



Colapso del edificio Champlain Towers, Miami Surfside *Lecciones aprendidas*



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*

Paseo La Galería
Asunción/PY
28 de junio de 2023



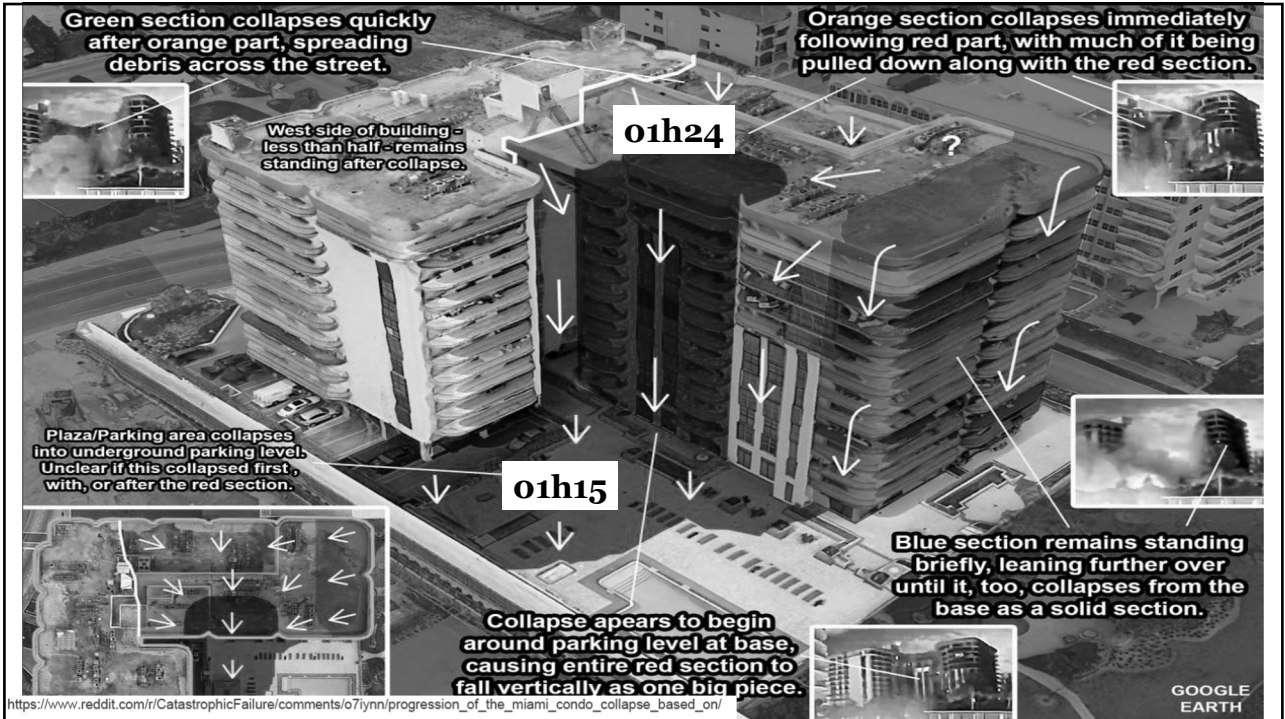
1

Torres Champlain Towers South
8777 Collins Avenue, Miami Surfside
Inauguración 1981, inversor/constructor Nathan Reiber
Champlain Towers North, 1981 & Champlain Towers East, 1994
Formato L con 12 pisos
Colapso alrededor 01h 30
24 de Junio de 2021 40 años de edad → 98 muertos

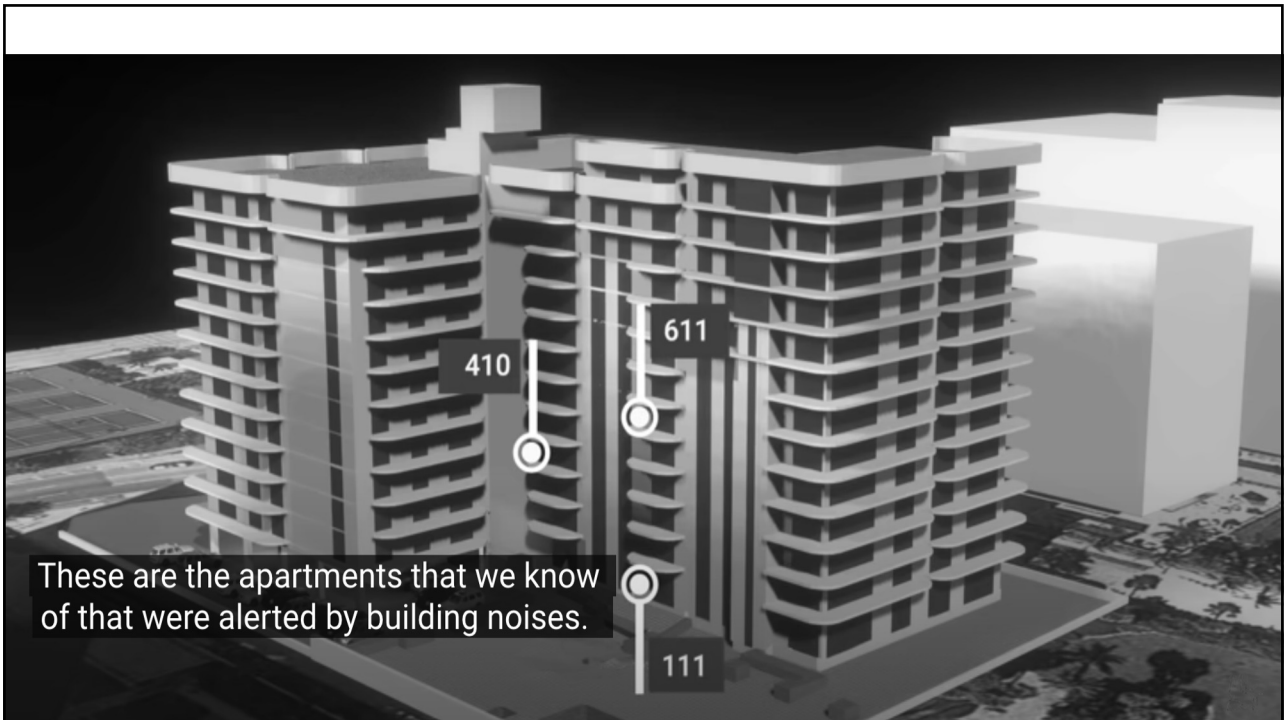
Ressalva: Esta apresentação é apenas para fins educacionais. As hipóteses, opiniões e pontos de vista expressos nesta apresentação representam a opinião do autor e não representam uma posição oficial ou legal do poder público, do IBRACON, da PhD Engenharia, da USP, da ALCONPAT, ou de qualquer uma das partes envolvidas neste colapso. Também esta apresentação não é um aconselhamento jurídico e nem um laudo ou parecer técnico judicial.

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, o cualquiera de las partes involucradas en este colapso. Además, esta presentación no es un asesoramiento legal ni un informe judicial.

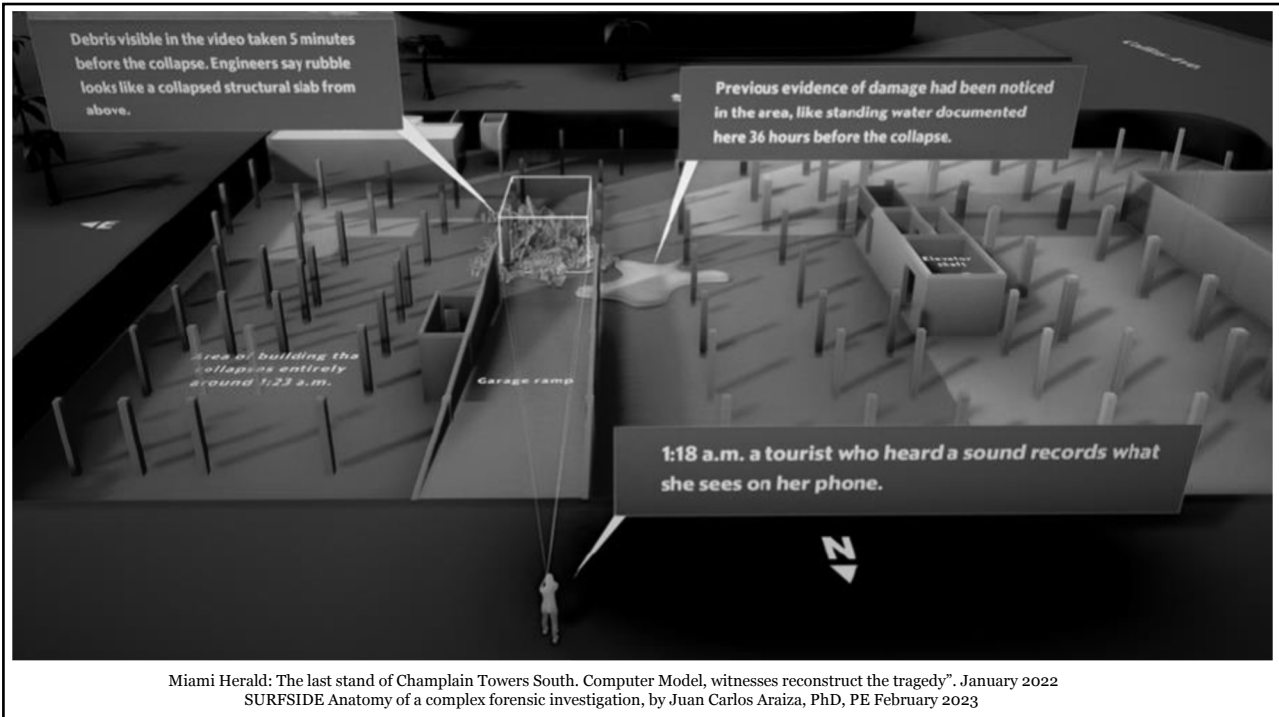
2



3



4



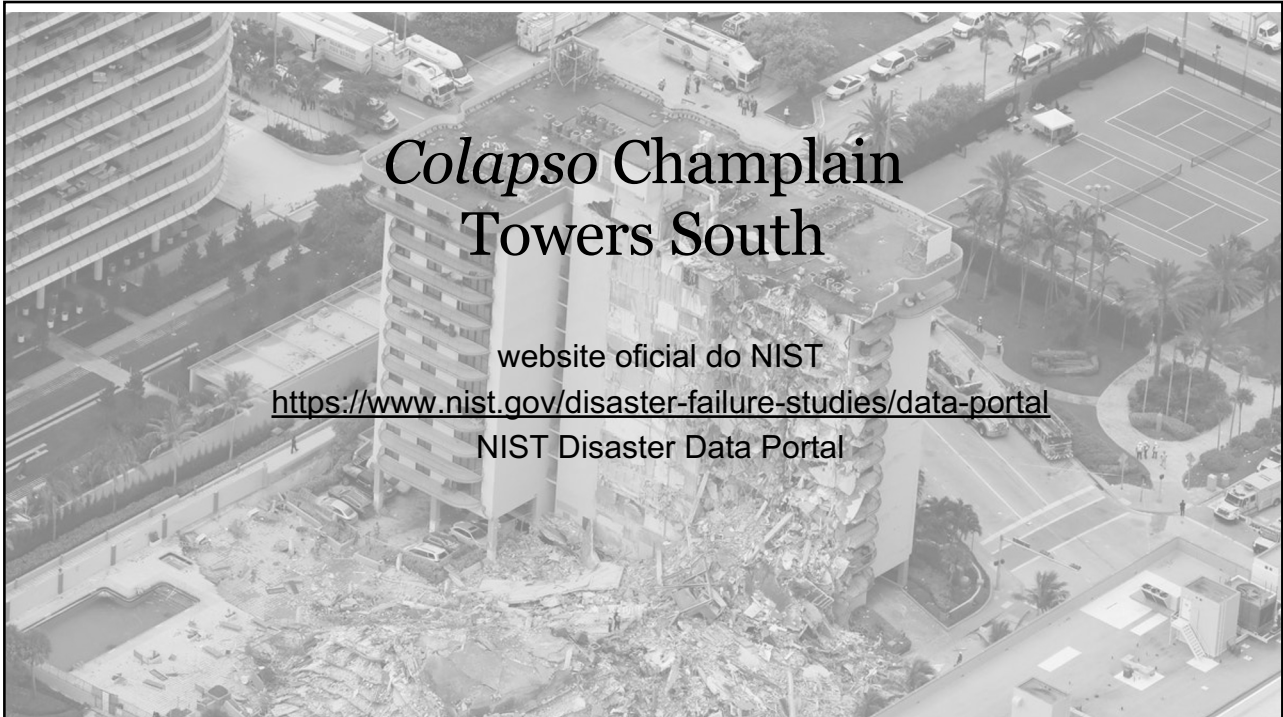
6

Primera lección

Mantenerse atento y escuchar los gritos de la estructura, ya que pueden ocurrir accidentes graves y colapsos en cualquier momento y edad de una estructura.

Todas las estructuras advierten que están a punto de colapsar, ¡pero el desafío es saber cómo entender los signos de la estructura!

7



8

NIST encourages members of the public to submit any information, including video, photos or other documentation

- ✓ June 24, 2021, Champlain Towers South, 12-floor condominium in Surferside, Florida, at 1:30 a.m.
- ✓ June 25, NIST began a team of six scientists and engineers to collect firsthand information on the collapse.
- ✓ June 30 decided full technical investigation of the collapse by National Construction Safety Team (NCST) Act
- ✓ NCST's work will not interfere with the ongoing search-and-rescue operation at the scene of the collapse.
- ✓ NCST's role is not to determine any culpability.
- ✓ NCST investigation is to determine the technical diagnose and cause of the collapse and, learning from that, to recommend changes to building codes, standards and practices, and appropriate actions to improve the structural safety of buildings.

9

NEWS

May 31, 2023, Champlain Towers South Investigation Update: Second Warehouse Will Allow New Phase of Testing

On May 11, 2023, the Miami-Dade Police Department (MDPD) and the National Construction Safety Team (NCST) finished moving a portion of evidence retrieved from the Champlain Towers South building into a second warehouse. The move provides the team members with the space needed to safely access the specimens and begin the next phase of evidence analysis, which will include extracting samples of concrete and reinforcing steel from the specimens retrieved from the Surfside, Florida, collapse site. The challenging move of more than 300 building specimens was managed by MDPD contractors and subcontractors and overseen by NIST staff.

The first warehouse was not large enough to allow our staff members and others to safely conduct all of the analysis that needs to be done to help us understand the condition of the building materials at the time of the collapse, said Judith Mitrani-Reiser, co-lead of the investigation. This second, larger warehouse will allow us to create sufficient space around each specimen so that we can bring in equipment to safely manipulate, cut and core specimens to extract samples.

10



11



Retirada de Muestras

recogió para análisis de laboratorio unos 200 elementos de construcción

12

Segunda lección

Transparencia: crear un portal de acceso público con toda la información y fotos

Valorar la investigación tecnocientífica, junto con la policía y los bomberos, desde el primer día

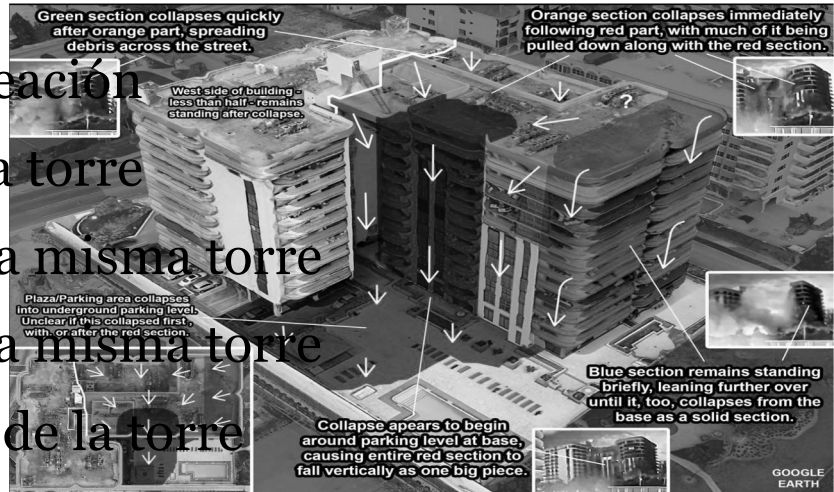
Nombrar un equipo multidisciplinario responsable, con poder y autonomía ("Crisis Committee")

"público y privado"

13

Sobre la secuencia del colapso hay consenso:

1. Losa de recreación
2. 1ª parte de la torre
3. 2ª parte de la misma torre
4. 3ª parte de la misma torre
5. parte lateral de la torre



14

...Entonces, ¿cuál es la duda?

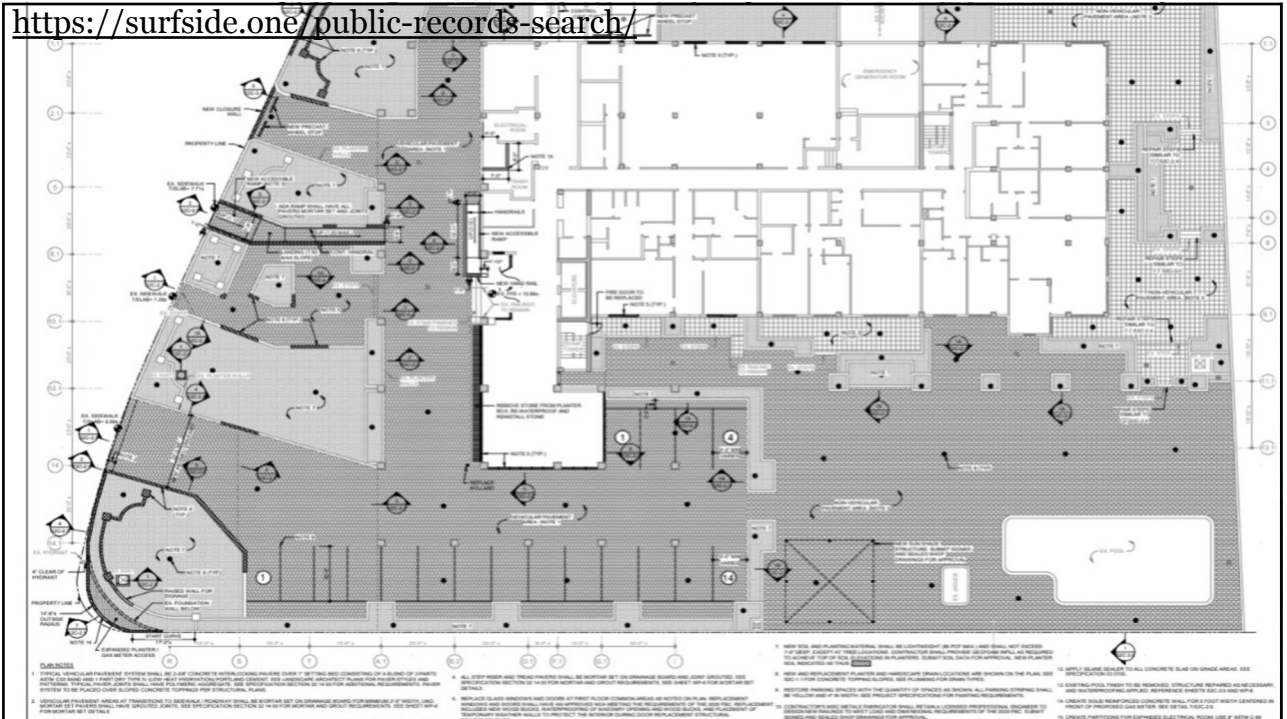
¿Cuál fue el factor desencadenante?

¿Por qué el colapso de una parte se extendió a la otra?

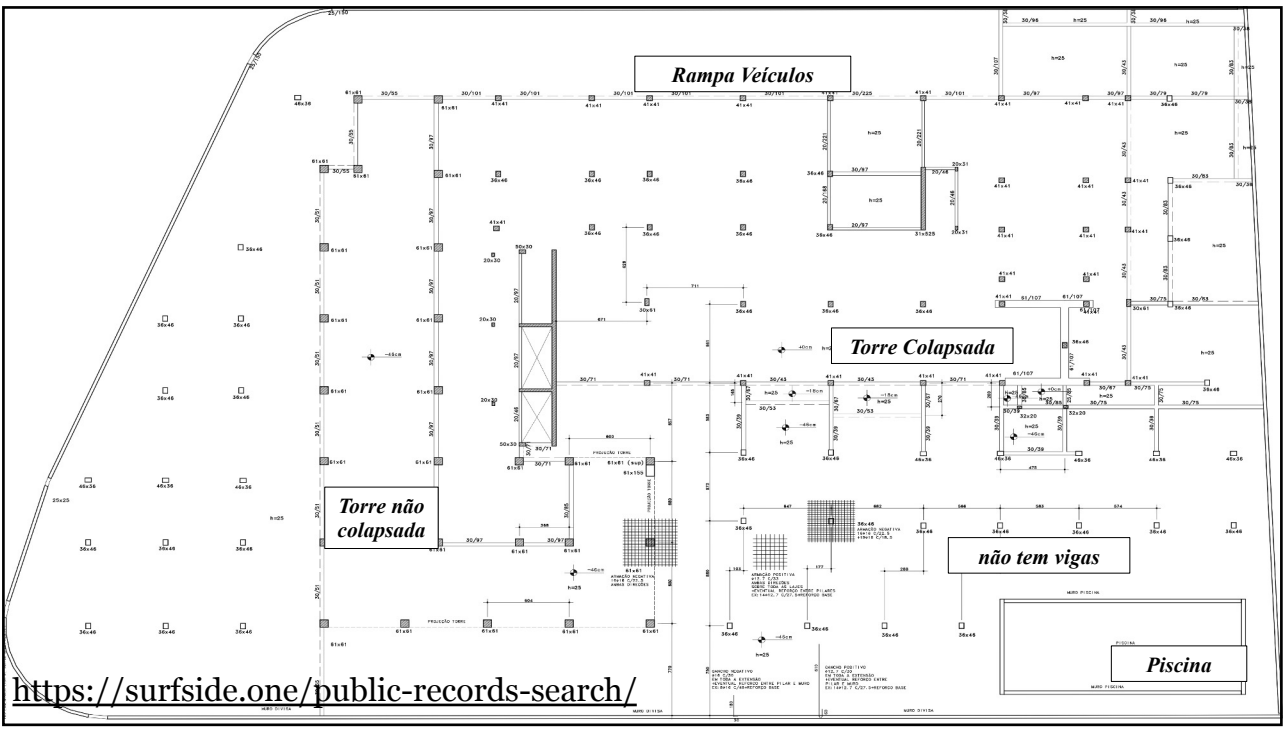
¿Por qué después de 40 años?

15

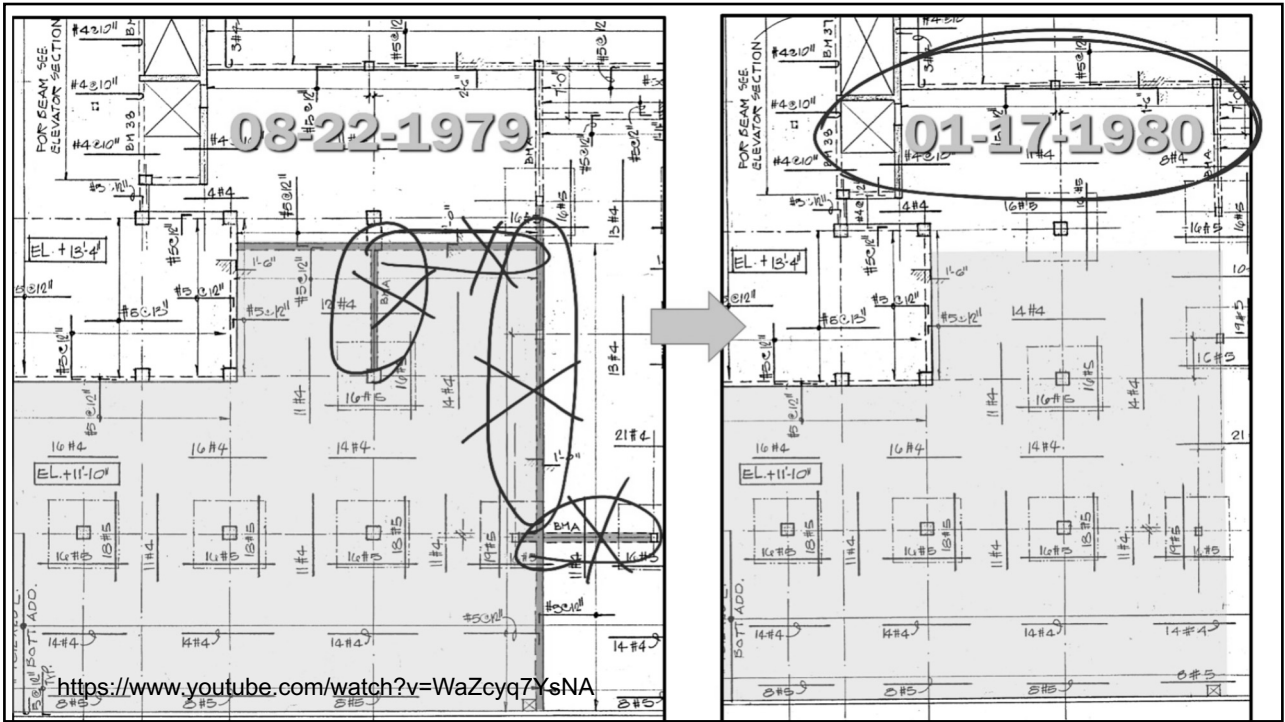
<https://surfside.one/public-records-search/>



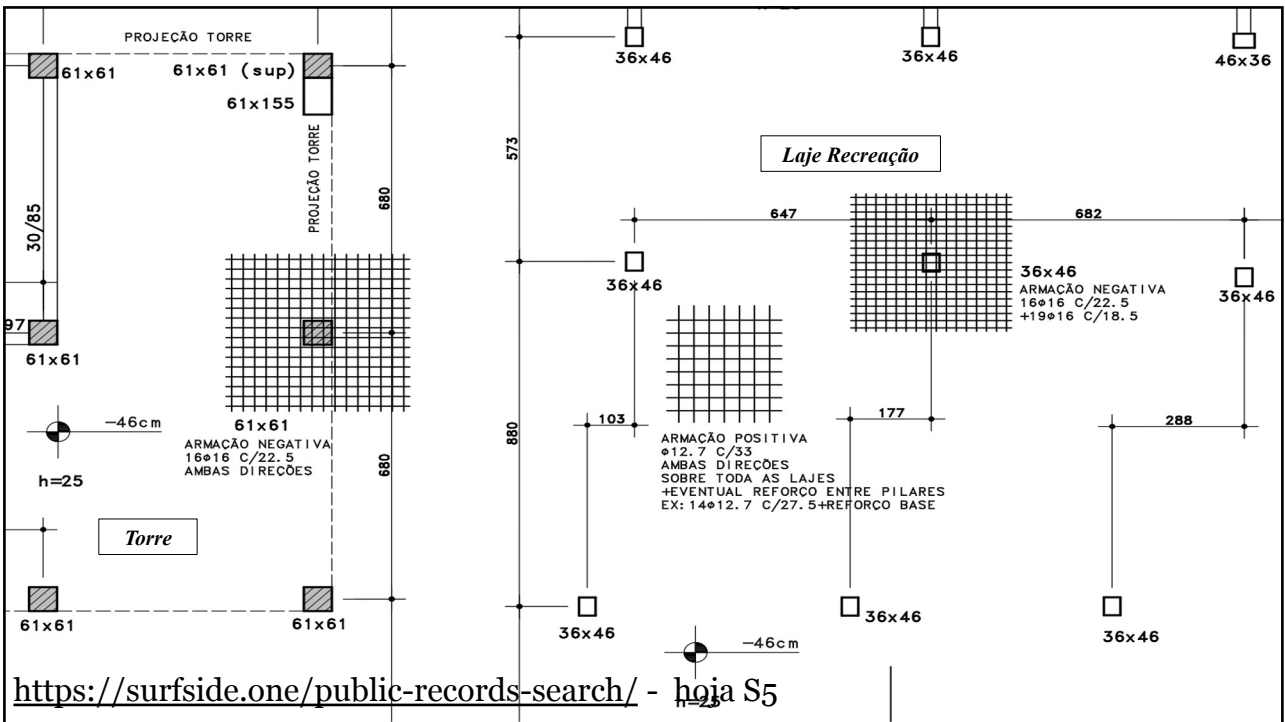
16



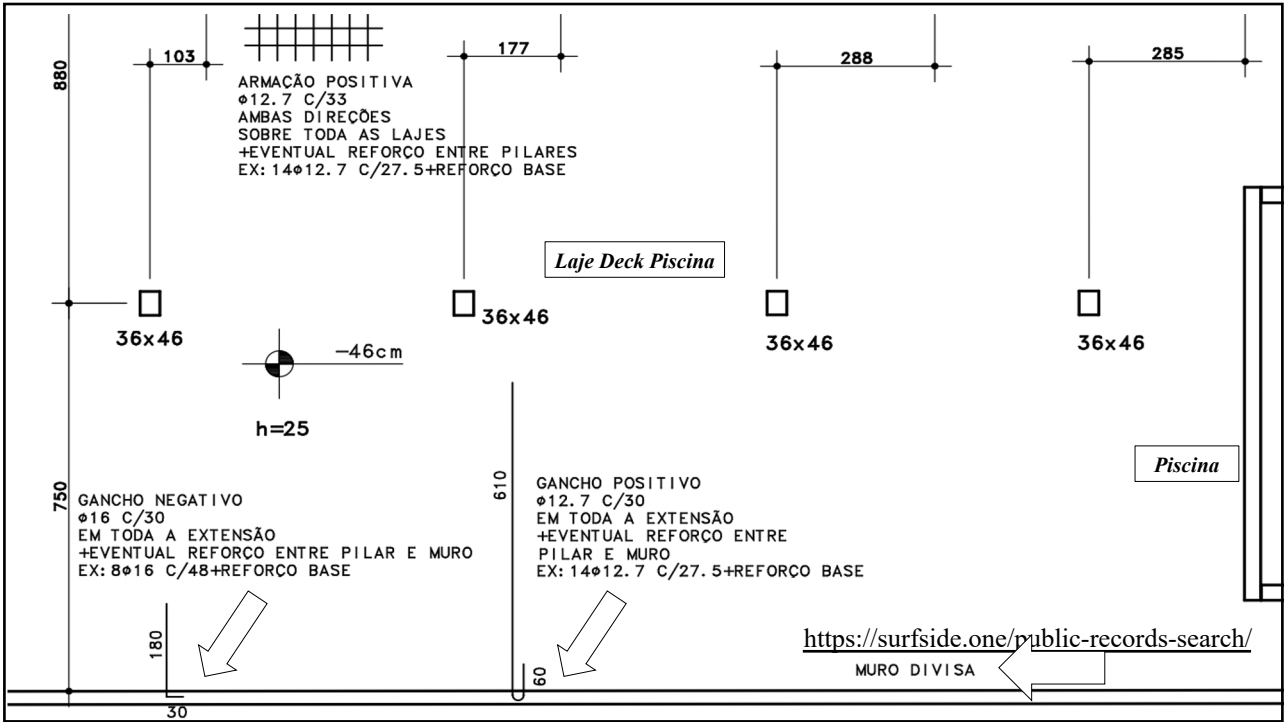
17



18



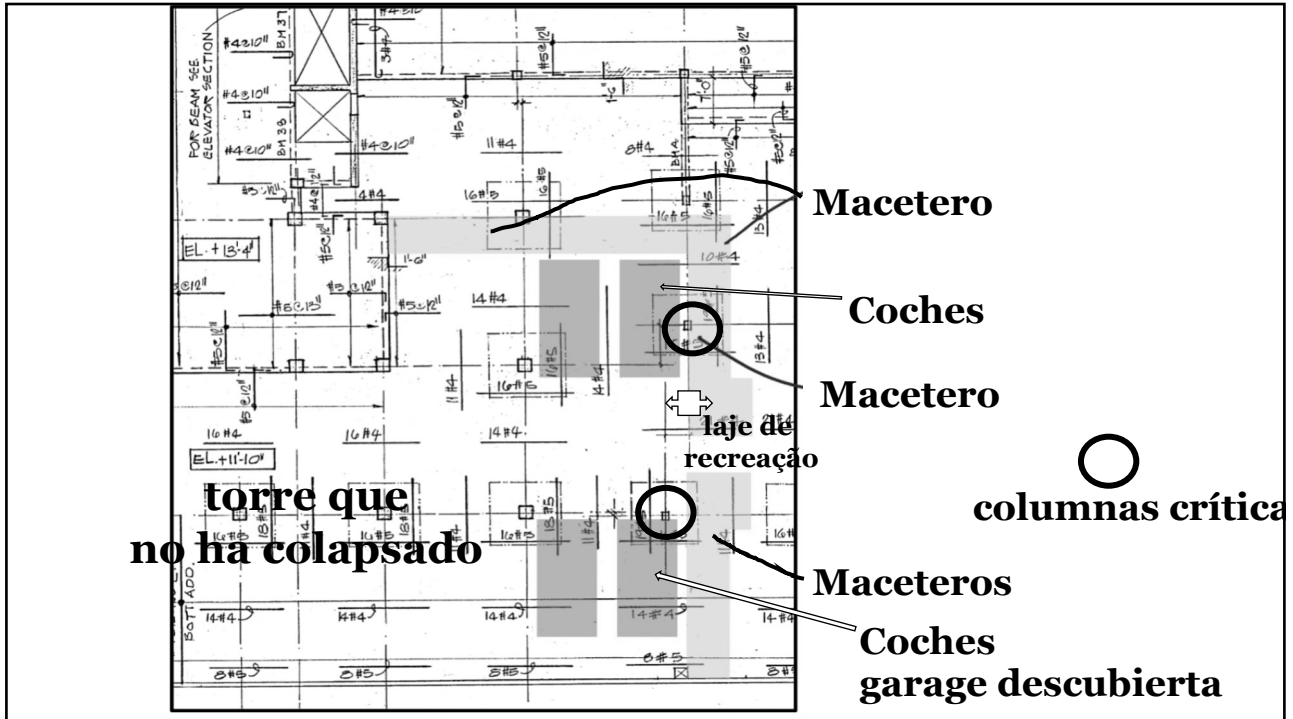
19



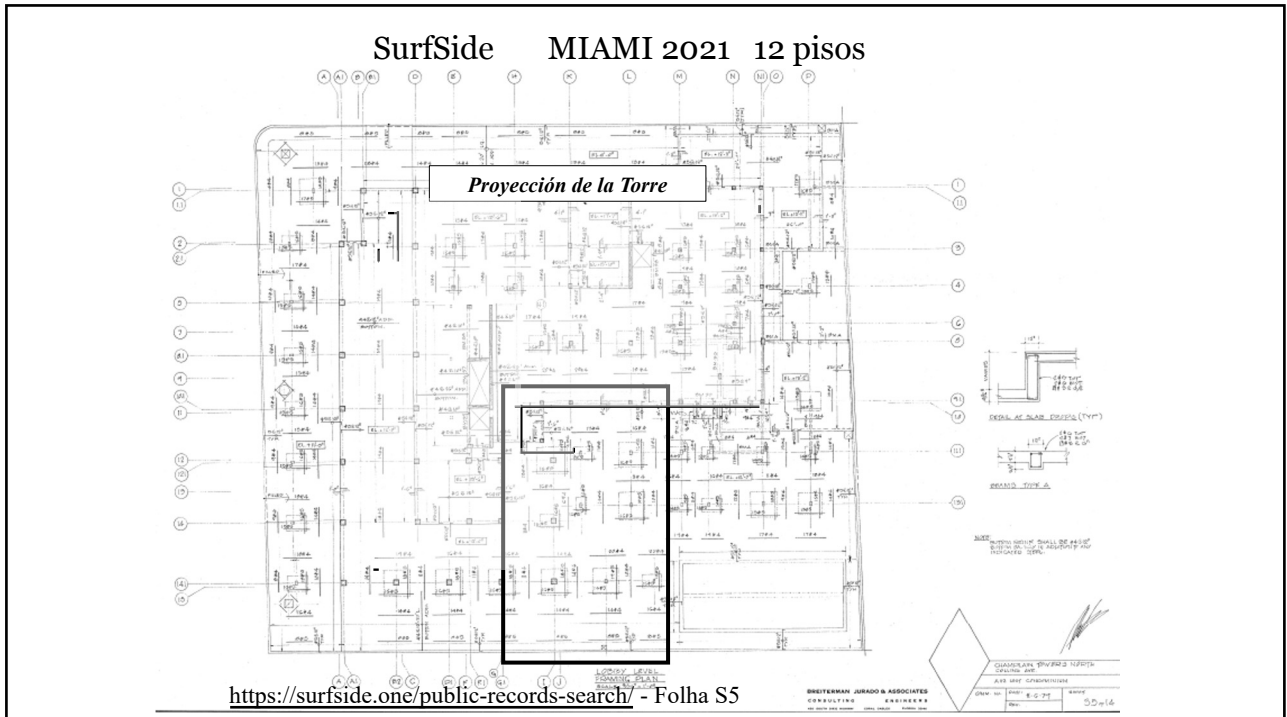
20



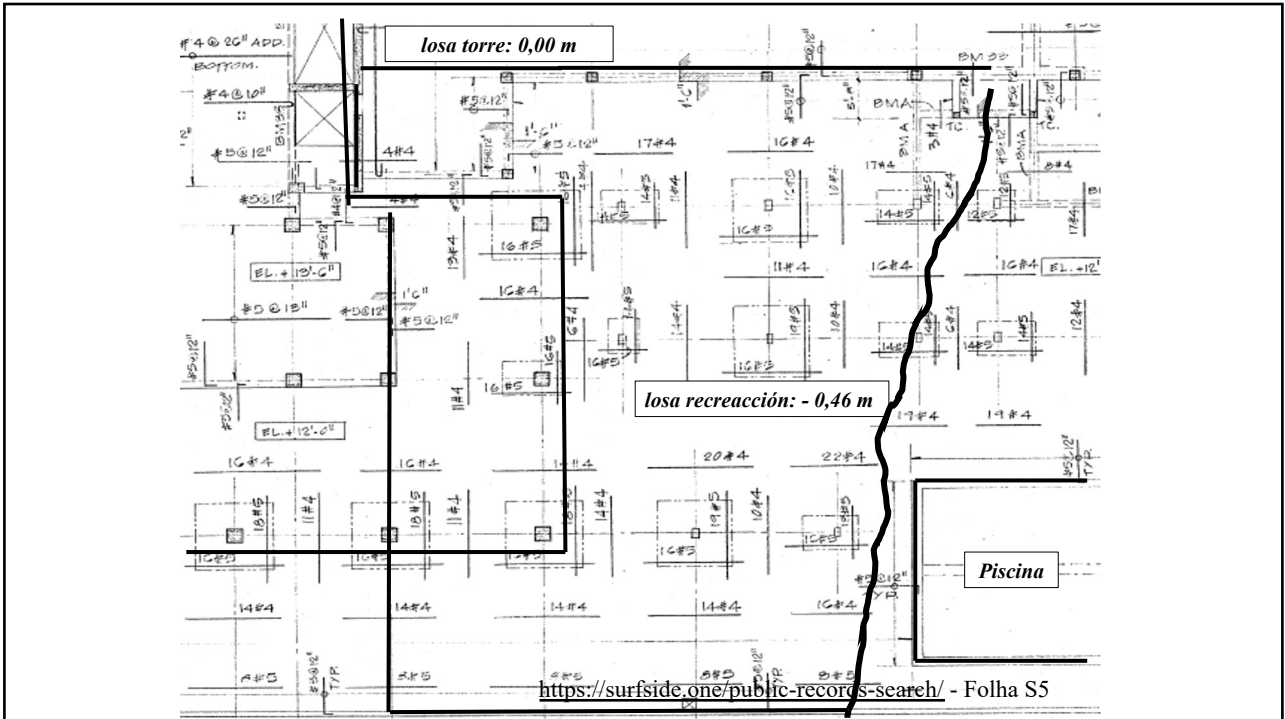
21



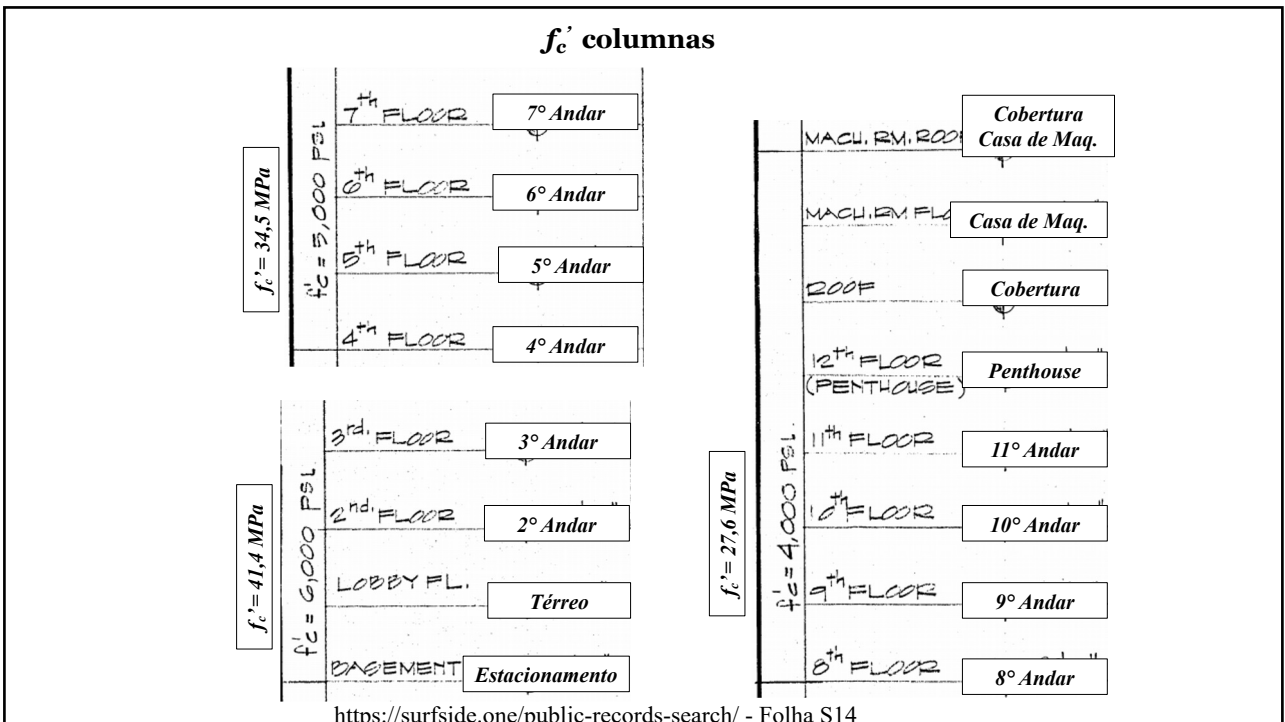
22



23



24



25

- ✓ Columnas de hormigón: 6,000psi (41.4 MPa)
- ✓ Losas de hormigón: 4,000psi (27.6 MPa)
- ✓ Cuantía columna 61x61cm : 12Ø32 → $A_s=98.28\text{cm}^2$ → $\rho=2.64\%$
- ✓ Cuantía columna 41x41 cm : 8Ø36 → $A_s=80.48\text{cm}^2$ → $\rho=4.79\%$
- ✓ Cuantía columna 36x46 cm: 10Ø32→ $A_s=81.9\text{cm}^2$ → $\rho=4.95\%$
- ✓ Losas espesor: 25cm (planta baja), 20cm (tipo)
- ✓ Losas cuantía: Ø12.7 C/30cm→ $\rho=0.17\%$ (planta baja), 0.19% (tipo)
- ✓ No se encuentra en el diseño detalles de armadura punzionamento

<https://surfside.one/public-records-search/> - Folhas S14 e S6

27



Columnas

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

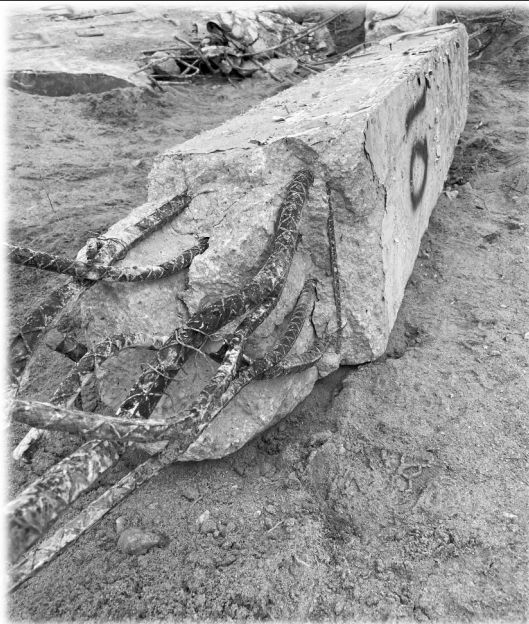
28



Columnas

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

29



Columnas

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

30



Losas

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

31



Losas

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

32

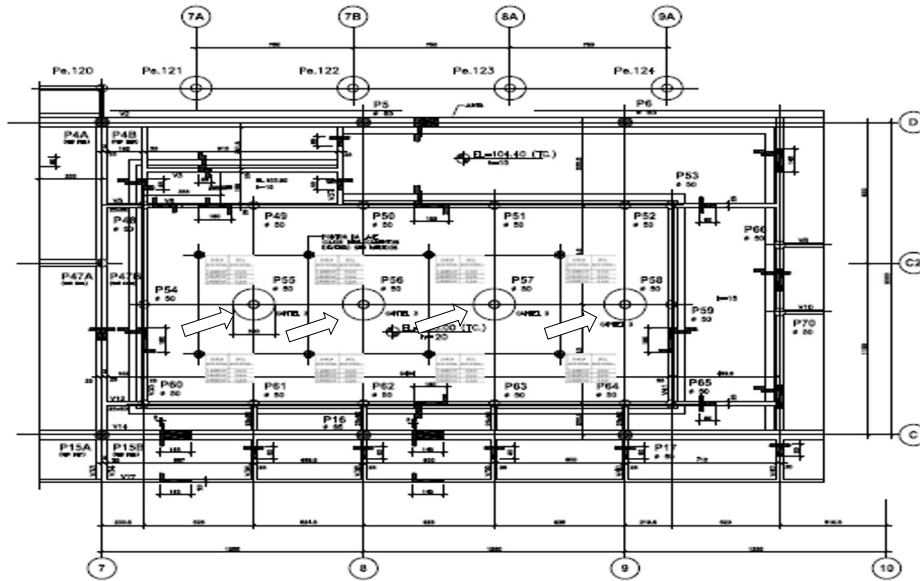
Punzionamento *ilustración*

33



34

Piscina de Centro Deportivo Prueba de Carga



35



36



37



38



39

Paulo Helene

MANUAL

PARA REPARO,

REFORÇO E

PROTEÇÃO DE

ESTRUTURAS

DE CONCRETO

Projeto de Divulgação Tecnológica

PINI **POSROC**

Punção

Manifestação Típica

40

☰ MENU
G1
ESPÍRITO SANTO
TVgazer0

19/07/2016 09h49 - Atualizado em 19/07/2016 19h32

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.

Wiviane Machado e Victoria Varejão
Do G1 ES

FACEBOOK
Twitter
Google+
Pinterest



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.

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

Ejemplo de
punzonamiento
y robustez

42



43



44



45

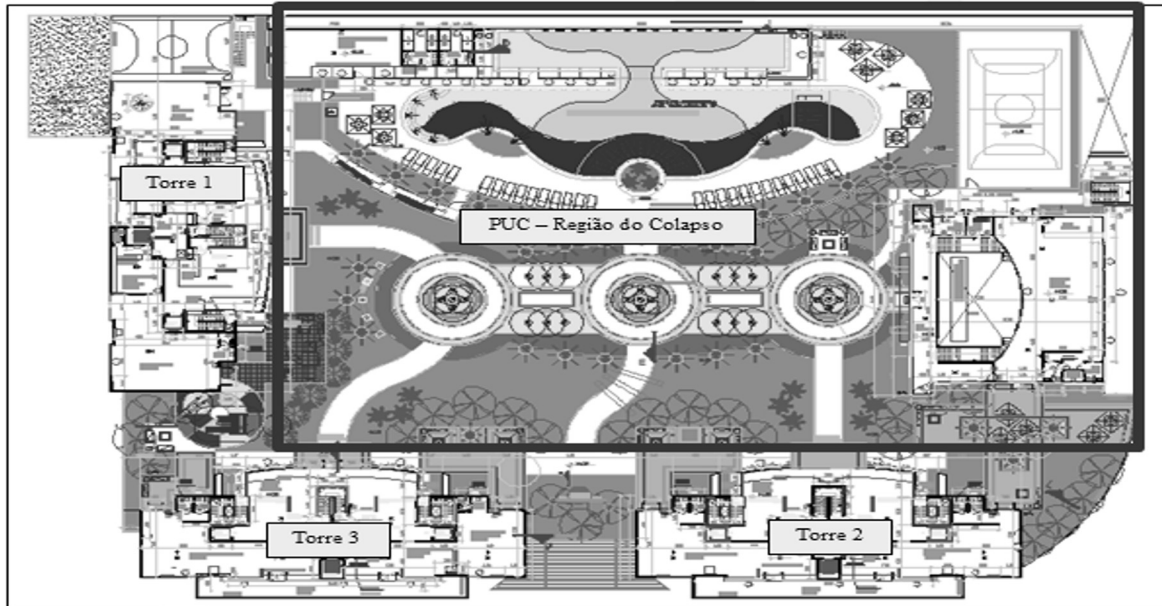


46

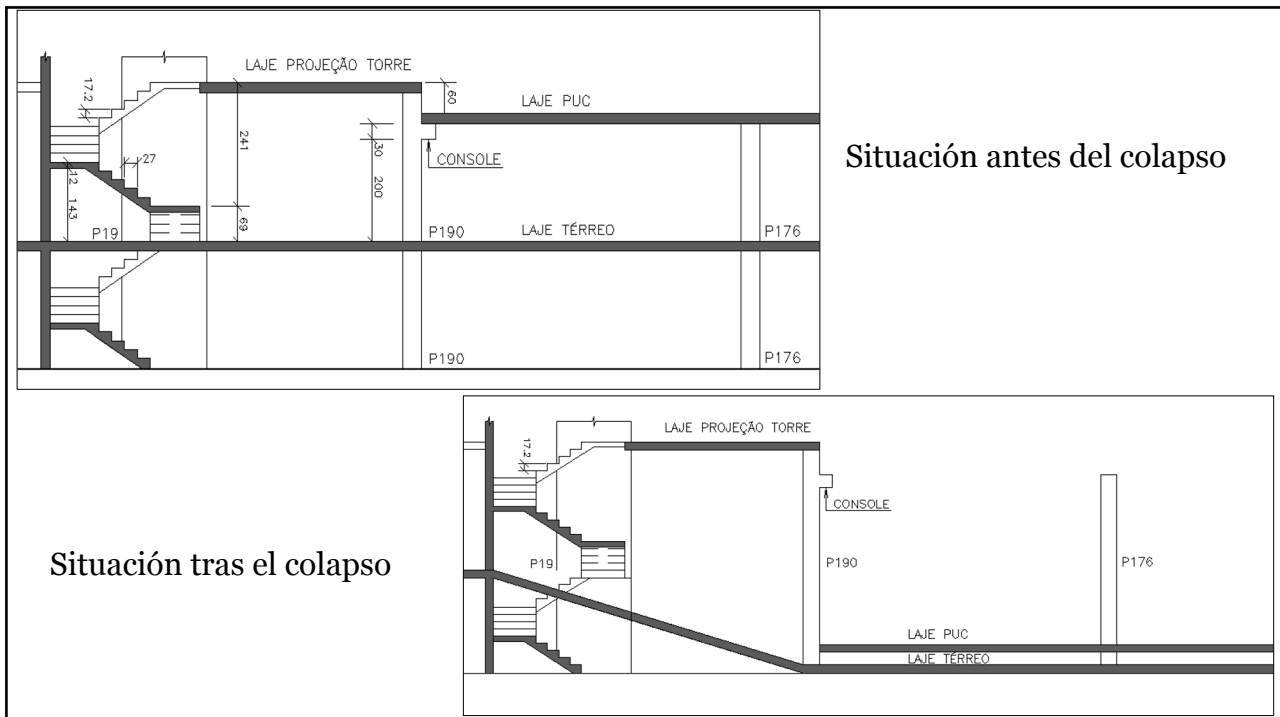


47

- 19.07.2016 (03 h)
- 6 años de edad



48



49



50



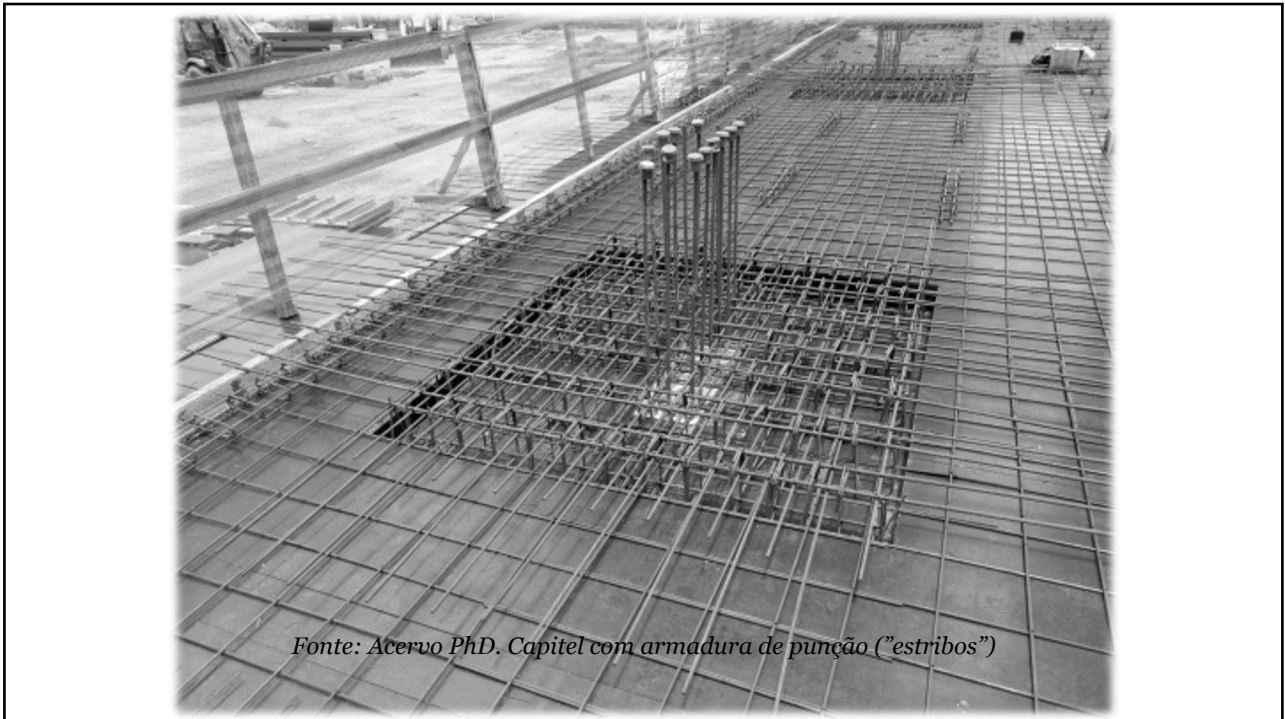
51



52

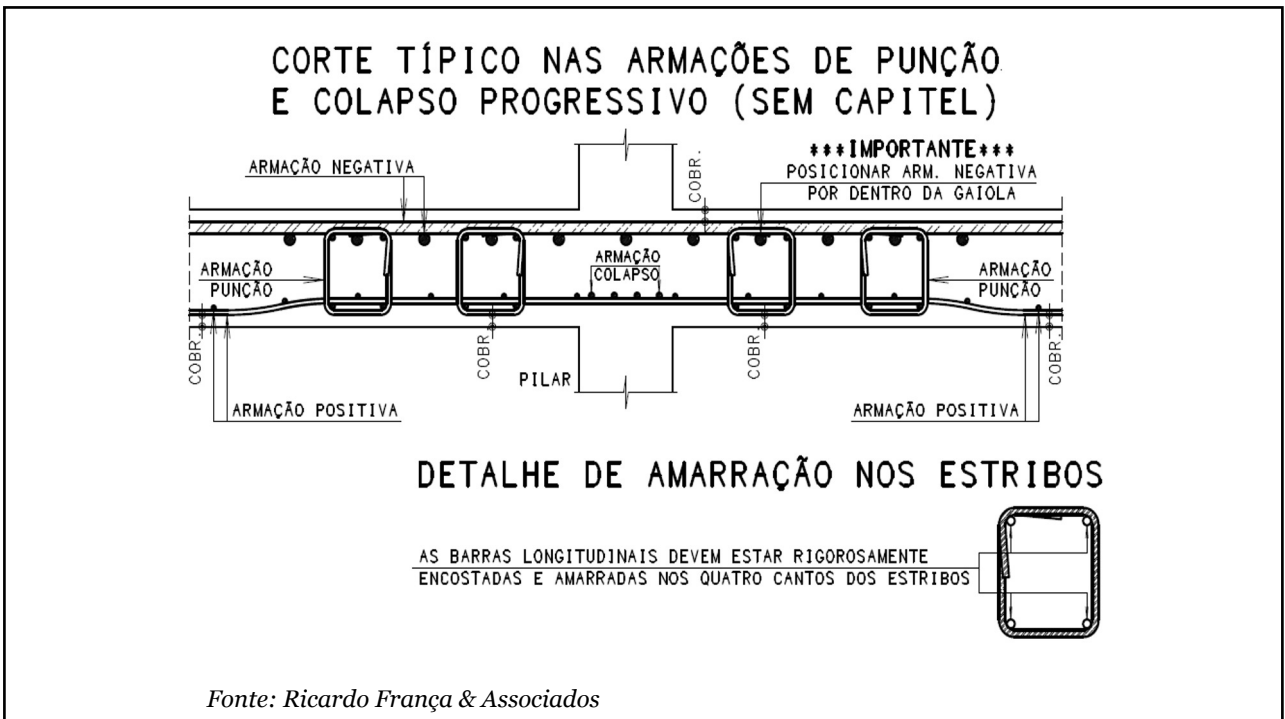


53



Fonte: Acervo PhD. Capitel com armadura de punção ("estribos")

54



Fonte: Ricardo França & Associados

55

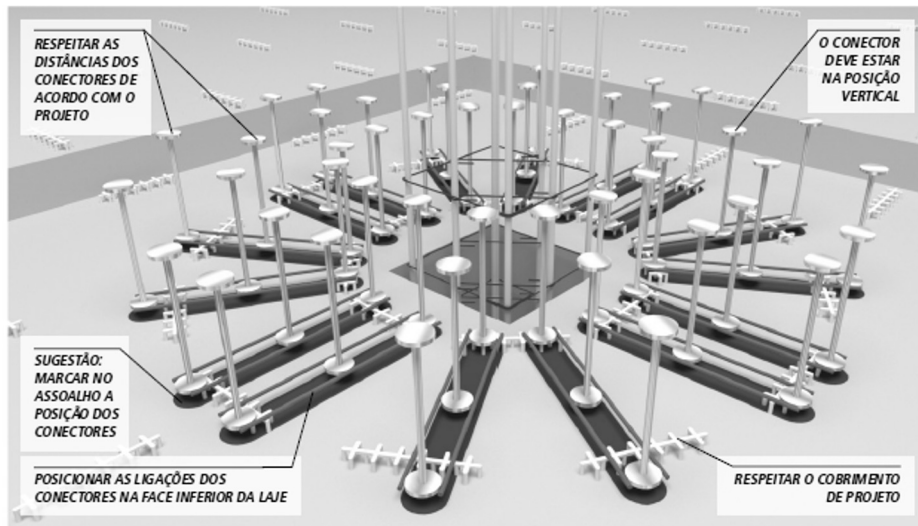
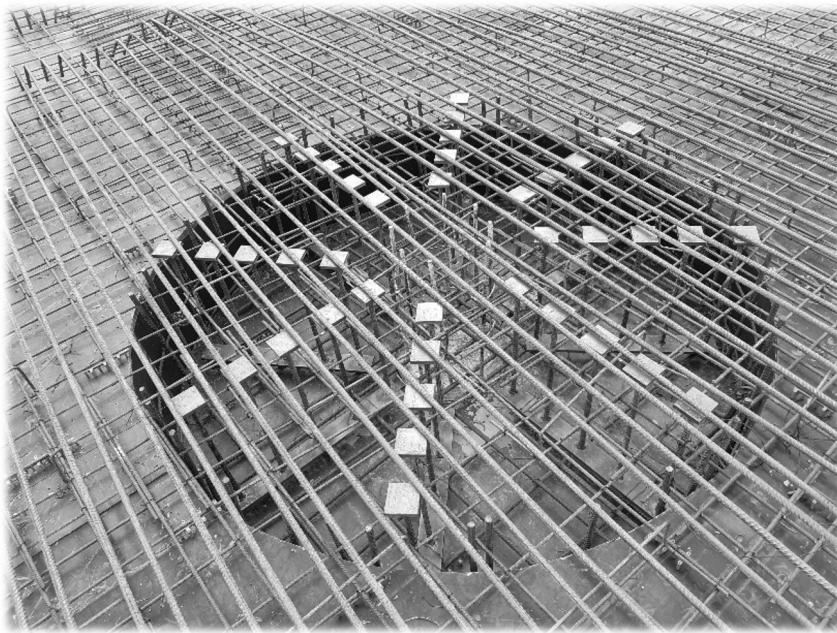


Figura 5.8
ETAPA 1 | Posicionamento dos conectores/studs

Fonte: Manual de Boas Práticas. Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado. Jorge Nakashima (Sartoro) & Larissa Arakawa Martins, 2021

56



Fonte: Acervo PhD. Capitel com armadura de punção ("studs").

57

Falsas Hipótesis del “Gatillo”

1. Corrosión de los refuerzos de las columnas
2. Estructura con losas planas sin vigas
3. Efectos ambientales de los sumideros
4. Corrosión de la armadura de losa cerca de la pileta

58

October 8, 2018

Re: *Champlain Towers South Condominium
Structural Field Survey Report*

MC Job# 18217

Page 8

El Informe Estructural Morabito, 2018, demuestra que la corrosión de los refuerzos en las columnas son pocas y jamás suficiente para justificar un colapso

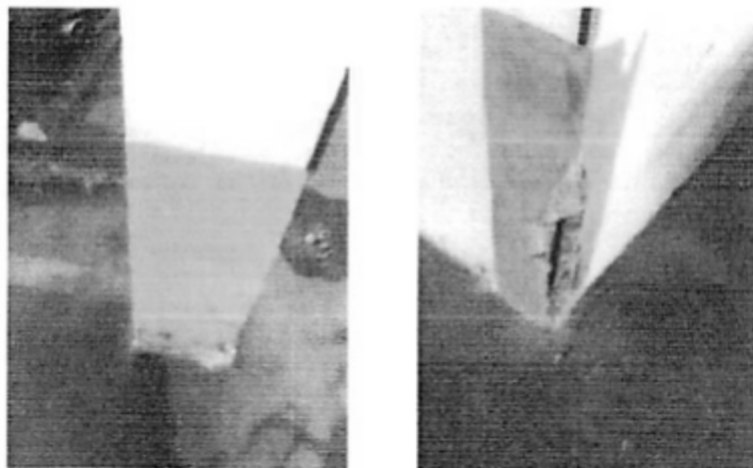


Figure J1: Typical cracking and spalling at parking garage columns

59



60



61

Falsas hipótesis del “Gatillo”

1. Corrosión acero de las columnas - Negativo
2. Estructura con losas planas sin vigas - Negativo
3. Efectos ambientales de los sumideros
4. Corrosión de la armadura de losa cerca de la pileta

62

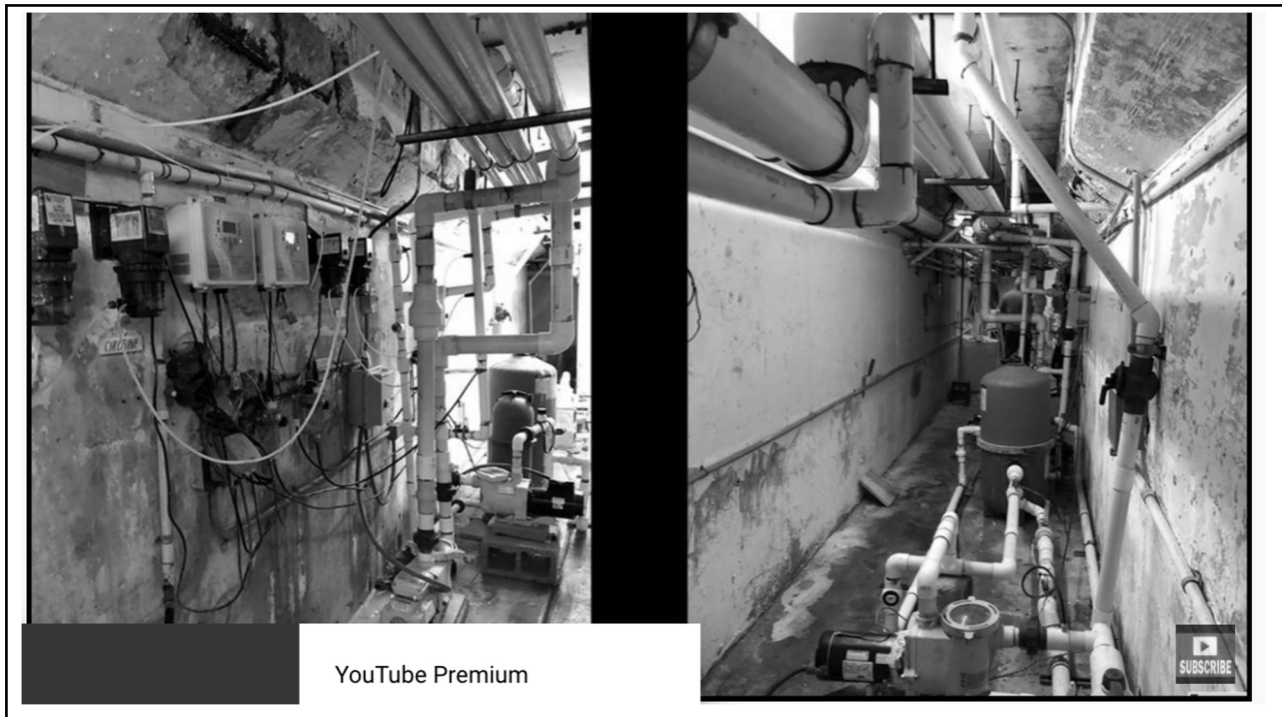


63

Falsas hipótesis del “Gatillo”

1. Corrosión acero de las columnas - Negativo
2. Estructura con losas planas sin vigas - Negativo
3. Efectos ambientales de los sumideros - Negativo
4. Corrosión de la armadura de losa cerca de la pileta

65



66



67

Falsas hipótesis del “Gatillo”

1. Corrosión de acero en las columnas - Negativo
2. Estructura con losas planas sin vigas - Negativo
3. Efectos ambientales de los sumideros - Negativo
4. Corrosión del refuerzo de losa cerca de la pileta • Negativo

68

Tercera Lección

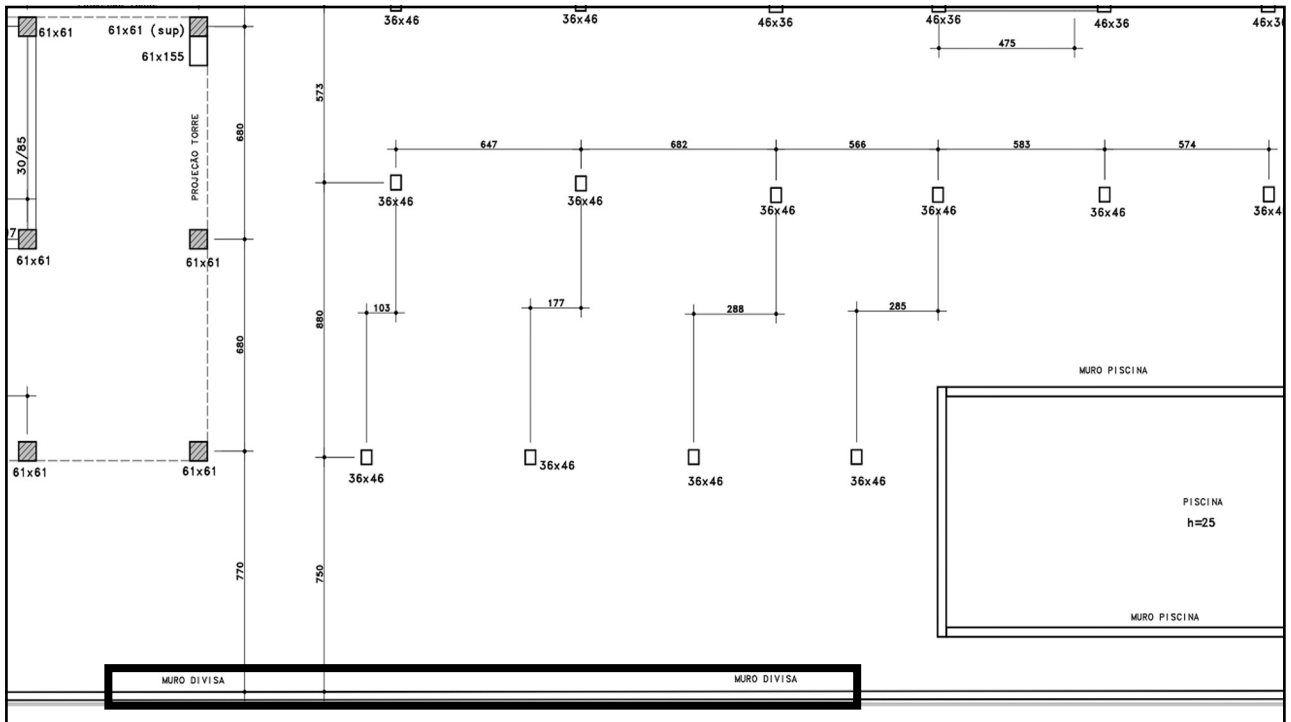
- ✓ Mantener una visión crítica de las noticias en los medios de comunicación

69

“Verdaderas” hipótesis del “Gatillo”

1. Fisura + corrosión → pared divisa
2. Punzonamiento + corrosión → losa recreación
3. Recalce diferencial → punzonamiento

70

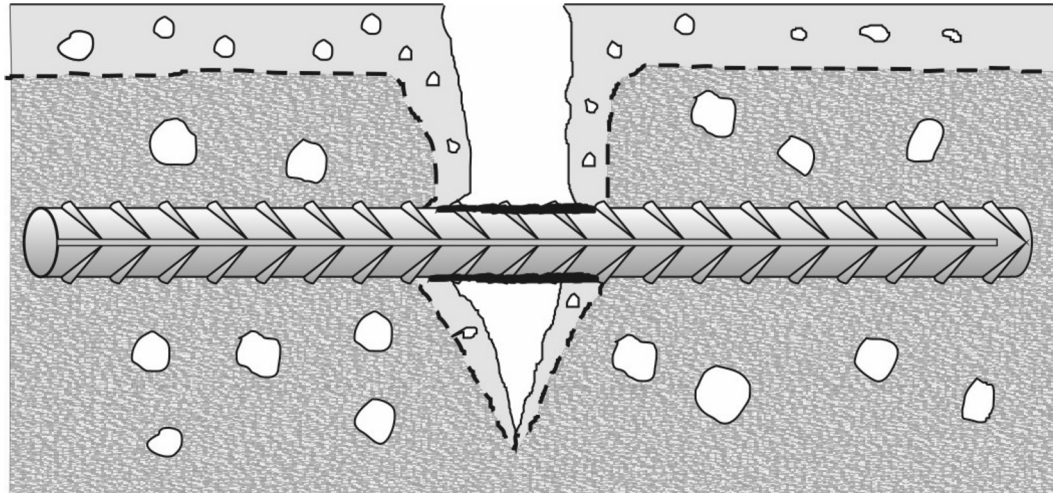


71



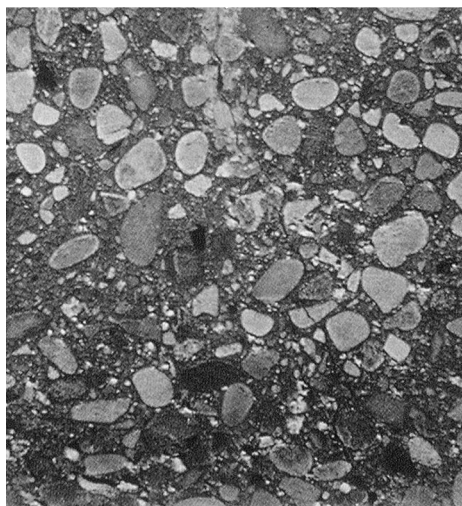
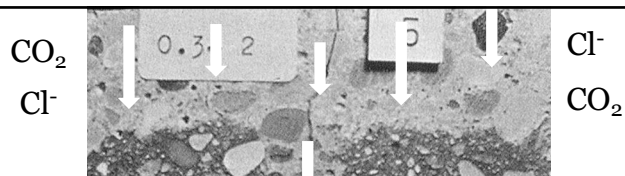
72

Fisuras con Carbonatación o Cloruros

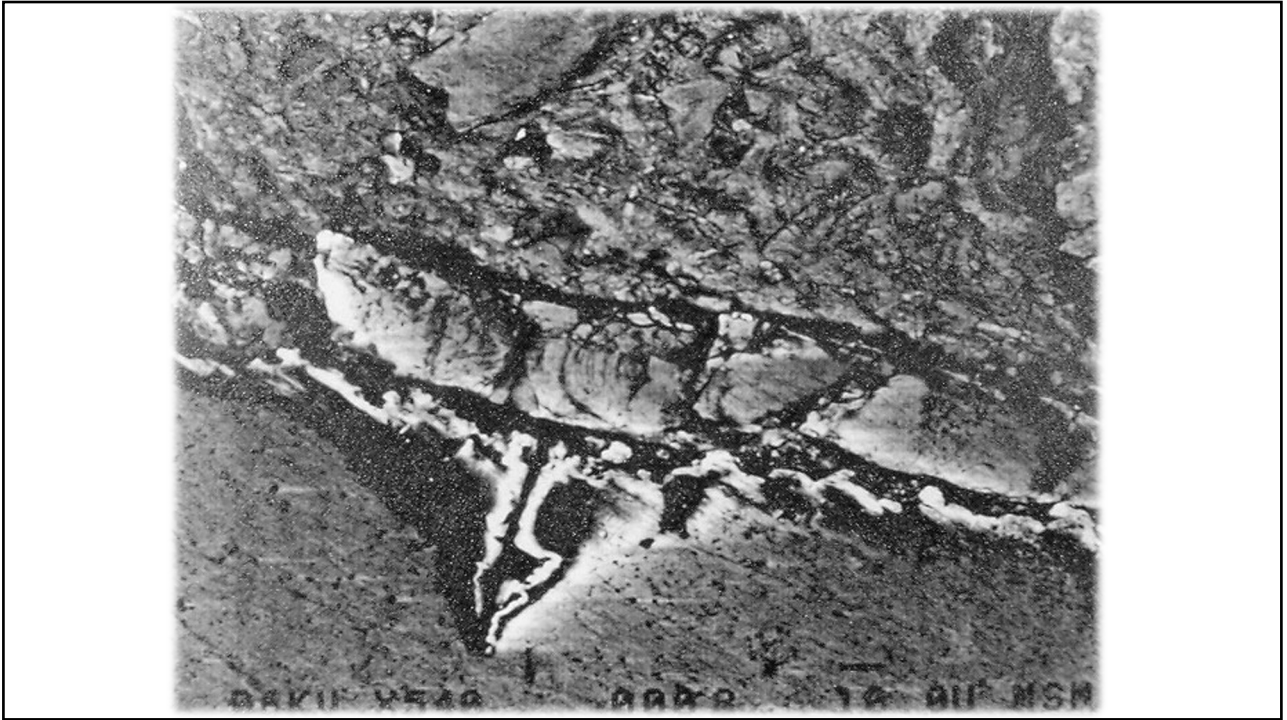


w_k ánodo pequeño vs cátodo enorme

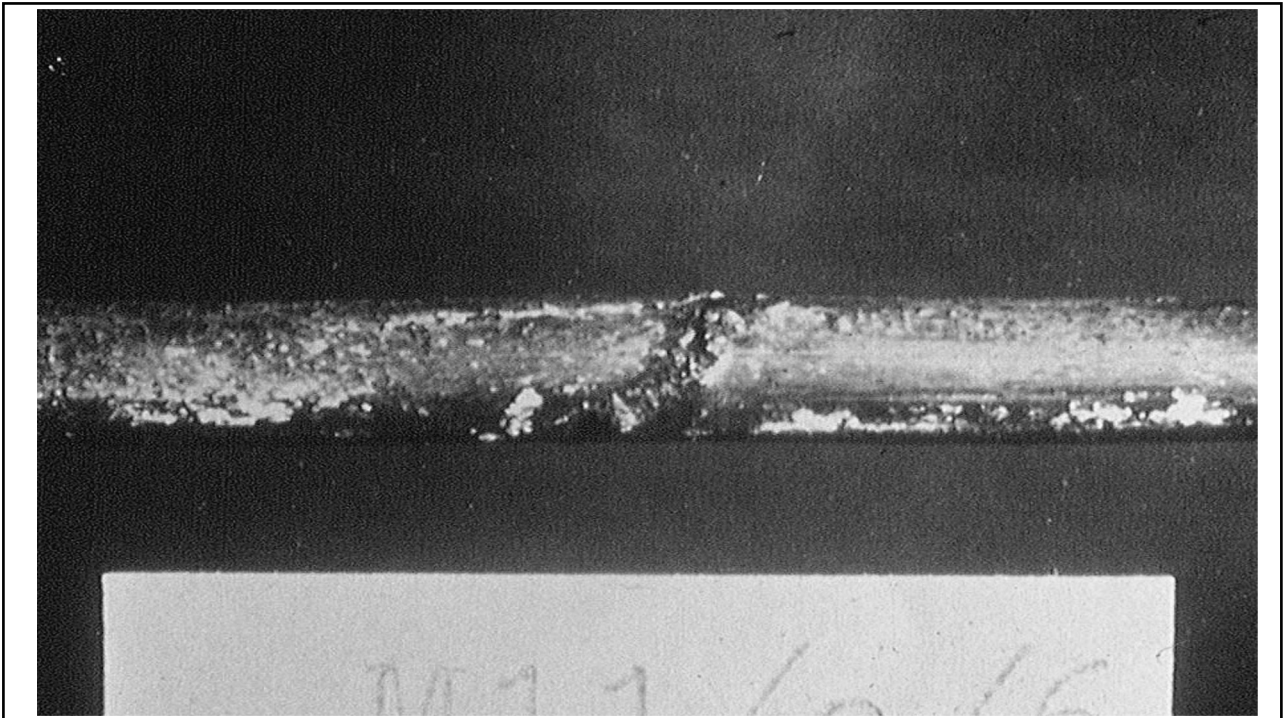
73



74



75



76



77



78



79



80



<https://www.gettyimages.com.br/foto/viera-11?assettype=image&phrase=viera%20fi&sort=mostpopular&license=rf%20Cr>

81

**Thursday
April 21, 2022**

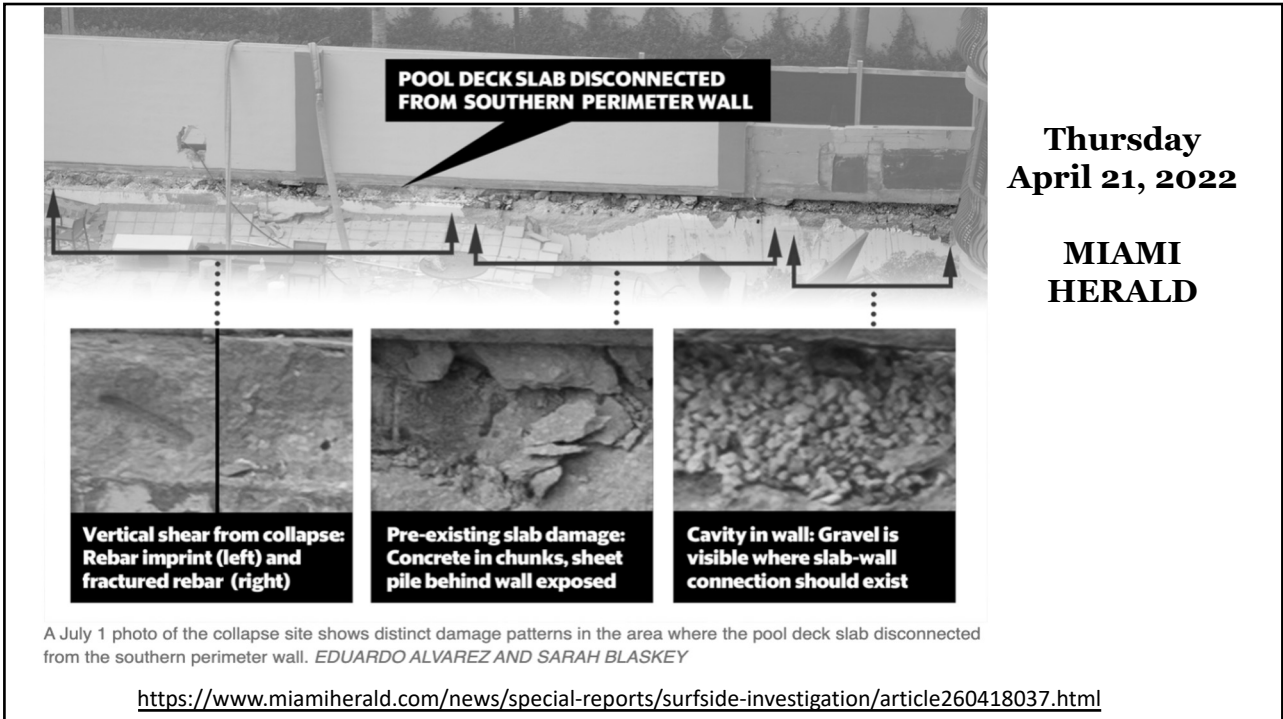
**MIAMI
HERALD**



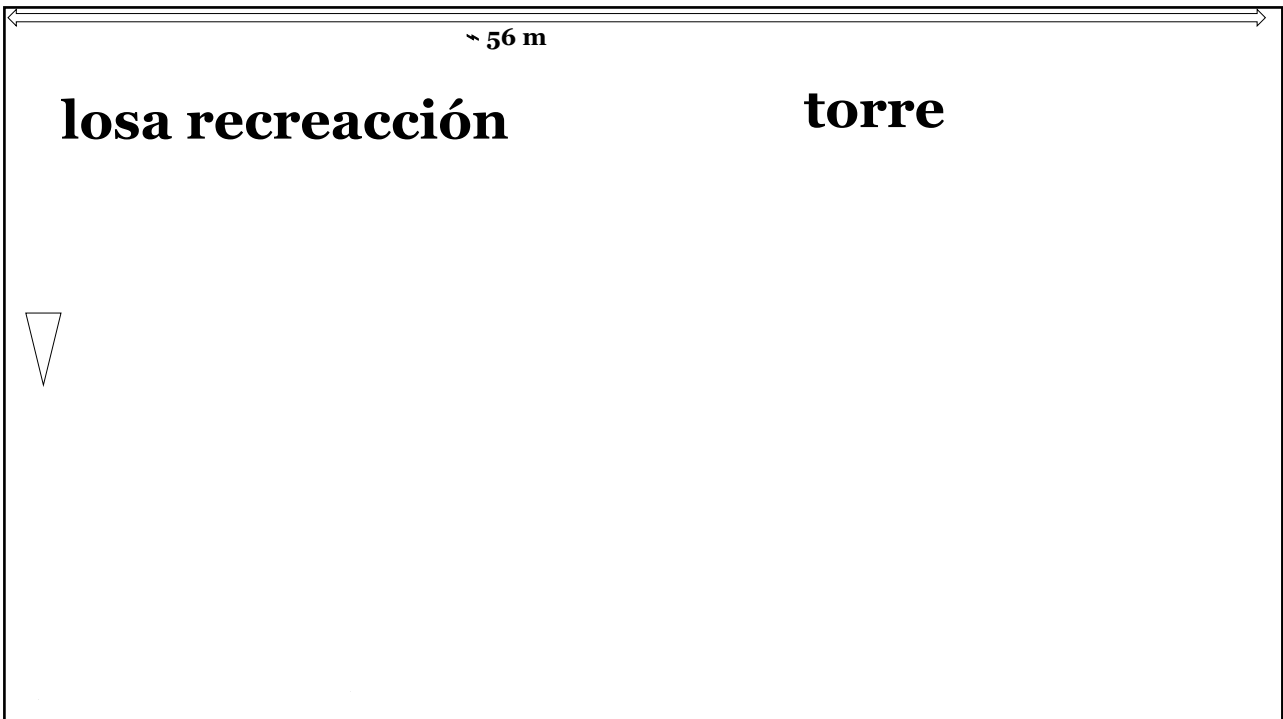
A photo of the Champlain Towers South pool deck shows the slab disconnected from the southern wall during the June 24 collapse. Damage in the failure plain is not uniform, indicating pre-existing damage to portions of the slab at the connection, according to engineer Dawn Lehman. Robert Lisman

<https://www.miamiherald.com/news/special-reports/surfside-investigation/article260418037.html>

82



83



84



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 facade (observed from the balconies surveyed), parking garage,

85

https://www.townofsurfsidefl.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 "

86

- ❖ Pacometría - posición de la armadura
- ❖ Esclerometría - dureza superficial
- ❖ Ultrasonido – nidos de hormigonado
- ❖ Testigos - f_c y módulo concreto + +
- ❖ Espesor recubrimiento
- ❖ Espesor de carbonatación
- ❖ Presencia y perfil de cloruro
- ❖ Geometría de grietas y fisuras
- ❖ Identificación de áreas problemáticas



87

Cuarta Lección

- ✓ Es fundamental realizar una inspección correcta y detallada, realizada por profesionales experientes que sepan identificar los puntos críticos de la estructura que está bajo inspección.

"... todo lo que dice la Red DURAR, ALCONPAT, PREVECII, IBRACON, Normativas ACI/fib/EH, ... anamnesia, pruebas, conocimientos de diseño estructural, cloruros, prospección..."

88

“Verdaderas” hipótesis del “Gatillo”

→ Fisura+corrosión en el muro divisa → **Sí**

→ **Punzonamiento + corrosión**

→ Recalque diferencial

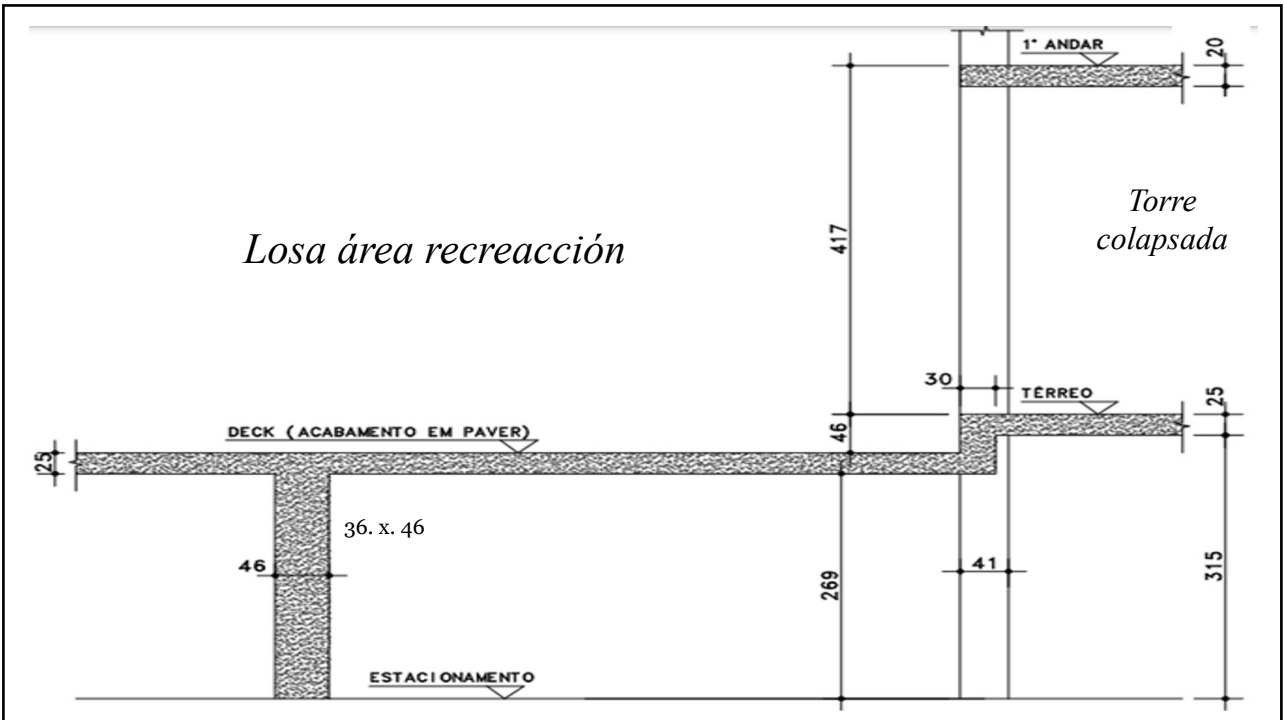
89



90



91



92

Losa Recreación → Punzonamiento

$e_{\text{nominal}} = 25 \text{ cm} \rightarrow \text{canto} \rightarrow d = 22 \text{ cm}$

Peso losa (25cm) = 625 kgf/m²

Coches+pavers+impermeabilización= 325 kgf/m² Total : 1.200 kgf/m²

Personas+macetero= 250 kgf/m²

“área de influencia” ou modelo

Carga em la columna = 50.000 kgf (50tf)

Nota: no se consideró ningún efecto de momento en la cabeza de la columna, ni de flexión, por lo que se realizó una verificación aproximada de la realidad.

93

Losa Recreación → Punzonamiento

$f_{ck,losa} = 27,6 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

$f_{ck,columna} = 41,4 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

Acero en x = $\phi 16$ cada 15,3cm $\rho_x = 0,60\%$

Acero em y = $\phi 16$ cada 17,5cm $\rho_y = 0,52\%$

$$\rho = \sqrt{\rho_x * \rho_y}$$

Cuantía = 0,0056 = 0,56%

94

Losa Recreación → Punzonamiento *resumen*

$$f_{ck,losa} = 27,6 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{ck,columna} = 41,4 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Cuantía} = \rho = 0,0056 = 0,56\%$$

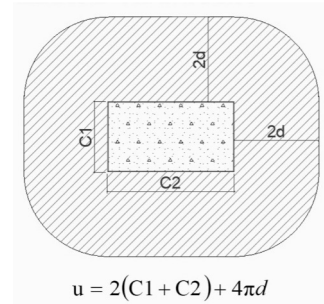
$$\text{Normal solicitante} \rightarrow F_{sd} = 500^* \gamma_f \quad (\text{kN})$$

$$\text{Perímetro crítico} \rightarrow \mu = 440 \text{ cm}$$

$$\text{Canto } d = 22 \text{ cm}$$

$$C1 = 36 \text{ cm} \quad C2 = 46 \text{ cm}$$

Contorno C'



95

apartado 20.12

“Punzonamiento”

pág. 418 a 422

Hormigón Armado

14^o Edición

Refere-se a EHE

Publicada em 2000

Pedro Jiménez Montoya

Álvaro García Meseguer

Francisco Morán Cabre



96

EHE 2000 → Punzonamiento

$$\tau_{Rd} = 0,12 * \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right) * \sqrt[3]{(100 * \rho * f_{ck})}$$

$$\tau_{sd} = \frac{\beta * F_{sd}}{\mu * d}$$

97

Norma Española EHE 2000 → Punzonamiento

$$\tau_{Rd} = 0,12 * \left(1 + \sqrt{200/220}\right) * (100 * 0,0056 * 27,6)^{1/3} = \mathbf{0,58 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{Rd} = 0,12 * \left(1 + \sqrt{200/220}\right) * (100 * 0,0056 * 41,4)^{1/3} = \mathbf{0,63 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{sd} = \frac{\beta * F_{sd}}{u * d} = \frac{1,15 * 500kN * \gamma_f}{440cm * 22cm} = 0,59 \text{ MPa} * \gamma_f$$

98

EHE 2000 → Punzonamiento

$$\tau_{Sd} < \tau_{Rd}$$

$$\tau_{Rd} = \mathbf{0,58 \text{ a } 0,63 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{Sd} = \mathbf{0,59 * \gamma_f}$$

$$\gamma_f = \mathbf{0,98 \text{ a } 1,07}$$

(1,5 ?!)

99

NBR 6118:2014 Resistente y Solicitante Punzonamiento

Columna interna, carregamento simétrico (sin efecto de momento)

$$\begin{aligned} \tau_{Rd} &= 0,13 * \left(1 + \sqrt{20/d}\right) * (100 * \rho * f_{ck})^{1/3} = \\ &= 0,13 * \left(1 + \sqrt{20/22}\right) * (100 * 0,56\% * 27,6)^{1/3} = 0,63 \text{ MPa} \\ &41,4 \rightarrow 0,72 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \times d} = \frac{500kN * \gamma_f}{440cm * 22cm} = 0,52 \text{ MPa} * \gamma_f$$

$$\gamma_f = \mathbf{1,21 \text{ a } 1,38}$$

(1,4 ?!)

100

ACI 318:14 Punzonamiento

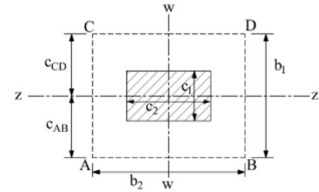
$$\tau_{Rd} = 0,25 * \sqrt{f_{ck}}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 * \sqrt{27,6} = 1,31 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 * \sqrt{41,4} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u_1 * d} + \frac{\gamma_v * M_{sd} * b_1 / 2}{J_c}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u_1 * d} = \frac{500 \text{ kN} * y_f}{252 \text{ cm} * 22 \text{ cm}} = 0,90 \text{ MPa} * y_f$$



101

ACI 318:14 Punzonamiento

$$\tau_{Rd} = 1,31 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$\tau_{sd} = 0,90 \text{ MPa} * y_f$$

(1,4 ?!)

$$y_f = 1,45 \text{ a } 1,77$$

Nota: según ACI pasa punzonamiento pero no pasa el refuerzo de flexión, por ejemplo.

102

fib Model Code:2010 Punzonamiento

$$F_{Rd} = k_{\Psi} * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} * b_0 * d$$

$$F_{Rd} = 0,214 * \frac{\sqrt{27,6}}{1,5} * 2100mm * 220mm = 347 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 0,214 * \frac{\sqrt{41,4}}{1,5} * 2100mm * 220mm = 424 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 500 \text{ kN} * y_f$$

103

fib Model Code:2010 Punzonamiento

$$F_{Rd} = 347 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 424 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 500 * y_f$$

(1,5 ?!)

$$y_f = \mathbf{0,69 \text{ a } 0,85}$$

Obs.: comparativa de esfuerzos resistentes versus esfuerzos solicitados.

104

| | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| ACI 318: | $\gamma_f = 1,45 \text{ a } 1,77$ |
| fib Model Code:2010: | $\gamma_f = 0,69 \text{ a } 0,85$ |
| Norma Española EHE.2000: | $\gamma_f = 0,98 \text{ a } 1,07$ |
| NBR 6118:2014 → contorno C' | $\gamma_f = 1,21 \text{ a } 1,38$ |

+retracción + efectos térmicos + recalce diferencial + corrosión

105

Quinta Lección

- ✓ Los estándares no son los mismos, mucha atención
- ✓ Es fundamental proceder a una revisión por pares del proyecto estructural antes de comenzar a construir, realizada por expertos que sepan identificar los puntos críticos de la estructura.
- ✓ “ *...fib, norma brasileira ABNT NBR 6118 prescreve ATP...*”

106

“Verdaderas” hipótesis del “Gatillo”

--> fisura + corrosión muro divisa → *Sí*

→ punzonamiento + corrosión losa → *Sí*

→ Recalce diferencial

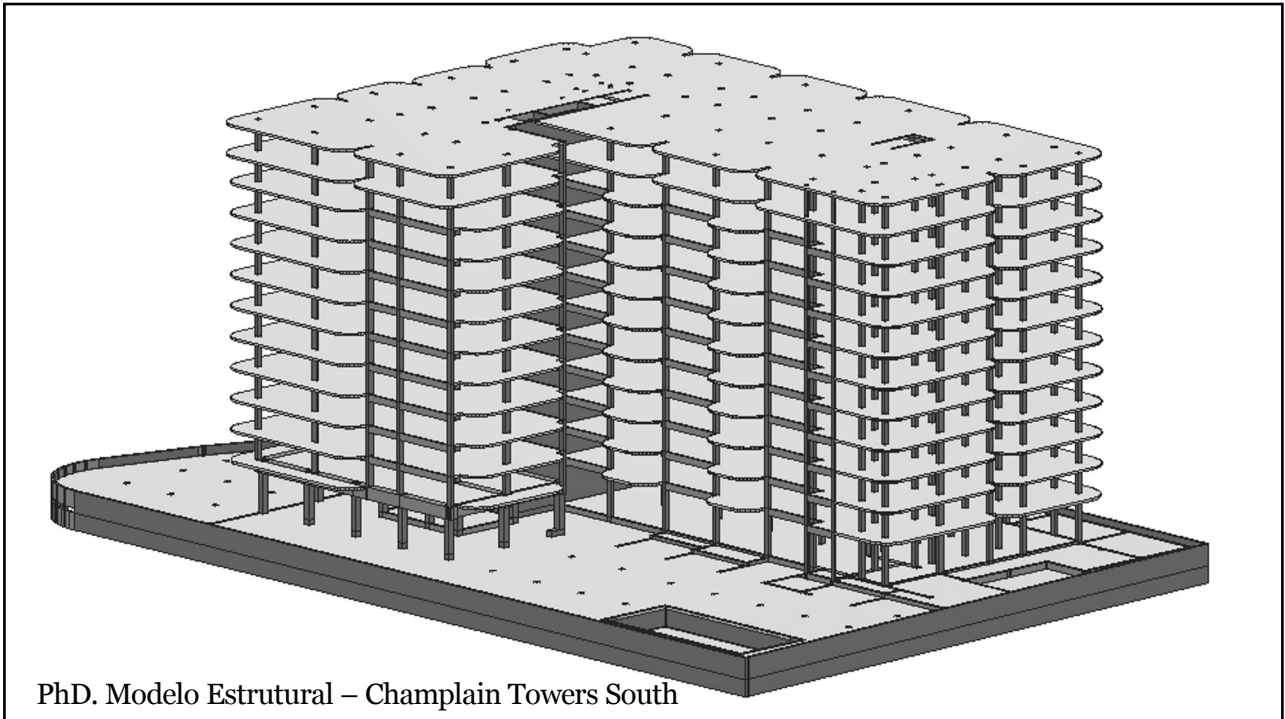
107

~ 56 m

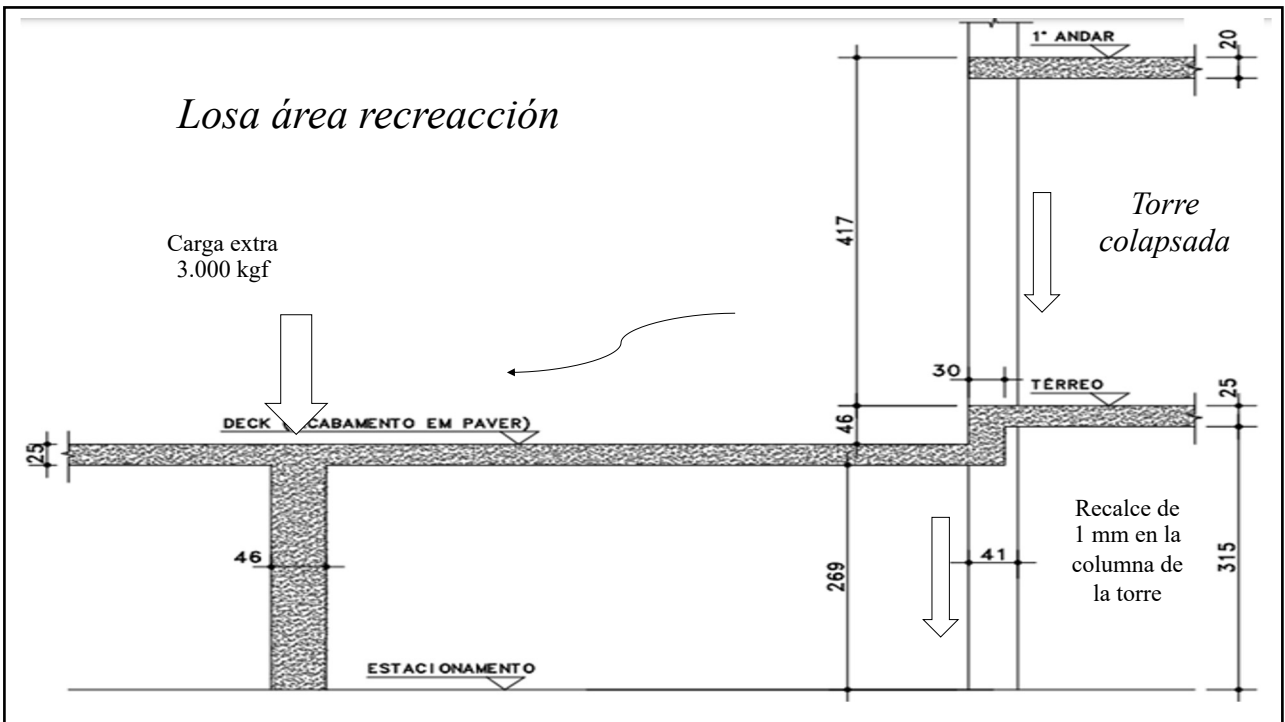
Losa recreación

torre

108



109



110

Recalce Diferencial

$$\gamma_f = 0,69; 0,98; 1,21 \text{ e } 1,45 = 1,09$$

Carga inicial (40 años) en las columnas = 50.000 kgf

Recalce 1 mm \rightarrow carga extra \approx 3.000 kgf

$$\gamma_f = 1,02$$

111

Recalce Diferencial

$$\gamma_f = 0,69; 0,98; 1,21 \text{ e } 1,45 = 1,09$$

Carga inicial em la columna = 50.000 kgf

Recalce 2 mm \rightarrow carga extra \approx 6.300 kgf

$$\gamma_F = 0,97$$

112



113

¿Qué recomendar a Champlain Towers North?

1. Prohibir el aparcamiento
2. Revisar proyecto/diseño
3. Inspeccionar fisuras (cabeza y encuentro losa muro)
4. Crear junta la dilatación de losa (consolas)
5. Introducir el concepto de robustez

114



Shoring is visible around at least 11 columns at Champlain Towers North, sister building to the Champlain Towers South condo that collapsed in June 2021.

115

Lecciones Aprendidas

- ❖ Transparencia para la sociedad y poder para la ingeniería (inspección y diagnóstico)
- ❖ ATP (revisión del diseño estructural, por expertos)
- ❖ ATO (control tecnológico de estructuras, por expertos)
- ❖ ATU (inspección periódica de uso, por expertos)
- ❖ Mantenimiento y renovaciones/obras (por constructor competente)
- ❖ Las estructuras no son eternas, sepa escuchar los gritos de la estructura!
- ❖ Elegir profesionales bien preparados (Certificación)
- ❖ Equipo multidisciplinario (el último ingeniero universal fue Leonardo da Vinci)

116

12 de outubro de 1931

Muchas Gracias!



92 años!