

XII CONFERENCIA CIENTÍFICO-TÉCNICA DE  
LA CONSTRUCCIÓN  
2 al 4 de abril del 2018, La Habana, Cuba

# La Misteriosa Resistencia a Compresión del Concreto



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**Paulo Helene**

*Director PhD Engenharia*

*Prof. Titular Universidad de São Paulo*

*Director y Consejero Permanente IBRACON*

*Gestor de ALCONPAT Internacional*

*Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures*

Palacio de Convenciones

02 de abril de 2018

MICONS La Habana

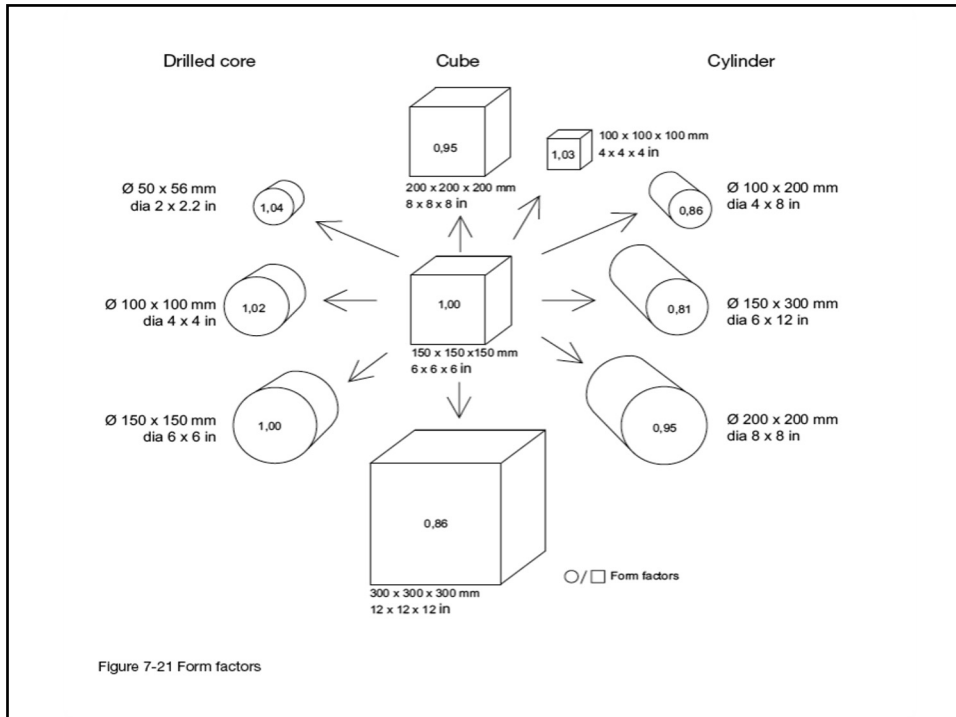
1

**¿qual es el referencial de  
resistencia del concreto a  
compresión,  $f_{ck}$ , en Cuba,  
Paraguay, México,  
Argentina, Portugal... y  
Brasil ?**

2



3



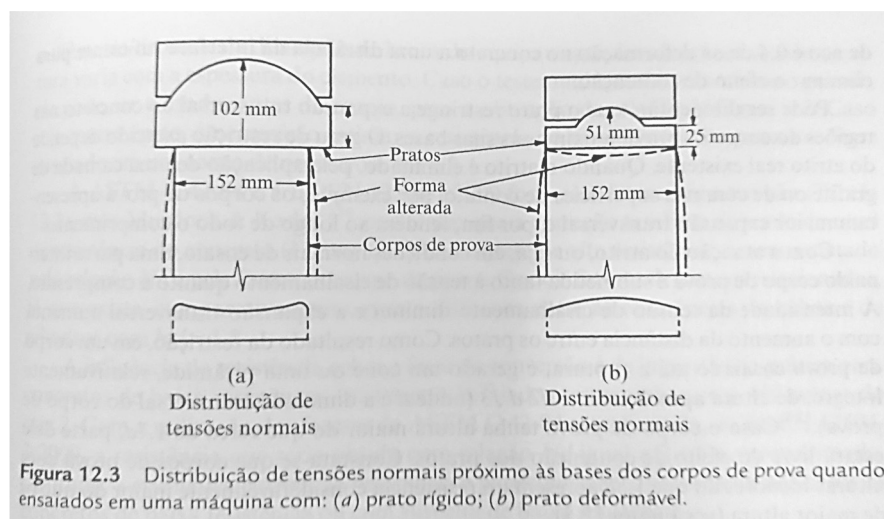
4

## resultados obtidos en el ensayo de resistencia a compresión em probetas:

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| retificado                  | 100%   |
| capeamento c/<br>azufre     | ≈ 100% |
| capeamento c/<br>cimento    | ≈ 100% |
| neoprene (sin<br>aderencia) | ≈ 95%  |
| sepijo de acero*            | ≈ 80%  |

\*Fuente: Neville, A. M. Propriedades do concreto. Porto Alegre: Bookman, 5ª ed. 2016. 888p.

5



Fonte: Neville, A. M. Propriedades do concreto. Porto Alegre: Bookman, 5ª ed. 2016. 888p.

6

**La resistencia a compresión del concreto es una convención internacional que elige un método de ensayo muy estricto para medir su máxima resistencia potencial y se refiere a la resistencia de un volumen de concreto mezclado de una sola vez (mixer)**

7

**¿qual es la resistencia efectiva del concreto en las estructuras,**

**$f_{ck,ef}?$**

8





9



10



## Normas Brasil

- ABNT NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;  
**ABNT NBR 6120:2000** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;  
**ABNT NR 6122:2010** – Projeto e execução de fundações;  
**ABNT NBR 6123:2013** – Forças devidas ao vento em edificações;  
**ABNT NBR 7188:2013** – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;  
**ABNT NBR 8681:2004** – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;  
**ABNT NBR 9062:2017**– Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;  
**ABNT NBR 15200:2012** – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;  
**ABNT NBR 15421:2006** – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento;  
**ABNT NBR 15575:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho;

11

## Normas USA y Europa

**ACI-318-14** – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary;

**EN 1991 EUROCODE 1 – Actions on structures:**

- Part 1-1: General actions – Densities, self-weight and imposed loads;*  
*Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire;*  
*Part 1-3: General actions – Snow loads;*  
*Part 1-4: General actions – Wind actions;*  
*Part 1-5: General actions – Thermal actions;*  
*Part 1-6: General actions – Actions during execution;*  
*Part 1-7: General actions – Accidental actions;*



**EN 1992 EUROCODE 2 – Design of concrete structures:**

- Part 1-1: General – Common rules for building and civil engineering structures;*  
*Part 1-2: General – Structural fire design;*  
*Part 2: Bridges;*  
*Part 3: Liquid retaining and containment structures;*



**fib** Model Code for Concrete Structures 2010;



**ISO 22111:2007** – Basis for Design of Structures. General Requirements



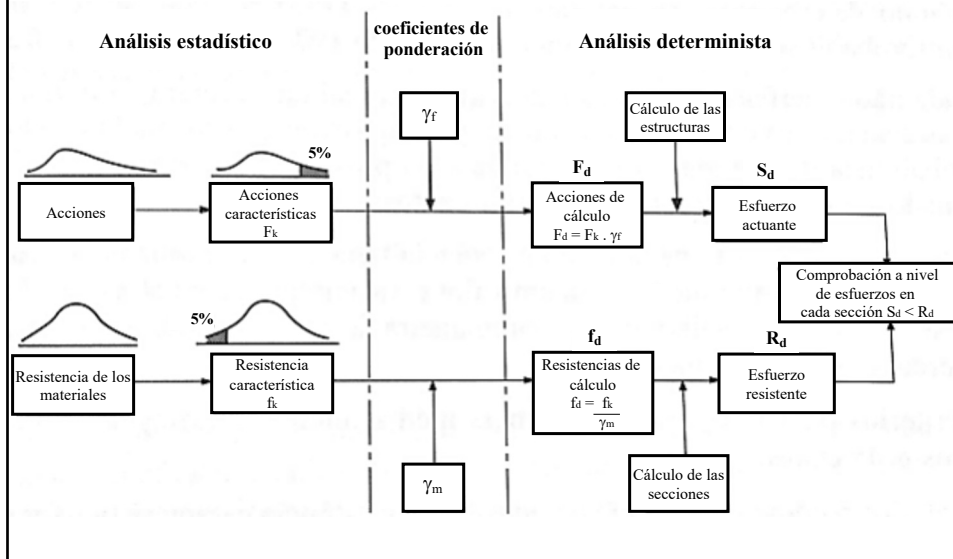
12

## ¿como es la introducción de la seguridad (resistencia e estabilidad) en el diseño estructural?



13

### partial factor format – *fib* Model Code 2010 metodo semi probabilista



14

## **acciones y seguridad em las estructuras**

### **Brasil, USA, Europa**

**Acciones mayoradas (incrementadas):**

$$F_d = F_k * \gamma_f$$

**Resistencias minoradas (reducidas):**

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

15

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 0,66 * f_{ck}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd} = 0,85 * 0,66 * f_{ck} = 0,57 * f_{ck}$$

$$\sigma_{cd} = f_{ck,ef} = 0,57 * f_{ck}$$

16

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 0,66 * f_{ck}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd} = 0,85 * 0,66 * f_{ck} = 0,57 * f_{ck}$$

$$\sigma_{cd} = f_{ck,ef} = 0,57 * f_{ck}$$

$$f_{ck} = 1,75 * f_{ck,ef}$$

17

$$f_{ck} = 200 \text{ kgf/cm}^2 = 20 \text{ MPa} \rightarrow$$

$$f_{ck,ef} = 114 \text{ kgf/cm}^2 = 11,4 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2 = 40 \text{ MPa} \rightarrow$$

$$f_{ck,ef} = 228 \text{ kgf/cm}^2 = 22,8 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 800 \text{ kgf/cm}^2 = 80 \text{ MPa} \rightarrow$$

$$f_{ck,ef} = 456 \text{ kgf/cm}^2 = 45,6 \text{ MPa}$$

18

## significado de $\gamma_c = 1,5$

$$\gamma_c = \gamma_m * \gamma_{Rd1} * \gamma_{Rd2}$$

$\gamma_m$  → considera la variabilidad de la resistencia efectiva del concreto en la estructura ( $\gamma_m = 1,23$  a  $1,39$ )

$\gamma_{Rd1}$  → considera las incertezas del modelo de cálculo empleado ( $\gamma_{Rd1} = 1,05$ )

$\gamma_{Rd2}$  → considera la diferencia de geometría entre probeta y forma del elemento estructural ( $\gamma_{Rd2} = 1,05$ )

19

$$\gamma_c = \gamma_m * \gamma_{Rd1} * \gamma_{Rd2} = 1,36 * 1,05 * 1,05$$

$$\sigma_{cd} = f_{ck,ef} = 0,57 * f_{ck}$$

$$f_{ck} = 1,75 * f_{ck,ef}$$

$$f_{ck,ef} = 0,63 * f_{ck}$$

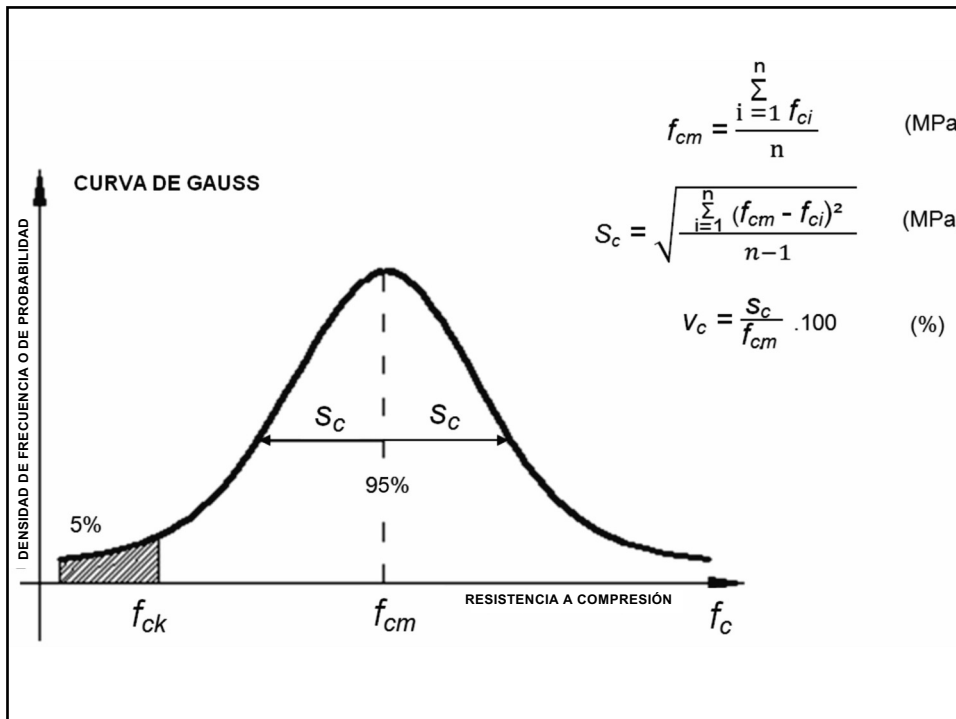
$$f_{ck} = 1,60 * f_{ck,ef}$$

20

# ¿que es resistencia característica del concreto a compresión $f_{ck}$ ?



21



22

## Premisas

como **crece** la resistencia  
con la edad a partir de  
28dias ?

23

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right)}$$

*fib Model  
Code 2010  
Item 5.1.9*

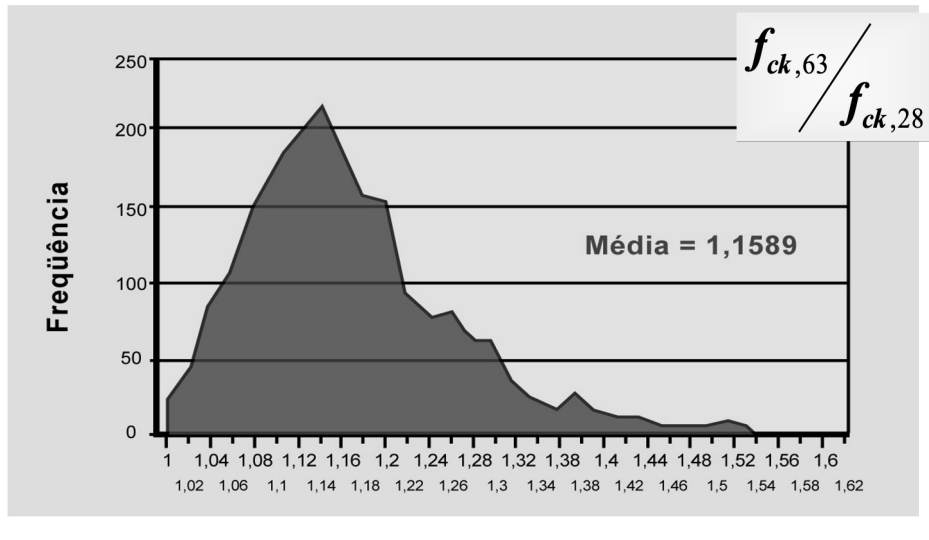
|             |            |               |
|-------------|------------|---------------|
| CPV ARI     | $s = 0,20$ | 1,21 → 50anos |
| CP I / II   | $s = 0,25$ | 1,28 → 50anos |
| CP III / IV | $s = 0,38$ | 1,45 → 50anos |
| NBR 6118    | $s = 0,16$ | 1,16 → 50anos |

24



## Análisis *(histórica, década 90)*

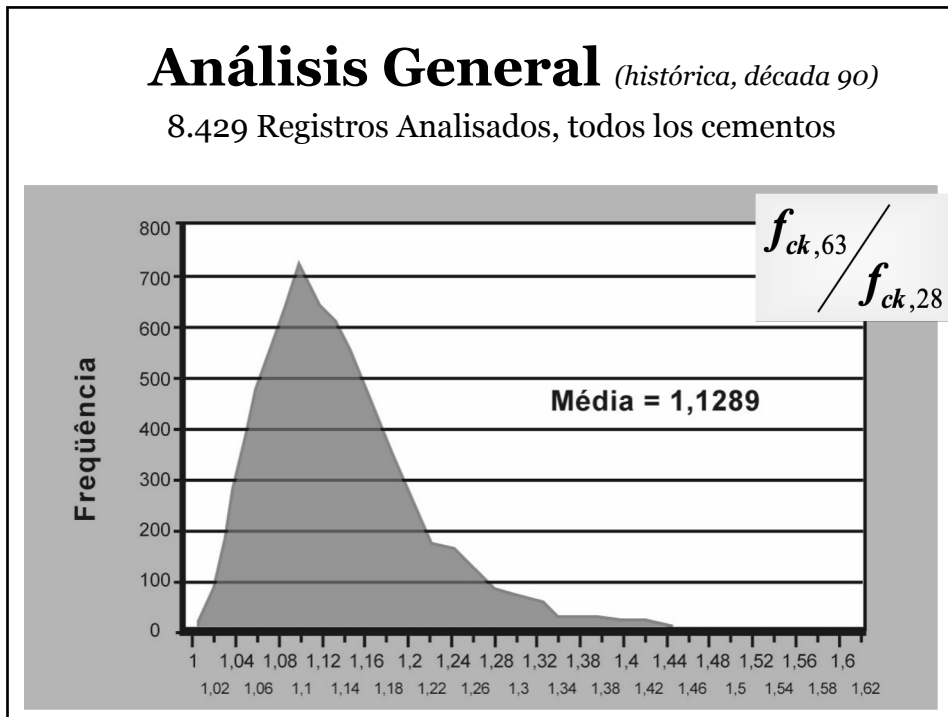
2.046 Registros Analisados, CP III



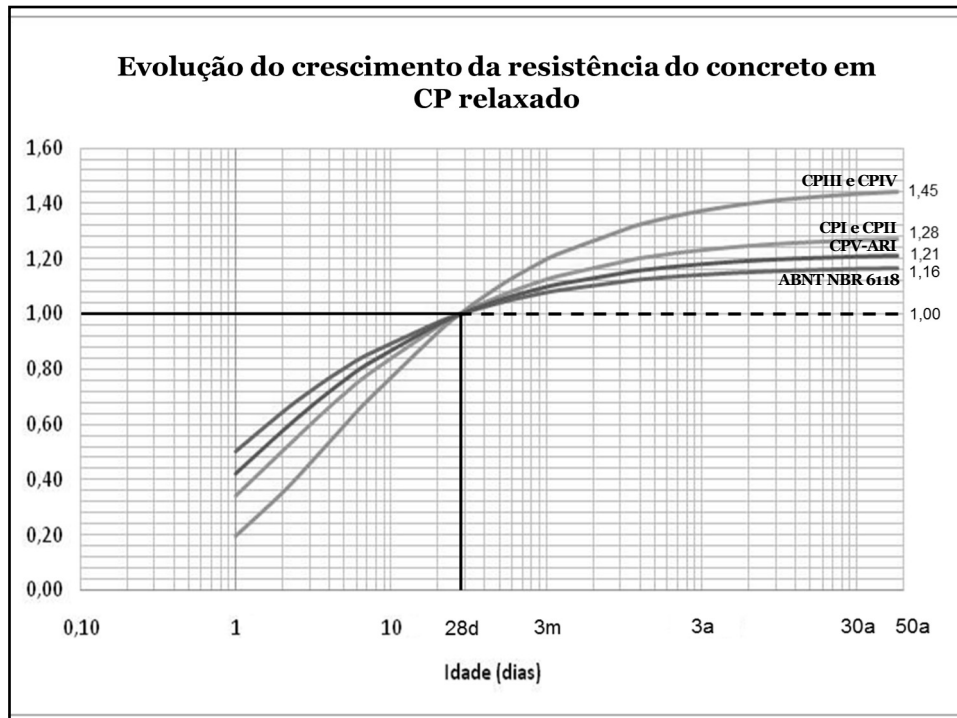
25

## Análisis General *(histórica, década 90)*

8.429 Registros Analisados, todos los cementos



26



27

**Premisas**

**como decrece la  
resistencia con la  
edad a partir de  
28dias ?**

28

## Resistencia sob Carga de Larga Duración (efeito Rüsck)

fib Model  
Code 2010  
Item 5.1.9.2

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,t_0}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - t_0)\}}$$

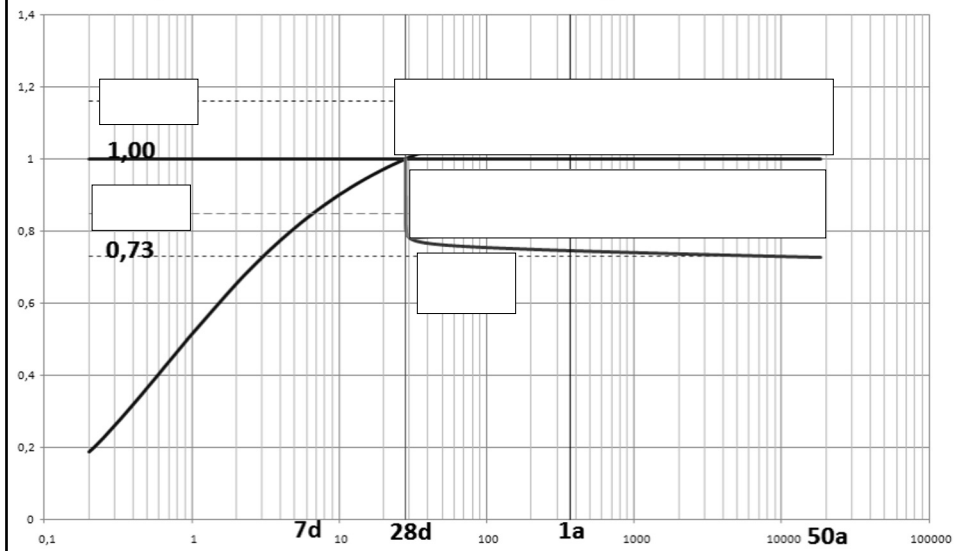
→ **j** en días

→ **t<sub>0</sub>** → edad de aplicación de las cargas

→ **j - t<sub>0</sub>** > 15 minutos

29

## reducción de la resistencia



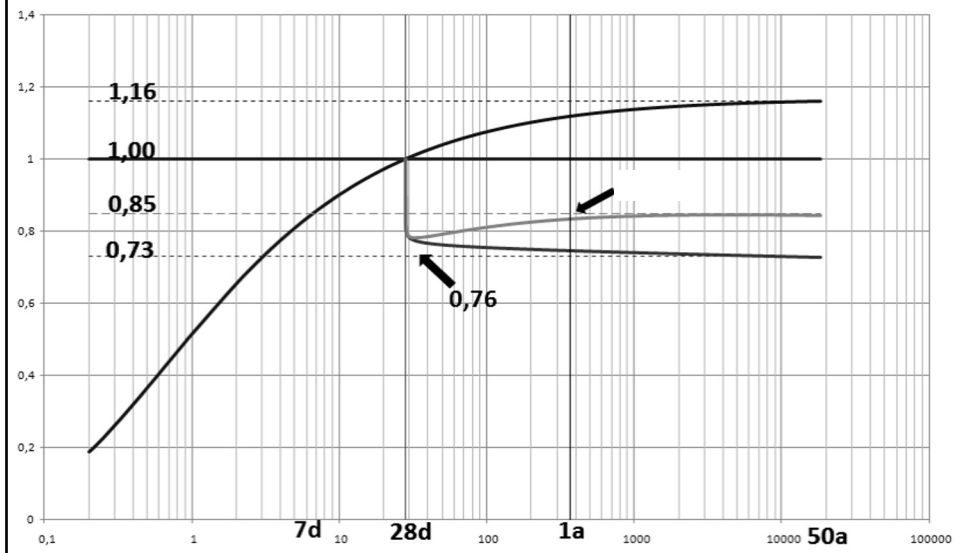
30

## Premisas

combinando crecimiento  
con disminución a partir  
de 28días ?

31

## resistencia del concreto “cargado” a 28días



32

## **¿como examinar la resistencia en estructuras existentes?**



33

*ABNT NBR 7680:2015*  
*ACI 318 chapter 20*  
*EN 13791:2007*

34

**extracción testigos**  $f_{ck,ext,j}$

**diseño estructural**  $f_{ck}$

**control a pie de obra**  $f_{ck,est}$

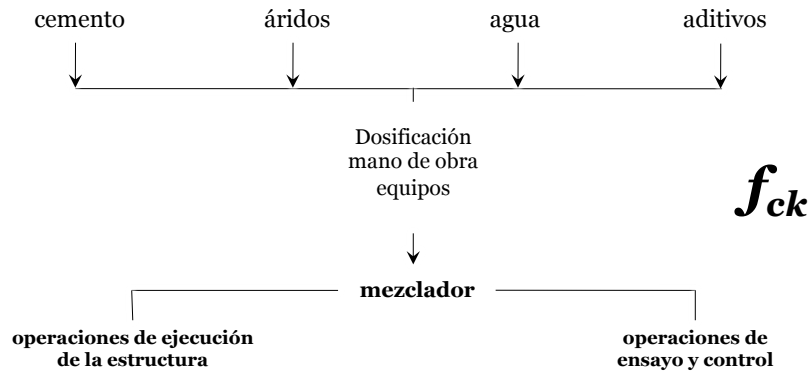
**referencial**  
 $f_{ck}$

35



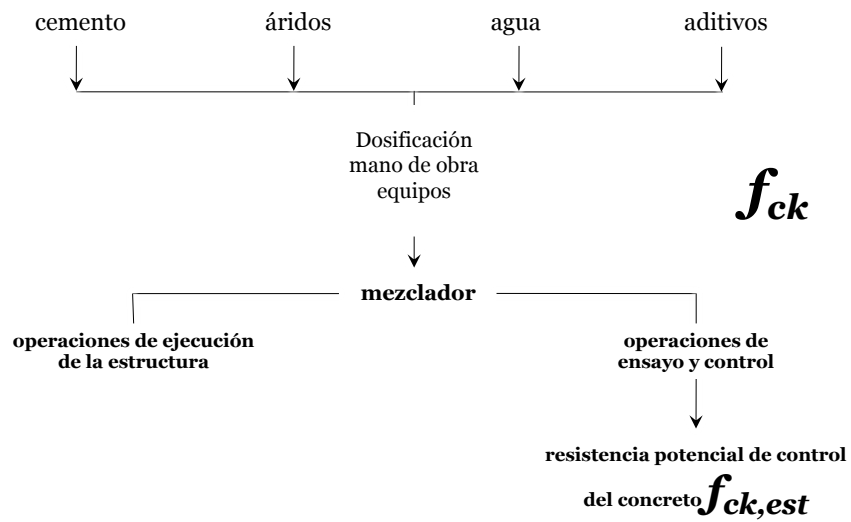
36

## Resistencia del concreto



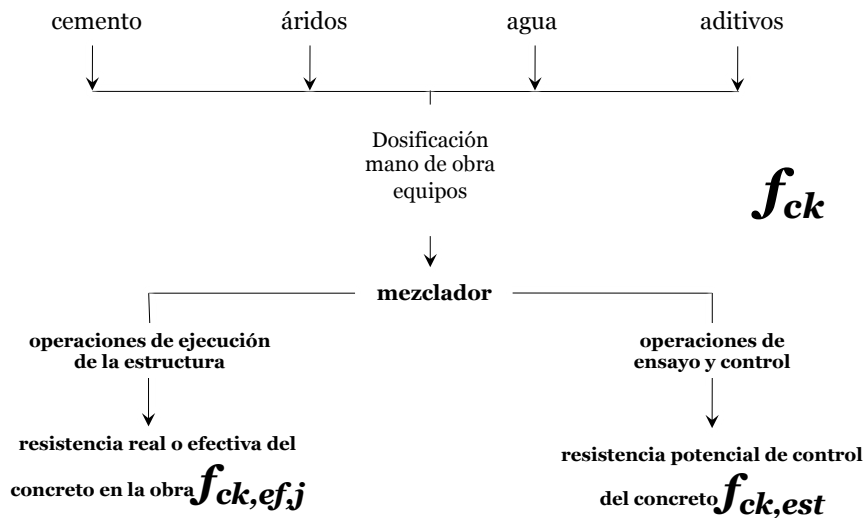
37

## Resistencia del concreto



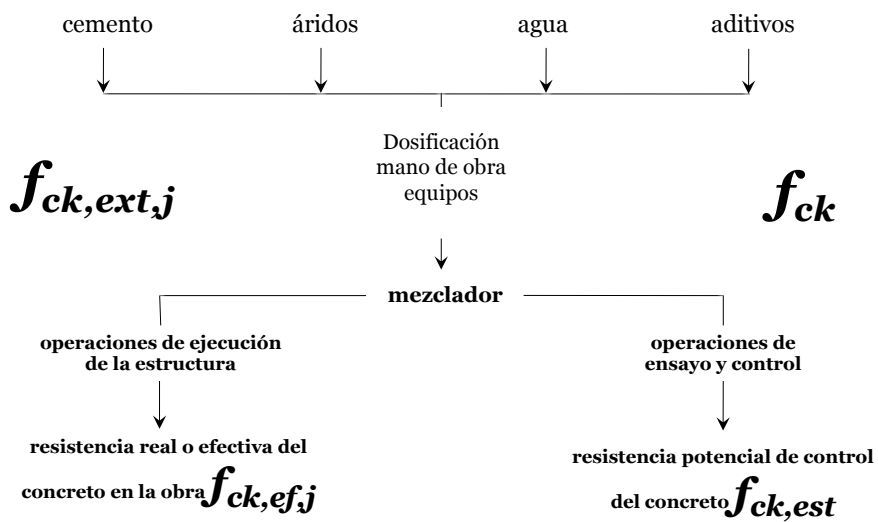
38

## Resistencia del concreto



39

## Resistencia del concreto



40

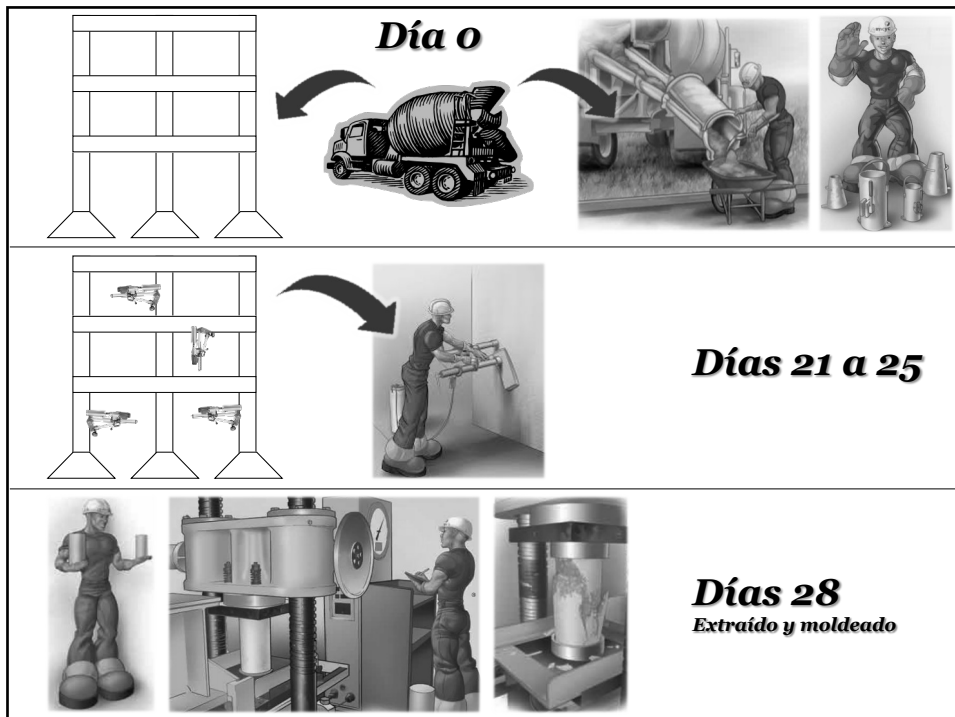


# Tesis de doctorado

CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.

Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS

41



42

## Conclusiones

columnas:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

losas & (vigas)

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

43

## Preliminares

**Conceptos:**

**→ ¿cuál es el objetivo de una investigación con extracción de testigos?**

44

# Preliminares

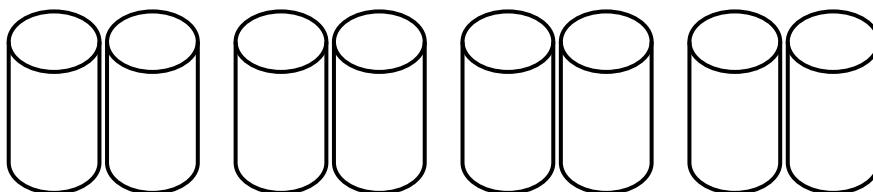
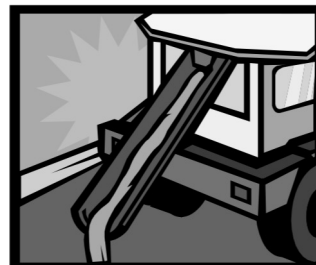
**encontrar un  $f_{ck}$  que viabilice revisar la seguridad, es decir, verificar la seguridad conforme a las convenciones universales del diseño estructural de ECAs**

45

**¿como obtener la más grande resistencia a la compresión a los 28 días?**

**Concreto de una misma betonada:**

***Moldeo de probetas cilíndricas hermanas, por grupo de investigadores***



**Grupo A**

**Grupo B**

**Grupo C**

**Grupo D**

46

**¿cuántas resistencias tiene el  
concreto de un mixer**

$$f_{ck} = 45 \text{ MPa?}$$

$$f_{c1} \quad f_{c2} \quad f_{c3} \quad f_{c4} \quad f_{c5}$$

***UNA !!***

47

**¿cuál es la resistencia del  
concreto de un mixer  
para un  $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ ?**

$$f_{c1} \quad f_{c2} \quad f_{c3} \quad f_{c4} \quad f_{c5}$$

***promedio***

48

¿cuál es la resistencia del concreto de un mixer?  
para un  $f_{ck} = 45$  MPa?

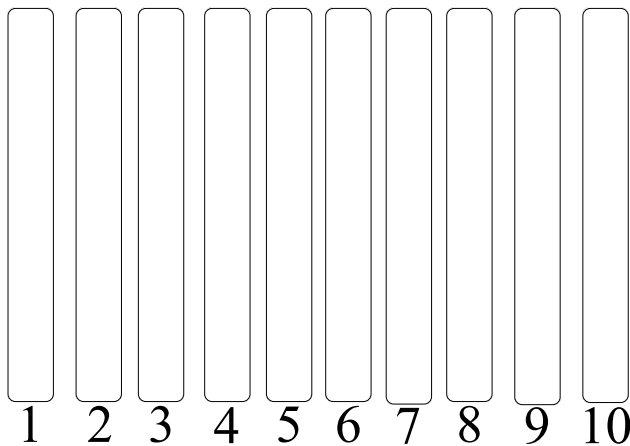
$f_{c1}$   $f_{c2}$   $f_{c3}$   $f_{c4}$   $f_{c5}$

$f_{ck,est} = 48,7$ MPa

$f_{ck} = 45$ MPa

49

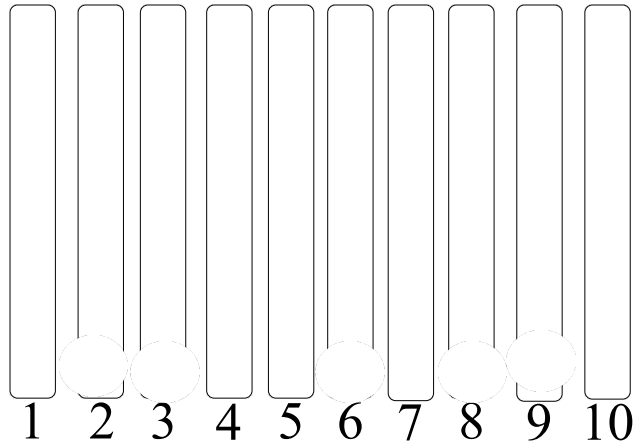
con ese concreto se construyeron 10 columnas.  
¿cuál es la resistencia del concreto en esas columnas para la verificación de la seguridad?



$f_{ck}$   
**45MPa**

50

**“fallas de hormigonado”**  
**¿cuál es la resistencia del concreto en esas columnas para la verificación de la seguridad?**



51



52



53

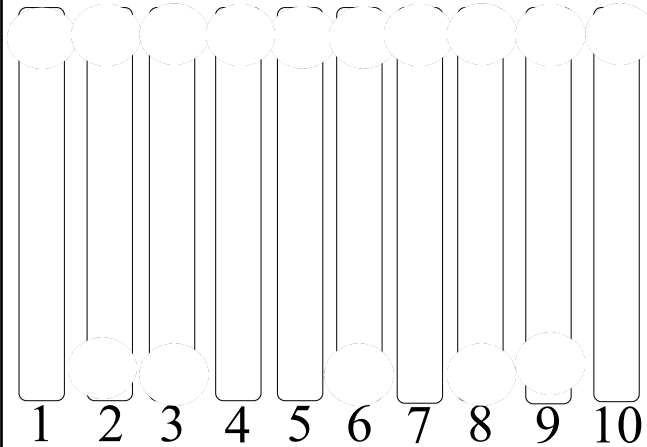
“fallas de hormigonado”  
¿cuál es la resistencia del concreto en esas  
columnas para la verificación de la seguridad?

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

$f_{ck}$   
**45MPa**

54

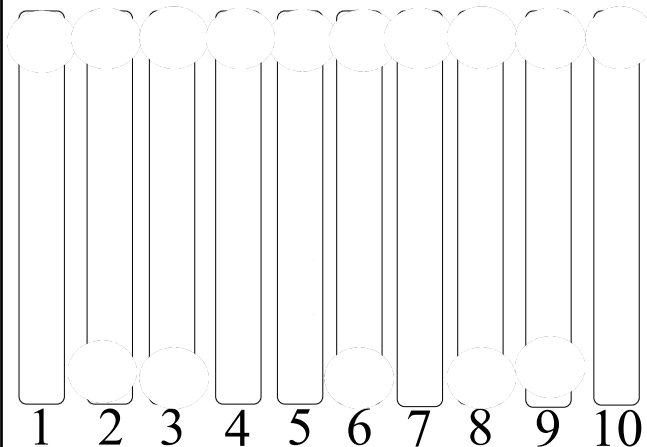
¿cuál es la resistencia del concreto en esas columnas que están más cerca de la resistencia de control (moldeado)  $f_{ck,est}$ ?



$f_{ck}$   
**45MPa**

55

¿cuál es la resistencia del concreto en esas columnas que están más cerca de la resistencia de control (moldeado)  $f_{ck,est}$ ?



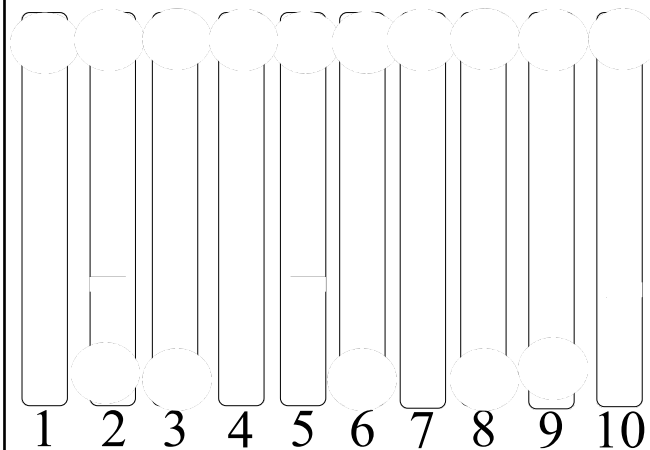
**tercio inferior**

56



¿cuál es la resistencia obtenida de una columna?

$$f_{ck,ext}?$$



**tercio inferior**

$$f_{ck,ext,1}$$

$$f_{ck,ext,2}$$

$$f_{ck,ext,3}$$

57

**¿como corregir ?**

$$f_{ck,est,j} = K * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistencia a la compresión característica del concreto equivalente a la obtenida de cuerpos de prueba moldeados, a j días de edad;

58

**¿cuales son las diferencias (K)  
entre obra, testigo, ensayo testigo  
versus ensayo probeta?**

- ❖ adensamiento/vibrado
- ❖ temperatura
- ❖ humedad relativa ambiente
- ❖ efecto maquina extracción
- ❖ dirección de vaciado/ensayo
- ❖ humedad del concreto

59

**Adensamiento (vídeo)**



60

## Curado



61

## Efecto Maquina de Extracción de Testigos



62

## **Efecto Maquina de Extracción de Testigos**



63

## **TESIS de DOCTORADO**

**VIEIRA Filho, J. O. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. São Paulo, EPUSP, 2007.**

**José Orlando Vieira Filho. Prof. Titular UNICAP**

64

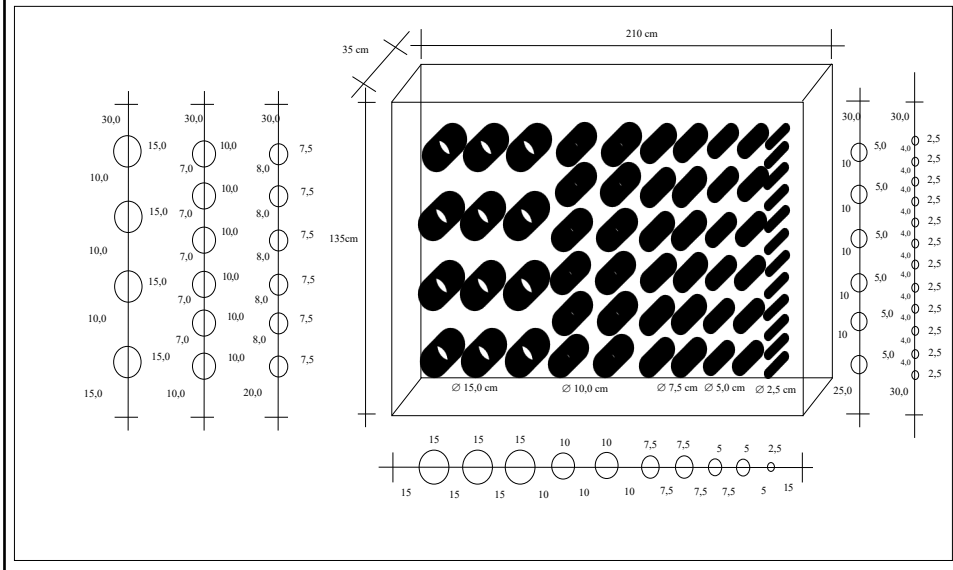


65



66

## BLOCO TIPO (210x135x35)cm



67



68

## Conclusión

Promedio general:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$

69

## ¿como corregir ?

$$f_{ck,est,j} = K * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est,j}$  = resistencia a la compresión característica del concreto equivalente a la obtenida de cuerpos de prueba moldeados, a j días de edad;

70

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural  
Concrete and Commentary. 2015. 520p.**  
Chapter 26. Construction Documents and Inspection.

Item 26.12.4 Investigation of low strength-test results:

(d) Concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if (1) and (2) are satisfied:

$$(1) f_{ck,est} = 1,18 * \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{3}$$

$$(2) f_{ck,est} = 1,33 * f_{c,min}$$

*R26.12.4.1(d) An average core strength of 85 percent of the specified strength is realistic. **It is not realistic, however, to expect the average core strength to be equal to  $f_{ck}$** , because of differences in the size of specimens, conditions of obtaining specimens, degree of consolidation, and curing conditions....*

71

## ¿cómo retroceder a 28 días?

- ❖ es necesario ?
- ❖ comercial versus técnico ?
- ❖ cuando van actuar las cargas de diseño ?

72



**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2015, 520p.**

*Chapter 26. Construction Documents and Inspection.*

**R26.12.4.1(d)** An average core strength of 85 percent

of the specified strength is required for acceptance. The acceptance criteria for core strengths have been established with consideration that cores for investigating low strength-test results will typically be extracted at an age later than specified for  $f'_c$ . For the purpose of satisfying 26.12.4.1(d), this Code does not intend that core strengths be adjusted for the age of the cores.

73

**¿cómo retroceder a 28 días?**

$$f_{ck,est,j} = K * k_5 * k_6 * f_{c,ext,j}$$

**$k_5 \rightarrow$  como crece**

**$k_6 \rightarrow$  como decrece**

74

## ¿cómo retroceder a 28 días?

$$f_{ck,est} = K \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est}$  = resistencia a la compresión característica del concreto equivalente a la obtenida de cuerpos de prueba moldeados, a 28 días de edad;

75

onde  $j$  é a idade do concreto em dias.

## Crecimiento de la Resistencia

$$\beta_{cc,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{\left\{0,16 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right]\right\}}$$

76

## Decrecimo de la Resistencia (efecto Rüsç)

$$\beta_{c,sus,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]}$$

→ **j** en días  
→ **j - 28** > 15 minutos

77

onde *j* é a idade do concreto em dias.

## Regreso a 28 días

$$k_5 = \left\{ e \left[ 0.16 \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28}{j}} \right) \right] \right\}^{-1}$$

$$k_6 = \left\{ 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]} \right\}^{-1}$$

78

# Moraleja

**hay que conocer  
para hacerlo  
bien!**

79



80



81