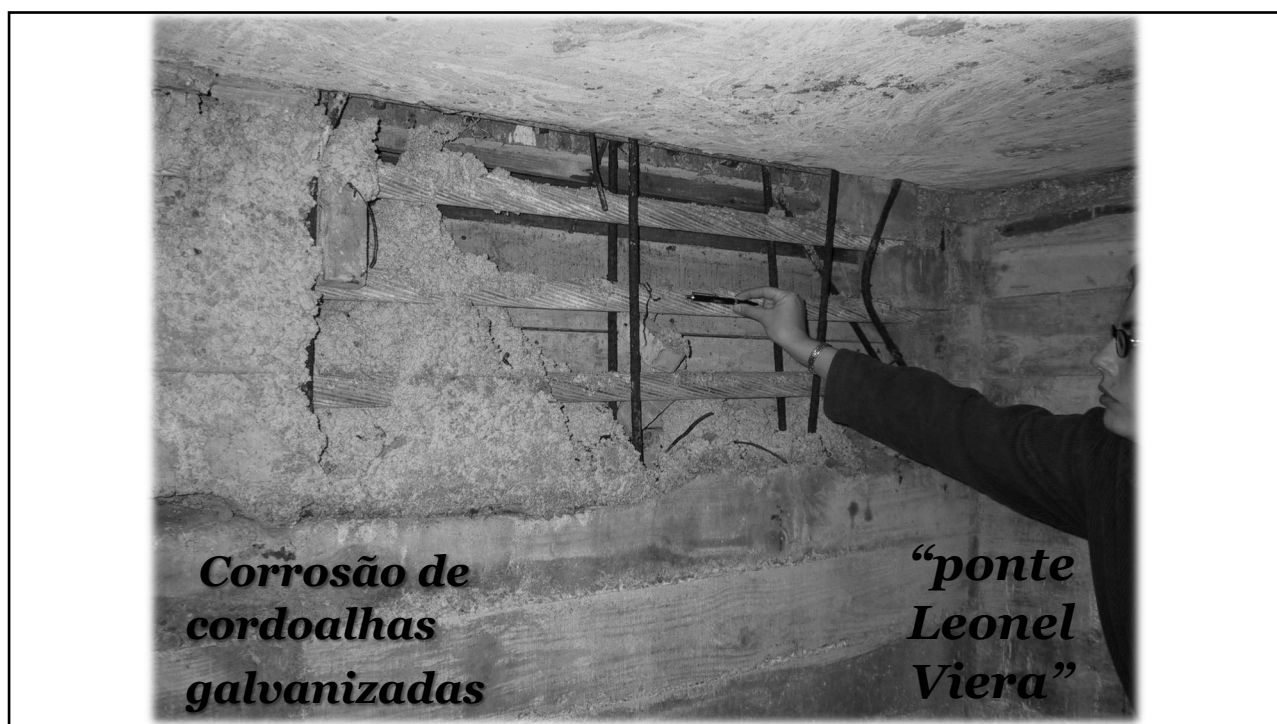
***“ponte
Leonel
Viera”***



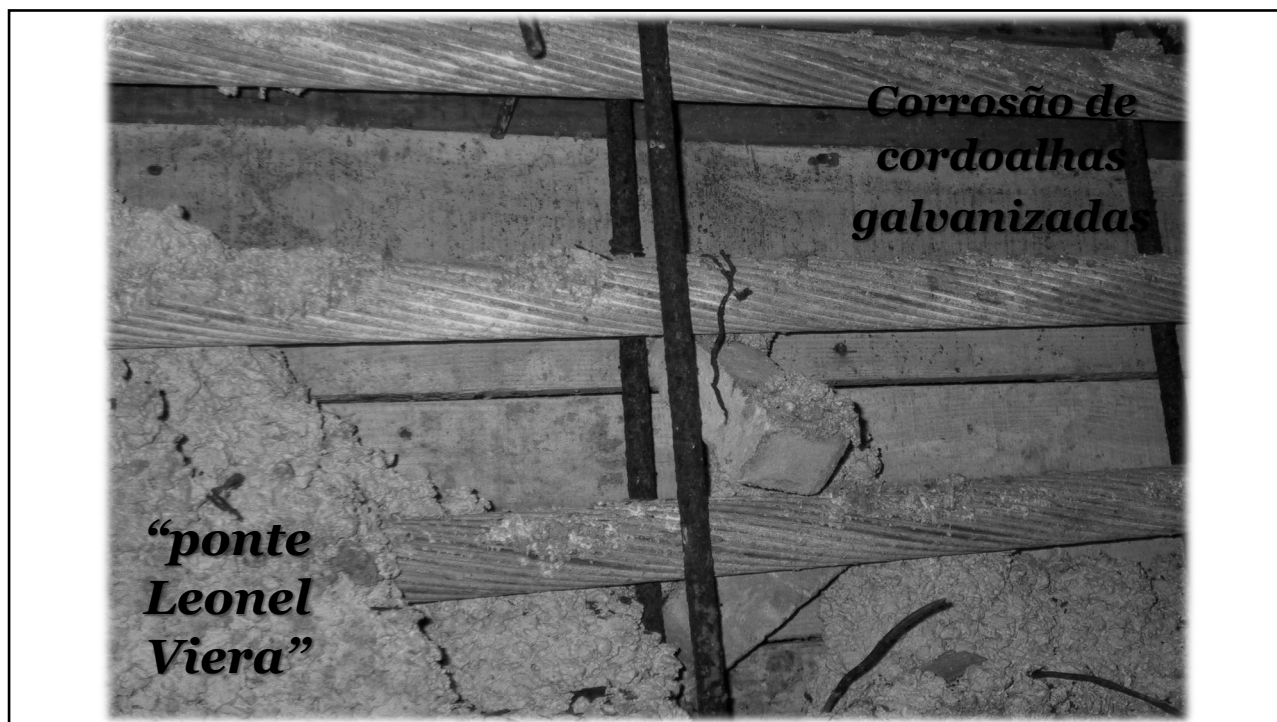
24



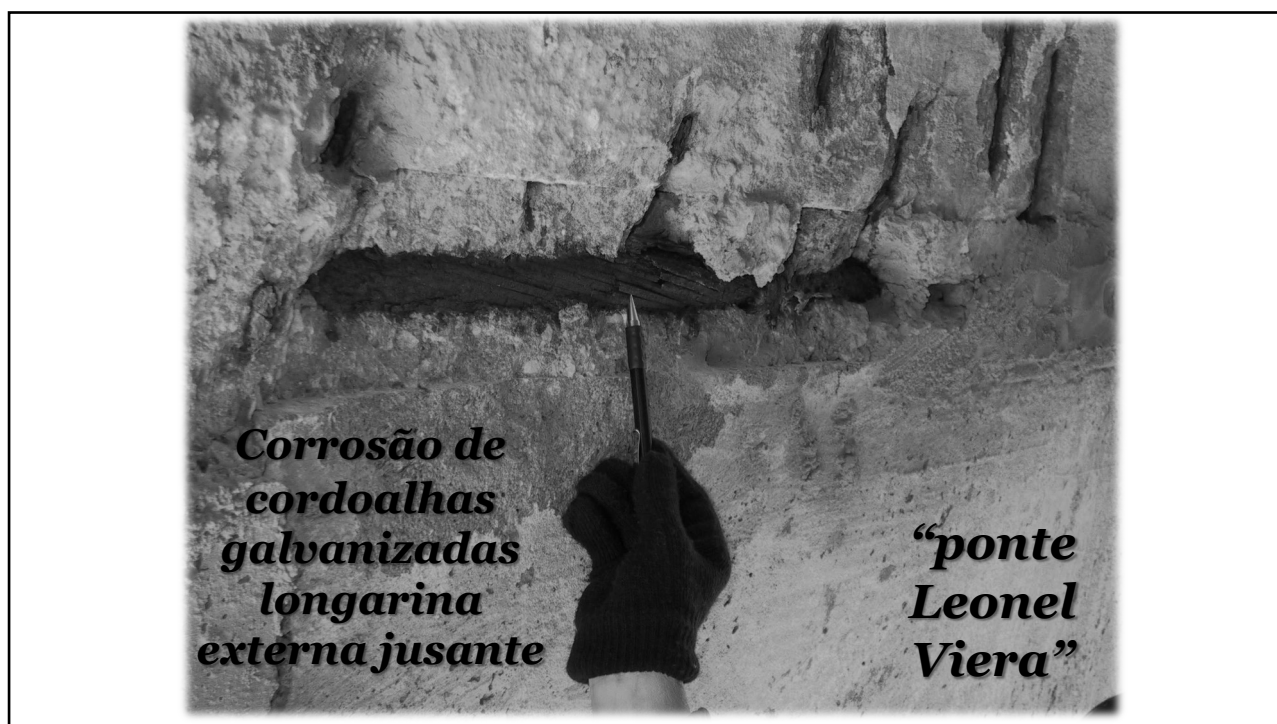
25



26



27



28



29



30



31

“ponte Leonel Viera” → conclusões

1. Internamente, em áreas onde não havia revestimento de concreto, foram necessários cerca de 47 anos para que o revestimento de zinco fosse consumido e o núcleo de aço exposto à ação direta do meio ambiente.
2. Internamente, nas partes revestidas, foram necessários 39 anos para que a frente de carbonatação chegasse à superfície dos fios ($0,6\text{cm}/\sqrt{\text{ano}}$). Levaria mais 47 anos para expor o aço carbono
3. A corrosão observada na cordoalha galvanizada nas longarinas externas é do tipo generalizada, sem evidência de corrosão localizada como um pite. Frente de cloreto levou 19 anos ($1,2\text{cm}/\sqrt{\text{ano}}$).
+ 28anos para consumir 80micra de zinco

32

“ponte Leonel Viera” → conclusões

4. As perdas máximas observadas atingem 1,1% da seção transversal original de todas as armaduras inferiores e 3% dos 39 cabos da seção transversal das longarinas.
5. O tipo de fratura observada "in situ" em fios rompidos por corrosão generalizada é de natureza frágil, confirmada por estudos laboratoriais.
6. As micrografias permitiram estimar espessuras residuais de zinco

33

“ponte Leonel Viera” → conclusões

7. Estudos microscópicos e ensaios de tração simples permitiram caracterizar o tipo de aço colocando-o na classificação de Roebling como IPS, galvanizado a quente e com espessura de zinco acima de 80 micra. São 37 fios de arame na cordoalha com 5,14 mm de diâmetro cada um. Área total de 7,6 cm².
8. Ensaio de tração lenta de fios expostos a meio alcalino realizados em laboratório confirmaram a liberação de hidrogênio no início, o que poderia induzir a fragilização do aço tracionado, mas isso não foi confirmado na prática (risco na recuperação...)

34

Ponte Leonel Viera → Diagnóstico

1. Não requer reforço estrutural, só reparos;
2. Leve corrosão de armaduras localizada;
3. Estrutura segura: *fundações, blocos, lajes, vigas, pilares*
4. Cordoalhas em bom estado geral, reparos localizados;
5. Precisa modernizar: *iluminação, calçadas, drenagens, guarda-corpo, barreiras New Jersey...*

35

Ponte Leonel Viera → Intervenção Corretiva

1. Inserir janelas de inspeção nos caixões perdidos;
2. Reparar localizadamente concreto e aço;
3. Argamassa estrutural e graute base cimento, 50 MPa;
4. Usar inibidores de corrosão na massa;
5. Modernizar

36

“Puente de la Barra -2023”

adieste@cud.uy <adieste@cud.uy>

17 de janeiro de 2023 às 10:24

Para: "Paulo.Helene" <paulo.helene@concretophd.com.br>

Quando fuimos avisados del problema (se había detectado que el puente había bajado, la junta con el estribo se había abierto del orden de 15cm., y la Intendencia había cortado el tránsito). Se hizo una primera inspección y se comenzó a monitorear la cota al centro del puente. Bajaba aproximadamente 1 cm., por día. El puente es una estructura con doble sistema de cables de postensado: un conjunto de cables adherentes los cuales no presentan síntomas de deterioro, y otro conjunto de 120 cables, que debíamos suponer 100 % cortados por corrosión. Ver Fotos adjuntas.

Luego de la inspección y de acuerdo a los resultados del primer modelo de cálculo determinamos que el puente sometido solamente a su peso propio (y sin contar con los cables no adherentes) estaba en condiciones de colapso (un día bajo excepcionalmente 15cm.) por lo que se descartó toda forma de trabajo que implicara trabajar dentro, sobre, o debajo del puente.

Comenzamos a ejecutar una Atagüía sobre la que apoyar dos bases, y otra sobre la que trabajar con una grúa para colocar 6 pilotes provisionales. Sobre las dos Bases y las 3 parejas de pilotes, colocamos 4 vigas metálicas que mediante gatos empujamos hacia arriba, para recuperar el descenso dentro de lo posible.

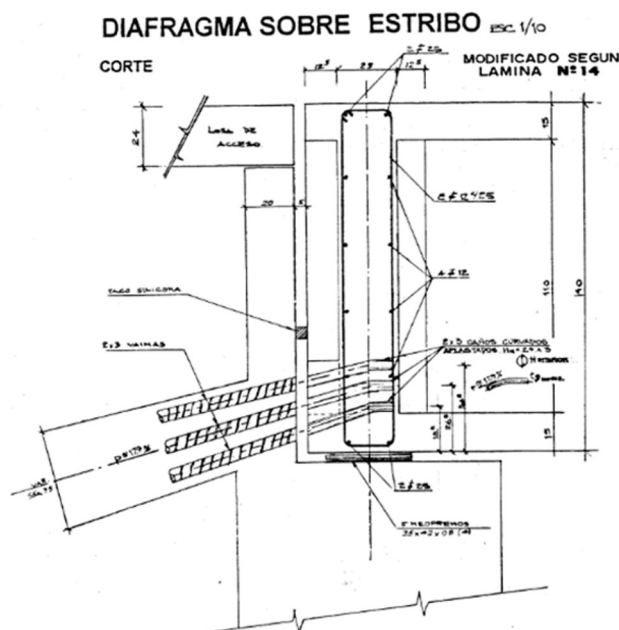
Esto es apenas un esbozo del operativo que en poco más de dos meses permitió logra el objetivo de habilitarlo durante la temporada de verano. Podrás imaginar las noches de insomnio hasta que logramos colocar la primera de la vigas y detener el descenso! Cuando tu vengas te haremos un relato detallado de la tarea.

Un abrazo. A°

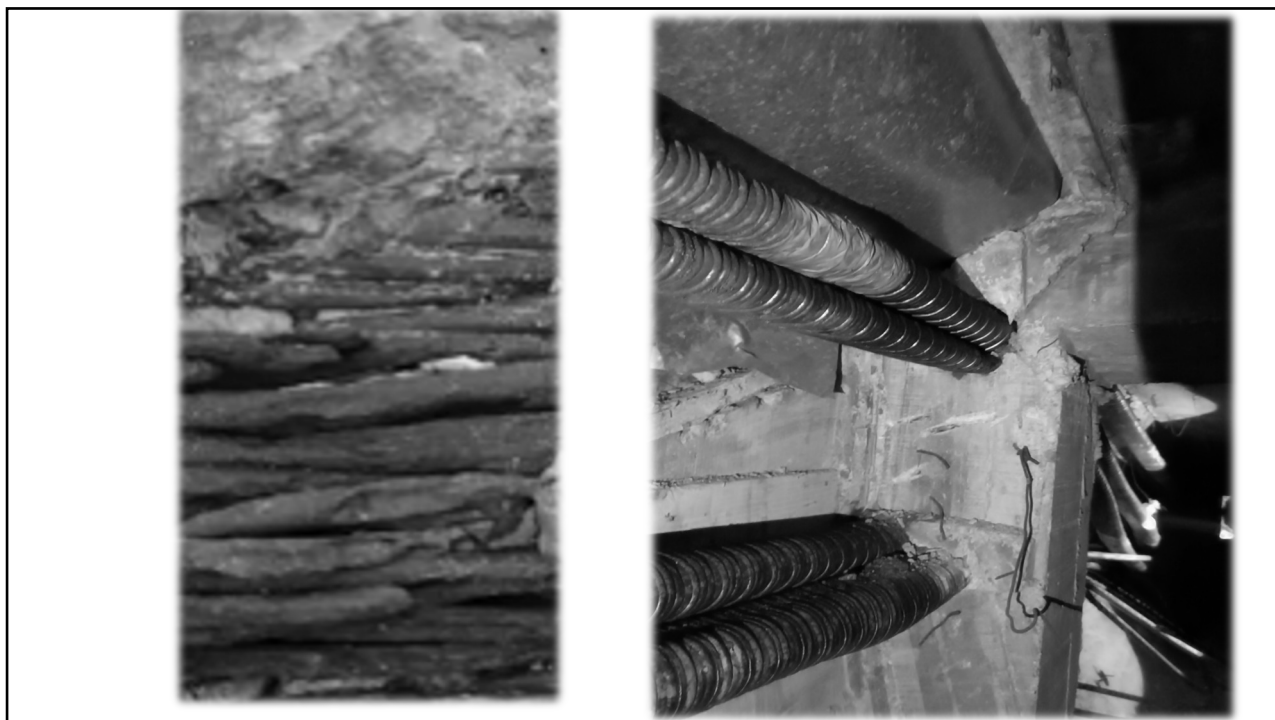
Antonio Dieste
Ingegnere Civile

CYD Ingenieros

37



38

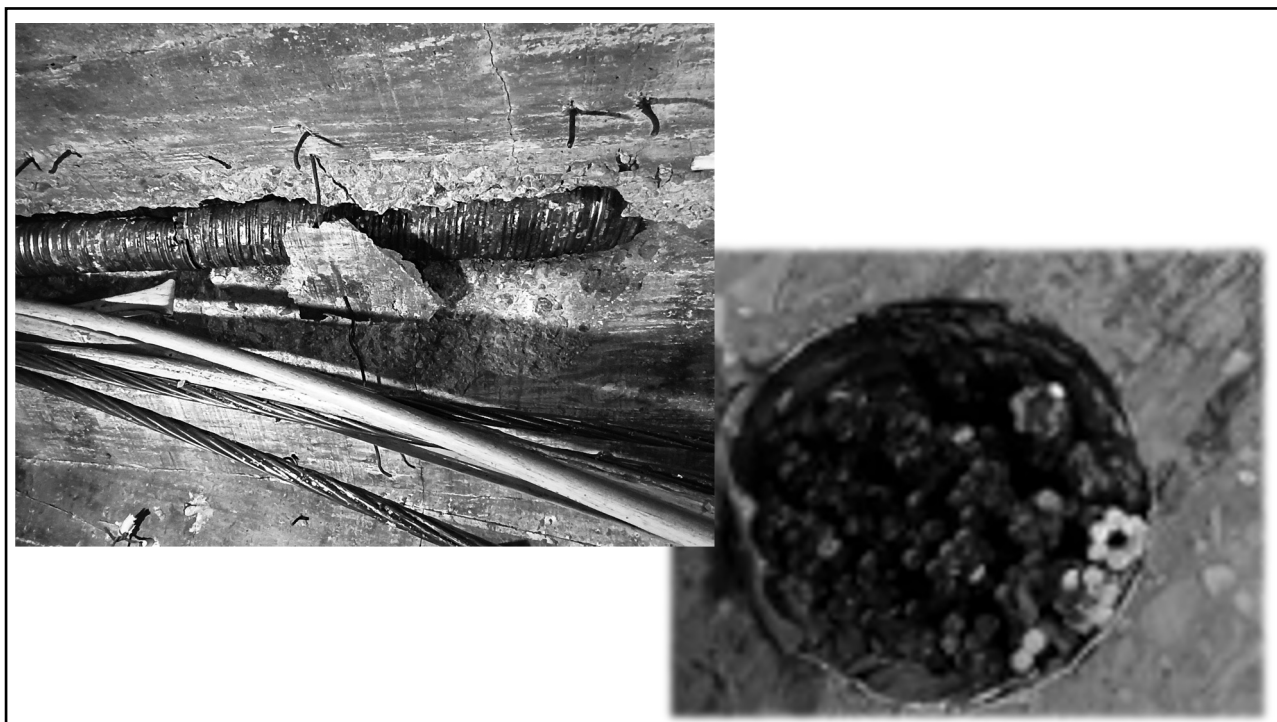


39



Foto 2.2b. Cable corroído y roto no adherente.

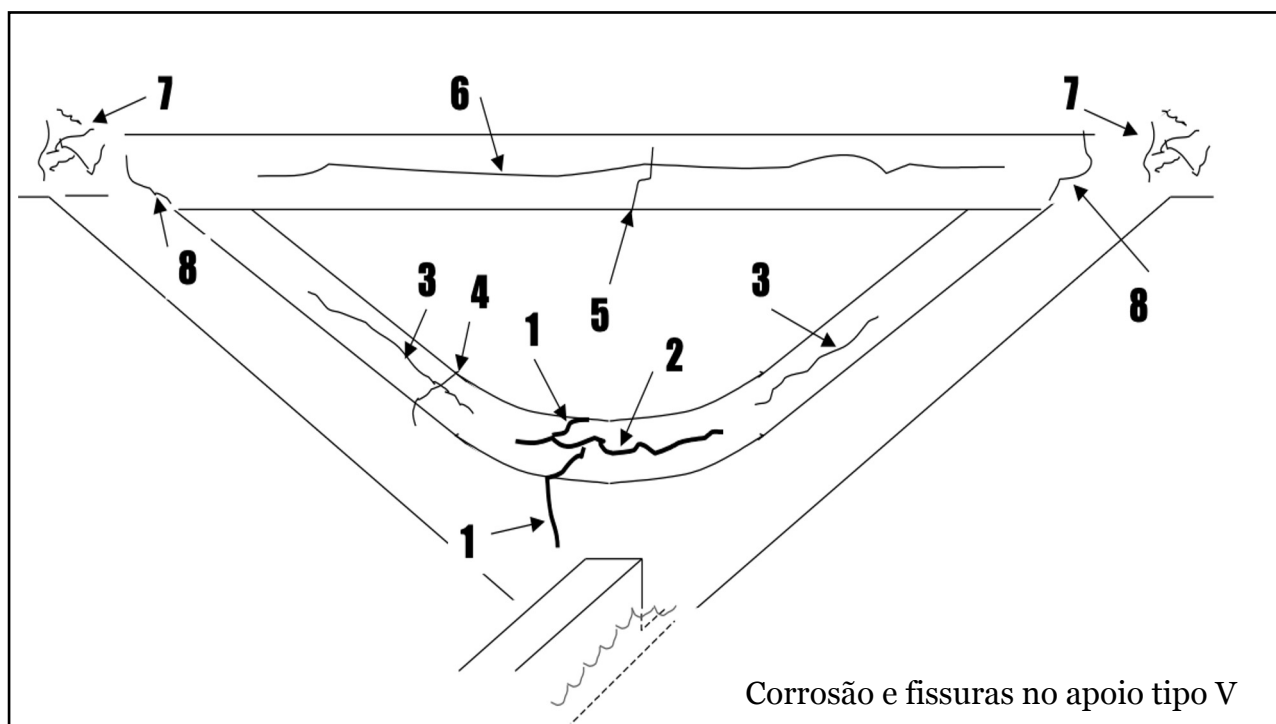
40



41



42



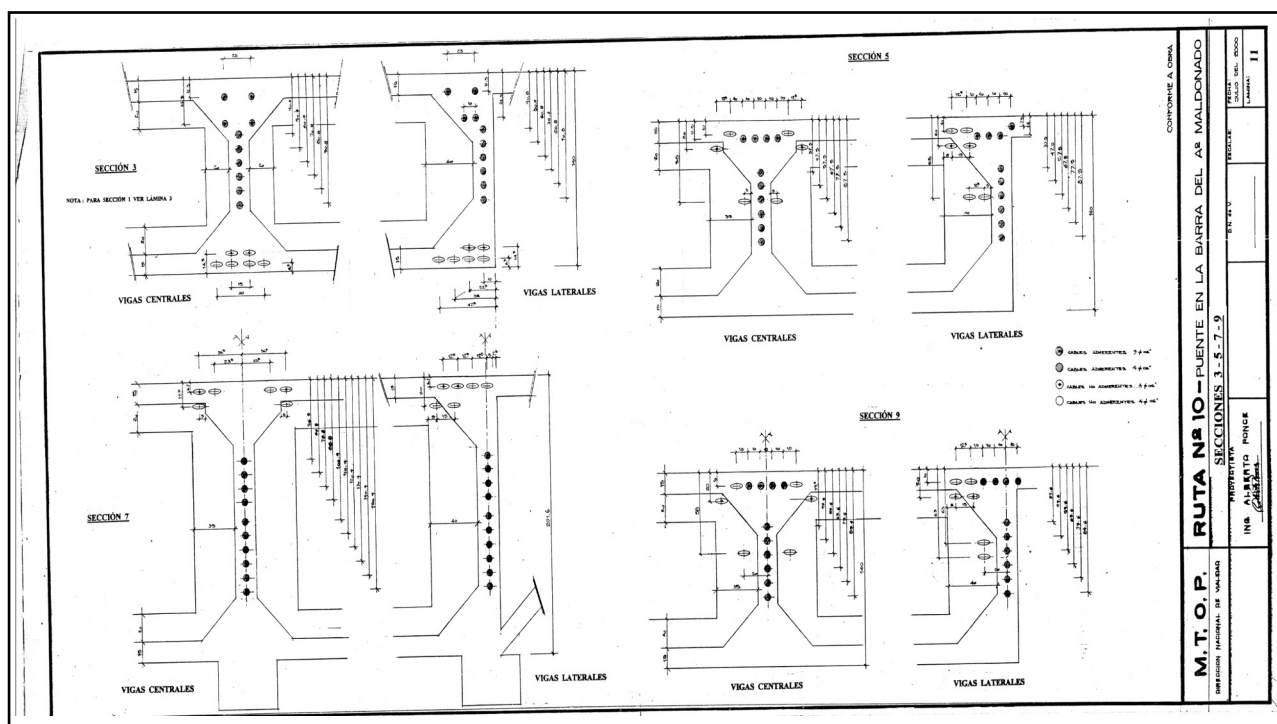
43



44



45



46



47



48



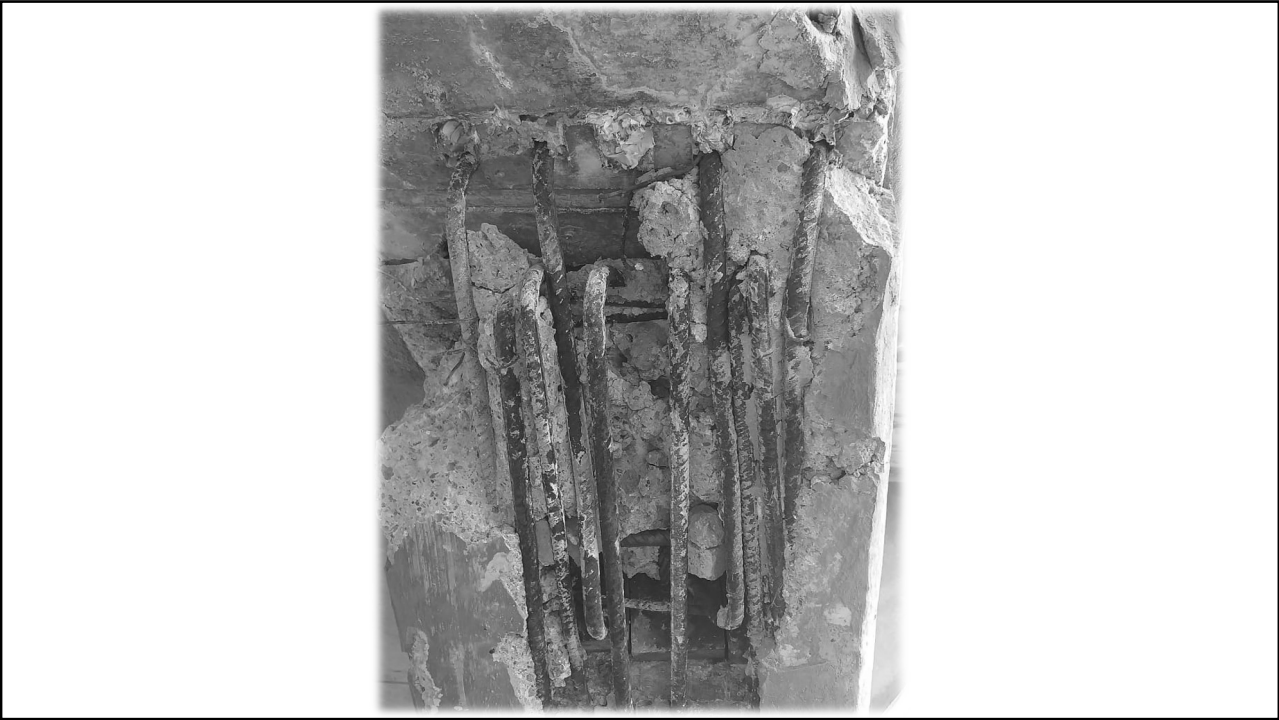
49



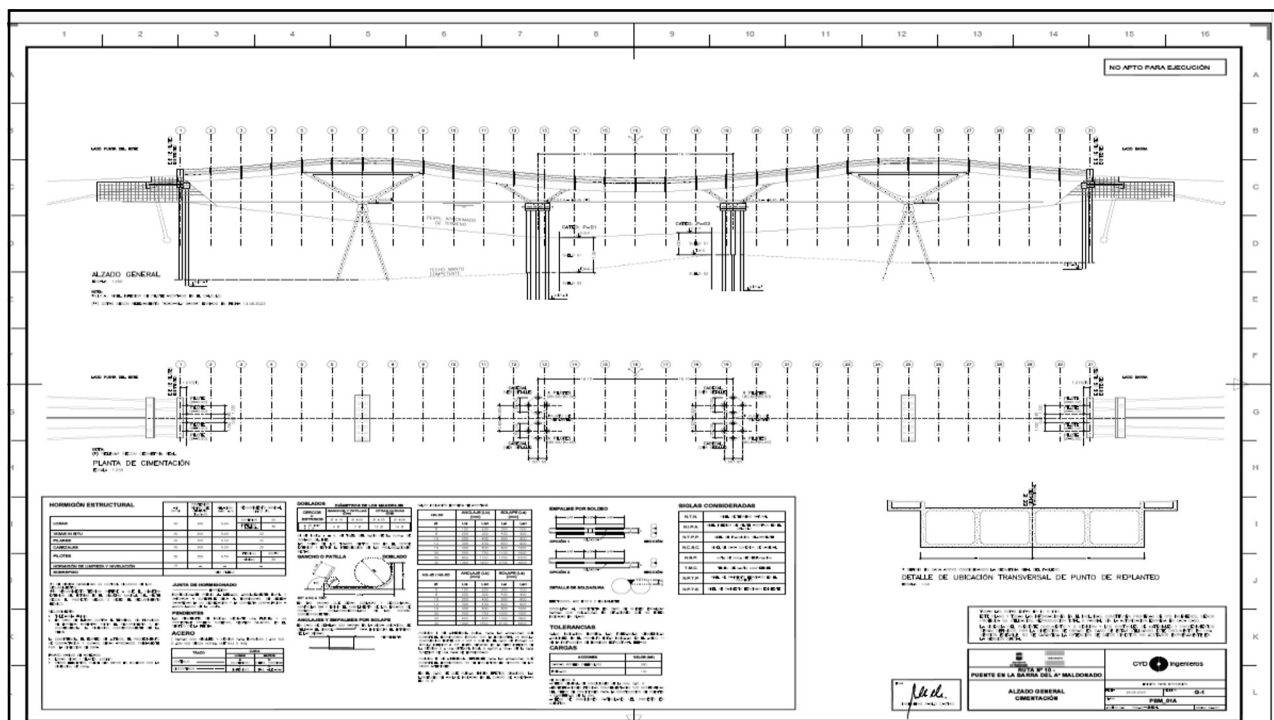
50

Local	Posición	Resistencia a compresión ASTM C 42 en MPa	projeto 35 MPa
1	Longarina L1 (Playa) Ejes T4-T5	56,4	
2	Losa interna Ejes T4-T5	nihil	
3	Longarina L5 (Viera) Ejes T4-T5	54,4	
4	Columna L1 (Playa) Ejes T7-T8	51,6	
5	Columna (interna) Ejes T7-T8	35,8	
6	Columna L5 (Viera) Ejes T7-T8	33,2	
7	Longarina L1 (Playa) Ejes T11-T12	45,7	
8	Losa (interna) Ejes T11-T12	nihil	
9	Longarina L5 (Viera) Ejes T11-T12	52,5	
10	Columna L5 (Viera) Eje T24	36,8	
11	Columna L1 (Playa) Eje T26	32,2	
12	Columna L5 (Viera) Eje T26	60,2	
13	Longarina L1 (Playa) Ejes T27-T28	52,6	
14	Losa (interna) Ejes T27-T28	nihil	
15	Longarina L5 (Viera) Ejes T27-T28	nihil	

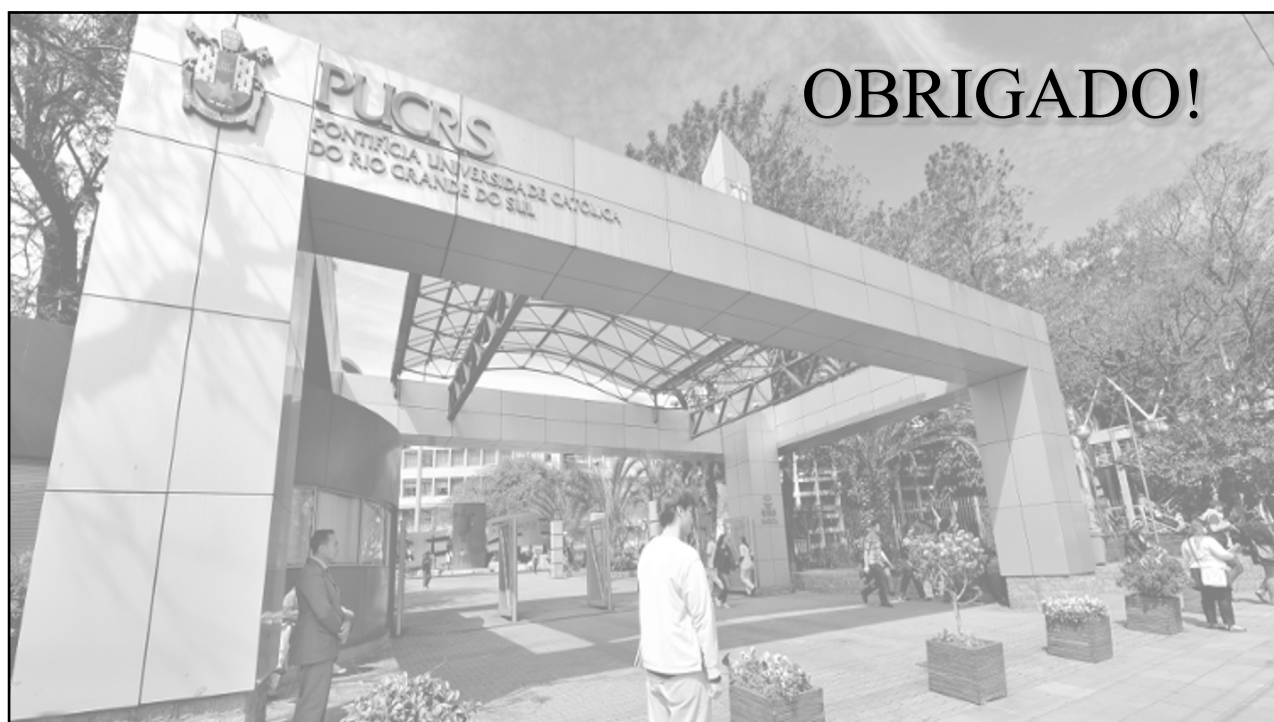
51



52



53



54