

# **SOBRE la RESISTENCIA a COMPRESIÓN del CONCRETO**



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

**Paulo Helene**

*PhD Engenharia  
Consejero Permanente IBRACON  
Prof. Catedrático Universidade de São Paulo  
Presidente de Honor ALCONPAT Internacional  
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
Consejero CNTU y SEESP*

CONPAT2017

20 de Septiembre de 2017

Asunción / Paraguay

1

## **Actores**



**proyektista  
estructural**



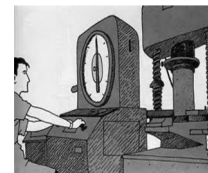
**proveedor  
del material**



**constructor  
(ejecución)**



**tecnologista  
(consultor)**



**laboratorio  
(control)**

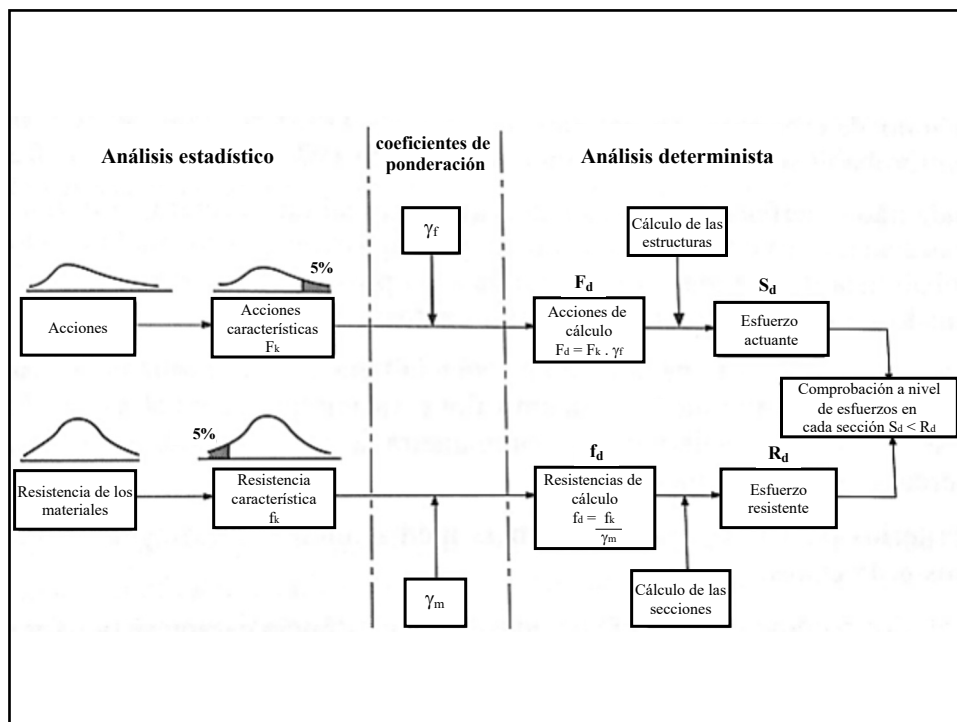
**asignación de tareas  
ABNT NBR 12655:2015**

2

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



3



4

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

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \mathbf{0,71 * f_{ck}}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd} = 0,85 * 0,71 * f_{ck} = 0,61 * f_{ck}$$

$$\sigma_{cd} = f_{ck,ef} = \mathbf{0,61 * f_{ck}}$$

5

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

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \mathbf{0,71 * f_{ck}}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd} = 0,85 * 0,71 * f_{ck} = 0,61 * f_{ck}$$

$$\sigma_{cd} = f_{ck,ef} = \mathbf{0,61 * f_{ck}}$$

$$\mathbf{f_{ck} = 1,64 * f_{ck,ef}}$$

6

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

$$f_{ck,ef} = 122 \text{ kgf/cm}^2 = 12,2 \text{ MPa}$$

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

$$f_{ck,ef} = 244 \text{ kgf/cm}^2 = 24,4 \text{ MPa}$$

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

$$f_{ck,ef} = 488 \text{ kgf/cm}^2 = 48,8 \text{ MPa}$$

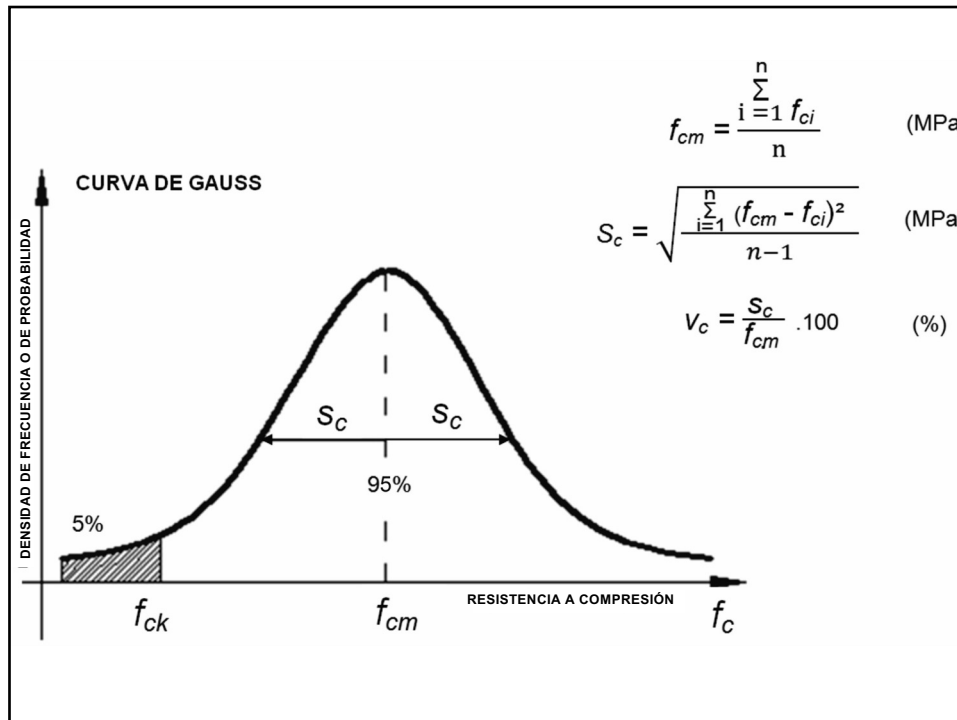
7

## ¿que es Resistencia Característica del Concreto a Compresión $f_{ck}$ ?



8





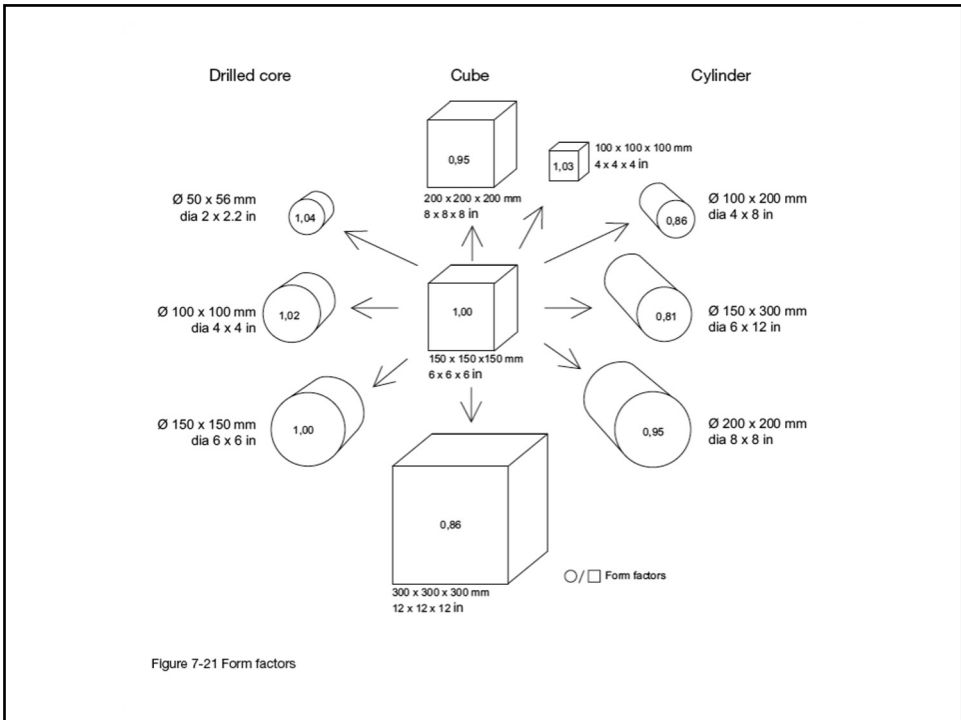
9

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

10



11



12

# ¿como examinar la no conformidad?



13

## **No conformidad**

*ABNT NBR 7680:2015*

*ACI 318 chapter 20*

*EN 13791:2007*

14

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

**Diseño estructural**  $f_{ck}$

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

**referencial**

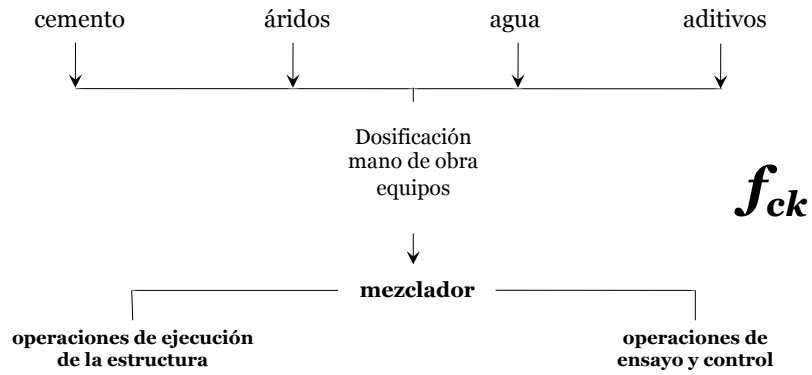
$f_{ck}$

15



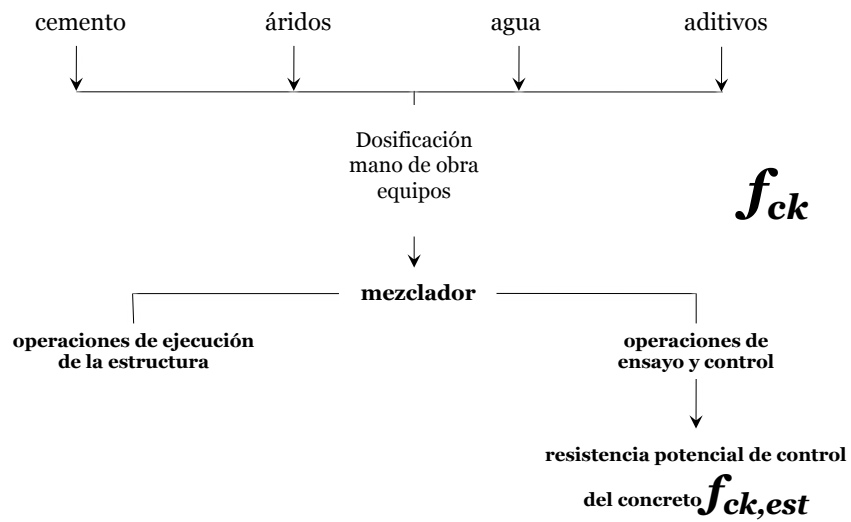
16

## Resistencia del concreto



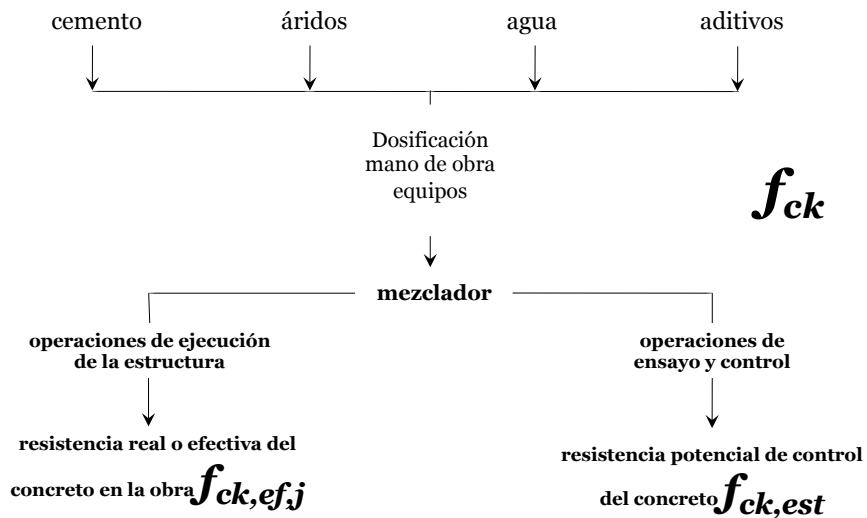
17

## Resistencia del concreto



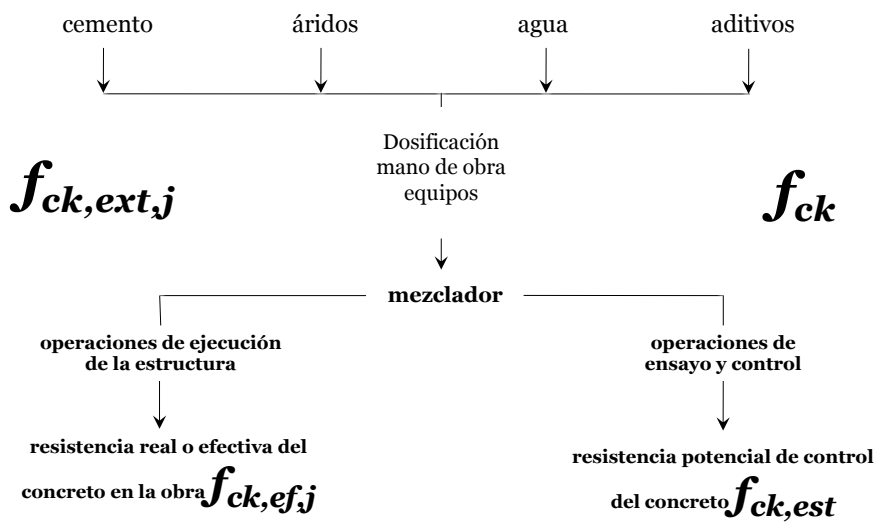
18

## Resistencia del concreto



19

## Resistencia del concreto



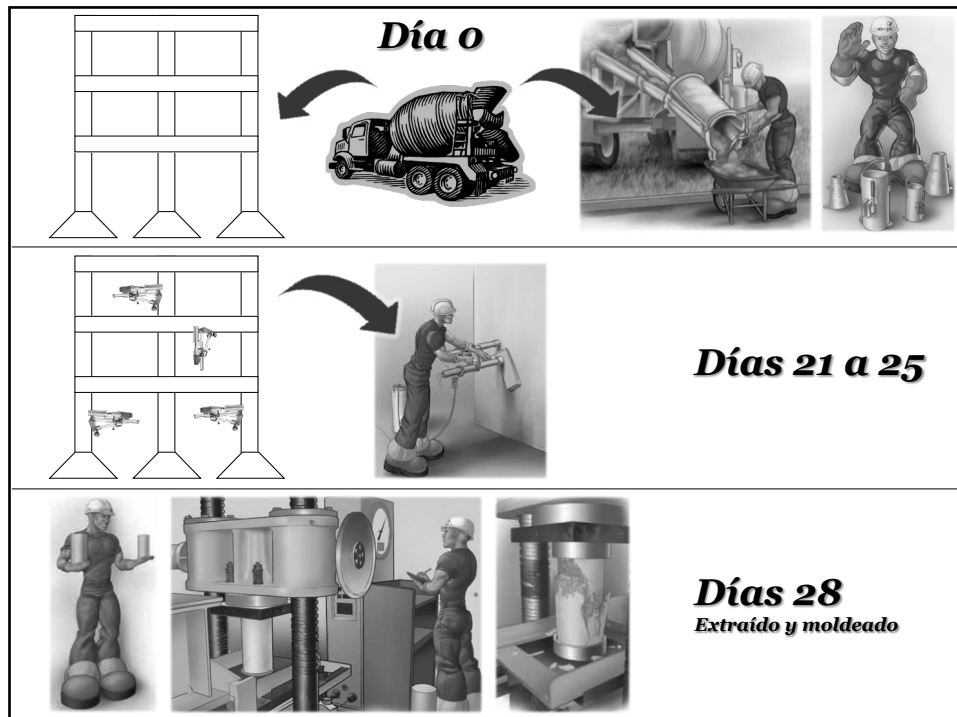
20

# 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

21



22

## Conclusiones

columnas:

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

losas & (vigas)

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

23

## Preliminares

**Conceptos:**

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

24



# Preliminares

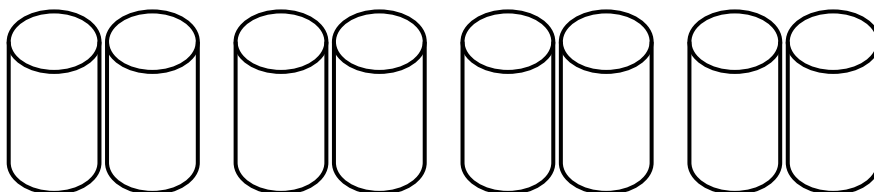
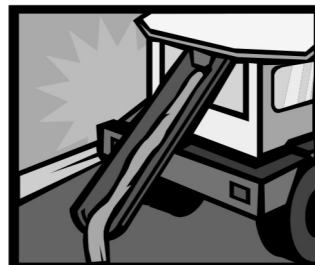
**encontrar un  $f_{ck}$  que viabilice revisar la seguridad, es decir, verificar la seguridad conforme a las convenciones universales del diseño estructural de ECAs**

25

**¿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**

26

**¿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 !!***

27

**¿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***

28

¿cuál es la resistencia del concreto de un mixer?

para un  $f_{ck} = 45$  MPa?

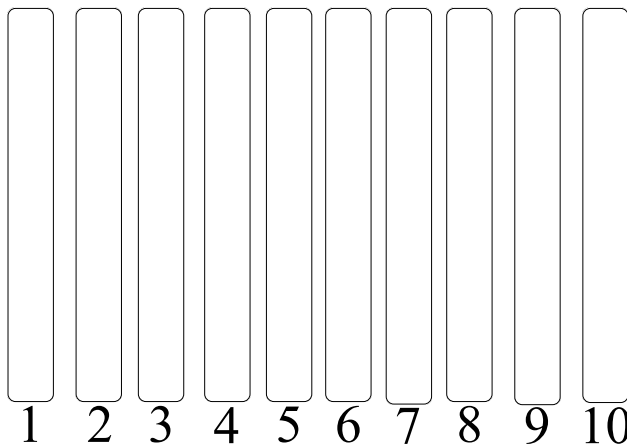
$f_{c1}$   $f_{c2}$   $f_{c3}$   $f_{c4}$   $f_{c5}$

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

$f_{ck} = 45$ MPa

29

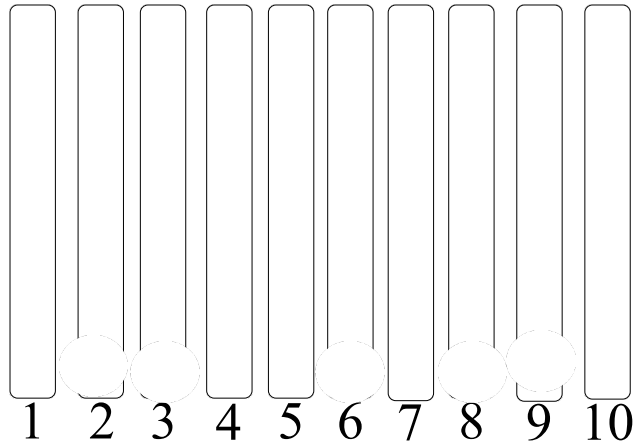
con ese concreto se construyeron 10 columnas.  
¿cuál es la resistencia del concreto en esas columnas para la verificación de la seguridad?



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

30

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



31



32



33

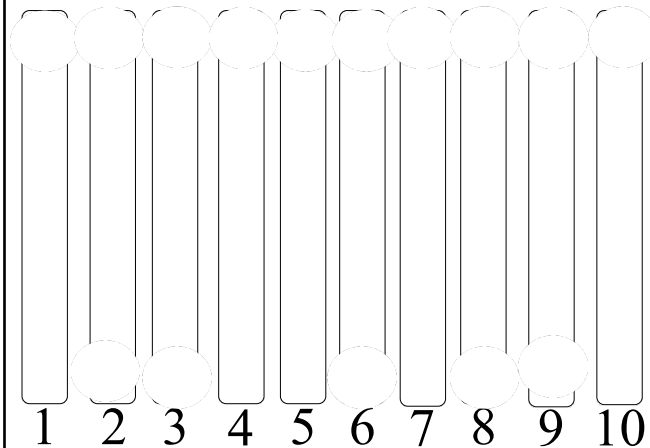
“fallas de hormigonado”  
¿cuál es la resistencia del concreto en esas  
columnas para la verificación de la seguridad?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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

34

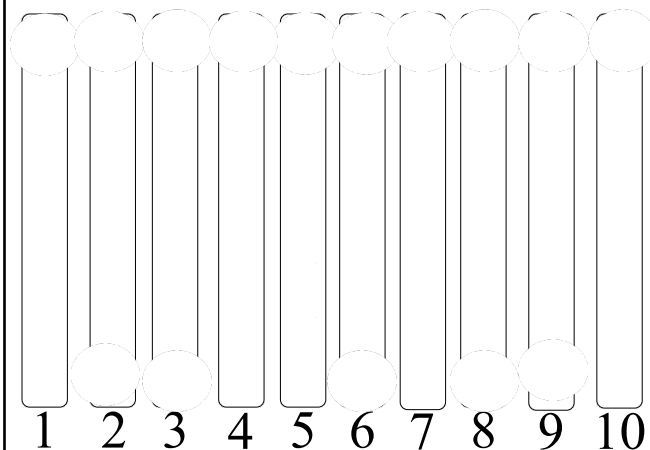
¿cuál es la resistencia del concreto en esas columnas que están más cerca de la resistencia de control (moldeado)  $f_{ck,est}$ ?



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

35

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

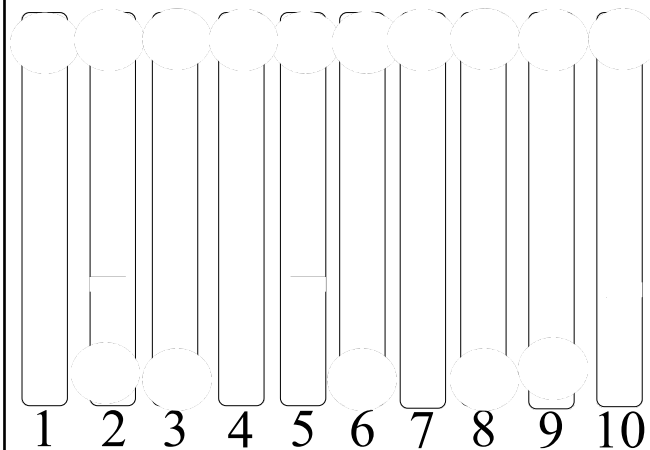


**tercio inferior**

36

¿cuál es la resistencia obtenida de una columna?

$f_{ck,ext}?$



**tercio inferior**

$f_{ck,ext,1}$

$f_{ck,ext,2}$

$f_{ck,ext,3}$

37

**¿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;

38

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

- ❖ adensamiento/vibrado
- ❖ temperatura
- ❖ umedad relativa ambiente
- ❖ efecto maquina extracción
- ❖ dirección de vaciado/ensayo
- ❖ umedad de la probeta
- ❖ topes

39

**Adensamiento (vídeo)**



40



## Curado



41

## ¿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;

42

**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:

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

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

*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....*

43

**¿estaría así cumplida la primera  
parte, o sea, transformar  $f_{c,ext,j}$  en  
 $f_{ck}$ ?**

**SI**

**verificar la seguridad  
con el nuevo  $f_{ck}$**

44

**¿estaría así cumplida la primera parte, o sea, transformar  $f_{c,ext,j}$  en  $f_{ck}$ ?**

**NO**

***volver a 28 días !?***

45

**¿cómo retroceder a 28 días?**

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

46

**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.

47

**¿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**

48

## ¿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;

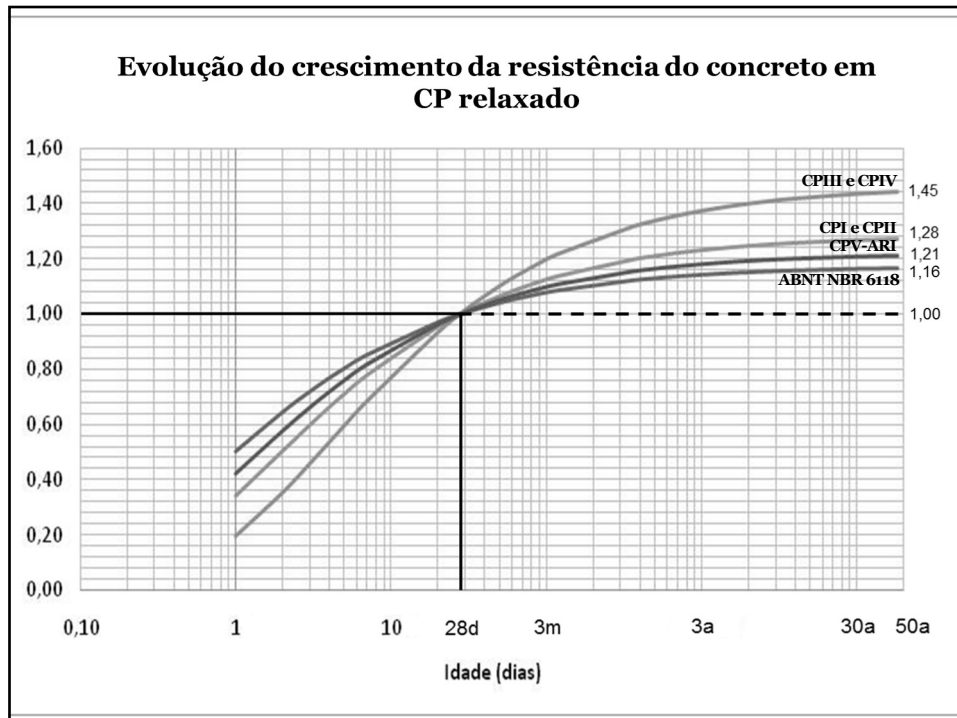
49

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

## Crecimiento de la Resistencia

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

50



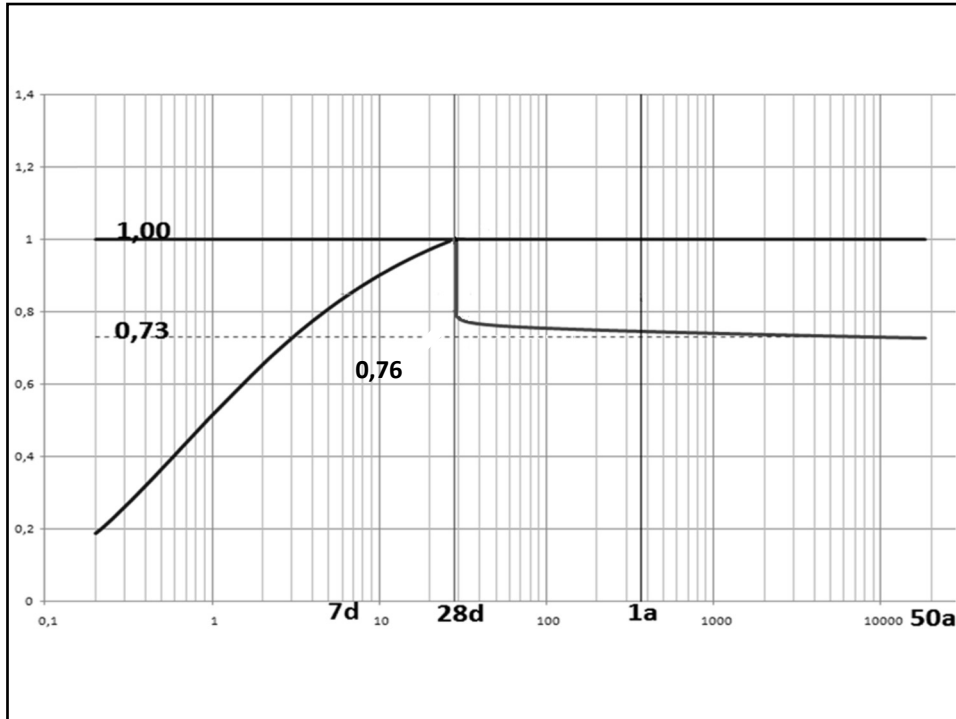
51

### Decrecimo de la Resistencia (efecto Rüsçh)

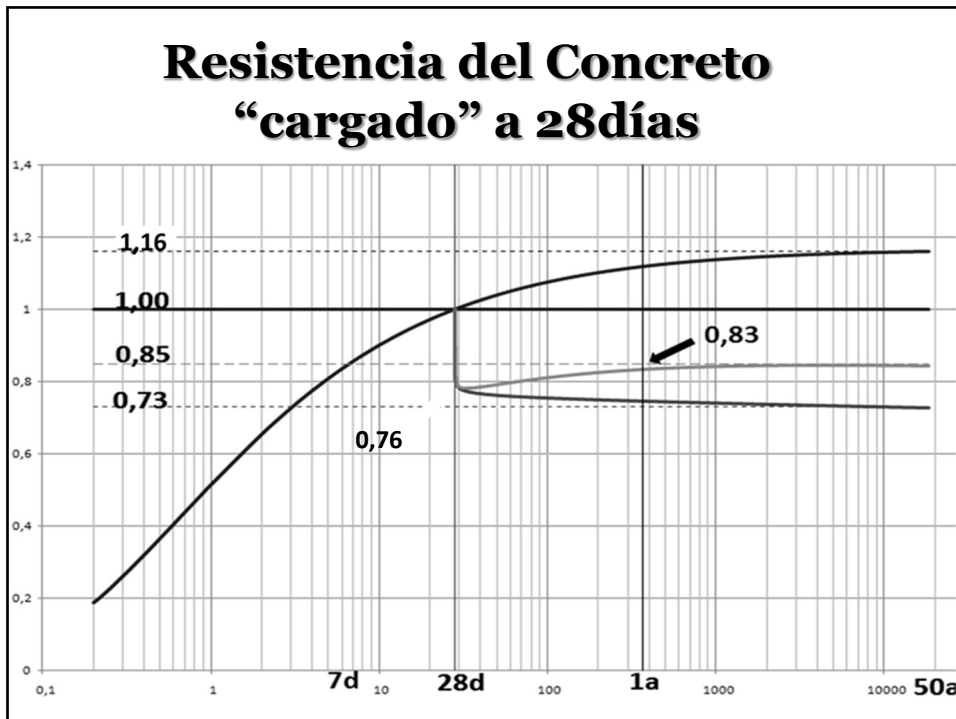
$$\beta_{c,sus,28 \rightarrow j} = \frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0.96 - 0.12 \sqrt[4]{\ln[72(j - 28)]}$$

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

52



53



54

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

## Regreso a 28 días

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

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

55

## ¿cómo recibir el concreto a pie de obra ?



56



# **CONTROL DE RECEBIMIENTO**

*ABNT NBR 12655:2015*

*ACI 301*

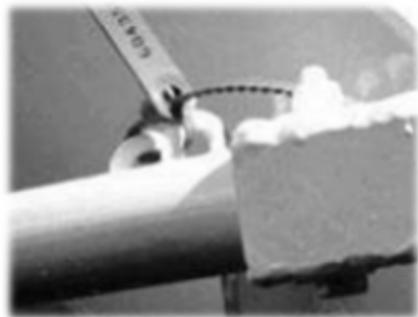
*EN 206*

57

## **Recebimiento en Obra**

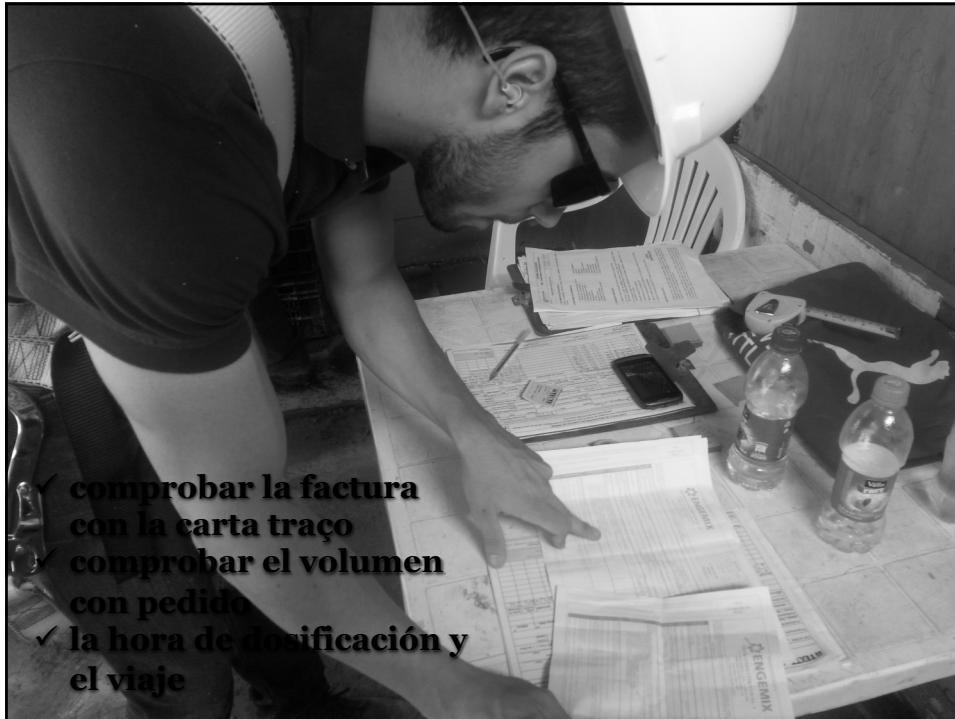


Comparar el número del sello con el especificado en la factura



En la parte trasera del camión, trabando la apertura de la boquilla de concreto

58



- ✓ comprobar la factura con la carta traço
- ✓ comprobar el volumen con pedido
- ✓ la hora de dosificación y el viaje

59

## **Ensayos de control de recepción (consistencia)**

**✓ Conforme NM 67:1998**

**✓ SCC (autocompactante): ABNT NBR  
15823:2010;**

60



**Cone de Abrams**  
*Slump-test* o Revenimiento

61



62



63



64



65



66



67



68

### **Otras propiedades:**

- ✓ Masa específica;
- ✓ Contenido de aire aprisionado;
- ✓ Temperatura;
- ✓ Exudación;
- ✓ Consumo ?
- ✓ Volumen ?
- ✓ Relación a/c ?
- ✓ Tipo de cemento ?
- ✓ Adiciones ?
- ✓ Aditivos ?
- ✓ Naturaleza de los áridos?
- ✓  $D_{max}$  de la grava?

69

## **¿cómo aceptar el concreto?**



70

- ✓ 2 cps para 28 días (3cps para 28 días);
- ✓ 1 cp para 7 días ( $> 0,8 * f_{ck}$  ou  $f_{ck} = 1,25 * f_{c7}$ )
- ✓ 1 cp para 63 días ( $1,1 f_{ck}$ )

- ✓ Módulo ?
- ✓ Resistividad ?
- ✓ Carbonatación ?
- ✓ Cloruros ?
- ✓ Color ?

71

## **CONTROL DE ACEPTACIÓN**

*ABNT NBR 12655:2015*

*ACI 318*

*EN 206*

72



**Brasil: ABNT NBR 12655:2015**

***Concreto de cimento Portland. Preparo,  
control, recebimento e aceitação***

**Europa: Eurocode II**

***EN 206-1:2013 Concrete: Specification,  
performance, production and conformity***

**USA: ACI 318-14**

**Building Code Requirements for Structural  
Concrete**

*Chapter 26. Construction Documents  
and Inspection.*

*item 26.12. Concrete evaluation and acceptance*

73

**Universo  
Población  
Lote**

**muestra**

**unidad de producto  
unidad de control**

**ejemplares**

**probeta**

74

**Unidad de Producto**  
**Unidad de Control**  
**neumático**



- **masa de cada neumático**
- **presión de cada neumático**

75

**Unidad de Producto**  
**Unidad de Control**

**Bolita de gude**



- **masa de cada bolita**
- **diámetro de cada bolita**

76

**Unidad de Producto**  
**Unidad de Control**  
**Concreto**



- metro cúbico
- probeta
- metro cuadrado
- pilar, viga, losa

77

**CONCRETO**  
**Unidad de Producto**

**betonada**  
**masada**  
**una mezcla**

**CONCRETO**  
**Unidad de Control**

**resistencia a la compresión**  
**MPa, kgf/cm<sup>2</sup>, psi**

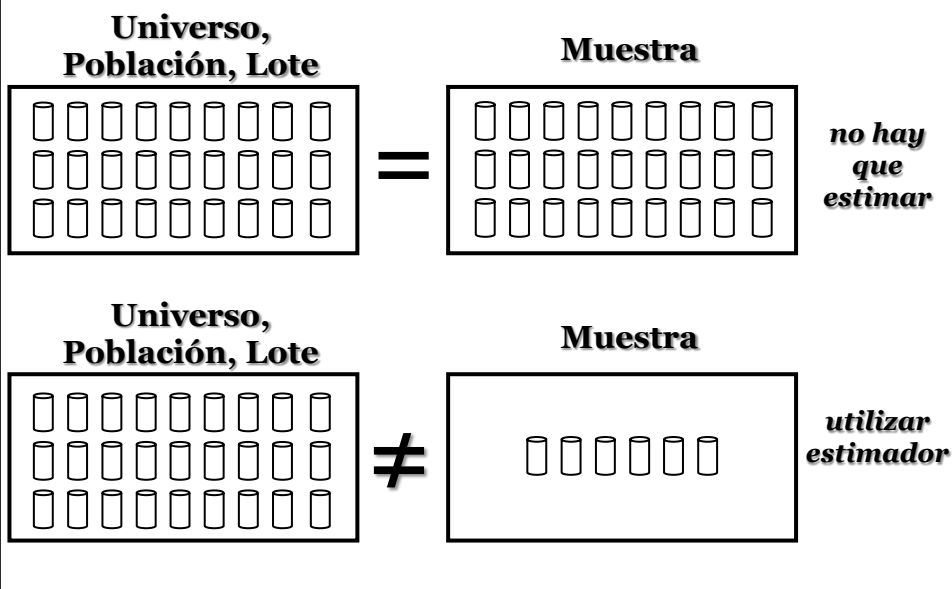
78

## Muestreo ABNT NBR 12655:2015

- ✓ Las muestras se componen de ejemplares;
- ✓ Cada ejemplar se constituye de al menos dos probetas hermanas (igual amasada, moldeados en el mismo acto) para cada edad de ruptura;
- ✓ Resistencia del ejemplar (betonada): el mayor de los valores obtenidos de las probetas en el ensayo de resistencia a la compresión;
- ✓ El muestreo puede ser total o parcial.

79

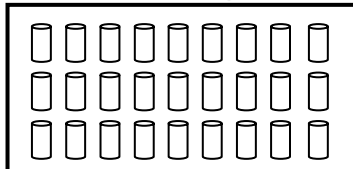
## Muestreo ABNT NBR 12655



80

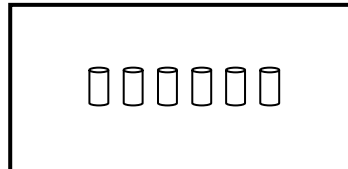
## Muestreo ABNT NBR 12655

Universo,  
Población, Lote



≠

Muestra



✓  $6 \leq n < 20$ :

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1} - f_m}{m-1}$$

donde

m es igual a n / 2. Se desprecia el valor más alto de n, si es impar;

$f_1, f_2, \dots, f_m$  son los valores de las resistencias de los ejemplares, en orden ascendente.

✓  $n \geq 20$ :

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

donde:

$f_{cm}$  es la resistencia media de los ejemplares del lote, en MPa;

$S_d$  es la desviación estándar de esta muestra de n ejemplares, en MPa.

81

## Muestreo total ABNT NBR 12655:2015

- ✓ **Todas las hormigonadas son muestreadas y representadas por un ejemplar que define la resistencia a la compresión de aquel hormigón en la hormigón (unidad de producto):**

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

- ✓ **No hay que estimar porque todo el lote (población) es conocido.**

82

## **ACI American Concrete Institute**

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.*  
*Concrete evaluation and acceptance*

- El laboratorio de control debe ser acreditado por la norma ASTM C1077 y los laboratorios certificados por el ACI;
- CPs se retiren de acuerdo con la ASTM 172, moldeados y sazonados de acuerdo con la ASTM C31 y ensayados de acuerdo con la ASTM C39;

83

## **ACI American Concrete Institute**

**ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete**  
*Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.*  
*Concrete evaluation and acceptance*

- Recomienda que el muestreo obedezca a
  - $\geq 1$  ejemplar por día hormigonado;
  - $\geq 1$  ejemplar para cada  $115 \text{ m}^3$  de concreto;
  - $\geq 1$  ejemplar para cada  $465 \text{ m}^2$  de superficie superficial para losas o paredes;
  - Dispensado el control para volúmenes inferiores a  $38 \text{ m}^3$ , siempre que exista una carta de traço aprobada;
  - Cada betonada sólo proporciona un resultado;
  - Para representar un ejemplar, obtener el promedio de 2 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30cm de altura o media de 3 probetas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

84

## ACI American Concrete Institute

ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete  
Chapter 26. Construction Documents and Inspection. item 26.12.  
Concrete evaluation and acceptance

- Como criterio de aceptación requiere:

$$f_{cm3,est} \geq f_{ck}$$

$$0,9 * f_{ck} \text{ para } f_{ck} > 35\text{MPa}$$

$$f_{ci} = f_{ck} - 3,5\text{MPa para } f_{ck} < 35\text{MPa}$$

85

### Ejemplo: Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$

ACI 301/318-14:

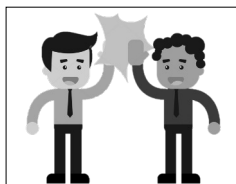
41,7

42,3

36

43,5

41,5



ABNT NBR 12655:2015:

41,7

42,3

39

43,5

41,5



86

## ***fib* Model Code 2010**

**En el *fib* Model Code 2010**

**no figuran**

**procedimientos para el control de la resistencia del concreto, salvo referencia rápida a la ISO 22965 e a la EN 206.**

87

## **Eurocode II:2004**

Eurocode II también remite a la *EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity*. Chapter 8. *Conformity Control and Conformity Criteria*.

*8.2.1 Conformity control for compressive strength*

88



## EN 206-1:2013

- Se recomienda que el muestreo siga la EN 12350-1 *Testing Fresh Concrete*.

89

## EN 206-1:2013

- 8.2.1.2 Sampling and testing plan

Table 17 — Minimum rate of sampling for assessing conformity

Production	Minimum rate of sampling		
	First 50 m <sup>3</sup> of production	Subsequent to first 50 m <sup>3</sup> of production <sup>a</sup> , the highest rate given by:	
		Concrete with production control certification	Concrete without production control certification
Initial (until at least 35 test results are obtained)	3 samples	1 per 200 m <sup>3</sup> or 1 per 3 production days <sup>d</sup>	1 per 150 m <sup>3</sup> or 1 per production day <sup>d</sup>
Continuous <sup>b</sup> (when at least 35 test results are available)	---	1 per 400 m <sup>3</sup> or 1 per 5 production days <sup>c, d</sup> or 1 per calendar month	

<sup>a</sup> Sampling shall be distributed throughout the production and should not be more than 1 sample within each 25 m<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> Where the standard deviation of the last 15 or more test results exceeds the upper limits for  $s_n$  according to Table 19, the sampling rate shall be increased to that required for initial production for the next 35 test results.

<sup>c</sup> Or if there are more than 5 production days within 7 consecutive calendar days, once per calendar week.

<sup>d</sup> The definition of a 'production day' shall be stated in provisions valid in the place of use.

90

# EN 206-1:2013

Como critério de aceitação, 8.2.1.3

- *Conformity criteria for compressive strength*

- *Criterio para resultados individuales:*

- ✓ Cualquier valor individual debe ser

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \quad \text{cualquiera que sea } f_{ck}$$

- *Criterio para resultados medios:*

- ✓ Producción inicial: la media de 3 resultados consecutivos debe ser

$$f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4 \quad \text{cualquiera que sea } f_{ck}$$

- ✓ Producción continua: la media de al menos 15 resultados consecutivos debe ser:

$$f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma \quad \text{cualquiera que sea } f_{ck}$$

91

## Resumen - frecuencia de los ensayos

ABNT NBR 12655	• a cada 8m³!!
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ una vez al día hormigonado;</li> <li>• ≥ una vez por cada 115 m³ de concreto;</li> <li>• ≥ una vez por cada 465 m² de superficie de losas o muros;</li> <li>• dispensado el control para volúmenes &lt;38m³</li> </ul>
EN 206-1:2013	• ≥ 3 muestras en los primeros 50m³;
	Producción inicial (hasta 35 resultados de ensayo disponibles) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 muestra cada 200m³ o cada 3 días de producción (concreto c / certificación del control de producción)</li> <li>• ≥ 1 muestra cada 150m³ o cada día de producción (concreto s / certificación del control de producción)</li> </ul>
	Producción continua (más de 35 resultados de ensayo disponibles) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 1 muestra cada 400m³ o cada 5 días de producción o cada mes (concreto c / certificación del control de producción)</li> <li>• ≥ 1 muestra cada 150m³ o cada día de producción (concreto s / certificación del control de producción)</li> </ul>

92

## Resumen - criterios de aceptación

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ck,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
ACI 318-14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}</math> para <math>f_{ck} &lt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}</math> para <math>f_{ck} &gt; 35\text{MPa}</math></li> <li>• <math>f_{cm3,est} \geq f_{ck}</math></li> </ul>
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ci} \geq f_{ck} - 4;</math></li> <li>• <math>f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4</math></li> <li>• <math>f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma</math></li> </ul>

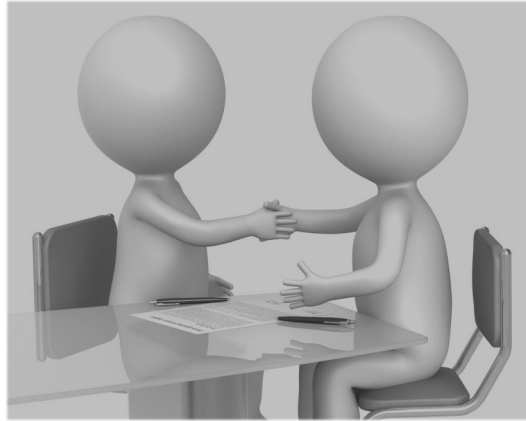
93

## Resumen

- ✓ ¡El procedimiento de control adoptado en Brasil es el más riguroso del mundo!
- ✓ ¡Con muestreo total a 100% queda conocida toda la población en examen! Más seguridad que eso imposible!
- ✓ ¡Con un muestreo parcial da un promedio de moldear un ejemplar cada 8m<sup>3</sup> o cada 16m<sup>3</sup> y, por lo tanto, sigue siendo mucho más estricto que otros países!
- ✓ No se acepta ningún valor  $f_{ci}$  por debajo de  $f_{ck}$  mientras que otros países aceptan 3,5MPa, 4MPa o más (10%) por debajo de  $f_{ck}$

94

## **¿como contratar el concreto?**



95

## **¿como contratar a la Empresa de Servicios de Concreto?**



96

## **¿como contratar el Laboratorio de Ensayos?**



97

## **¿como evaluar la calidad de Construcción?**



98

## ***Estructuras de Concreto para Edificaciones***

Actividad profesional regida por normas técnicas :

- de PROYECTO
- de MATERIALES
- de EJECUCIÓN
- de CONTROL
- de OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
  - Seguridad de Personas
- *Estadales, Municipales, urbanísticas, ...*

99

# **Moraleja**

**hay que conocer  
para hacerlo  
bien!**

100



101



102