



Escola Politécnica
Universidade de São Paulo



Vida Útil de las Estructuras de Concreto

Eng. Paulo Helene
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Presidente Red Rehabilitar CYTED XV.F
Presidente do IBRACON





Dovelas prefabricadas de

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
 $f_c' = 47 \text{ MPa}$

promedio de
54 MPa
en probetas cilíndricas (62MPa)

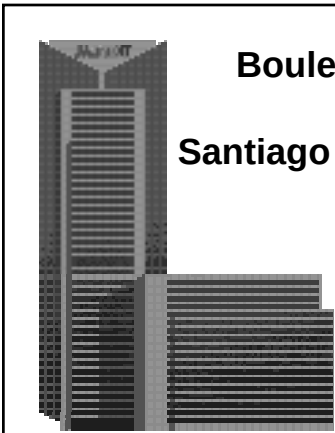
Vida Útil
100 años!

José Carlos de Figueiredo Ferraz



Lina Bo Bardi

MASP Museu de Arte São Paulo 1968
 $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ Vida útil de 20 años!

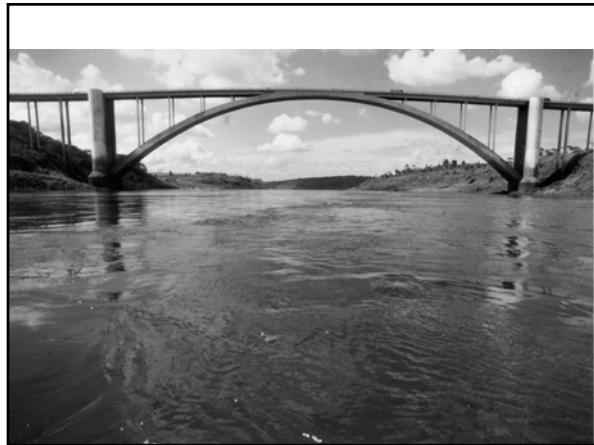
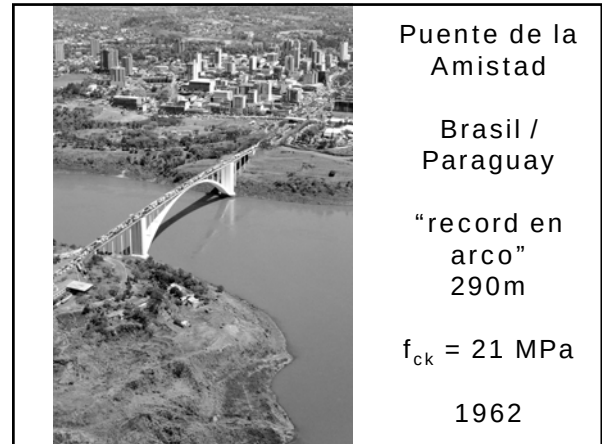


Boulevard Kennedy
Santiago Marriott Hotel

42 pisos

145m

1999



**QUANDO FUE
RECONOCIDA LA
PROFESIÓN DE
ARQUITECTO e
INGENIERO CIVIL POR
PRIMERA VEZ ?**



Construir con Materiales Resistentes y Durables

EL CONCEPTO DE CONSTRUIR CON DURABILIDAD EXISTE EN LAS OBRAS DESDE LA ANTIGÜEDAD

Arquitetos Ictinos de Mileto
e Calícrates (escultor Fídias)



Pártenon, 440 aC
"siglo de Péricles"



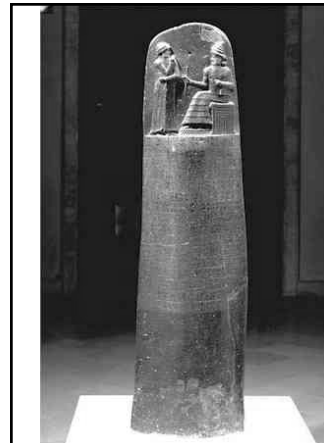
La CONSTRUCCIÓN ESTÁ en el PRIMER CÓDIGO CIVIL de la HUMANIDAD

"Durabilidad!"

Código de Leyes de Hammurabi (1780 a.C.)

Rey de Babilonia

Una copia fue
grabada en un
bloque de roca
diorito negro con
2,4m de altura
conteniendo 282
artículos



Código de Leyes de Hammurabi

Artículos 229 a 233 → obras

229. Quando una casa o parte de ella colapsa y mata el propietario,
el constructor debe morir;

230. Quando una casa o parte de ella colapsa y mata el hijo del
propietario, el hijo del constructor debe morir;

231....

232....

233....

Cartagena de Indias

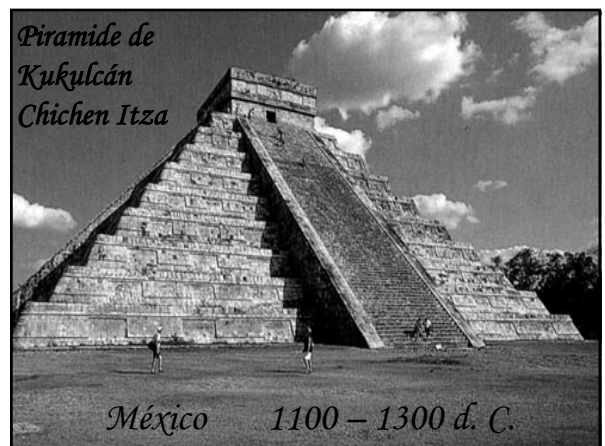




Genesis, 11.4

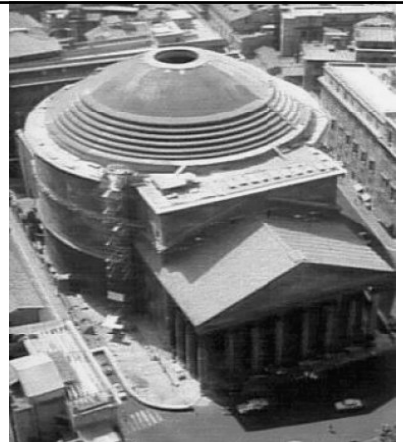
O Povo de Deus disse:

“Vamos construir uma cidade e uma Torre
que alcance o Paraíso e deixe gravado
nosso nome na história antes de que
sejamos espalhados por toda a face da
Terra”



QUANDO APARECE EL HORMIGÓN POR PRIMERA VEZ ?

Panteón
de
Roma



Domo do Panteón → Siglo II dC
Diámetro de 47m

- árido liviano de piedra pomez y encofrado de bronce (casetones)
- hormigón primitivo
- 1630 Urbano VIII → Arq. Bernini → baldaquino papal en el transepto de la Basílica de San Pedro
- hormigón visto mas antiguo

Domo del Panteón → Siglo II dC
Diámetro de 47m



Siglos

- IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul
- IX → Estilo Romanico → Abadía Cluny, France
- XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colônia
- XV → Estilo Renacentista
- XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini
- XVII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo , Paris
- XIX → Estructuras metálicas

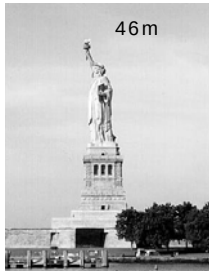
Catedral de Notre Dame



1163-1330

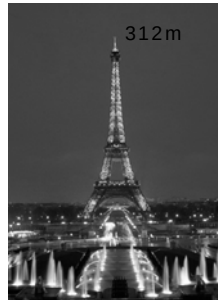
La bóveda de la nave central → 35 m de altura

“Gustave Eiffel”
1884 → Estatua de la Libertad
1889 → Torre Eiffel



2004 → 6.230.050 visitantes

(5a+2a)
 60t
 pintura



SIGLO XX
1900

**APARECE UN
 NUEVO MATERIAL**

Hormigón Armado
Concreto Armado

**Primeiras Normas sobre
 Estruturas de Concreto**

1903 ➡ **Suiça**

1903 ➡ **Alemanha**

1906 ➡ **França**

1907 ➡ **Inglaterra**



Palacio Salvo
 Montevideo

27 pisos

Uruguay 1925

Altura 103 m

$f_{ck} = ?$
80 años!!!!
record mundial



1929



Edifício Martinelli
 São Paulo

30 pisos

Altura 109m

Rua Líbero Badaró

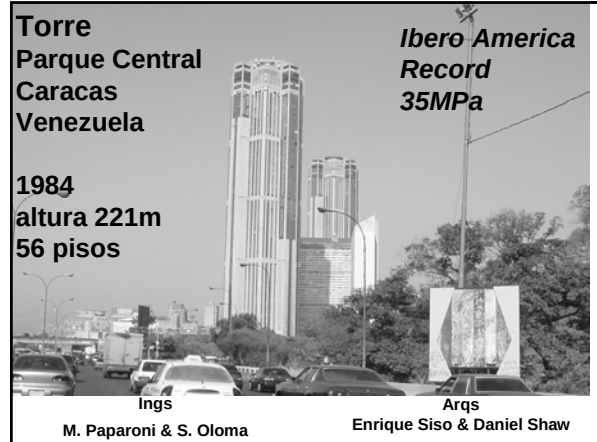
$f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$

1929-2005 = 76 años



Rascacielos
Kavanagh
Buenos Aires
1935
32 pisos
Altura 120m

$f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$



Torre
Parque Central
Caracas
Venezuela

*Ibero America
Record
35MPa*

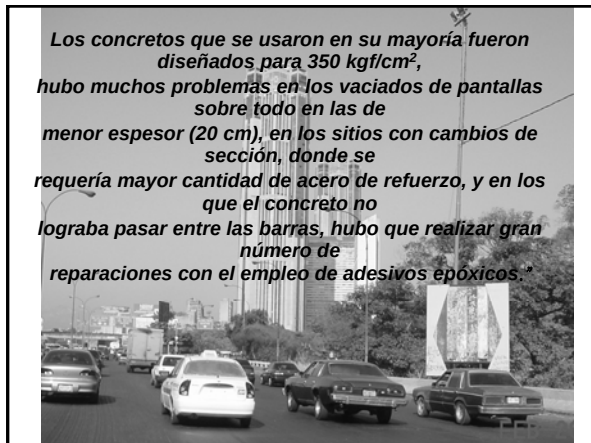
1984
altura 221m
56 pisos

Ings

Arqs

M. Paparoni & S. Oloma

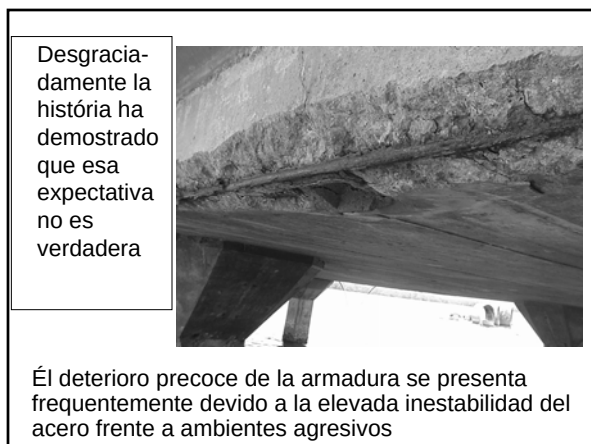
Enrique Siso & Daniel Shaw



*Los concretos que se usaron en su mayoría fueron diseñados para 350 kgf/cm², hubo muchos problemas en los vaciados de pantallas sobre todo en las de menor espesor (20 cm), en los sitios con cambios de sección, donde se requería mayor cantidad de acero de refuerzo, y en los que el concreto no lograba pasar entre las barras, hubo que realizar gran número de reparaciones con el empleo de adhesivos epóxicos.**

En aquellos tiempos se creía que...

**LOS PROBLEMAS DE CORROSIÓN
Y DURABILIDAD ESTABAN
RESUELTOS DEFINITIVAMENTE
PUES EL ACERO SERIA
PROTEGIDO "ETERNAMEMENTE"
POR EL HORMIGÓN**



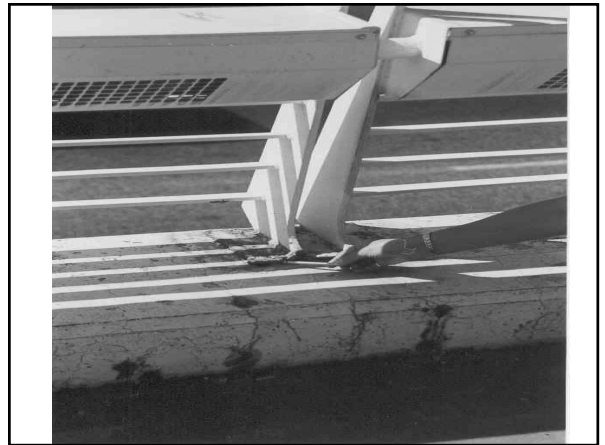
Desgraciadamente la historia ha demostrado que esa expectativa no es verdadera

El deterioro precoz de la armadura se presenta frecuentemente debido a la elevada inestabilidad del acero frente a ambientes agresivos

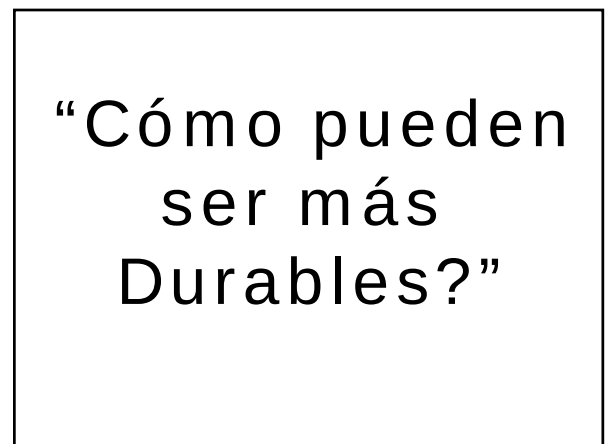
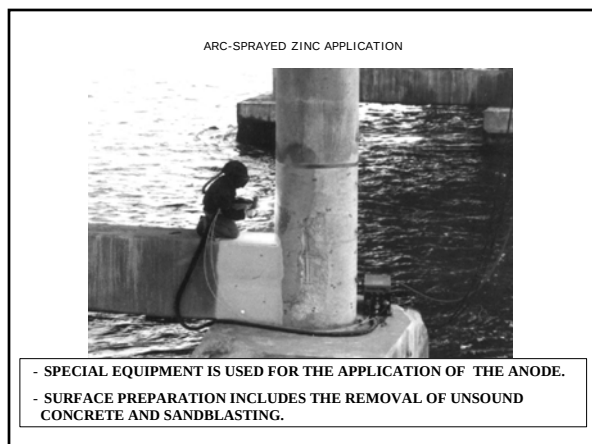
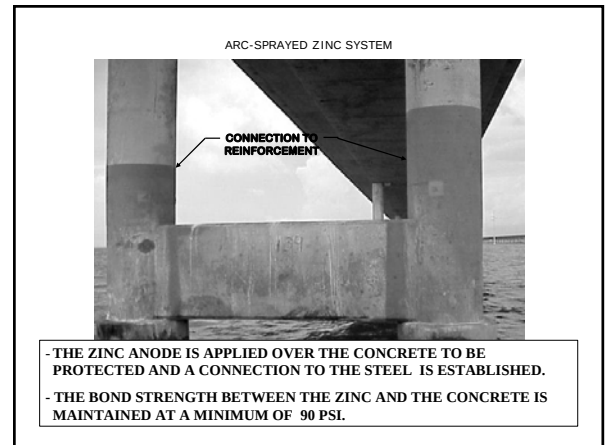
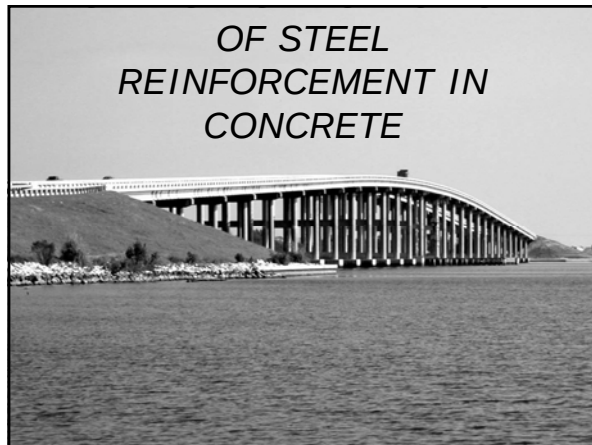
IMPORTANCIA

En países desarrollados las estimativas demuestran que de 20 a 40% de todos los recursos invertidos anualmente en la industria de la construcción son aplicados en reparaciones y mantenimiento de estructuras ya existentes.

"Patrimônio Construído"







Durabilidad de las Estructuras de Concreto

1. Envejecimiento
2. Vida Útil
3. Clasificar Medio Ambiente
4. Clasificar el Concreto
5. Modelos de Previsión
6. Cr terios de Diseño
7. Proporcionamiento de Materiales
8. Procedimientos de Execuci n
9. Mantenimento Preventivo



VIDA ÚTIL

Período de tempo durante o qual a estrutura mantém certas características mínimas de segurança, est tica, estabilidade e funcionalidade, sem necessidade de intervenção n o prevista

ACI 318 ACI365.1R

service life ACI 365.1R Chapter 1

Service life is the period of time after concrete placement during which all the properties exceed the minimum acceptable values when routinely maintained.

Three types of service life have been defined;

1. Technical service life is the time in service until a defined unacceptable state is reached, such as spalling of concrete;
2. Functional service life is the time in service until the structure needs change in functional requirements;
3. Economic service life is the time in service until replacement of the structure (or part of it) is economically more advantageous than keeping it in service.

BS 7543, 1992 Guide to

Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components

Vida �til	Tipo de estrutura
< 10 anos	tempor�rias
> 10 anos	substit�ives
>30 anos	ed.industriais e reformas
> 60 anos	ref. p�blicas e ed. novos
>120 anos	obras p�blicas e edif�cios

± ENVEJECIMIENTO

- Carbonatación
- Cloruros
- Humus
- Hongos
- Lixiviación
- Retracción
- Sulfatos
- Alkali-árido

- << pH
- Corrosión
- Fisuración
- Destacamento



DETERIORO y ENVEJECIMIENTO de las ESTRUCTURAS de CONCRETO

- del CONCRETO
- de la ARMADURA

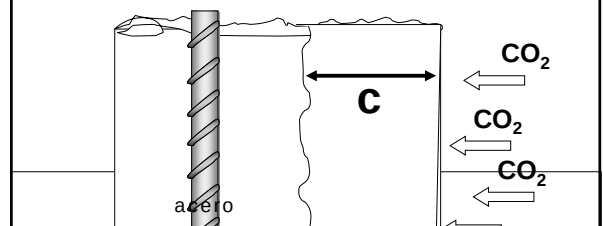
Modelo de Previsión

$$c = k \bullet \sqrt{t}$$

- c → profundidad de penetración
- k → coeficiente de penetración
- t → tiempo transcurrido

Carbonatación

$$c = k \bullet \sqrt{t} \quad (\text{cm})$$



Carbonatación

$$t = \frac{c^2}{k_{CO_2}^2} \quad (\text{anos})$$

- $c_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$ $t = \frac{c^2}{k_{CO_2}^2}$
- $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

Carbonatación

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$e = 1,0 \text{ cm} \rightarrow t = 10 \text{ años}$$

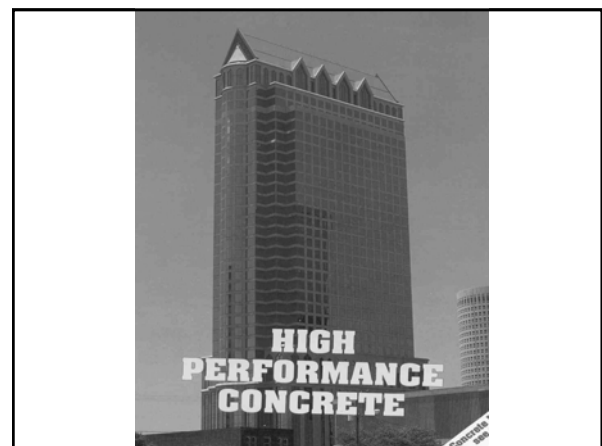
$$e = 2,5 \text{ cm} \rightarrow t = 60 \text{ años}$$

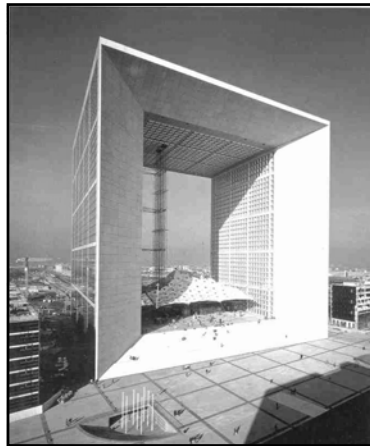
$$e = 4,0 \text{ cm} \rightarrow t = 160 \text{ años}$$

Carbonatación

para $\rightarrow c = 2,5 \text{ cm}$

- $f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 12 \text{ años}$
- $f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ años}$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 65 \text{ años}$





Grand Arch
La Defense
Paris
França 1990
 $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$
“high-tech style”



La Cruz del Tercer Milenio
Torre en Coquimbo, Chile
1995

Mejoria arquitetônica

Hormigón visto, grandes vanos

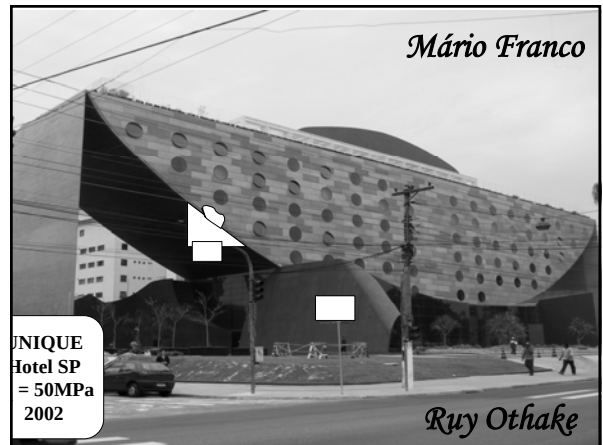
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

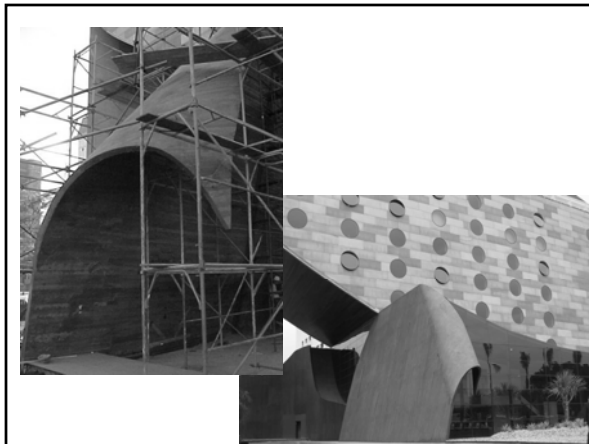
Superior Tribunal de Justicia

Mário Franco

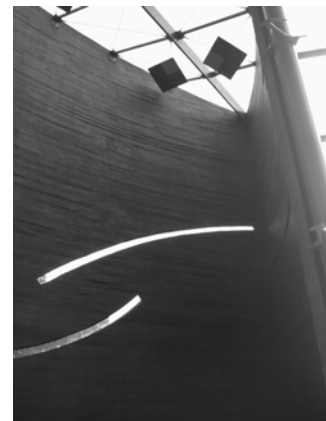


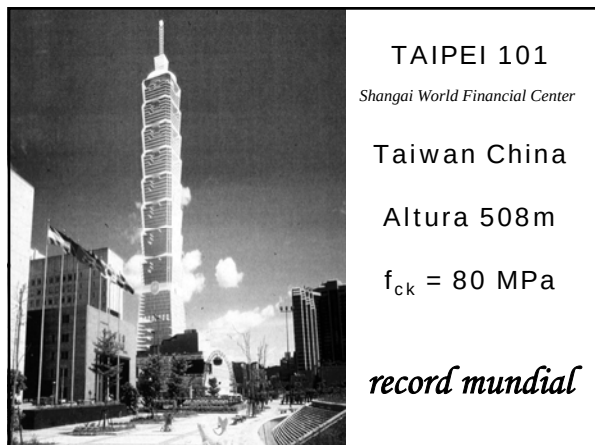
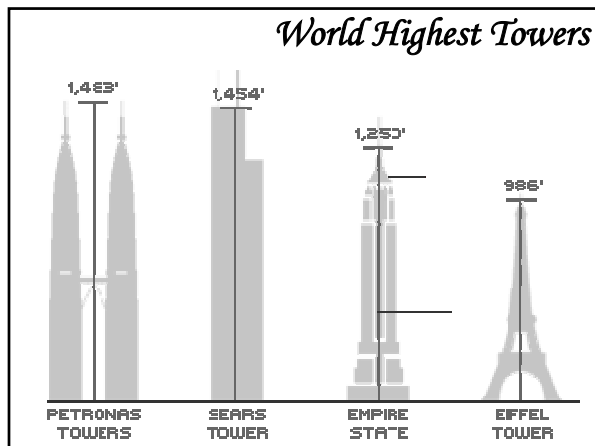
UNIQUE
Hotel SP
= 50MPa
2002

Ruy Othake



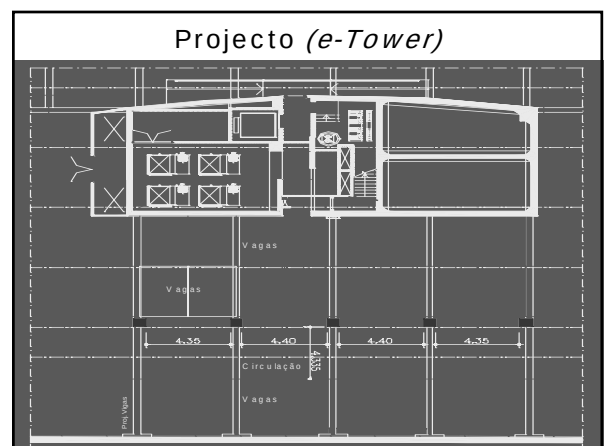
Considerado
por la prensa
francesa
una de
las 7
maravillas
de 2003

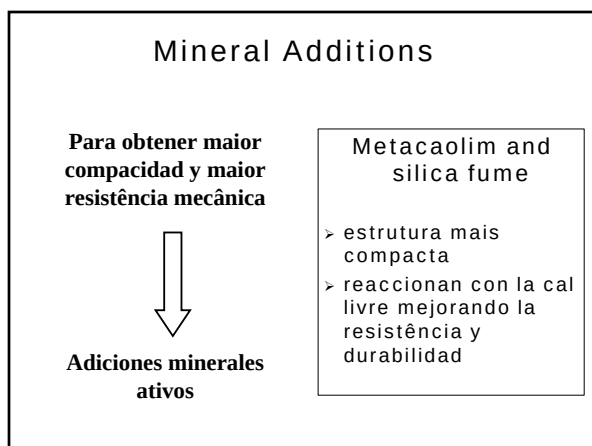
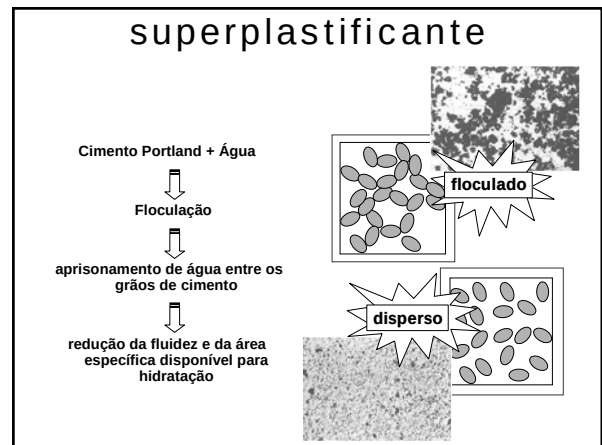
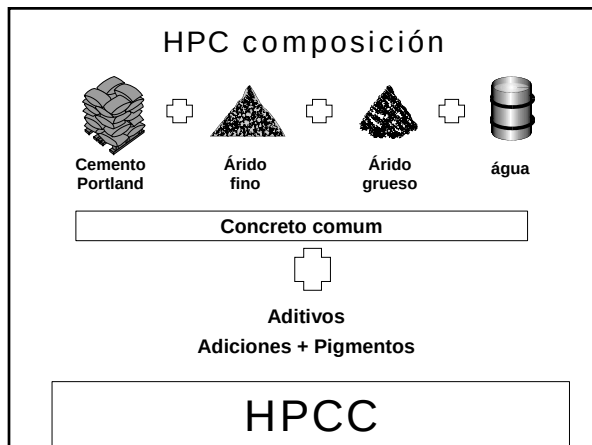
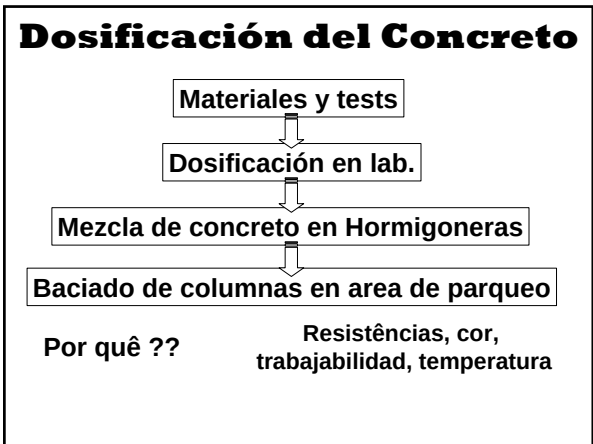
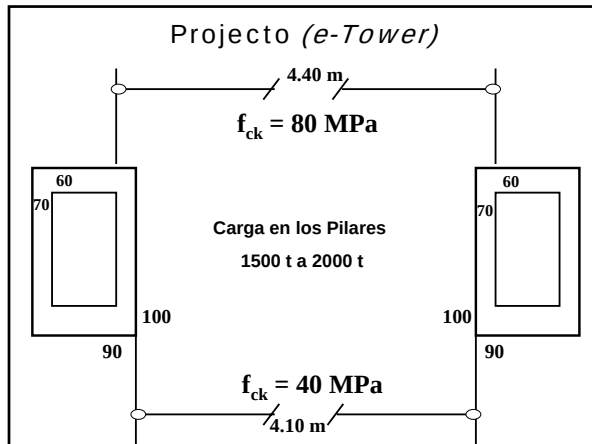




- ♦ Edifício e-Tower SP
- ♦ 42 pisos
- ♦ Helipuerto
- ♦ Piscina semi-olímpica
- ♦ Academia de ginásia
- ♦ 2 restaurantes
- ♦ hormigón coloreado
- ♦ f_{ck} pilares = 80 MPa







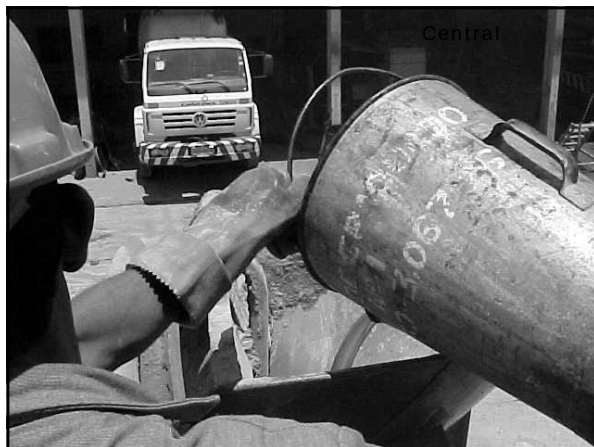
PIGMENTOS ROJOS

- ✓ Óxido de hierro Fe_2O_3 > 98%
- ✓ grado 8 de solidez a luz solar
- ✓ 0,5% de sales solubles
- ✓ 99,95% diámetro de partícula < 0,045mm (#325) 0,05% de retención
- ✓ Densidad 4.500 kg/m³
- ✓ Formato Partícula: Esférica
- ✓ EN 12878 y ASTM C 979



Baciando las
columnas
experimentales
en el área de
periferia

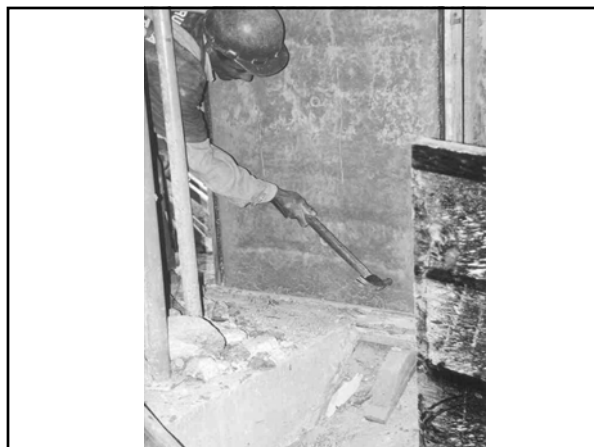
Materiales



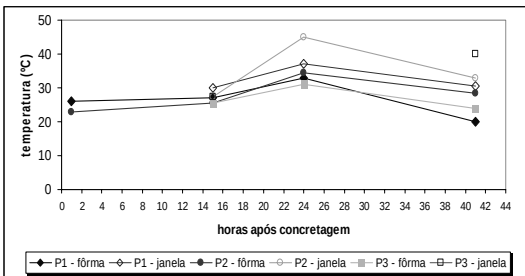


Tempo e temperatura

Controle de tempo	
Horário de início da mistura	12:55
Horário da saída da central	13:35
Horário chegada obra	14:30
Horário término da concretagem	16:00
Temperatura concreto na chegada na obra	
37,5 °C	

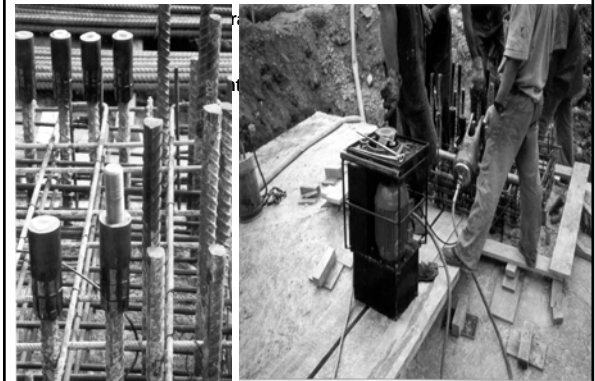


Temperatura

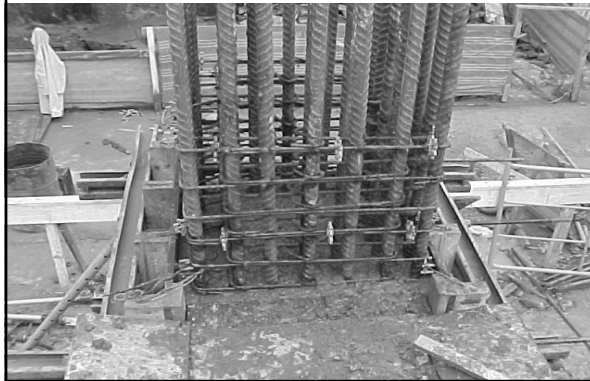


P1 = 133 P2 = 134 P3 = 135

ARMADURA



Construtibilidade



produtividade

- ✓ 5.5 m baciado
- ✓ zero coqueiras
- ✓ rapidez
- ✓ acabado



Columnas en concreto de alto desempeño

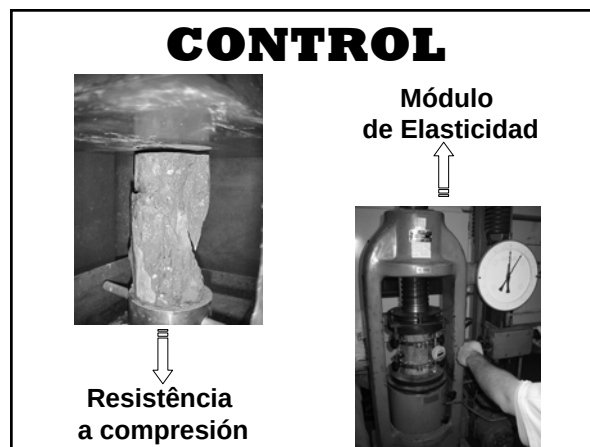


Dosificación

materiales	contenido	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m ³	460 cem. + 163 escória
adição	0,15	93 kg/m ³	silica & metacaulim
árido grueso	1,65	1.027 kg/m ³	basalto, 19mm, MF 6,9, 3.020 kg/m ³
árido fino	0,88	550 kg/m ³	quartz, 2,4mm, MF 2,0, 2.670 kg/m ³
pigmento	0,04	25 kg/m ³	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m ³	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m ³	acido hidrocarboxálico
água	0,19	135 kg/m ³	W / C _m = 0,19

Two Union Square Seattle 1998

f'_{ca}	119 MPa
Cement	513 kg/m ³
Microsilica	41 kg/m ³
Coarse aggregate	1,195 kg/m ³
Fine aggregate	682 kg/m ³
Superplasticizer	16 kg/m ³
Retarder	nihil
Water	130 kg/m ³
W / C	0.25
W / C _m	0.23



Resistencia a Compresión

Lote	Local	f_{ck} (MPa)	exemplar	Média	Desvio padrão	Coef. variação	fck est
1	4º SS	80	4	142,6	7,0	5%	133
2	3º SS	80	4	127,0	5,0	4%	122
3	2º SS	80	4	124,6	7,5	6%	119
4	1º SS	80	4	126,6	5,5	5%	120
5	Térreo	80	8	128,4	7,5	6%	123
6	1º pavimento	80	7	127,4	7,9	6%	110
7	2º pavimento	80	4	125,4	7,1	6%	118
Desvio patrón y coef. de variación media ponderado					7,0	5,5	112

Claim ID: 22678
Membership Number: 22322

Thursday, May 16, 2002

Thank you for sending us the details of your recent record proposal for 'Best concrete resistance in a building'. After having examined the information you sent, and given full consideration to your proposal, I am afraid we do think that this item is a little too specialised for a body of reference as general as ours. We receive many thousands of record claims every year and we think you will appreciate that we are bound to favour those which reflect the greatest interest.

Yours sincerely,

Scott Christie
Records Research Services
Guinness World Records

Dear Paulo,

I have appreciated to read your letter and description of your very high concrete strength achieved in the very beautiful high rise.

At this stage fib is not really focused on selecting and documenting "World Records" in concrete, concrete structures, height of buildings or free spans of bridges.

However, we have full confidence and trust in the documentation prepared and presented by you.

Therefore, I really would recommend you to write a well documented technical paper for the fib Magazine "Structural Concrete" that could be one very relevant place to publish this fascinating story.

Steen Rostam
fib (CEB-FIP)

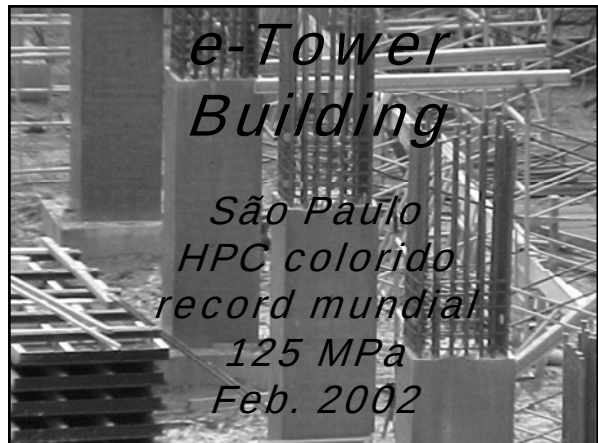
Paulo:

I have received your letter regarding the high-strength concrete record.

You have certainly gotten into HSC in a very big way!

We can discuss later which can be the best way....

Terry
ACI President



Propiedades mecánicas

$$f_{ck} = 115 \text{ MPa} \quad f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f'_{c} = 17,000 \text{ psi} \quad f'_{c} = 3,600 \text{ psi}$$

f_c	7 days	111	18
f_c	28 days	125	32
f_c	63 days	135	37
f_c	91 days	140	39
E_{ci}	28 days	50	30
f_{ct}	28 days	10	3,1
Ultrassom m/s		4950	3250
esclerometria		52	23

IPT
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

1/1

Cliente: Construtora Tecnum
Obra: Edifício ETower – São Paulo - SP
A/C Prof. Dr. Paulo Helene

Determinação da resistência à compressão – NBR-5739/94

RESULTADOS

C. P. nº	Data da concretagem	Resistência à compressão (MPa)
33	24/05/2.002	149,9
35		151,8

Data do ensaio : 18/10/05.

São Paulo, 18 de outubro de 2.005

3a 4m 18d

1233 dias

Divisão de Engenharia Civil
Agrupamento de Materiais
de Construção Civil
Laboratório de Concreto

DOCUMENTO EMITIDO ELETRONICAMENTE, DISPENSA ASSINATURA

Técnicos em Edificações Pedro Carlos Biondy
Encarregado do Laboratório de Concreto
RLE nº 4376/0

Durabilidad

$$\sigma_{f_{ck}} = 115 \text{ MPa} \quad \sigma_{f_{ck}} = 25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{f'_c} = 17,000 \text{ psi} \quad \sigma_{f'_c} = 3,600 \text{ psi}$$

Carbonatación

28+63d 25°C 65% 5%

	zero	29mm
Absorción H ₂ O	0,40%	7,5%
Volume de vazios	1%	17,5%
Densidad	2530 kg/m ³	2310 kg/m ³
absorción capilar	0,1 g/cm ²	2,7 g/cm ²
Ascensión capilar	0 cm	30 cm
Cloruros	43 C	8.400 C

*Vida Útil
de 980 años!*

Sustanaible Development

"Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with 500 years service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them"

Kumar Mehta

Reducing the Environmental Impact of Concrete
Concrete International. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

1904 → 2004

- ✓ Proyecto
- ✓ Cemento
- ✓ Aridos
- ✓ Adiciones minerales
- ✓ Aditivos
- ✓ Fibras
- ✓ Equipamientos
- ✓ Métodos constructivos

*Los Arquitectos y los Ingenieros
construyen los marcos de
pujanza, de grandeza, de
desarrollo y de poder
de las civilizaciones.*

*Traduzen su historia,
sus sueños e ideales en
majestuosas y durables obras
que elevan la autoestima
de su gente.*



*HPC es una de las grandes
oportunidades actuales de
rescatar esa importancia y
vocación de la
arquitectura y de la
ingeniería de IberoAmerica*

2 8 2002

