



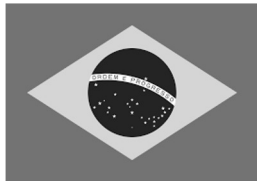
1



2

Colapsos de Edificación y Puentes por Corrosión Invisible del Acero

Paulo Helene
PhD Engenharia
IBRACON
Brasil



Organiza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

Cartagena de Indias 8 Mayo 2026. Colombia

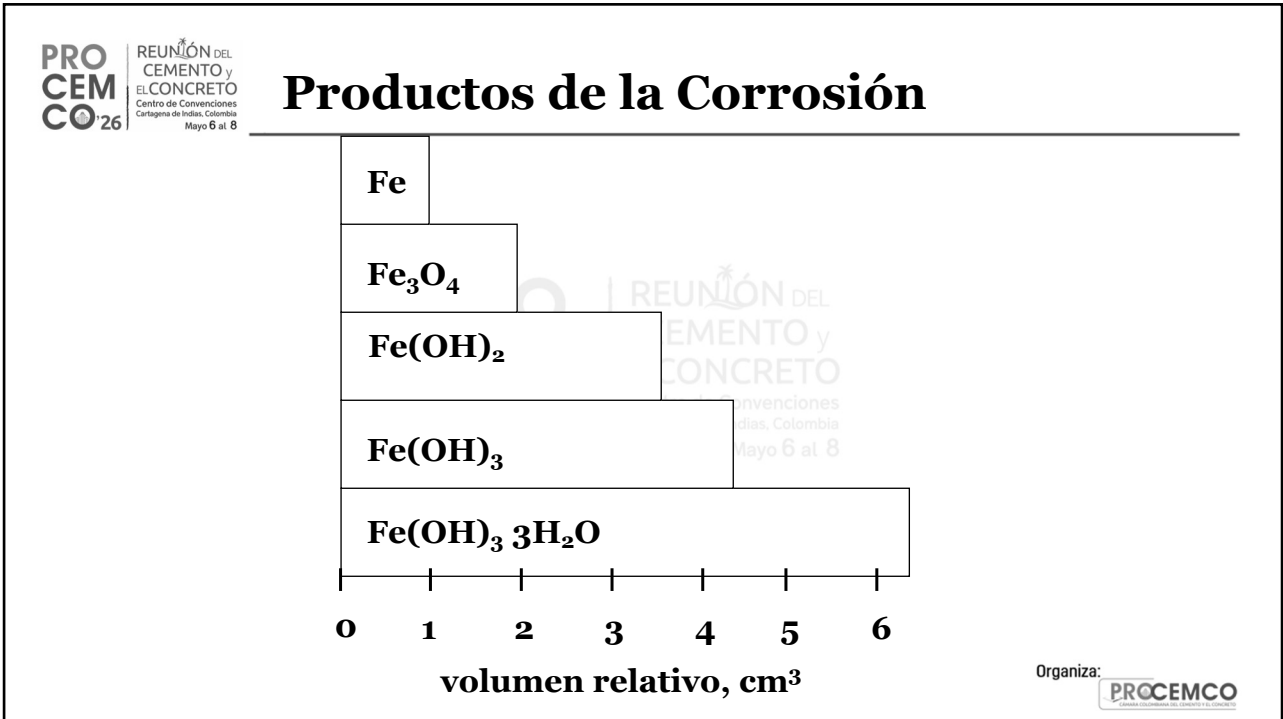
3

Corrosión del acero

Condiciones para haber corrosión en estructuras de concreto:
acero + oxígeno + “agua” → “herrumbre”

Organiza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

4



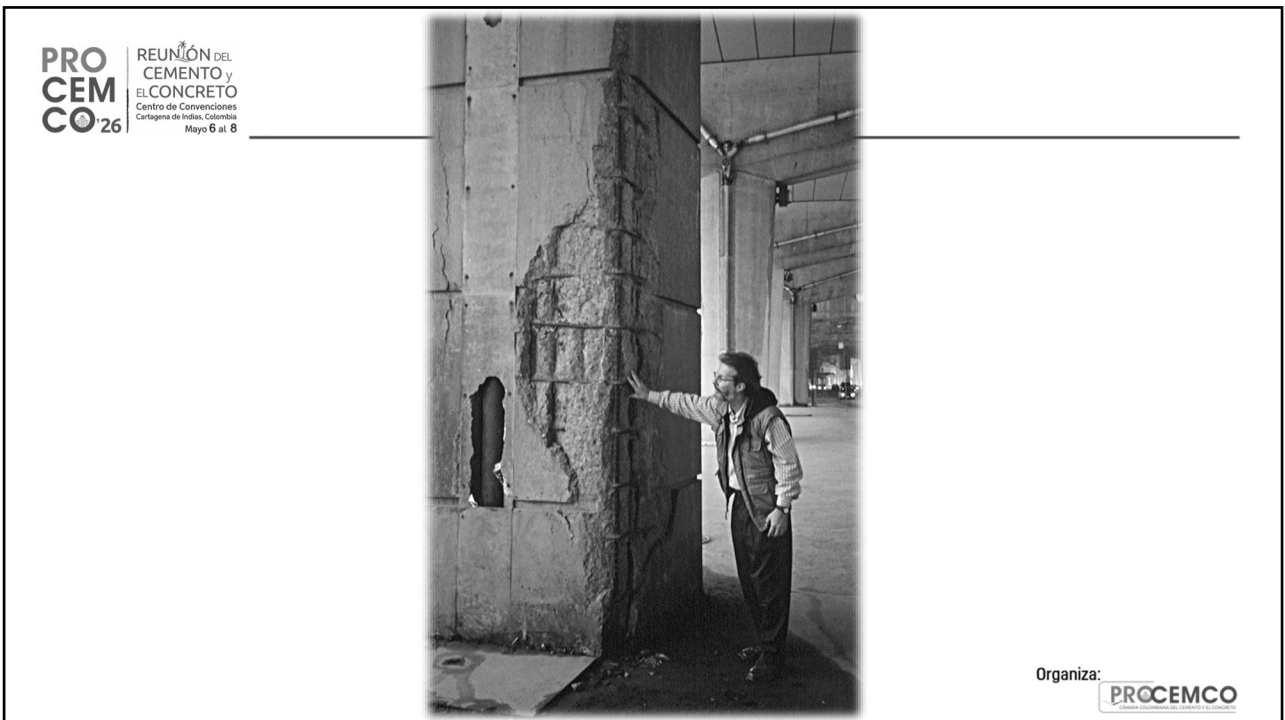
5



6



7



8



9

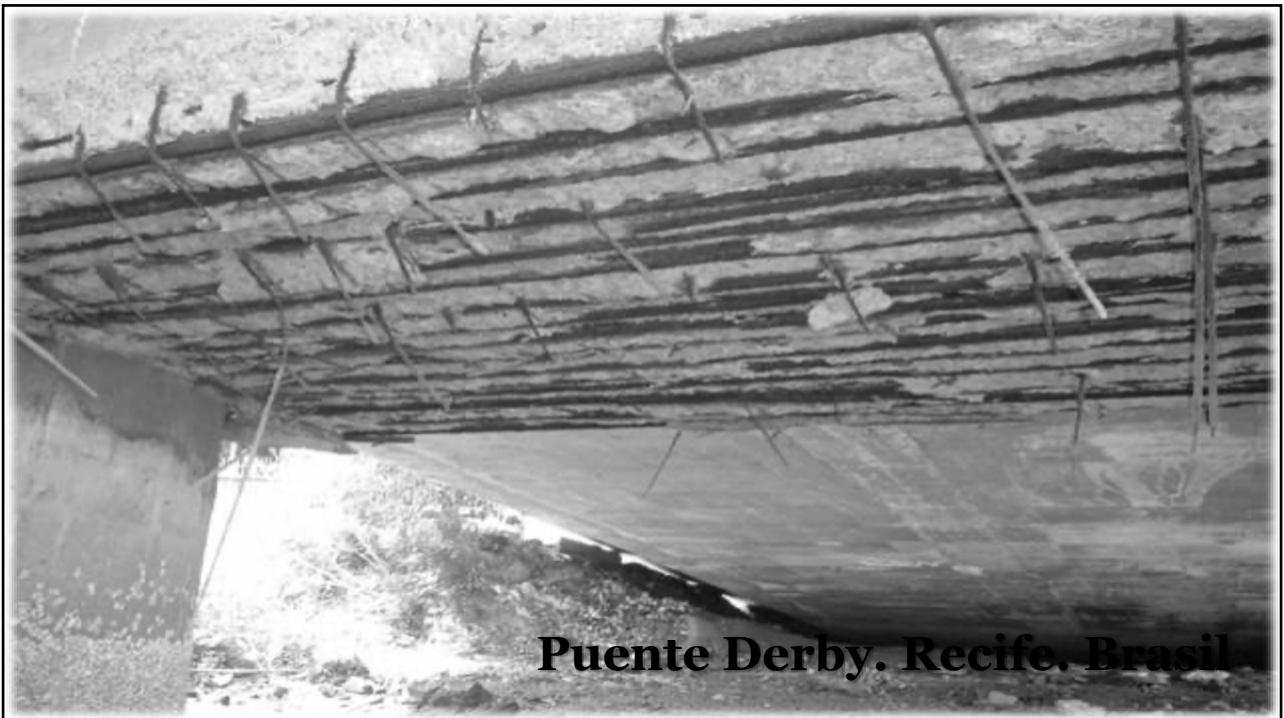


10



Puente Duarte Coelho

11



Puente Derby. Recife, Brasil

12

pero... qué hay en común entre los siguientes colapsos, accidentes o derrumbes con ruptura frágil sin avisos !

Descargo de responsabilidad: Esta presentación es solo para fines educativos. Las hipótesis, opiniones y puntos de vista expresados en esta presentación representan la opinión del autor y no representan una posición oficial o legal del gobierno, IBRACON, PhD Engenharia, USP, ALCONPAT, PROCEMCO, o cualquiera de las partes involucradas en estos casos acá presentados. Además, esta presentación no es un asesoramiento legal ni un informe judicial. También no puede ser reproducida sin autorización del autor.

13



PRO
CEM
CO 26

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

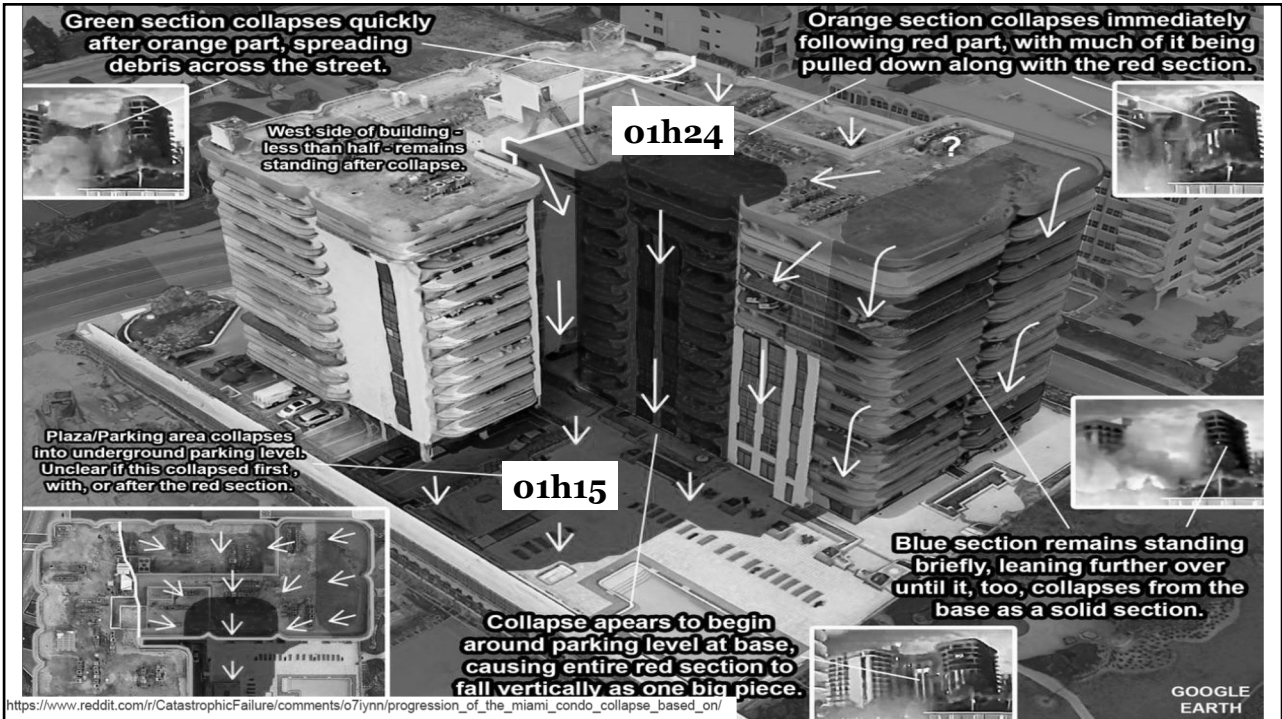
Colapso Champlain Towers South. 1981

- website oficial do NIST
- <https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/data-portal>
- NIST Disaster Data Portal

colapso: 24 de Junio de 2021
“Structural Field Survey Report”
8 de Octubre de 2018
3 años antes

Organiza: PROCEMCO

14



15

PRO CEM CO 26

REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Mancha de lama invade a lagoa Rodrigo de Freitas, depois da chuva que atingiu o Rio durante a madrugada e a manhã de ontem

Marqueses desabam e matam 2 no ABC

O desabamento ontem à tarde de duas marqueses de um prédio no centro de São Caetano do Sul (SP) matou duas pessoas que passavam pela rua e deixou outras duas feridas. As causas do acidente ainda são desconhecidas. Laudo deverá ficar pronto em 15 dias.

No Rio, uma mulher morreu e três pessoas ficaram feridas no desabamento de duas casas no Andaraí (zona norte), após temporal ontem de manhã. A chuva, que começou de madrugada, parou a cidade. Houve congestionamentos de até 20 km devido ao alagamento de vários acessos ao centro.

Para o prefeito Luiz Paulo Conde (PPF), que decretou estado de alerta, "os mesmos lugares que enchem enchiam há 180 anos". **São Paulo**

Classificação

FERNANDO RODRIGUES da Securisal de Brasília

O deputado Sérgio Naya (sem partido-MG) mudou de ideia e tentará voltar ao PPB. Advogados o convenceram de que sua expulsão foi irregular. Responsável pelo projeto que retirou no Rio, ele é acusado de falta de decoro e pode ter o mandato cassado —processo contra o qual Naya também resolveu agir. **Pág. 3-8**

Opinião da Folha

BRASIL

1980

SÃO CAETANO DO SUL

BRASIL

2012

29 años

Inspección 1 año antes

Campanha começa com pichações **Pág. 1-8**

ÍNDICE

Brasil	5,4
Colômbia	5,1
Costa Rica	5,0
Chile	4,9
Argentina	4,8
Peru	4,7
Paraguai	4,6
Uruguai	4,5
Equador	4,4
Guatemala	4,3
Honduras	4,2
El Salvador	4,1
Paraguai	4,0
Uruguai	3,9
Equador	3,8
Guatemala	3,7
Honduras	3,6
El Salvador	3,5
Paraguai	3,4
Uruguai	3,3
Equador	3,2
Guatemala	3,1
Honduras	3,0
El Salvador	2,9
Paraguai	2,8
Uruguai	2,7
Equador	2,6
Guatemala	2,5
Honduras	2,4
El Salvador	2,3
Paraguai	2,2
Uruguai	2,1
Equador	2,0
Guatemala	1,9
Honduras	1,8
El Salvador	1,7
Paraguai	1,6
Uruguai	1,5
Equador	1,4
Guatemala	1,3
Honduras	1,2
El Salvador	1,1
Paraguai	1,0
Uruguai	0,9
Equador	0,8
Guatemala	0,7
Honduras	0,6
El Salvador	0,5
Paraguai	0,4
Uruguai	0,3
Equador	0,2
Guatemala	0,1
Honduras	0,0
El Salvador	-0,1
Paraguai	-0,2
Uruguai	-0,3
Equador	-0,4
Guatemala	-0,5
Honduras	-0,6
El Salvador	-0,7
Paraguai	-0,8
Uruguai	-0,9
Equador	-1,0
Guatemala	-1,1
Honduras	-1,2
El Salvador	-1,3
Paraguai	-1,4
Uruguai	-1,5
Equador	-1,6
Guatemala	-1,7
Honduras	-1,8
El Salvador	-1,9
Paraguai	-2,0
Uruguai	-2,1
Equador	-2,2
Guatemala	-2,3
Honduras	-2,4
El Salvador	-2,5
Paraguai	-2,6
Uruguai	-2,7
Equador	-2,8
Guatemala	-2,9
Honduras	-3,0
El Salvador	-3,1
Paraguai	-3,2
Uruguai	-3,3
Equador	-3,4
Guatemala	-3,5
Honduras	-3,6
El Salvador	-3,7
Paraguai	-3,8
Uruguai	-3,9
Equador	-4,0
Guatemala	-4,1
Honduras	-4,2
El Salvador	-4,3
Paraguai	-4,4
Uruguai	-4,5
Equador	-4,6
Guatemala	-4,7
Honduras	-4,8
El Salvador	-4,9
Paraguai	-5,0

Reforma vai dar reajuste salarial aos 3 Poderes

O primeiro efeito da reforma administrativa, aprovada ontem, será o reajuste de até 59% para a cúpula de Executivo, Legislativo e Judiciário.

O novo teto salarial da administração federal deverá ficar em R\$ 12.720, segundo negociação em curso nos Três Poderes, da qual resultará um inédito projeto de lei de iniciativa conjunta. O aumento poderá ocorrer em abril. **Pág. 1-9**

Destroços das duas marqueses de 30 metros de comprimento que desabaram da fachada de loja no centro de São Caetano do Sul

GUIA DA FOLHA SIP

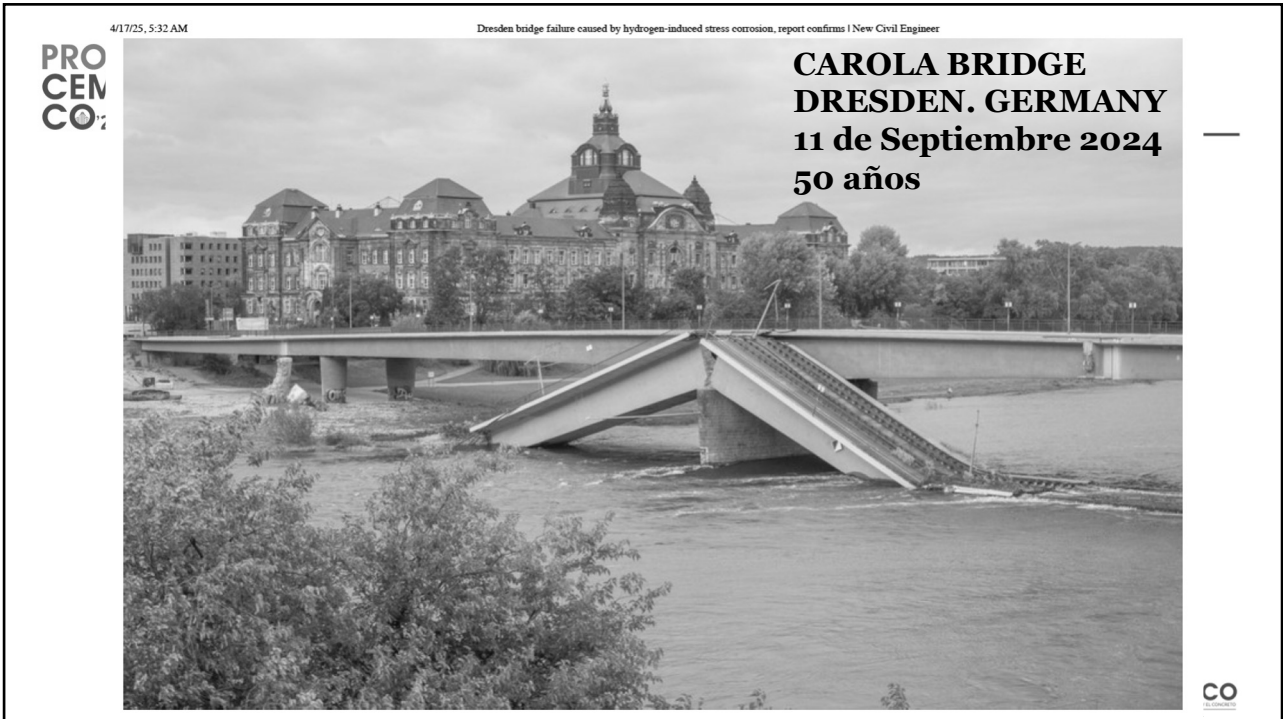
186 lojas

300 restaurantes

54 filmes

29

16



17



18

**PRO
CEM
CO** 26

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

MENU **G1**

SERGIPE **TV SERGIPE**

09/05/2015 13h59 - Actualizado em 09/05/2015 19h37

Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca, SE

Ponte fazia a parte da BR-101, mas estava interditada para veículos. Fornecimento de água pode ficar interrompido até a próxima semana.

Do G1 SE

FACEBOOK

TWITTER

GO+

PINTEREST



Ponte era bastante antiga e pode não ter suportado peso (Foto: Divulgação/André Amorim)

<https://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2015/05/noticia-de-agua-sera-feito-nos-municipios-de-itaituba-ma-grande-aracaju.html>

Organiza:



19

**PRO
CEM
CO** 26

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8


✓ **Corrosión invisible !**

✓ **Fisuras localizadas !**

✓ **Corrosión bajo tensión !**

✓ **Ruptura frágil sin aviso !**

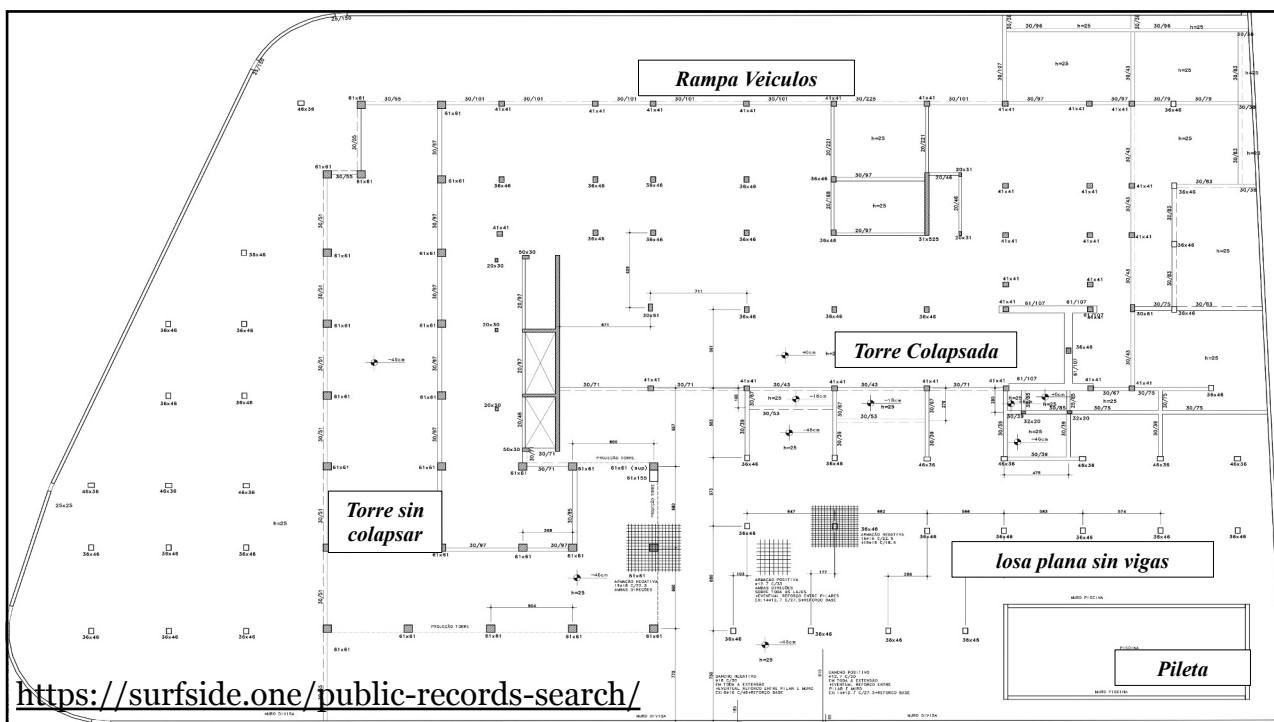
Organiza:



20



21



22



25

PRO CEM CO 26 REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

→ 56 m
58 m extensión

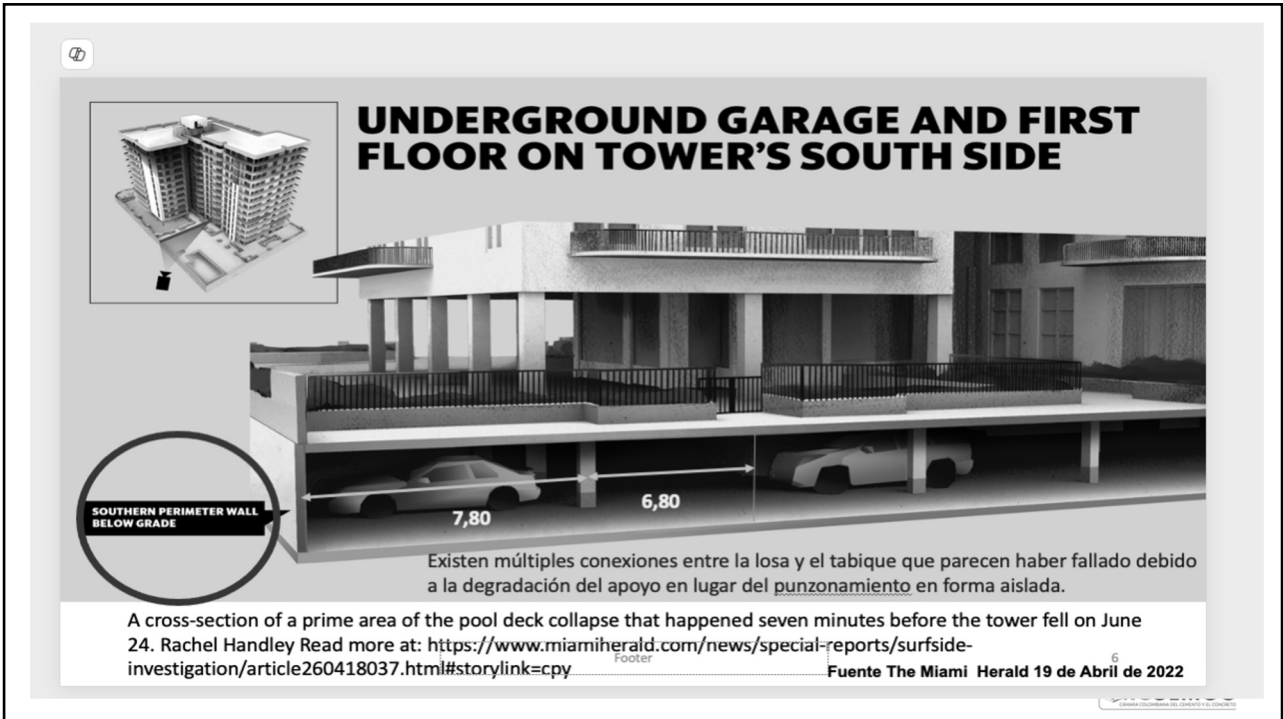
torre

losa recreación

para $\Delta_t = 25^{\circ}C \rightarrow 1,5\text{ cm}$

Orga:

26



27



28




29



30



31



October 8, 2018


Champlain Towers South
8777 Collins Avenue
Surfside, FL 33154

Attention: Ms. Maggie Manrara
Treasurer

**Re: Champlain Towers South Condominium
Structural Field Survey Report
MC Job# 18217**

Dear Ms. Manrara:

Morabito Consultants, Inc. (MC) is pleased to submit this structural engineering report of the Field Survey completed at the existing Champlain Towers South Condominium Complex (CTS) in Surfside, FL. The scope of this project includes a review of the existing 12 story plus penthouse 136-unit residential building, below-grade parking garage and at-grade exterior entrance drive, pool and recreation area. MC reviewed a representative sample of ~68 condominium units (half of the total units found in the building) along with the roof, exterior façade (observed from the balconies surveyed), parking garage,



32

https://www.townofsursidefl.gov/docs/default-source/default-document-library/town-clerk-documents/champlain-towers-south-public-records/8777-collins-ave---structural-field-survey-report.pdf?sfvrsn=882a1194_2

"The Pool Deck and Entrance Drive areas were reviewed

...

Many of the existing pavers on the pool deck are cracked

...

The joint sealant was observed to be beyond its useful life and are in need to complete replacement

...

The failed waterproofing is causing major structural damage to the concrete structural slab below these areas "

PROCEMCO 26

REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

MENU G1

ESPIRITO SANTO 

19/07/2016 09h:49 - Actualizado em 19/07/2016 19h:32

Área de lazer em condomínio de luxo desaba e porteiro é achado morto

Drone mostra o estrago no Grand Parc, na Enseada do Suá, em Vitória. Suspeita é de vazamento de gás, segundo Corpo de Bombeiros.

Viviane Machado e Victoria Varejão
Do G1 ES

 FACEBOOK
 





As torres do condomínio de luxo Grand Parc Residencial Resort, na Enseada do Suá, em Vitória, foram esvaziadas após toda a **área de lazer desabar, na manhã desta terça-feira (19)**. Quatro pessoas ficaram feridas e **um porteiro ficou desaparecido até as 17h**. Ele foi encontrado morto. O desabamento aconteceu por volta de 3h.

Organiza:



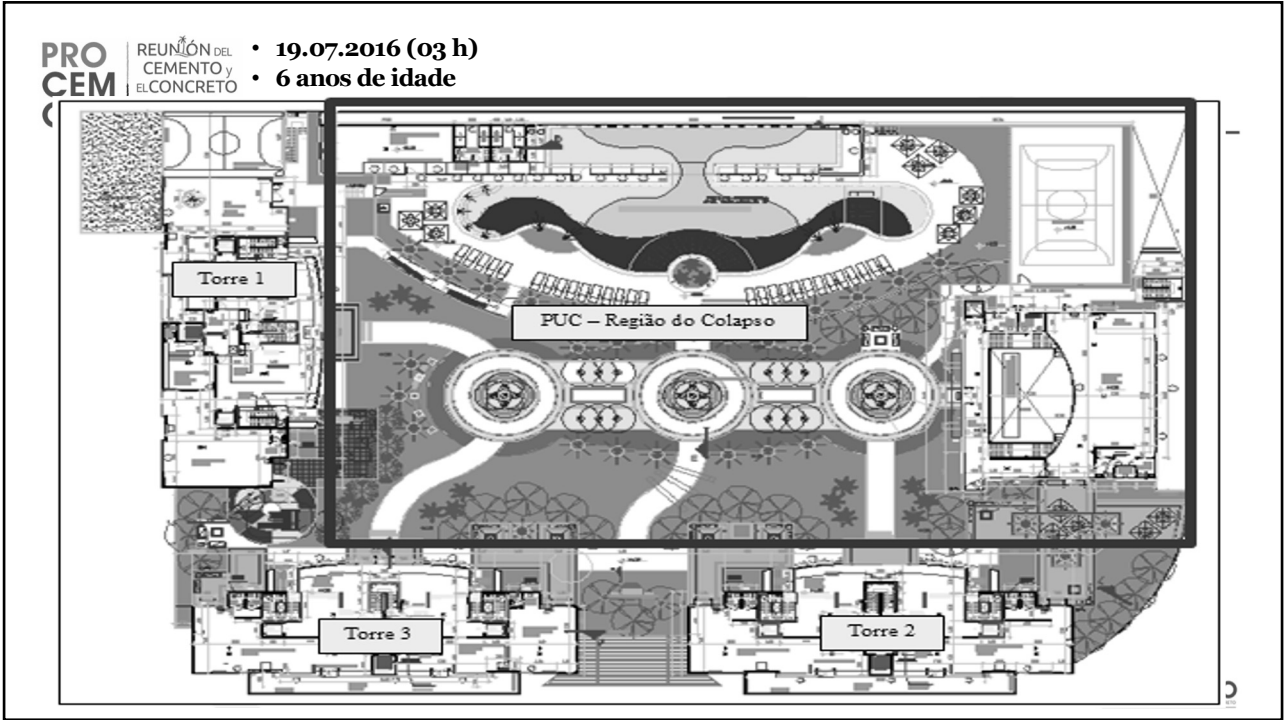
<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/07/torres-de-condominio-de-luxo-no-es-sao-evacuadas-apos-desabamento.html>



35



36



37



38



39



40



41



Vista del derrumbe en un complejo de viviendas en Parque Patricios

42

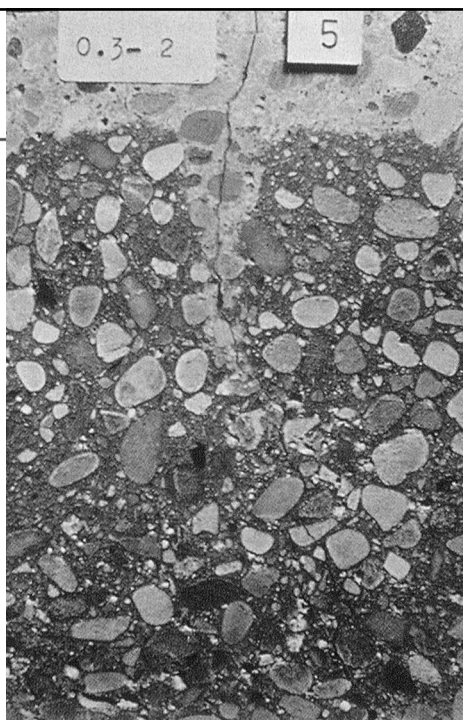
Justificativa Técnica

Fisuras

Corrosión

Organiza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

43

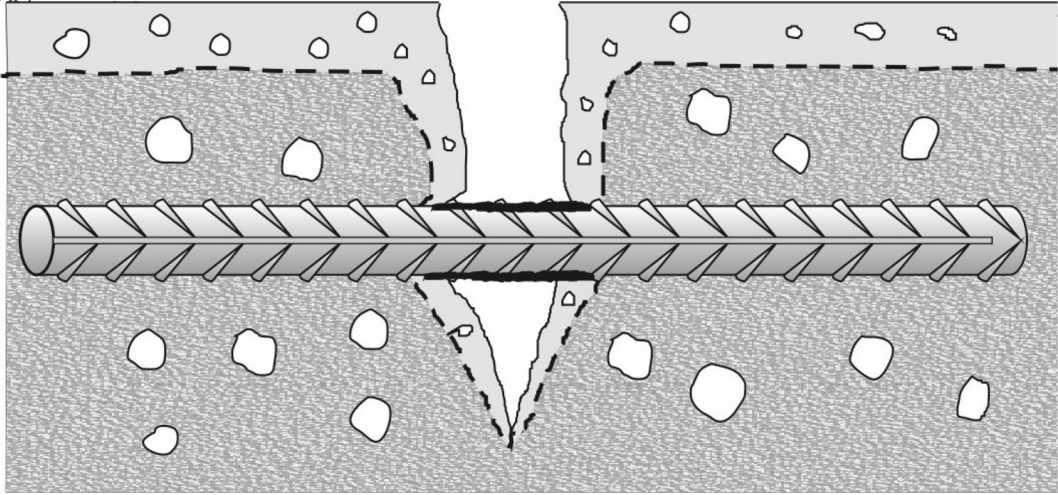


Organiza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

44

PRO CEM CO REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia

Fisuración bajo Carbonatación y/o Cloruro



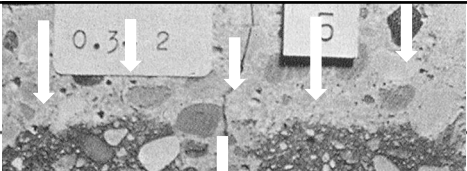
w_k ánodo pequeño vs cátodo enorme

Organiza: **PROCEMCO**

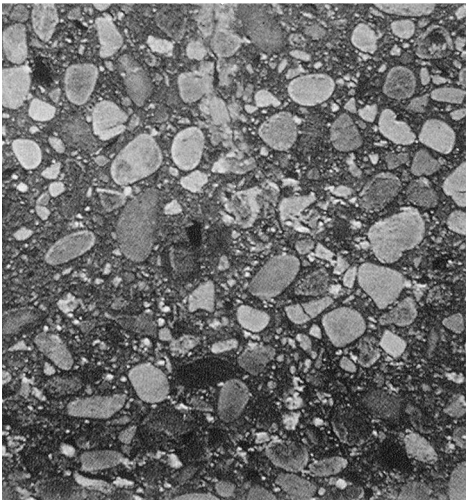
45

PRO CEM CO REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia Mayo 6 al 8

CO_2
 Cl^-

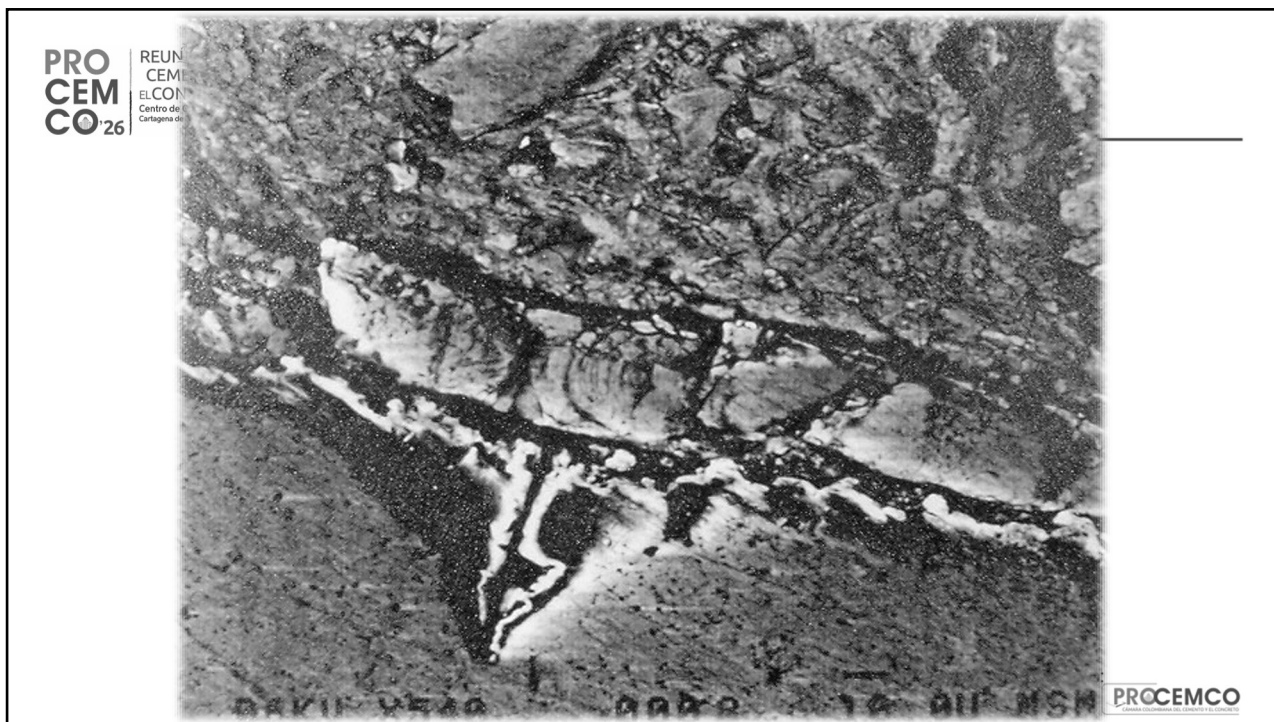


Cl^-
 CO_2

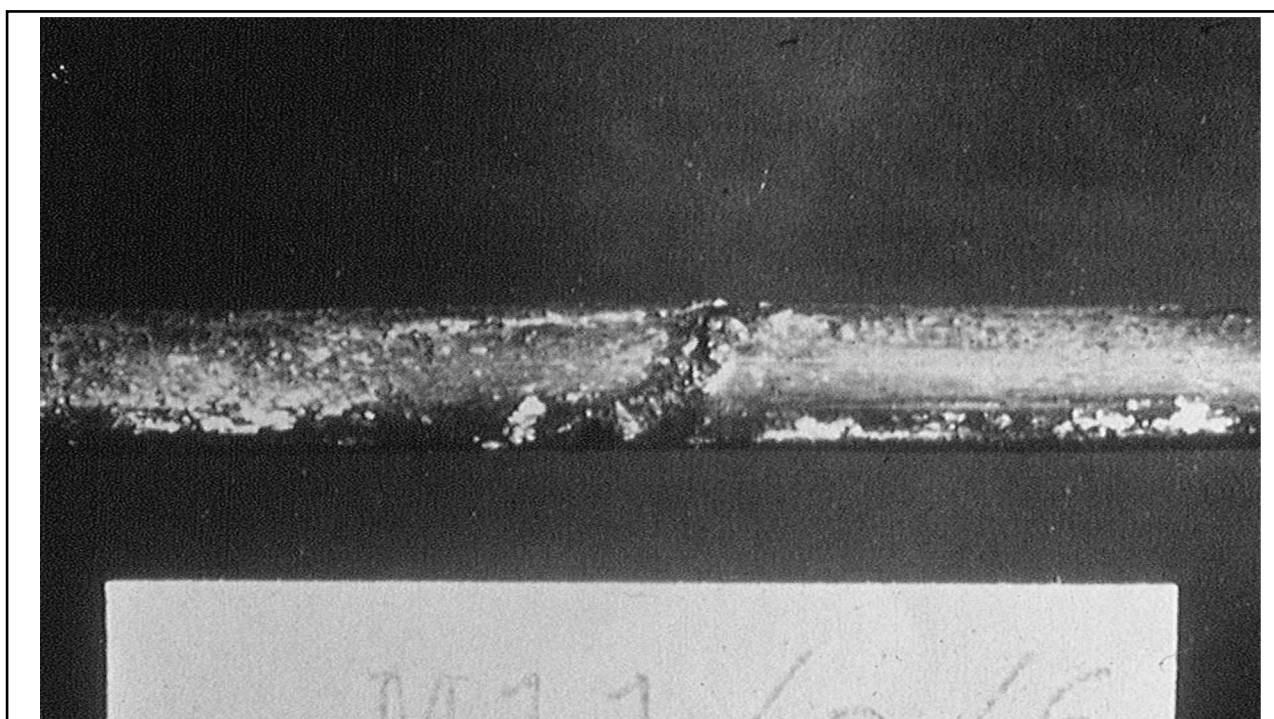


Organiza: **PROCEMCO**

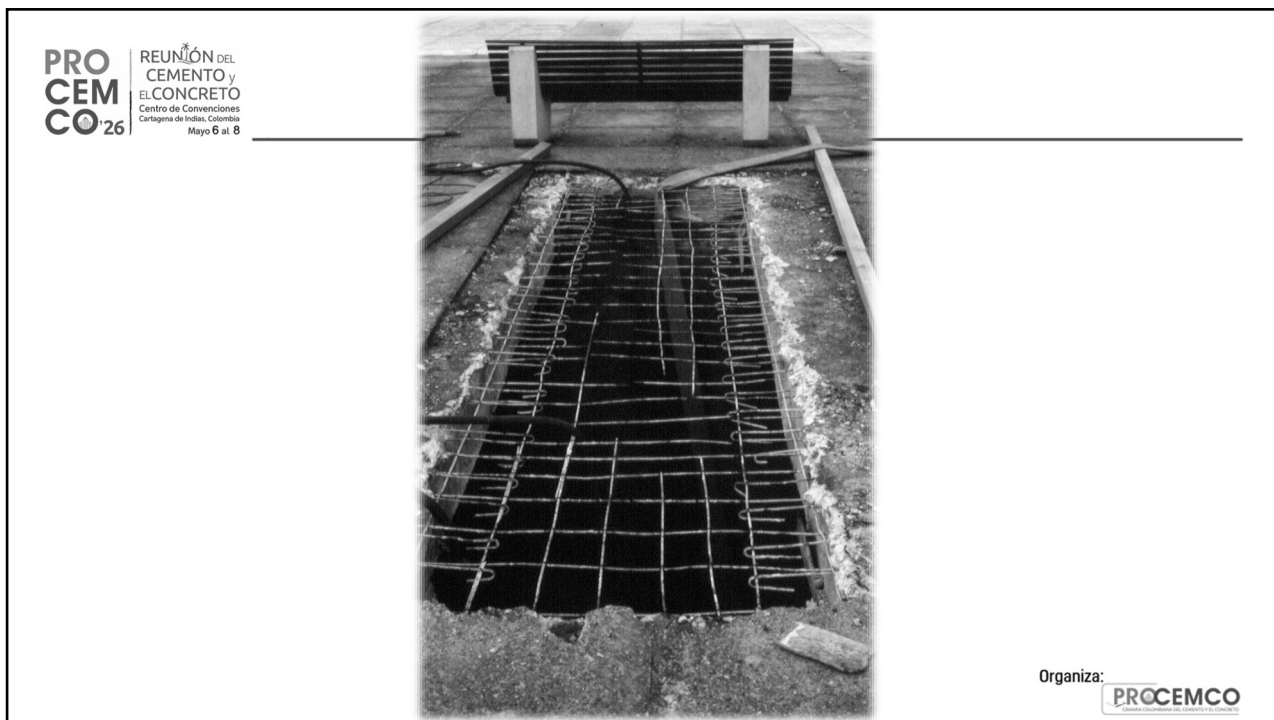
46



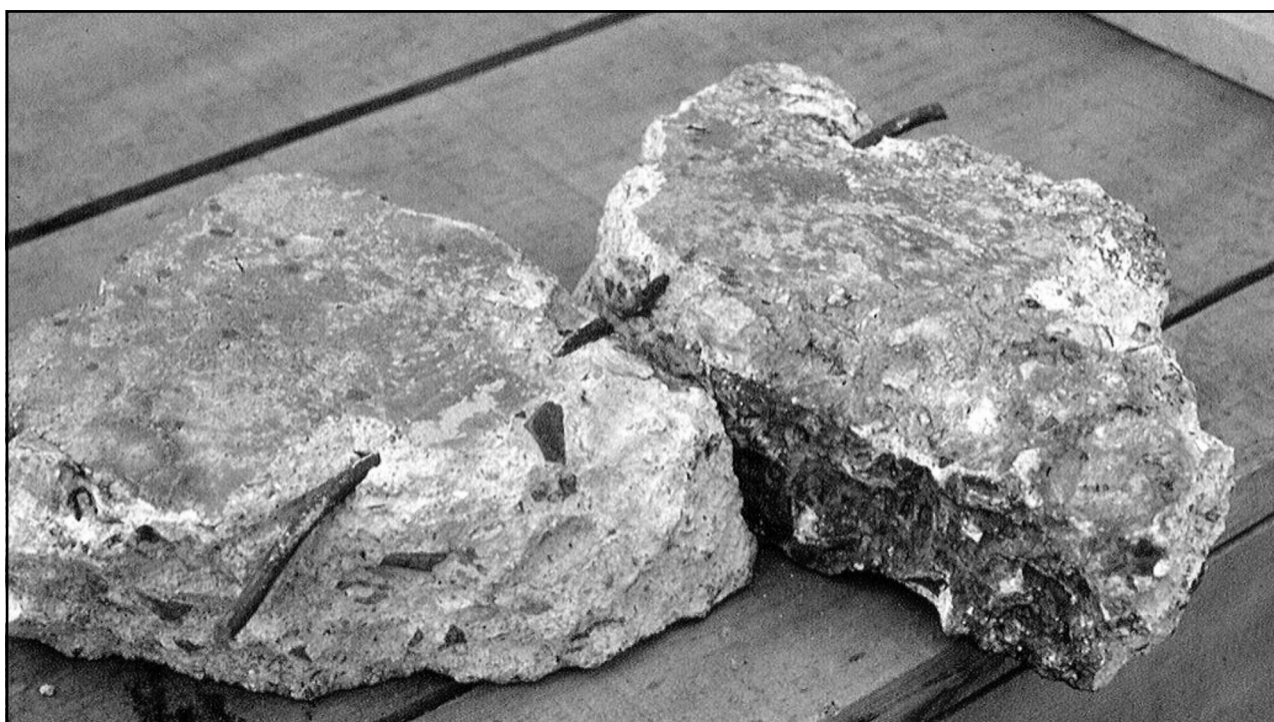
47



48



49



50

Marquesinas

Rio de Janeiro, Porto Alegre, São Paulo, Recife, Salvador...

Organiza: PROCEMCO CÁMARA COLOMBIANA DEL CEMENTO Y EL CONCRETO

DE SABAMENTOS

Marquise esmagou um bancário de 23 anos

A peça de concreto tinha o peso de quatro toneladas

Por ULISSES ALMEIDA NENE
Lêda de Paula - OI

Várias falhas na construção da marquise do prédio do Lloyd's Bank International acabaram causando a morte de uma pessoa e ferimentos em outra, no início da manhã de ontem, no centro de Porto Alegre. A marquise, com 12 metros de extensão, dois de largura e 50 centímetros de espessura e pesando quatro toneladas, desabou e esmagou o bancário Júlio César Machado Camargo, 23 anos, que ainda chegou a ser socorrido por PMS e populares, mas morreu a caminho do Hospital de Pronto Socorro. Felício José Ponte, 27 anos, residente em Novo Hamburgo, escapou por pouco. Ele sofreu escoriações nos braços e nas costas, ao ser atingido de raspão pelo concreto. Felício foi medicado no HPS e liberado, informou o hospital.

Uma bomba
A tragédia só não foi bem maior porque

o movimento na Rua General Câmara, onde está localizado o banco, ainda era pequeno às 7h30min. Naquela área, estão concentrados vários bancos e Júlio César trabalhava no Bradesco, como gerente do Posto de Serviço das Tintas Remor, na Av. da Brasil. Ele estava caminhando para o Bradesco da General Câmara, onde participaria de uma reunião de trabalho, quando foi atingido pela marquise do prédio número 249 do Lloyd's Bank.

O bancário Felício José Dupont, 27 anos, presenciou o fato. Ele seguiu para o Banco Meridional caminhando pelo meio da rua, segundo afirmou, para evitar as guardas-chuva das pessoas que transitavam pelas calçadas. Nem bem ele passou em frente ao Lloyd's e ouviu o estrondo, como uma bomba. Aparentado, viu as quatro toneladas desabarem no chão. Logo ele e as pessoas que se aglomeraram no local notaram que havia alguém entalado na marquise. Quando perceberam que o rapaz estava vivo, os populares, em trinta, fazendo muita força conseguiram expor um pouco de concreto e retirar Júlio César. "Por mais



O horário do desabamento impediu a tragédia maior

um ou dois metros ele teria se salvado", comentou Felício, explicando que Júlio foi atingido pela ponta da marquise. A agência para onde ele ia fica ao lado do Lloyd's. Júlio César foi carregado pelo soldado PM Moacir da Silva e Felício para a viatura 415 e transportado nela para o HPS. Mas, quando a viatura tomava a Avenida Osvaldo Aranha em direção ao hospital, Felício percebeu que ele expirou. O rapaz leve e crânio esmagado, várias costelas quebradas e o seu rosto foi cortado pelo jaguete de ferro do banco. Ele era casado e deixava esposa grávida de seu primeiro filho.

Até às 10h ainda havia a expectativa de que houvesse mais pessoas mortas sob os escombros. Dois bombeiros, em três viaturas do 15º Grupamento de Incêndios, comandados pelo Tenente Medeiros, compareceram no local para removerem a marquise demolida, um trabalho vagaroso que levou quase toda a manhã para ser concluído.

Perícias

Abalado e bastante nervoso, o gerente do Lloyd's Bank International, Alan Davidson, concedeu uma entrevista à imprensa, às 8h. Ele explicou que pertencem ao banco seis dos quinze andares do prédio, que foi construído em 1974. Os funcionários da agência foram dispensados e o gerente informou que já estão sendo procuradas instalações provisórias para o Lloyd's e que uma equipe especializada do próprio banco fará uma avaliação da atual sede para determinar as condições em que se encontra. Alan não soube informar quem são os responsáveis pela construção do edifício.

Vários engenheiros e técnicos se dirigiram até o prédio para ver o que tinha acontecido.



Júlio César era funcionário do Bradesco

Engenharia e Arquitetura (CREA), Luis Fernando Odeiro, 50 anos, e Luis Augusto Ercole, 38 anos, fizeram um levantamento técnico dos escombros. Segundo eles, para um processo administrativo que a entidade moverá para apurar as responsabilidades pelo desabamento. Porém não quiseram adiantar qualquer conclusão.

Já Romão Fátima, da Secretaria Municipal de Obras e Viário (SMOV), disse que os técnicos da Secretaria estavam ali apenas fazendo "uma verificação", nada para fins de inquérito ou processo. Mas, juntamente com diversos colegas à sua volta, enumerou várias falhas que, numa rápida averiguação, puderam ser constatadas: "O cascalho utilizado na marquise é muito grão; a ferragem, muito fina, está disposta de maneira inadequada; há sobrecarga de enchimento; e é quase certo que as tubulações de escoamento d'água estejam entupidas". Por isto, o engenheiro da SMOV acredita que as chovas que caíram



PROCEMCO 26 REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia Mayo 6 al 8

Loja desaba e mata nove no S

Muito gente participava da promoção de vendas que lambou a loja.

PORTO ALEGRE. - Uma loja de departamentos desabou nesta tarde e cerca de 20 pessoas morreram e outras ficaram feridas. A queda ocorreu por causa de uma promoção de vendas que atraiu muita gente para a loja, localizada na rua da Liberdade, no bairro de São José, em Porto Alegre.

A loja pertence ao grupo de lojas de departamentos da rede de lojas de departamentos de São Paulo, a rede de lojas de departamentos de São Paulo, a rede de lojas de departamentos de São Paulo.

Os bombeiros chegaram às 18h30 e começaram a trabalhar para retirar os corpos e socorrer os feridos. Até as 20h, os bombeiros haviam retirado 9 corpos e socorrido 15 feridos. Os corpos foram levados para o Hospital de São José, onde estão sendo tratados.

As causas da queda ainda não foram determinadas. Segundo os bombeiros, a loja estava cheia de gente e havia muita coisa caída no chão. Além disso, a loja não estava devidamente estruturada para suportar o peso da estrutura.

Os bombeiros estão trabalhando para retirar os corpos e socorrer os feridos. Até as 20h, os bombeiros haviam retirado 9 corpos e socorrido 15 feridos. Os corpos foram levados para o Hospital de São José, onde estão sendo tratados.

As causas da queda ainda não foram determinadas. Segundo os bombeiros, a loja estava cheia de gente e havia muita coisa caída no chão. Além disso, a loja não estava devidamente estruturada para suportar o peso da estrutura.

INO JAZZ.

Relatório da Dersa fica pronto este mês

Bloqueio da BR-116 terá policiamento

Relatório da Dersa fica pronto este mês

Bloqueio da BR-116 terá policiamento

Relatório da Dersa fica pronto este mês. Bloqueio da BR-116 terá policiamento.

Organiza: PROCEMCO

PROCEMCO 26 REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia Mayo 6 al 8



Organiza: PROCEMCO



55



56




57

**PRO
CEM
CO** 26

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

PUENTE DE LA MEDICINA

São Paulo, 1997
Reporto 6 meses antes
36 años
 $f_{ck} = 21 \text{ MPa}$
Costo = 3 veces un puente nuevo

Organiza: 

58



Organiza: **PROCEMCO**
Câmara Colombiana del Cemento y el Concreto

59



Organiza: **PROCEMCO**
Câmara Colombiana del Cemento y el Concreto


60

PRO CEM CO 26

REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Sveja São Paulo


JUNIO 1997
S | T | Q | S | S | D
9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15



O COLAPSO

Uma fenda de 15 centímetros numa ponte sem manutenção faz a cidade parar

Organiza:



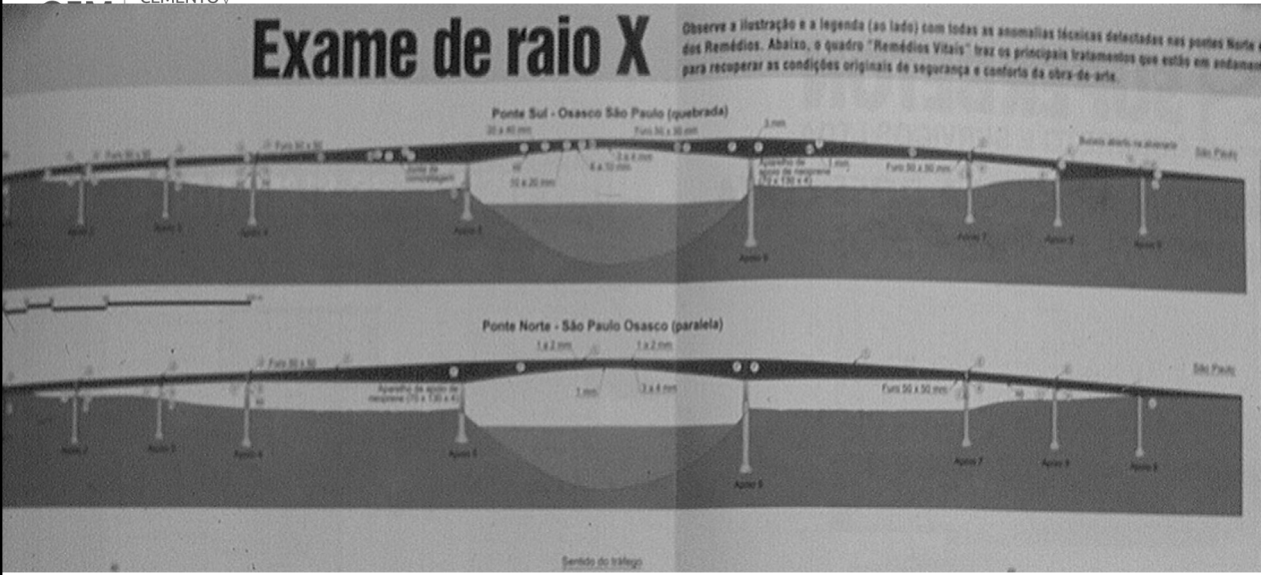
61

PRO CEM CO 26


REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Exame de raio X

Observe a ilustração e a legenda (ao lado) com todas as anomalias técnicas detectadas nas pontes Norte e dos Remédios. Abaixo, o quadro "Remédios Vitais" traz os principais tratamentos que estão em andamento para recuperar as condições originais de segurança e conforto da obra-de-arte.



Organiza:



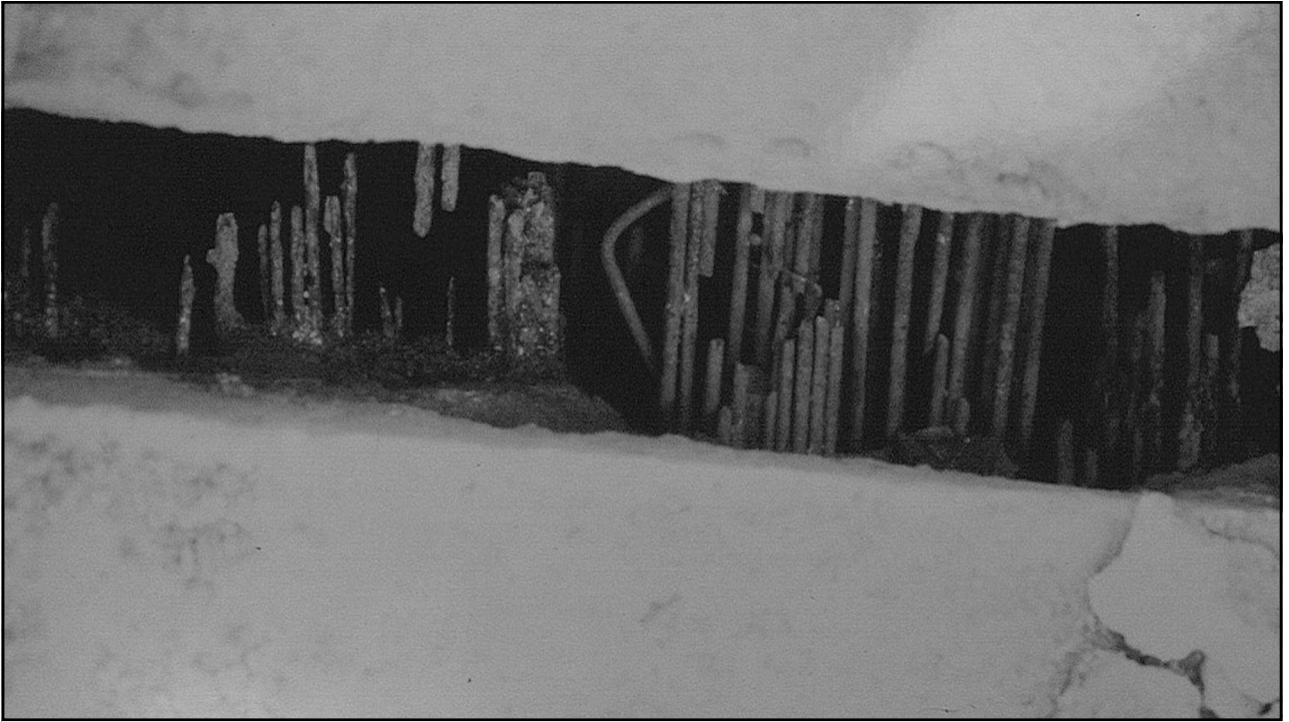
62



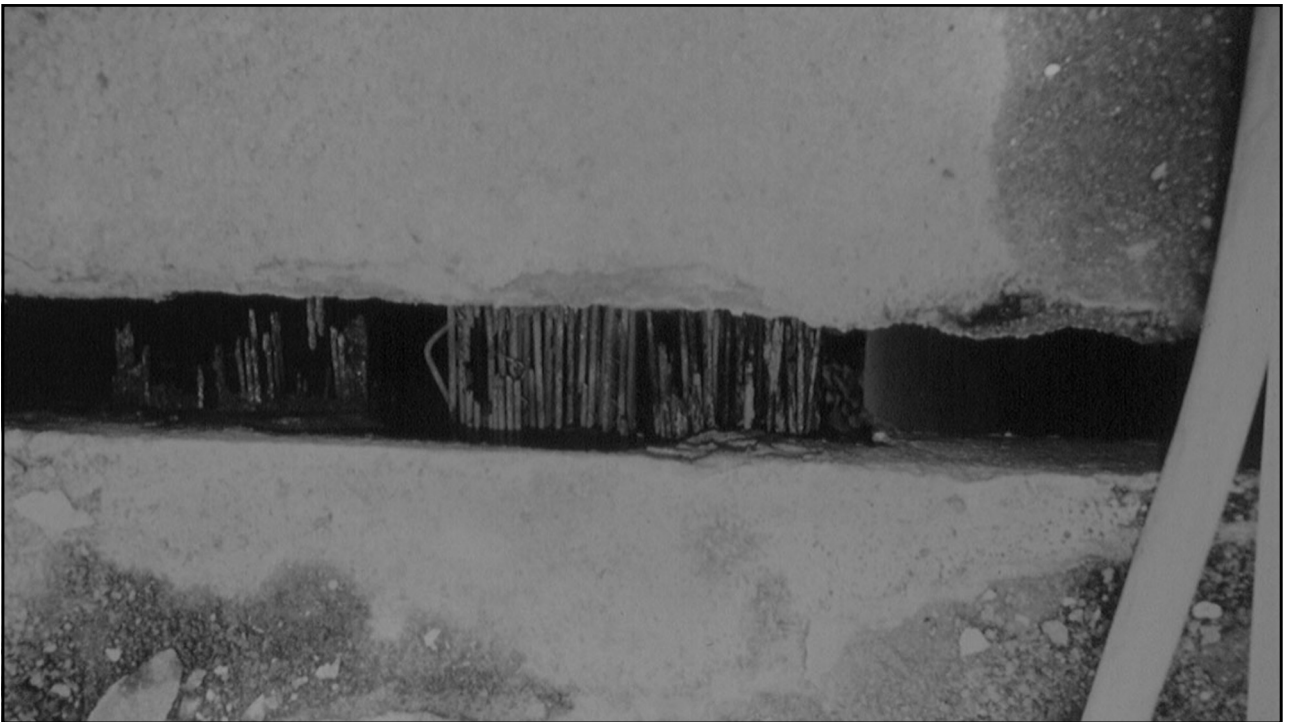
63



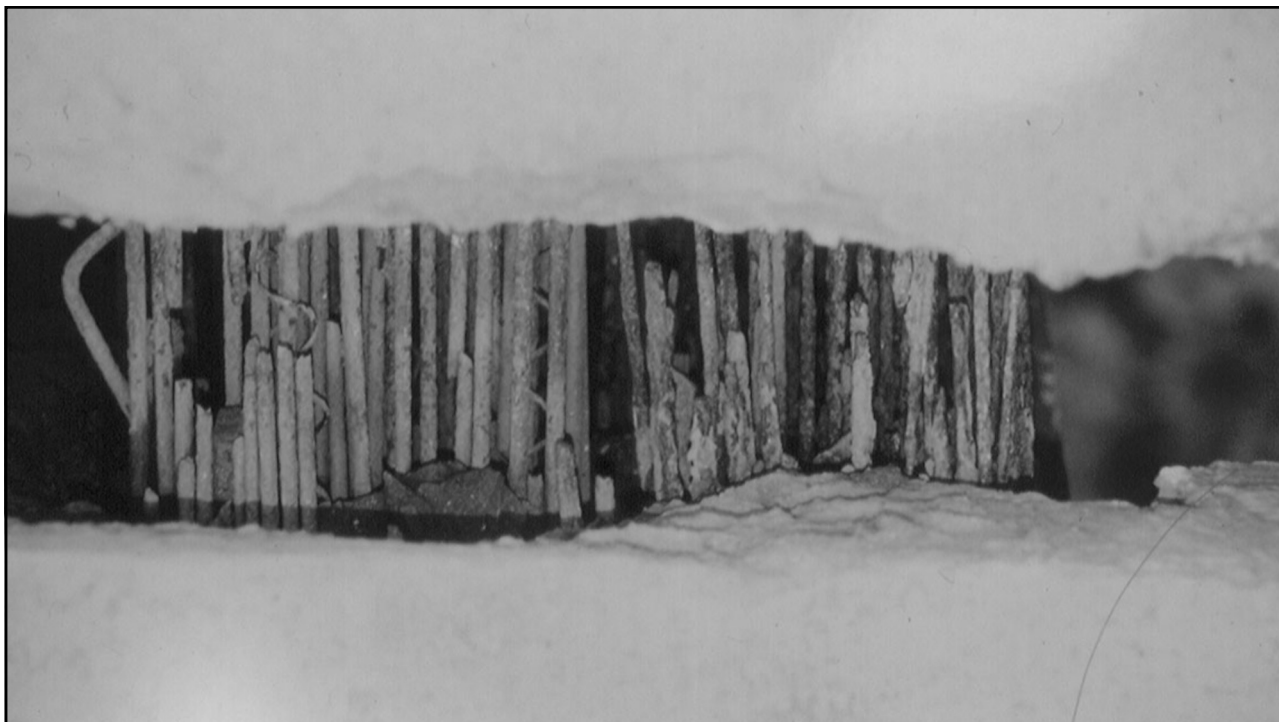
64



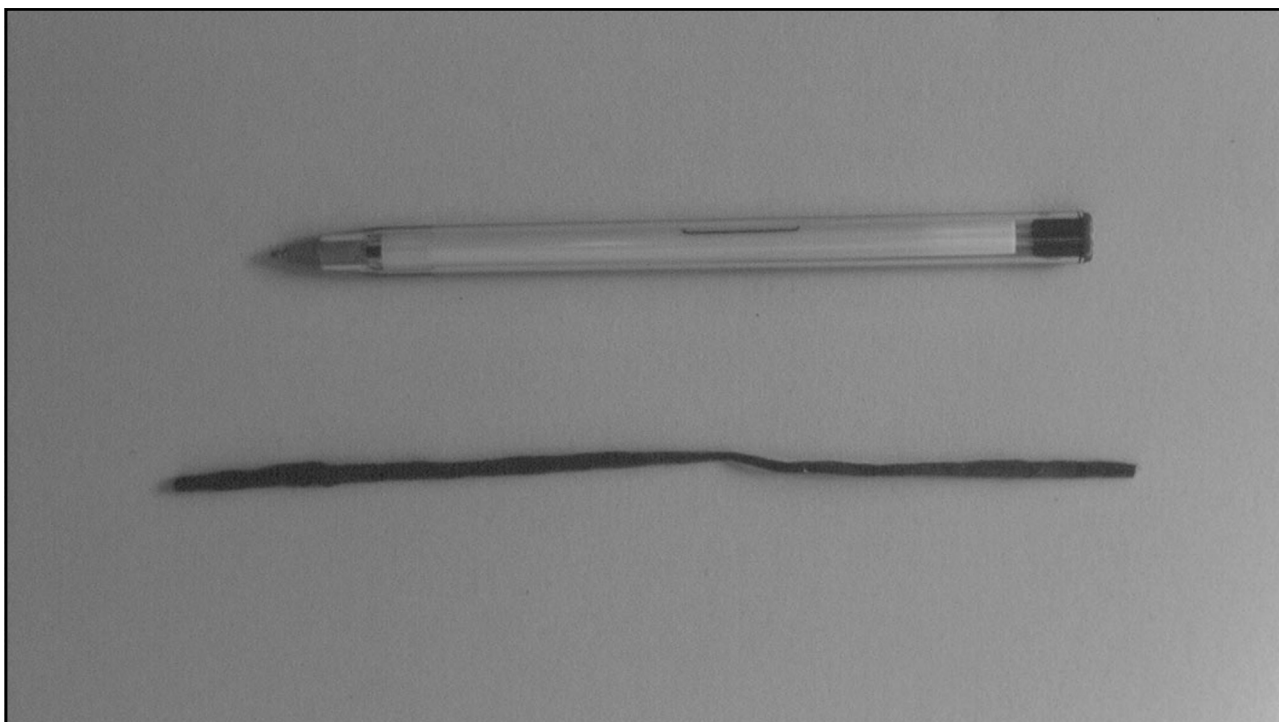
65



66




67



68

**PRO
CEM
CO** 26 | REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8



**Puente
de los
Remédios**


**Vista
externa de
la fisura**

Organiza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

acervo de Paulo Helene

69

**PRO
CEM
CO** 26 | REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8



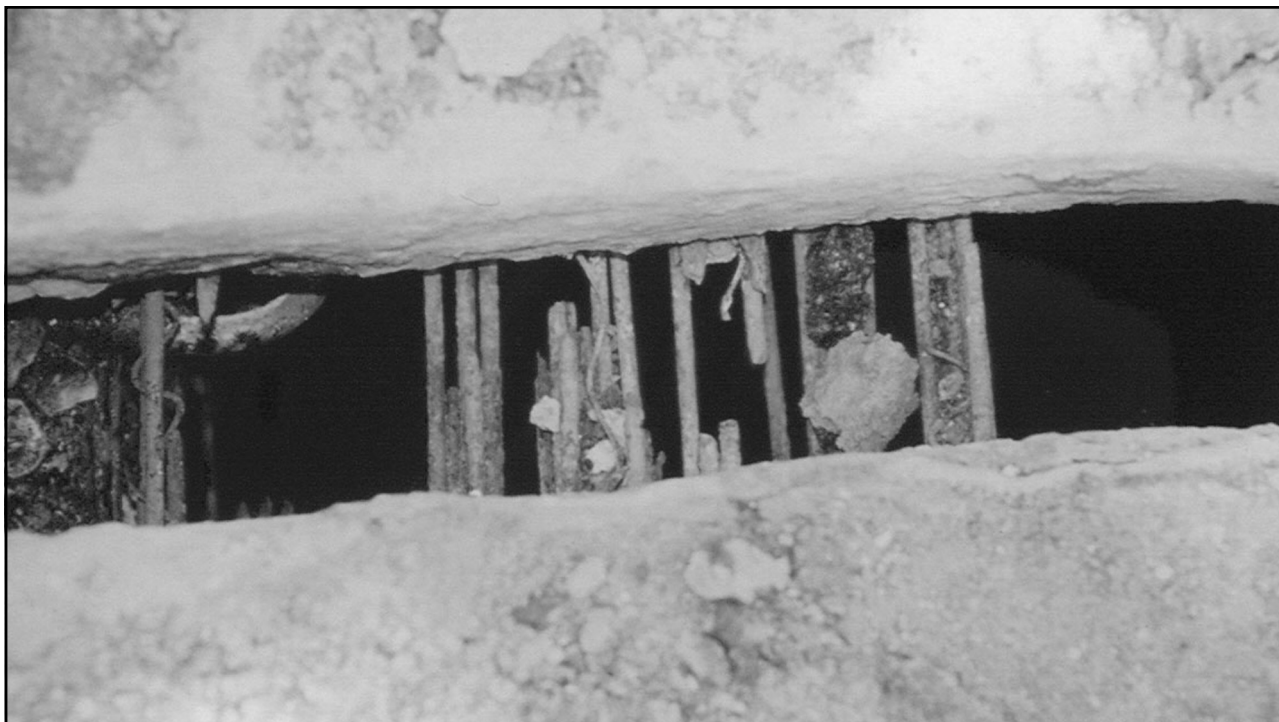
**Puente
de los
Remédios**

**vista interna
de la fisura**

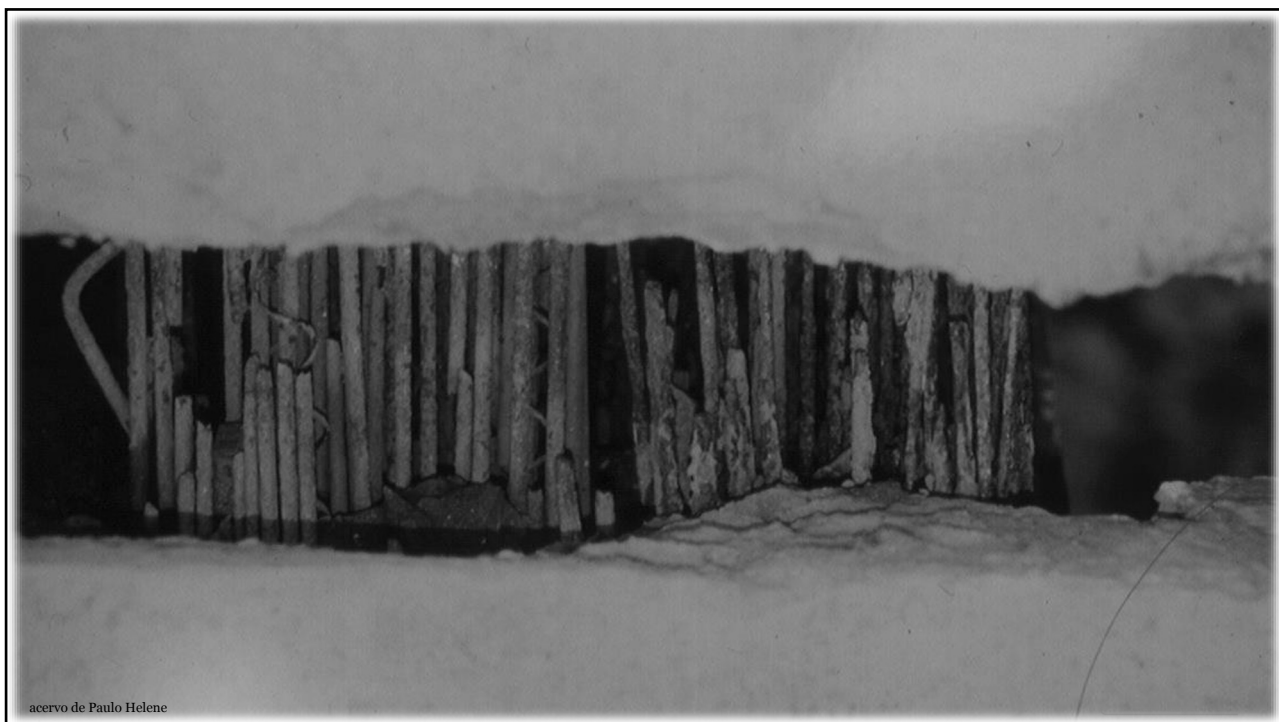
Organiza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

acervo de Paulo Helene

70



71



72

PROCEMCO 26 REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia Mayo 6 al 8

DER sabia que ponte tinha 50 pontos de risco

Inspeção detectaria problemas 'graves'

Projeto facilitaria seis documentos pediram reparos

DER é irresponsável, diz Reynaldo

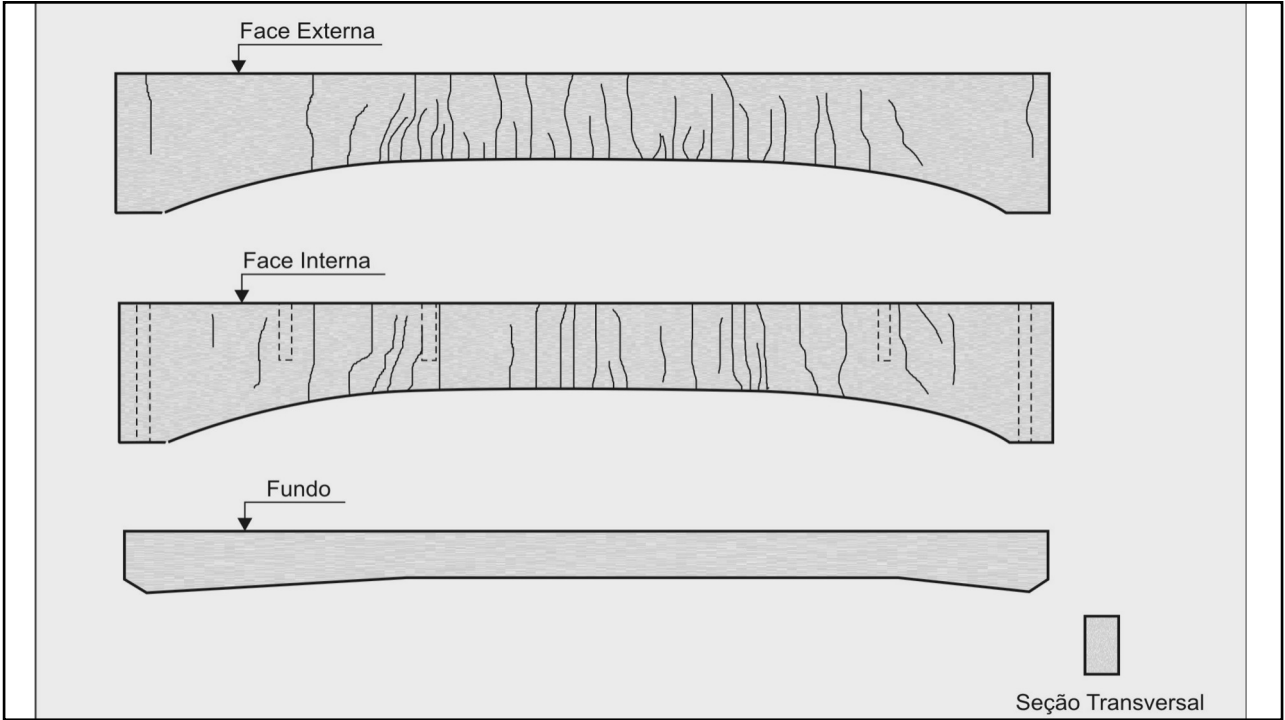
Orgão tenta não 'acirrar ânimos'

DER afirma que deu aval

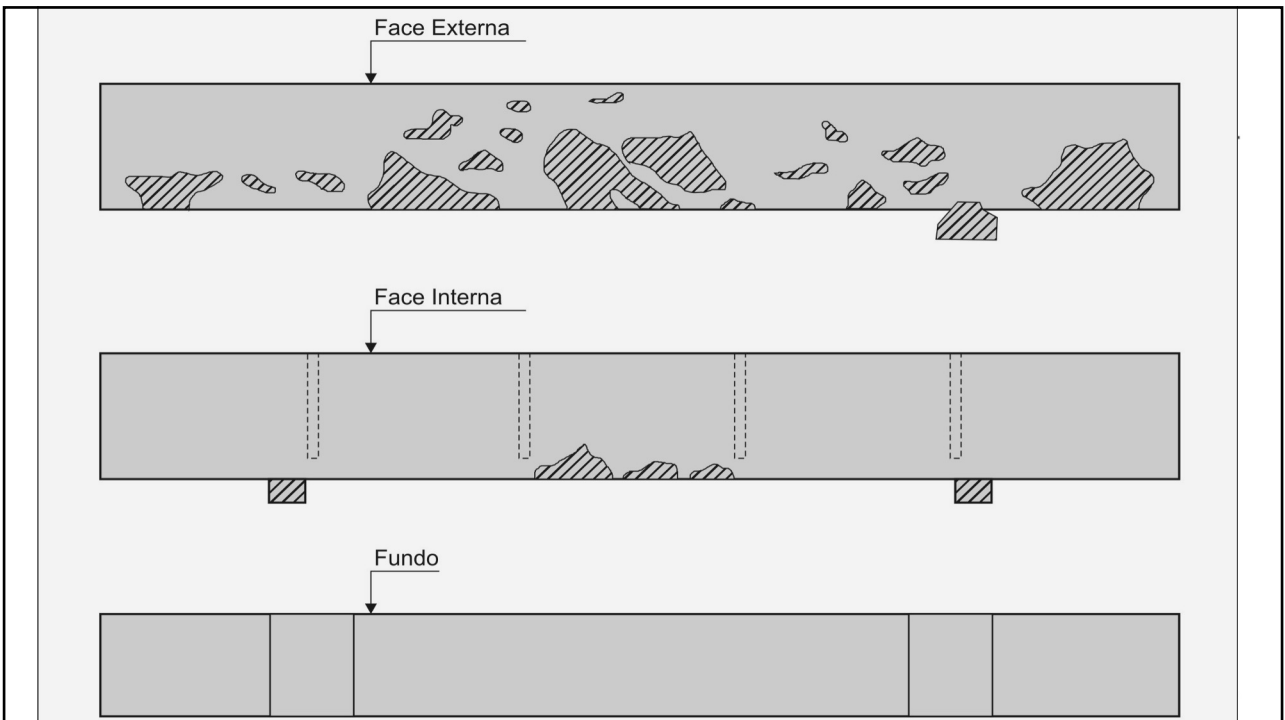
acervo de Paulo Helene

Organiza: PROCEMCO Câmara Colombiana del Cemento y el Concreto





75



76

¿Cómo eran los cables de pos tensado, antes de 1975?

- Cables envueltos en Papel Kraft (vaina)
- Dificultad para inyectar lechada de cemento
- Deslizar / resvalar relajar?
- Corrosión / ruptura?

Organiza:

PROCEMCO
CÁMARA COLOMBIANA DEL CEMENTO Y EL CONCRETO

77



78



79

Dresden bridge failure caused by hydrogen-induced stress corrosion, report confirms

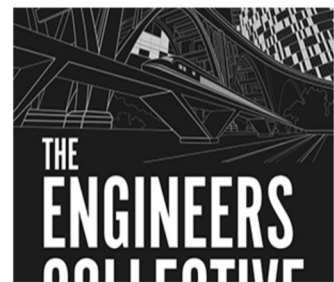
19 DEC, 2024 | BY ROB HAKIMIAN

Hydrogen-induced stress corrosion cracking has been identified as the primary cause of the failure of the Carola Bridge in Dresden earlier this year.

The City of Dresden has received a comprehensive report from Professor Steffen Marx of the Institute of Concrete Structures at TU Dresden, regarding the catastrophic collapse of the Carola Bridge on September 11, 2024.

The findings, presented to the city's building committee on December 11, 2024, highlight that corrosion damage to the bridge's steel components played a critical role in the incident.

PODCAST



80

**PRO
CEM
CO** 26

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Corrosión sob tensión → fragilización por hidrogeno naciente *Como Inspeccionar Cables de Postensado*



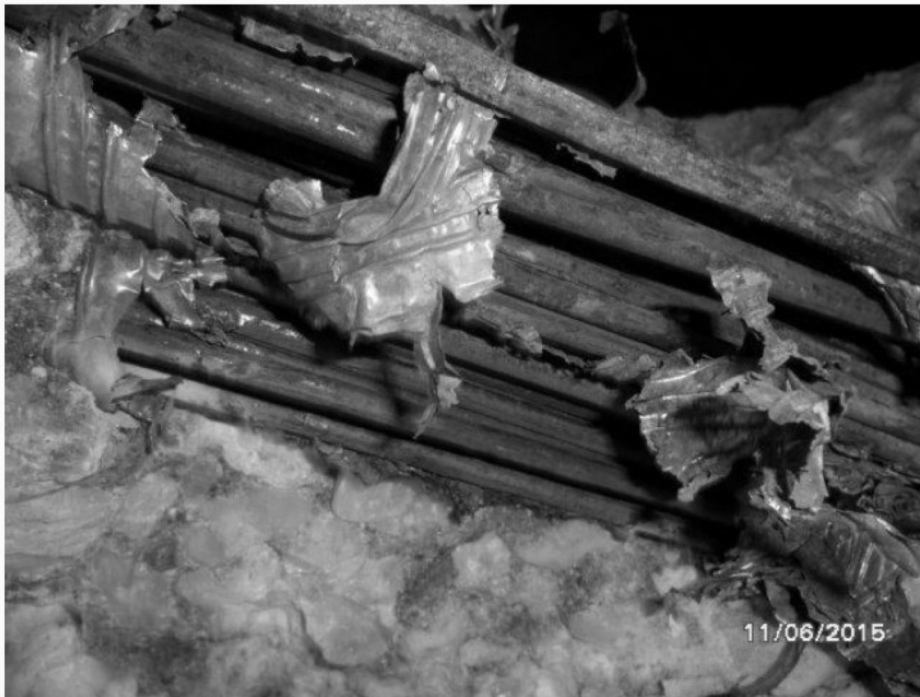
Organiza:

PROCEMCO
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

81

**PRO
CEM
CO** 26

REU
CEI
ELCC
Centro
Cartagen



PROCEMCO
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

82

Title No. 122-S40
Pitting Corrosion in Prestressed Piles
by Gray Mullins, Rajan Sen, David Ostrofsky, and Kwangsook Suh

This study characterized pitting corrosion in prestressed piles, linked it to stress concentration factors through ultimate strength tests, and incorporated the findings into a simple predictive damage assessment model. Six one-third-scale Class F concrete prestressed piles were exposed for 38 months to outdoor tidal cycles simulating a marine environment. At the end of exposure, 24 strands were extracted from the piles, and corrosion loss along the strands was quantified using a new Pasco's low-biased strand profiler. This identified regions of locally higher steel loss caused by pitting corrosion. The same data set was used to confirm gravimetric loss measurements by summing localized section losses over the specimen length. Profiler data was complemented by microscopic imaging to further define pitting geometry. Ultimate load tests were conducted to examine the effect of pitting on residual tensile strength and ductility. Similitude principles were used to develop a model for predicting in-service stress in pile strands using available inspection report crack width data.

Keywords: gravimetric; imaging; marine; model; pitting; prestressed pile; profile; stress concentration (SC); tensile test.

INTRODUCTION

Pitting or localized corrosion is characteristic of chloride exposure damage. It refers to metal loss in the form of holes or pits at random locations on the steel surface and can occur with little or no corrosion elsewhere. Because of this randomness and nonuniformity, it is more dangerous because estimates of residual strength based on uniform corrosion losses can be unreliable. Therefore, much of the research has been directed toward developing simplified models for characterizing pitting geometry, which are used for estimating residual tensile strength.

Pitting corrosion is prevalent in prestressed concrete piles in coastal areas exposed to tidal cycles. The smooth prestressing steel surface ensures the passive oxide film that forms inside an alkaline concrete environment adheres securely. In contrast, rib deformations in reinforcing steel prevent this passive film from being similarly well bonded. As a result, it can be deluged at multiple locations, and metal loss is more uniform. In this context, it is surprising that more studies have investigated pitting corrosion in reinforced concrete specimens than in prestressed specimens.¹

In the late 1980s, the Florida Department of Transportation (FDOT) began revising specifications, requiring prestressed piles exposed to aggressive chloride environments to be fabricated using high cementitious, low water-cement ratio (w/c), Class V concrete. This low-diffusion concrete was expected to improve durability by increasing the time for chloride ions to diffuse through the concrete cover and deplete the protective oxide layer on the steel surface. Later, in the early 1990s, FDOT sponsored a research study

to conduct detailed substructure surveys to assess the performance of the new concrete.² Six of the 13 bridges evaluated were fabricated using Class V concrete. At the time of the survey, the prestressed piles were relatively new, ranging in age from 2 to 10 years.

The FDOT survey identified the presence of some shrinkage cracks—and, more importantly, vertical cracks—on the face of the piles, through the cover concrete, and to the level of the steel. Core samples taken near the waterline from different bridges indicated chloride concentrations at the level of the steel were an order of magnitude higher at the cracked locations.³

The much faster chloride-ion transport through cracked concrete ensured it would reach the corrosion initiation threshold range of 0.6 to 0.9 kg/m³ (1 to 1.5 lb/yd³) earlier and destroy the protective passive oxide layer. Localized or pitting corrosion was thereby initiated, driven by the potential difference between the relatively small, cracked region (where the passive film was destroyed) and the surrounding sound concrete sections (where it remained intact).³

PREVIOUS RESEARCH

The sudden and catastrophic failure of prestressed bridges in Italy, the United Kingdom, and elsewhere prompted research on pitting corrosion in prestressing steel.⁴ Given this legacy of structural failure, research focused on idealizing observed pitting damage and developing closed-form expressions of the net cross-sectional area⁵ to allow residual tensile strength to be reliably estimated.

The prestressing wire-strand samples evaluated in these studies were either retrieved from accelerated exposure testing laboratory specimens⁶ or obtained from decommissioned beams that had corroded because of outdoor chloride exposure.¹⁰ Sample length evaluated varied from 100 to 1000 mm¹⁰ (4 to 39 in.) depending on the scope of the investigation and how measurements were undertaken.

Geometric characterization

In most steel loss studies, the volume of a sample was determined from its length, width, and depth. Calipers were typically used. However, Jeon et al.¹⁰ used an ASTM G46-21¹¹ recommended gauge containing a retractable needle, which made it more convenient for measuring pit depth. This was used to characterize the pitting geometry

ACI Structural Journal, V. 122, No. 3, May 2019
doi:10.1016/j.aci.2018.11.001 received Nov. 13, 2018; and revised paper received Feb. 13, 2019. Copyright © 2019, American Concrete Institute. All rights reserved. This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly. This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly. This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.

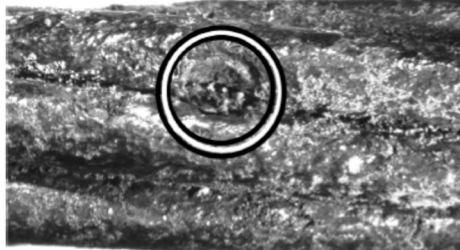


Fig. 10—Example of small-size pit (sample 46BC); image is 12.6 mm (0.5 in.) wide and 9.5 mm (0.375 in.) high.

their frequency was categorized as low, medium, or high. Table 2 summarizes damage scale thresholds.

The strands displayed differing corrosion states, collectively ranging from the initial surface corrosion to high frequency, large pits, and strands with wires completely broken. Pitting was most commonly observed, with some areas showing concentrated damage and others showing more distributed damage covering differing lengths. Because pitting is localized, ultimate strength can be significantly reduced despite a comparatively small percent difference in the overall gravimetric steel loss. Figures 10 to 12 show examples of small, medium, and large pitting corrosion damage, respectively. All microscope images represent a 12.6 mm (0.5 in.) wide and 9.5 mm (0.375 in.) high viewing window. Table 1 lists the corrosion state for all strands.



Fig. 11—Example of medium-size pit (sample 39AB); image is 12.6 mm (0.5 in.) wide and 9.5 mm (0.375 in.) high.

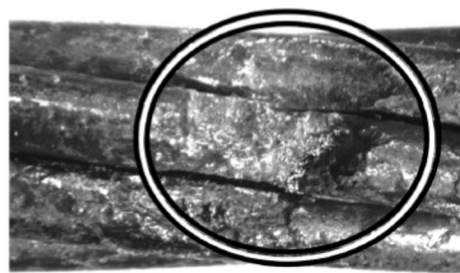


Fig. 12—Example of large-size pit (sample 38CD); image is 12.6mm (0.5 in.) wide and 9.5 mm (0.375 in.) high.

CONCLUSIONS

Pitting corrosion in prestressed piles has not been investigated before. This paper is the culmination of multiple research studies extending over a 25-year period and advances the state of knowledge and practice in three distinct areas: 1) development of a stress concentration (SC) profiler to characterize stress concentration (SC) reduction through ultimate simple, conservative modulus of rupture; 2) use of routinely collected data to provide a rational basis for design; and 3) the following are the conclusions of the study:

1. The application of P: a simple, accurate, and effective method for measuring pitting corrosion damage measurement resolution to be controlled by altering the scan rate. The same data set can also be used to characterize gravimetric or uniform corrosion metal loss (Eq. (5), Fig. 8). As noted earlier, profiling can only be performed on extracted strands, which is necessary to better understand the relationship between uniform and pitting corrosion loss.

2. The relationship between uniform and pitting corrosion given by the pitting factor (Table 1) varied between 2.6 and 7.94. Its average value was 4 (Fig. 9)—that is, the localized cross-sectional area from pitting loss was four times the uniform loss.

2. The relationship between uniform and pitting corrosion given by the pitting factor (Table 1) varied between 2.6 and 7.94. Its average value was 4 (Fig. 9)—that is, the localized cross-sectional area from pitting loss was four times the uniform loss.

Organiza: 

PUENTE del SOCORRO

São Paulo, 20 Junio 1988

- report 5 meses antes
- 27 años, $f_{ck} = 16$ MPa
- Inspecciones 81, 83, 84, 87
- Inspección Enero 88
- Luz de “52 m”
- inauguración: 1961

Organiza: 

PROCEMCO 26

REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

QUARTA FEHA **O ESTADO DE S. PAULO** 30 DE JUNHO DE 1966

Adutoras caem, Zona Sul fica sem água



Trem de passageiros volta a circular amanhã



População muda os hábitos



Suspensas obras e lavagens

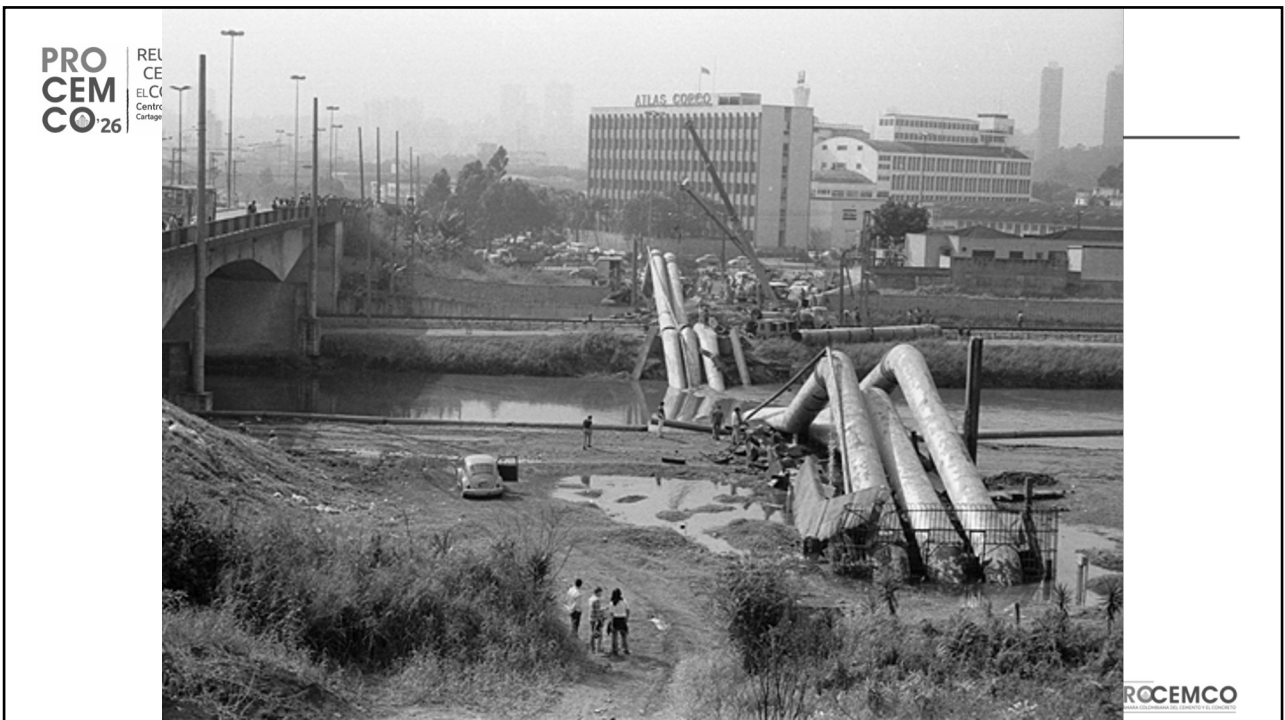


Organiza:



<http://servico.estadiao.com.br/pagina/#/19880622-34761-nac-000-1-999-1-noticia/filserver>

87



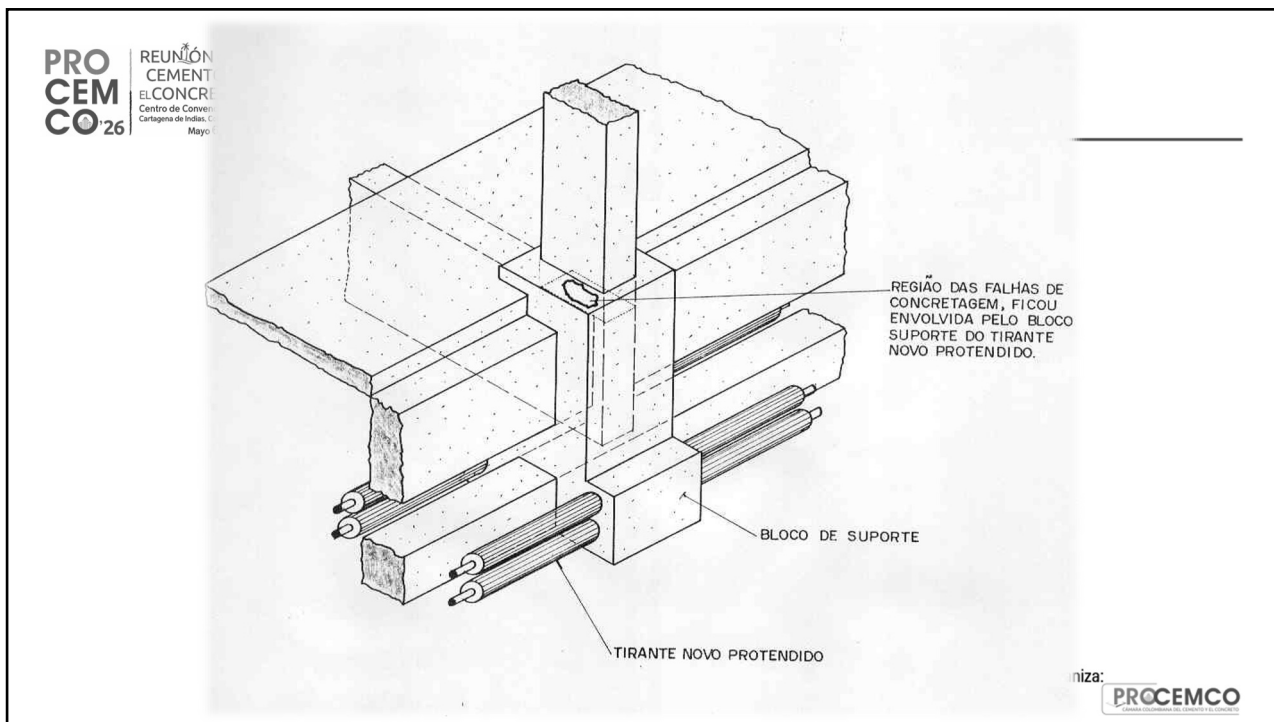
88



89



90



91



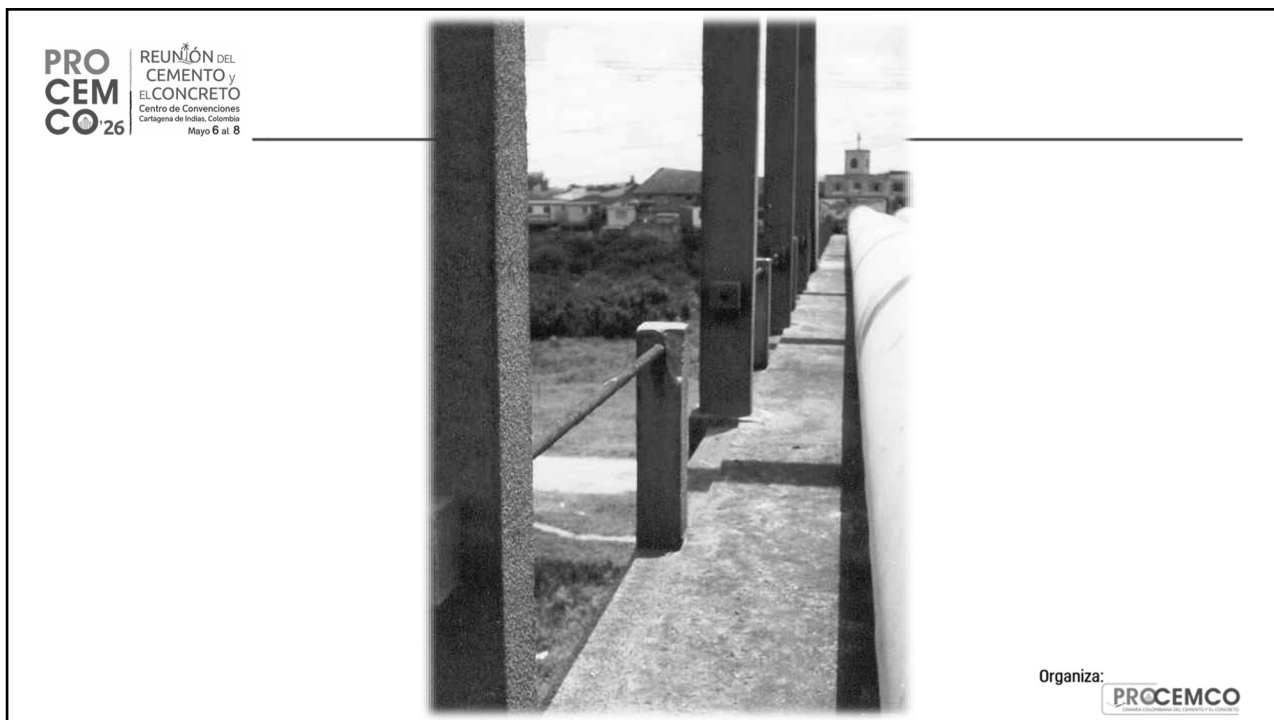
92



93



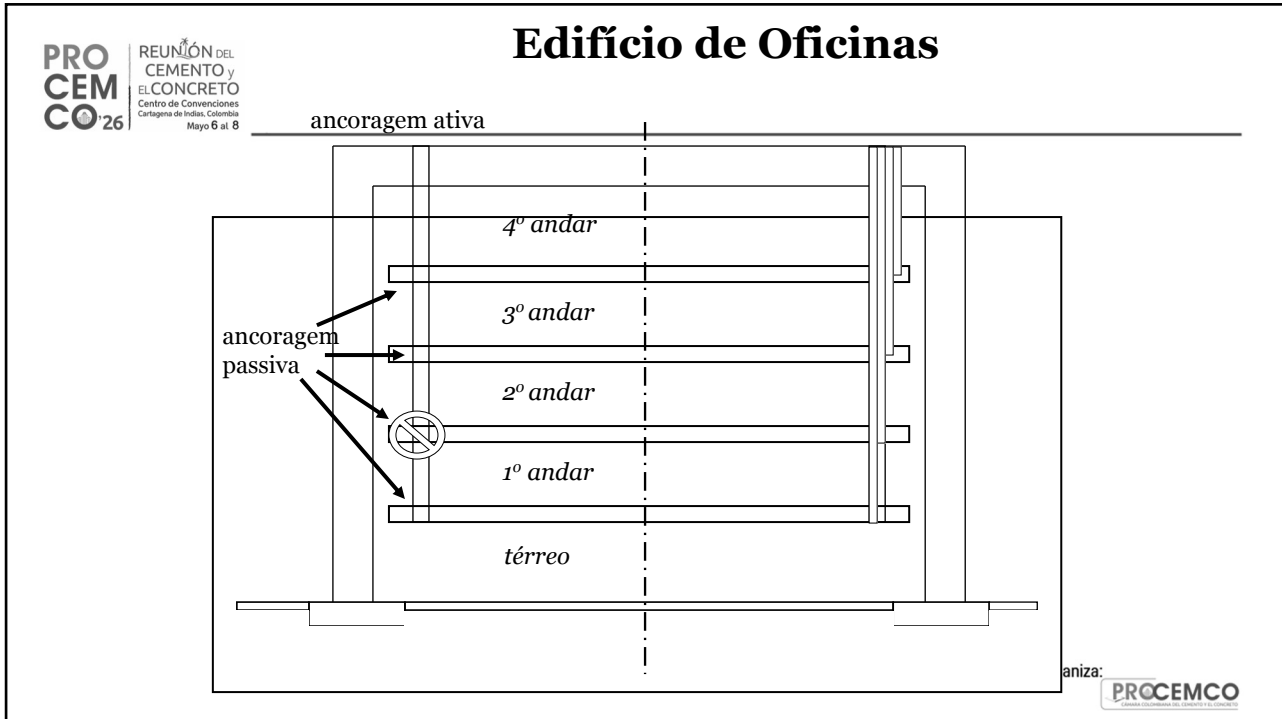
94



95



96



97

PRO CEM CO 26 REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Edificio de Oficinas

Brasília → 1999

4 años → oficinas $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

un cable colapsa → estrondo seco

→ la losa inclina

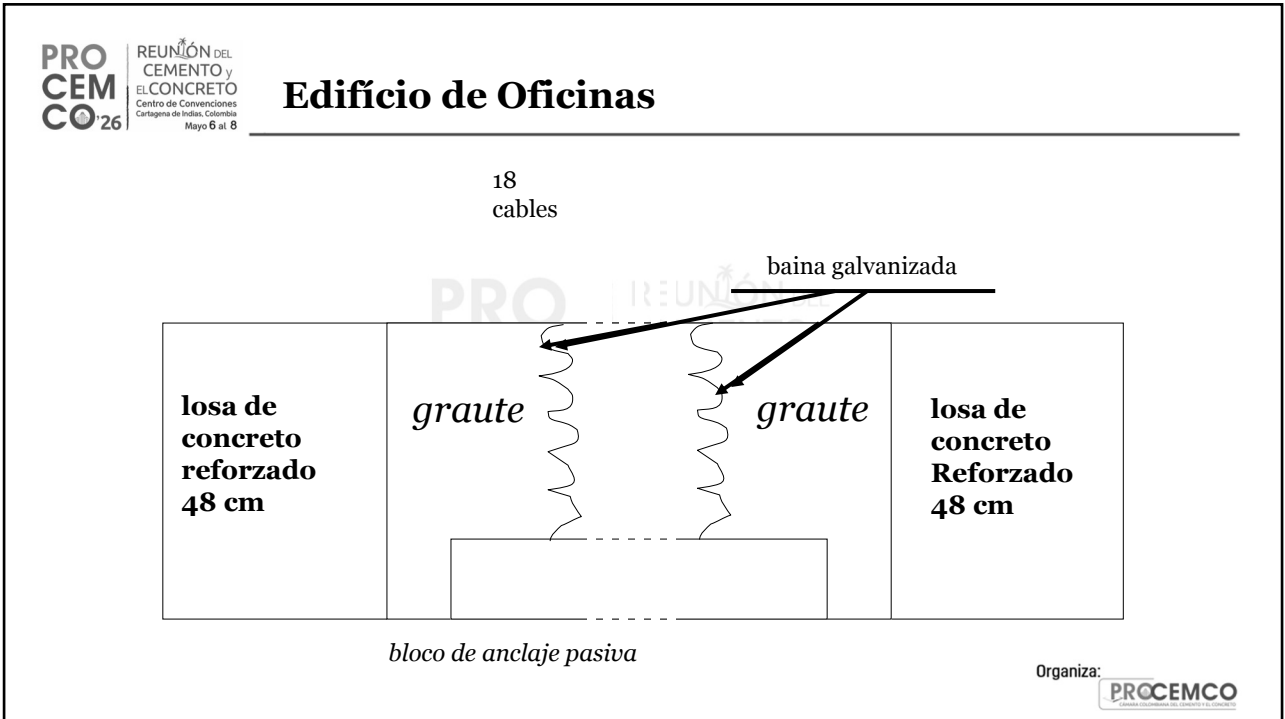
→ mesas y sillas resbalan

→ personas muy asustadas corren

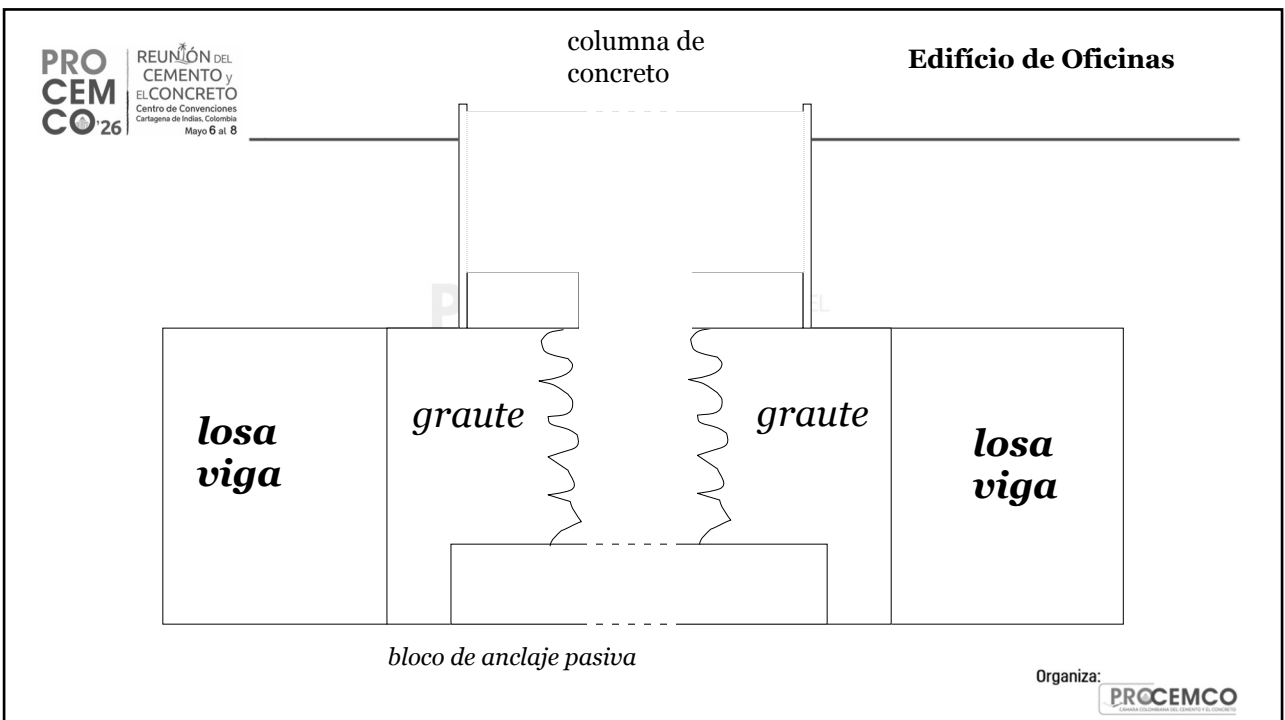
→ qué puede pasar a lo restante

aniza: **PROCEMCO**
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

98



99



100



101



102



103



104



105

**PRO
CEM
CO** 26

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Conclusión

- ✓ Mucho cuidado con fisuras y junta de hormigonado
- ✓ 98% de las fisuras genéricas no son peligrosas
- ✓ 2% pueden ser catastróficas
- ✓ Corrosión bajo tensión
 - de cables de postensado
 - de tirantes o pendurales
 - de silos cilindricos
 - de marquesinas
 - de losas en región húmeda
- ✓ son invisibles y no hay como inspeccionar con equipos
- ✓ la única forma es prospectar (o sea demoler y mirar)

REUNIÓN DEL
CEMENTO y
EL CONCRETO
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias, Colombia
Mayo 6 al 8

Organiza:

PROCEMCO
Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto

106

PRO CEM CO'26 REUNIÓN DEL CEMENTO y EL CONCRETO
Centro de Convenciones Cartagena de Indias, Colombia Mayo 6 al 8

El máximo encuentro académico de la construcción con cemento y concreto en América Latina

Organiza: **PRCCEMCO**

¡Muchas Gracias!
paulo.helene@concretophd.com.br

