

3er. CONGRESO
PARAGUAYO
**Vialidad
y Tránsito**
EXPO VIAL 2018



APC
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS



CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS

Prof. Dr. Ing. Sergio Gavilán

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Asunción

Gavilán & Asociados S.A.



Conceptos básicos de reología del hormigón

“facilidad con que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado” o “habilidad del concreto para fluir” “10 cementos para uso estructural ”

		Cemento Pórtland Comun		Cemento Pórtland Compuesto		Cemento Pórtland con Filler Calizo		Cemento Pórtland Siderúrgico		Cemento Puzolánico	Cemento Pórtland Alta Resistencia Inicial	
Tipo		I		II				III		IV	V	
Categoría		32	40	32	32	40	40	25	32	32	45	
Identificación		CPI-32	CPI-40	CPII-C32	CPII-F32	CPII-C40	CPII-F40	CPIII-25	CPIII-32	CPIV-32	CPV-ARI	
Finura	Residuo Tamiz INTN 200 (% Máx)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Blaine Mín (cm ² /g)	2800	3000	2800	2800	3000	3000	-	-	2800	3200	
Tiempo de fraguado	Inicio Mín (minutos)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
	Inicio Mín (minutos)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Expansión autoclave % Máx.		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
Contracción al secado Max 28D		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Retención de agua % Mín.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aire incorporado % Mín.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Resistencia en MPa Valores Mínimos	Compresión	2 días	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
		3 días	-	-	-	-	-	-	-	-	27	
		7 días	20	25	20	20	25	25	15	20	20	40
		28 días	32	40	32	32	40	40	25	32	32	45



CLASIFICACIÓN DE CEMENTOS

De acuerdo a las normas europeas:

!!!! 27 tipos !!!

Tipos principales	Designación de los 27 productos (tipos de cementos comunes)		Composición (proporción en masa ¹⁾													
			Componentes principales										Componentes minoritarios			
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D ²⁾	Puzolana natural P natural calcinada Q		Cenizas volantes síliceas V calcáreas W		Esquistos calcinados T	Caliza L LL					
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM II	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con puzolana	CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con ceniza volante	CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con esquivo calcinado	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
CEM II/A-LL		80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
Cemento Portland mixto ³⁾	CEM II/A-M	80-94	6-20										0-5			
	CEM II/B-M	65-79	21-35										0-5			
CEM III	Cemento con escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Cemento puzolánico ¹⁾	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5			
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5			
CEM V	Cemento compuesto ¹⁾	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	0-5				
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50			-	-	-	0-5				

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).
2) El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10%.
3) En cementos Portland mixtos CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B los componentes principales además del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado 3).

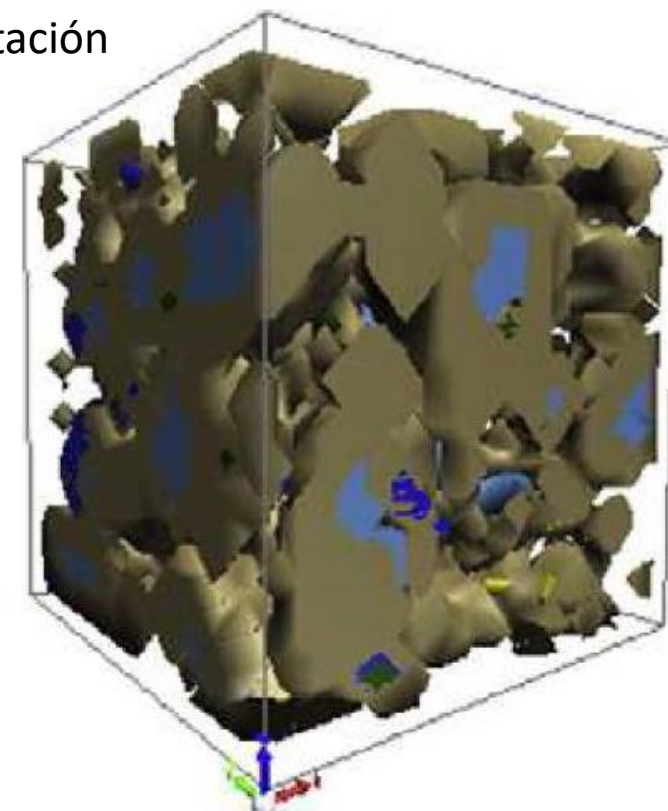


El proceso de hidratación

Componentes del cemento antes de la hidratación

Microestructura de la pasta a los 180 minutos de hidratación

Componente	Fórmula química	Nomenclatura
Silicato tricálcico “α” (alita)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ Ca_3SiO_5	C_3S ●
Silicato dicálcico “β” (belita)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ Ca_2SiO_4	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	C_3A ●
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	C_4AF



- Hidroxiido de calcio
- Silicato hidratado de calcio
- Etringita
- Gipsita

La Alita representa entre un 30% y un 60% del peso del cemento

El proceso de hidratación

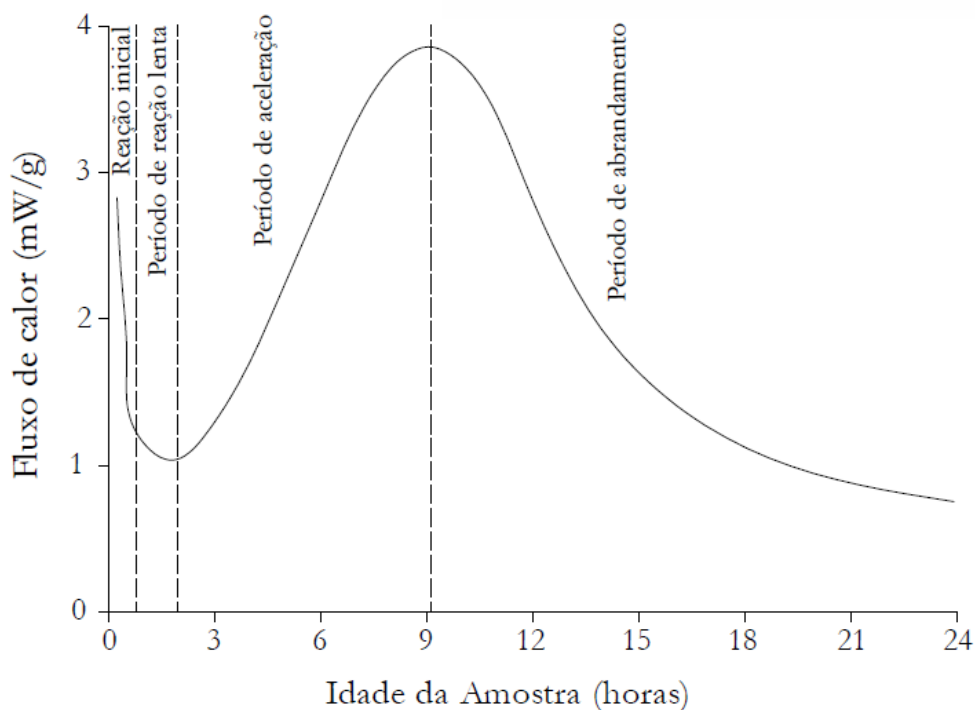
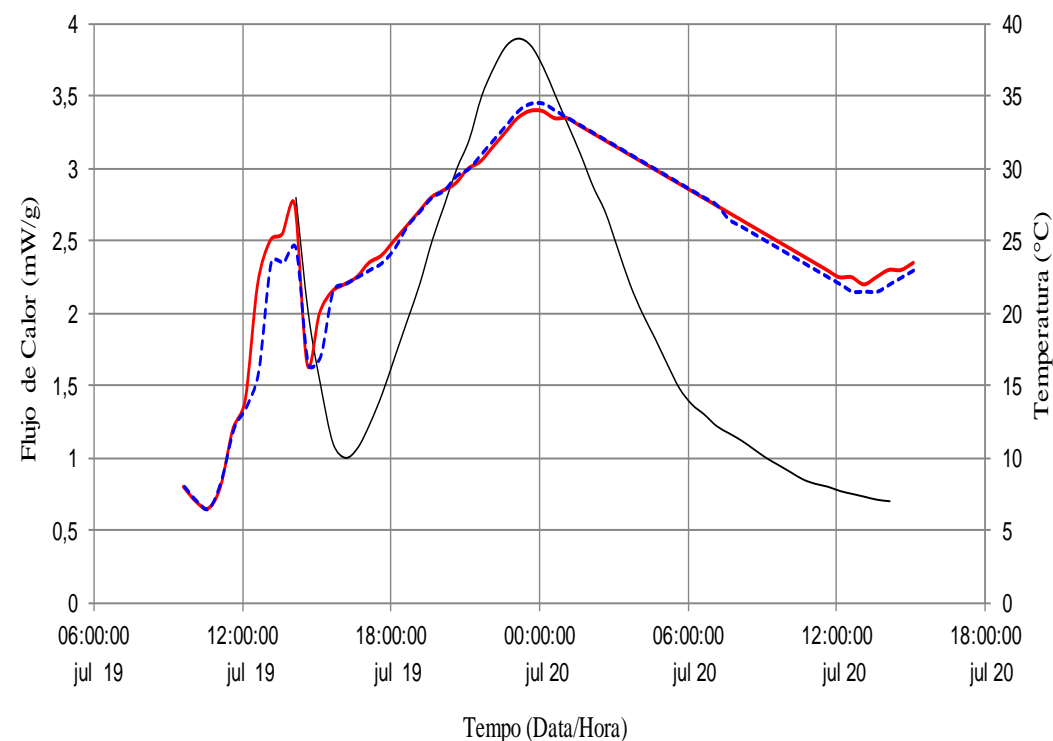


Figura 2.3 – Taxa da hidratação da alita em função do tempo (baseado em: BULLARD et al., 2011)



— Alita — Sensor 1 - - - Sensor 2



Innovación: Control de la Maduración del Hormigón

GUIDE FOR CONSTRUCTION OF CONCRETE PAVEMENTS (ACI 325.9R-15)

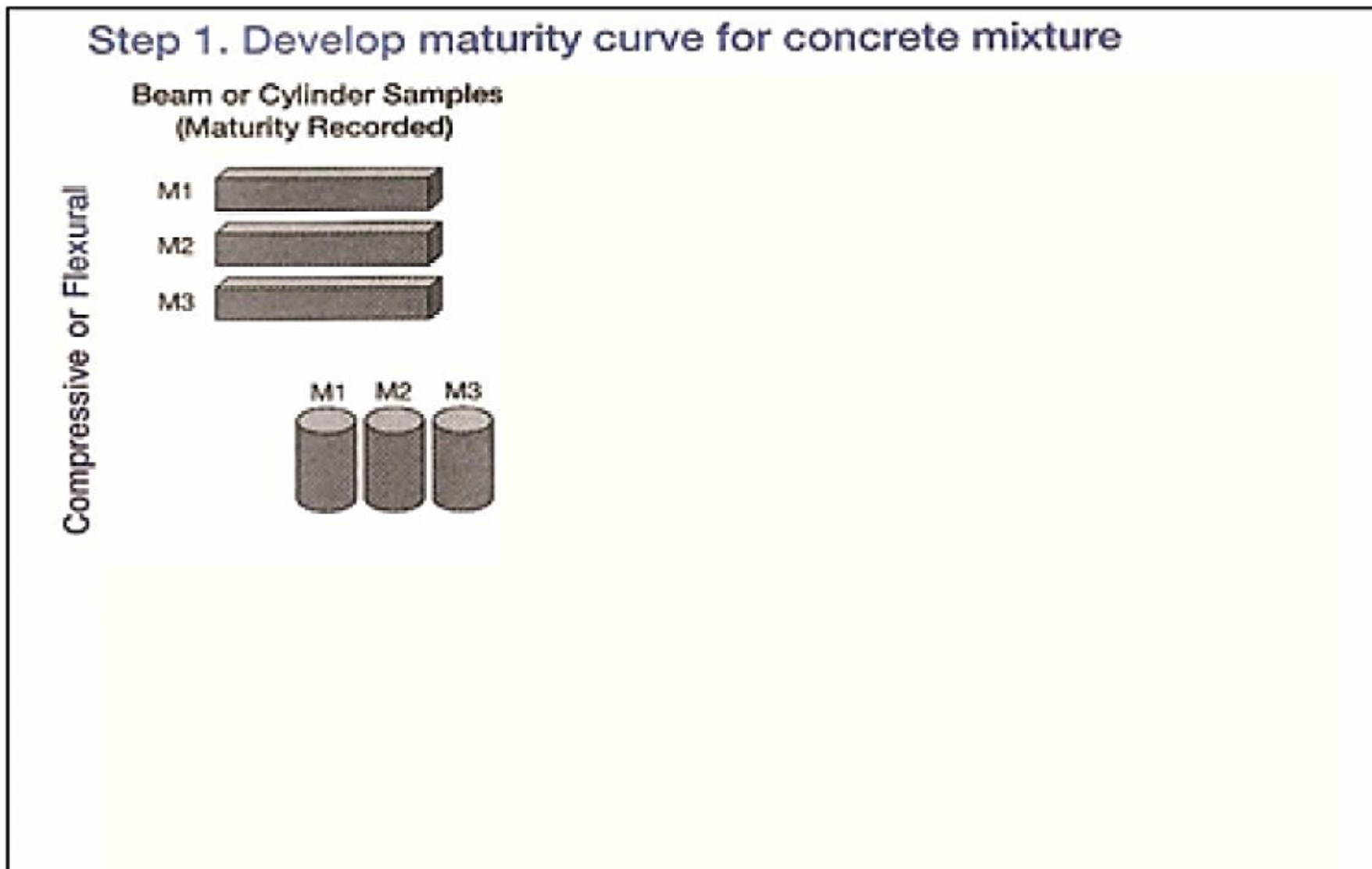


Fig. 5.10.4—Maturity testing process (ACPA 2002).



Desarrollo de la resistencia

Cambio de conceptos con el desarrollo de nuevos cementos

1987



2008

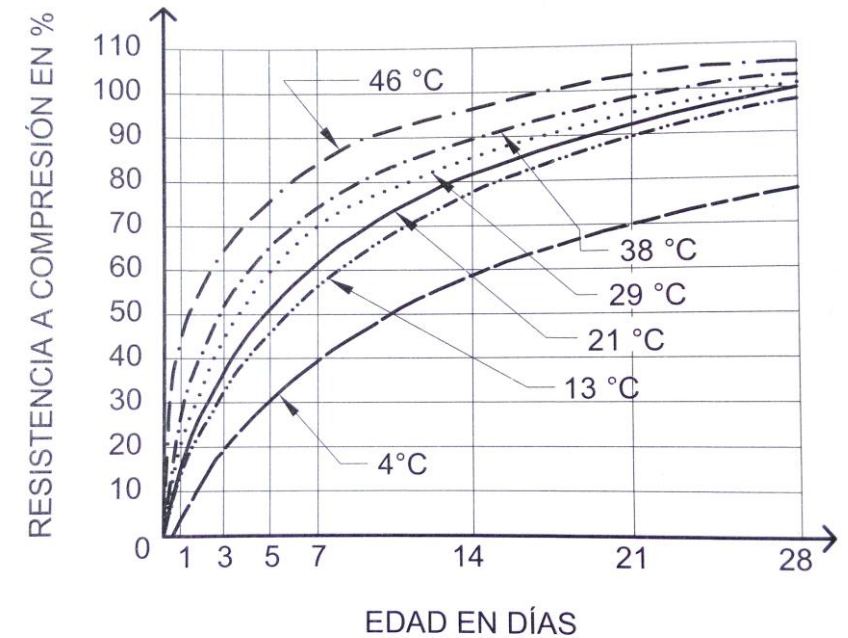
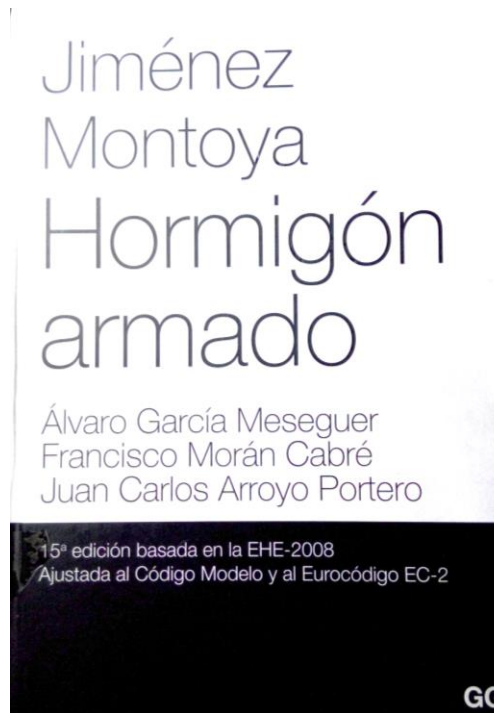


Figura 5.9 Evolución de la resistencia de hormigones curados a diferentes temperaturas. Fuente: Neville, 1994

VALORES DE LA RELACION $f_{c,t}/f_{c28}$

EDAD DEL HORMIGON EN DIAS	3	7	28	90	360
Cemento portland normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Cemento portland de alta resistencia inicial	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

$$\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} = e^{s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right)}$$



Resistencia del hormigón

De acuerdo al Eurocódigo 2 (Parte1-1)

The compressive strength of concrete at various ages, $f_{cm}(t)$, may be estimated as follows:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} \quad (3.1)$$

where:

f_{cm} is the mean compressive strength at 28 days, see [Table 3.1](#)
 $\beta_{cc}(t)$ is a coefficient which depends on the age of the concrete t :

$$\beta_{cc}(t) = \exp \{ s [1 - (28/t)^{1/2}] \} \quad (3.2)$$

with

- t the age of the concrete
- s a coefficient which depends on the type of cement:
 - = 0,20 for CEM 42,5 R, CEM 52,5 N and CEM 52,5 R (Class R)
 - = 0,25 for CEM 32,5 R and CEM 42,5 N (Class N)
 - = 0,38 for CEM 32,5 N (Class S).

Estructura porosa del hormigón

Influencia de las condiciones ambientales

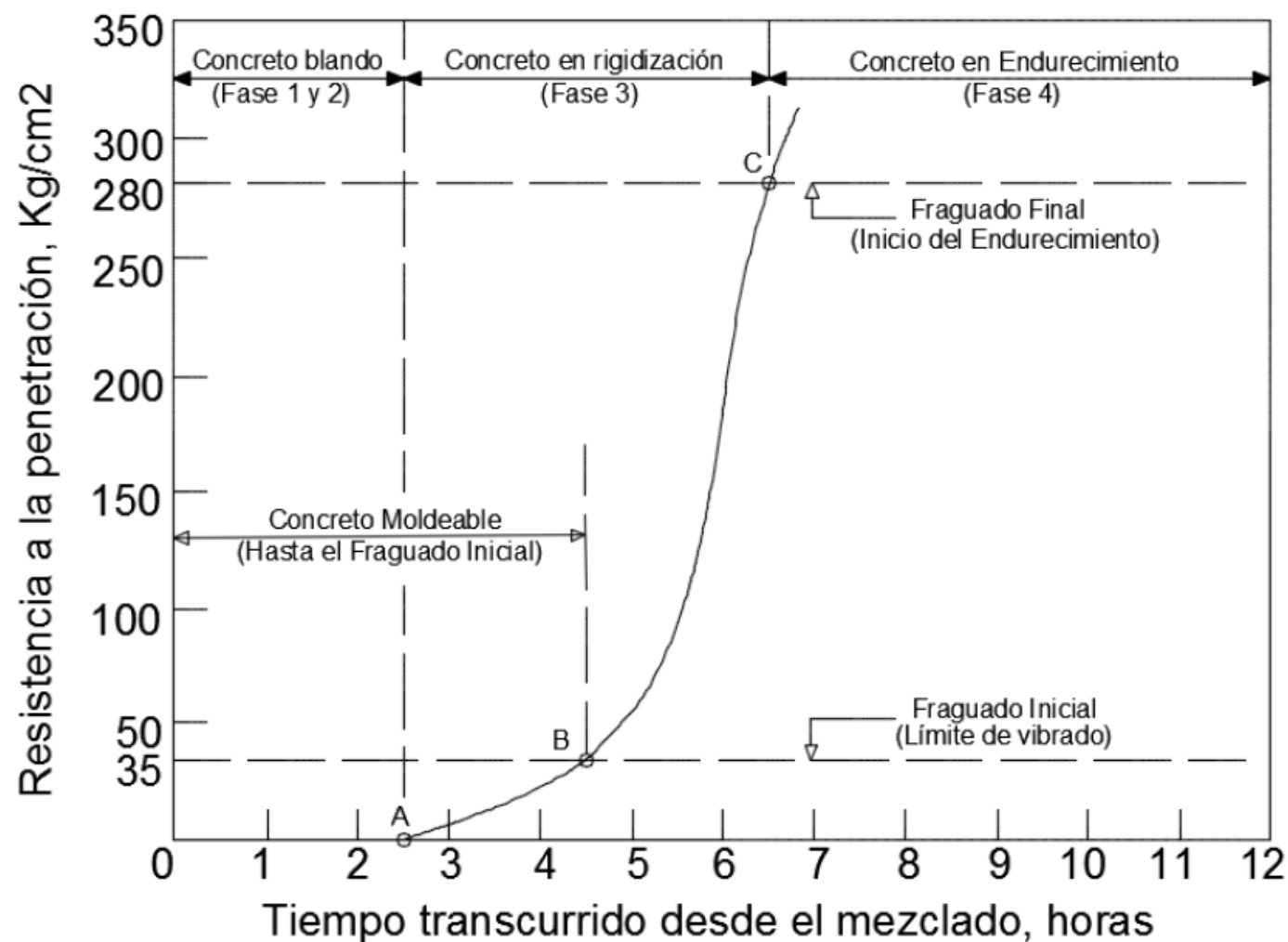
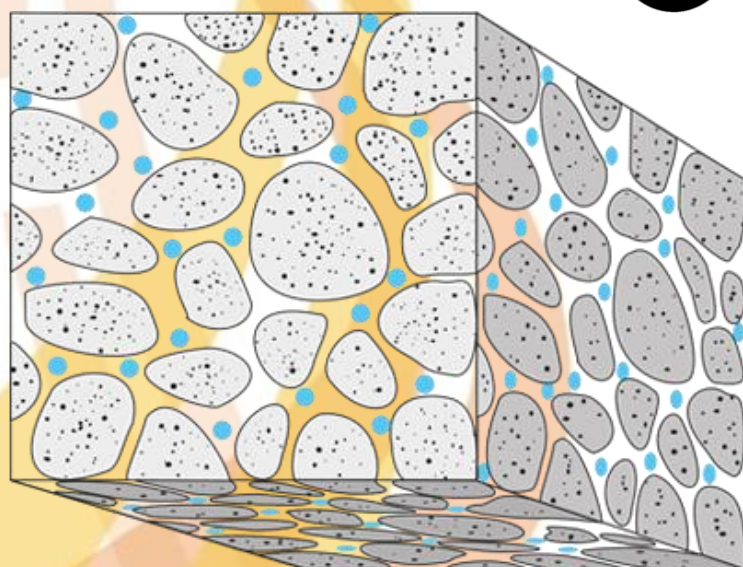


Figura 3.7 Forma característica del proceso de fraguado del hormigón
Fuente: Aguilar, O.; Rodríguez, E.; Sermeño, M.; 2009.



Resistencia del Hormigón



Compresión



Flexión



Definiciones

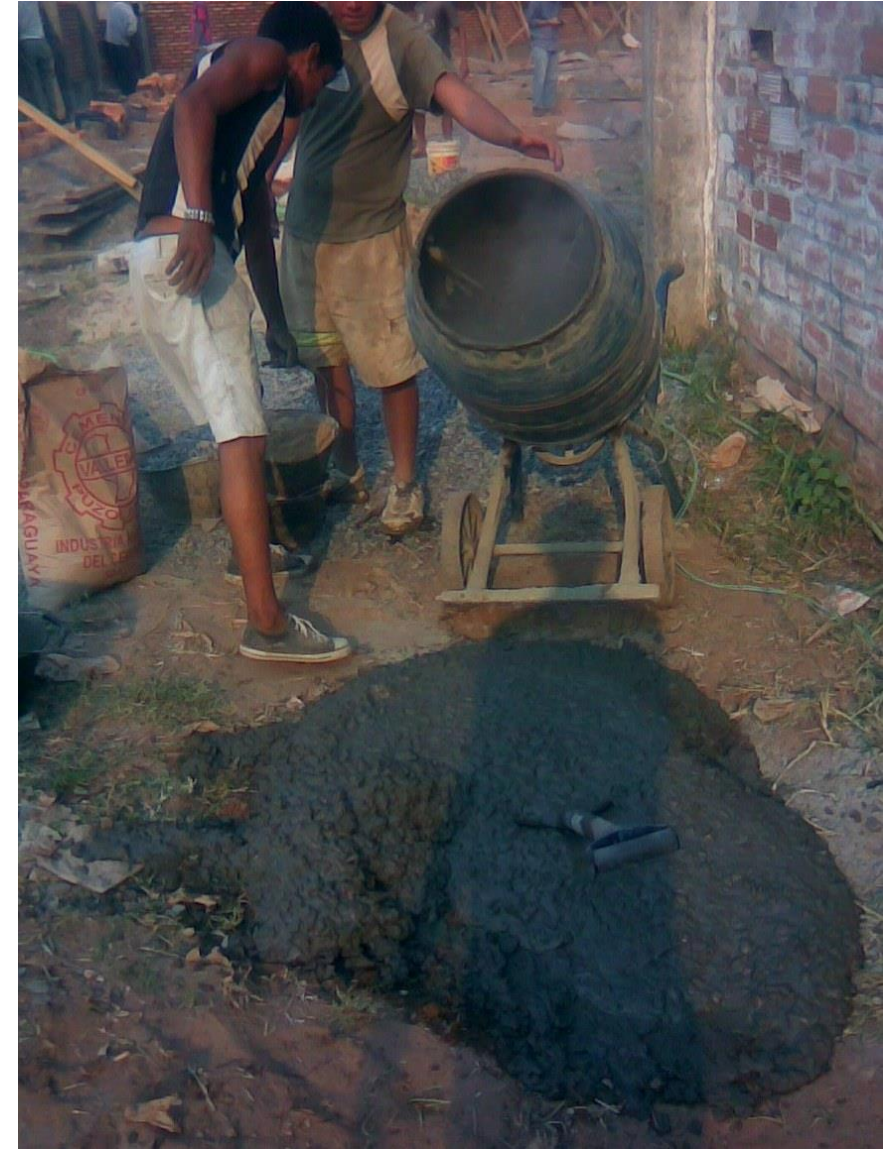
Unidad de producto

“Es la menor cantidad de hormigón que se confecciona en las mismas condiciones esenciales. Por consiguiente, se identifica con cada amasada (bachada) cualquiera que sea el volumen de ésta”.(1)





400 lts (0.40m³)



130 lts (0,13m³)



Extensión del lote:

Es el volumen de hormigón que lo constituye, expresado en m^3 .



Mixer: $6 m^3$

Muestra: Es el conjunto de probetas que se toman como representativas de un lote.



Fundación: $8 m^3$ 2 probetas x amasada

20 amasadas 40 probetas



2 amasadas 4 probetas

REPRESENTATIVIDAD!!!



Tipos de control a realizar

Modalidad 1 : Control estadístico del hormigón.
Se conoce solo la resistencia de UNA FRACCIÓN de las amasadas que se colocan

Amasada 1



Amasada 2



Amasada 3



Amasada 4



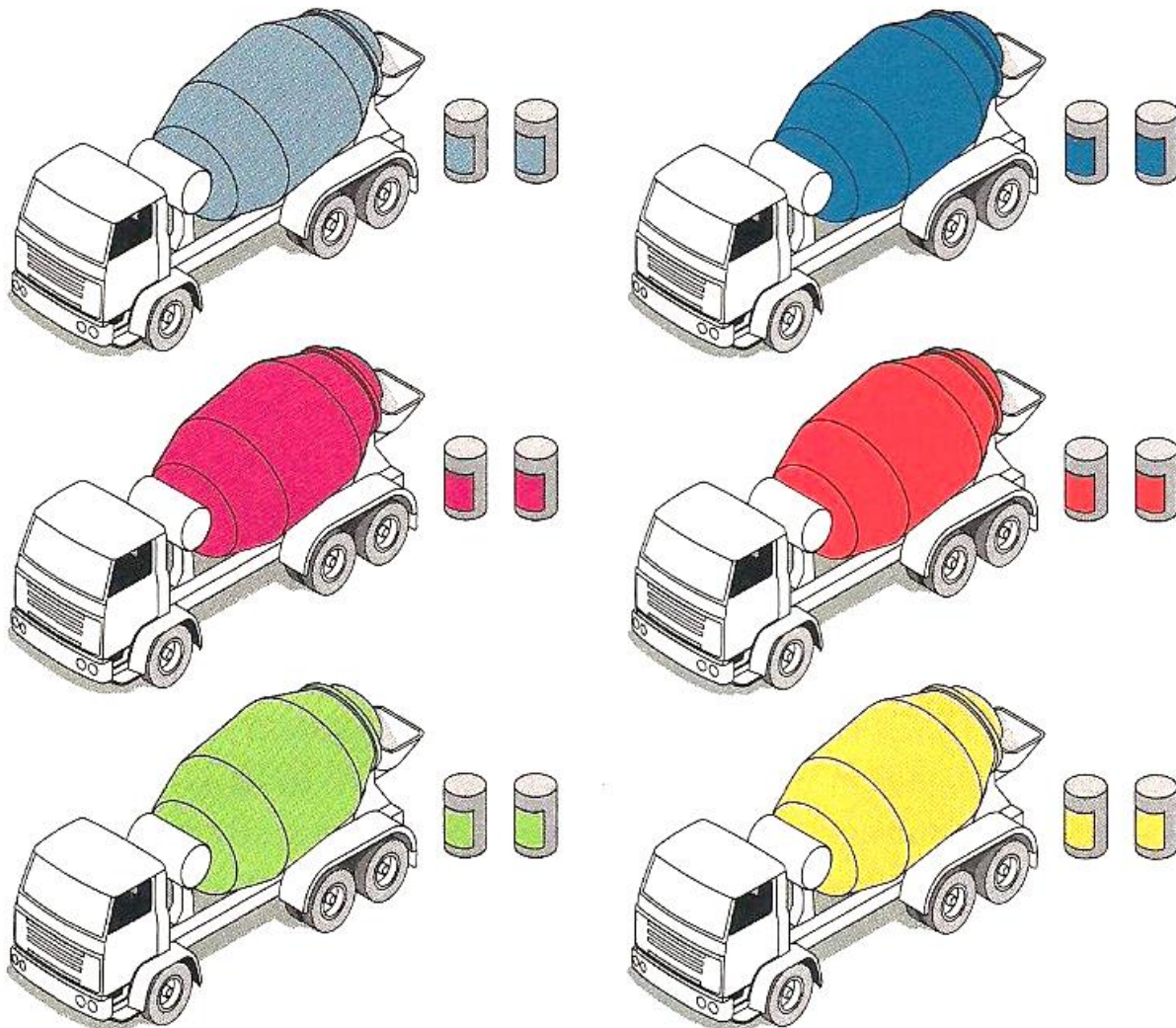
Amasada N





Tipos de control a realizar

Modalidad 2 - Control al 100 por 100, cuando se conoce la resistencia de todas las amasadas.





Trazabilidad

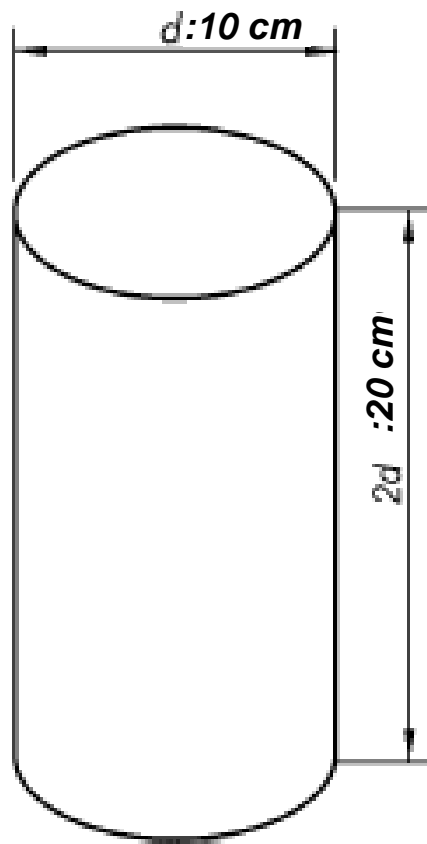
Registro que permite relacionar el hormigón colocado en la estructura, identificado por lote y amasada, con el hormigón de las probetas moldeadas correspondientes.





MOLDES

Un ensayo de resistencia se define como el promedio de al menos dos probetas de 150x300mm o tres probetas de 100x200mm ensayadas a 28 días (2)



(2) ACI 311.6-09 “Specification for Ready Mixed Concrete Testing Services” .

Note that sections 26.5.3.2 and 26.12.1.1 of ACI 318-14, ACI 301-16 “Specifications for Structural Concrete”



EL MOLDEO



Barra Compactadora

- ✓ Fabricada en acero
- ✓ Sección transversal circular recta
- ✓ Diámetro: 16 mm
- ✓ Longitud : 600mm
- ✓ Extremo redondeado.
- ✓ Peso: 925 g.





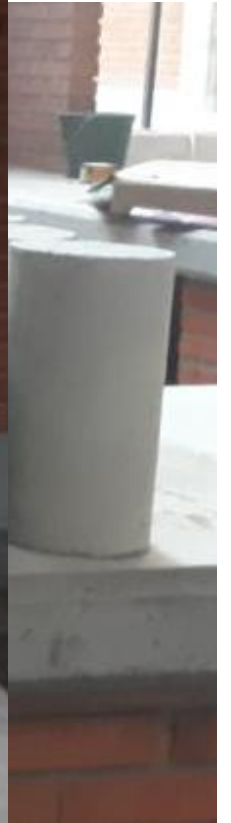
MOLDEO

“Las probetas se marcarán de forma clara sin dañarlas”⁽³⁾





MOLDEO





CURADO

“Después de retirar las probetas de los moldes curarlas hasta inmediatamente antes del ensayo

a) En agua, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$



CURADO

“Después de retirar las probetas de los moldes curarlas hasta inmediatamente antes del ensayo

a) En agua, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$



CURADO

“Después de retirar las probetas de los moldes curarlas hasta inmediatamente antes del ensayo

a) En agua, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$



b) En cámara,
 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$, humedad
relativa $\geq 95\%$





No es mejor dejar las **PROBETAS** en la mismas condiciones de la estructura?

Al sol lluvia, viento y curar de la misma forma que la estructura...



Una probeta no es la estructura, ni parte de ella.

No tiene la misma forma, volumen ni otras características.

Las probetas dejadas en las mismas condiciones de curado del componente estructural sirven solamente para orientación para el desencofrado de la pieza y no para la aceptación del hormigón.



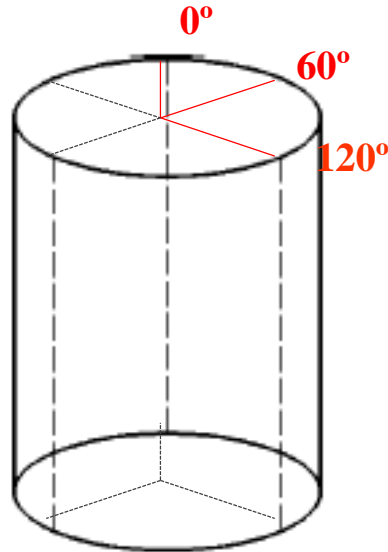
CONDICIONES ESPECIALES DE CONSERVACIÓN

Es necesario mejorar el método de curado de la obra si las probetas curadas en dichas condiciones derivan en resistencias inferiores al 85% de la potencial” (9)



PREPARACION PARA EL ENSAYO

- ✓ Dimensiones
- ✓ Densidad

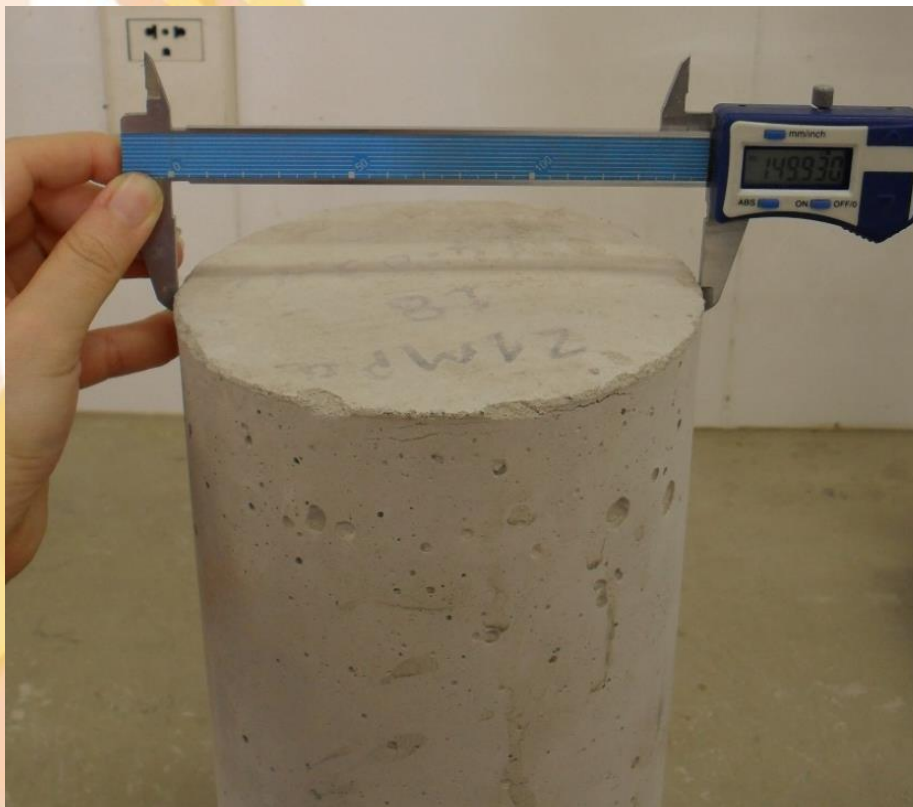


1- Diámetro

PROBETA Nro	Diámetro Inferior (mm)			Diámetro Superior (mm)			Promedio
	0°	60°	120°	0°	60°	120°	
P5-1.2	150,50	150,20	150,30	150,00	149,90	149,60	150,083
P5-2.1	150,60	150,50	150,70	150,50	150,60	150,60	150,583
P5-4.1	150,30	149,80	150,00	150,50	150,40	150,30	150,217
P5-5.2	150,60	150,50	150,50	150,30	150,50	150,60	150,500

2- Altura

PROBETA	Altura (mm)	Altura promedio
P5-1.2	149,30	149,30
P5-2.1	149,30	149,30
P5-4.1	149,30	149,30
P5-5.2	149,30	149,30



PROBETA	Peso (g)			Peso promedio (g)
	P1	P2	P3	
P5-1.2	12.293	12.293	12.293	12.293,000
P5-2.1	12.299	12.299	12.299	12.299,000
P5-4.1	12.223	12.224	12.223	12.223,333
P5-5.2	12.233	12.232	12.233	12.232,667



EN 12390-3 Azufre ≤ 5 mm Sistema extracción debe utilizarse

Refrentado

- ✓ Mortero
- ✓ Pulido
- ✓ Apoyos de neoprene



ENSAYO A COMPRESION SIMPLE

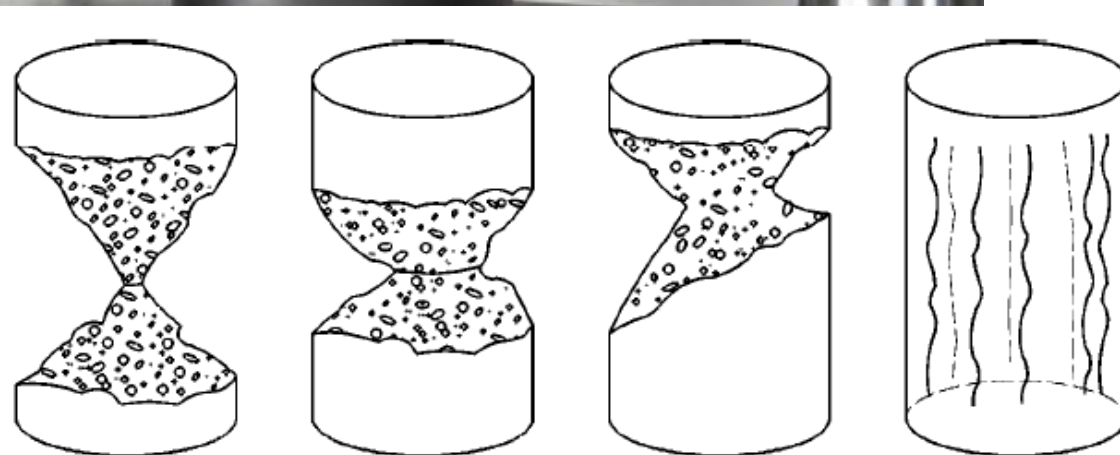
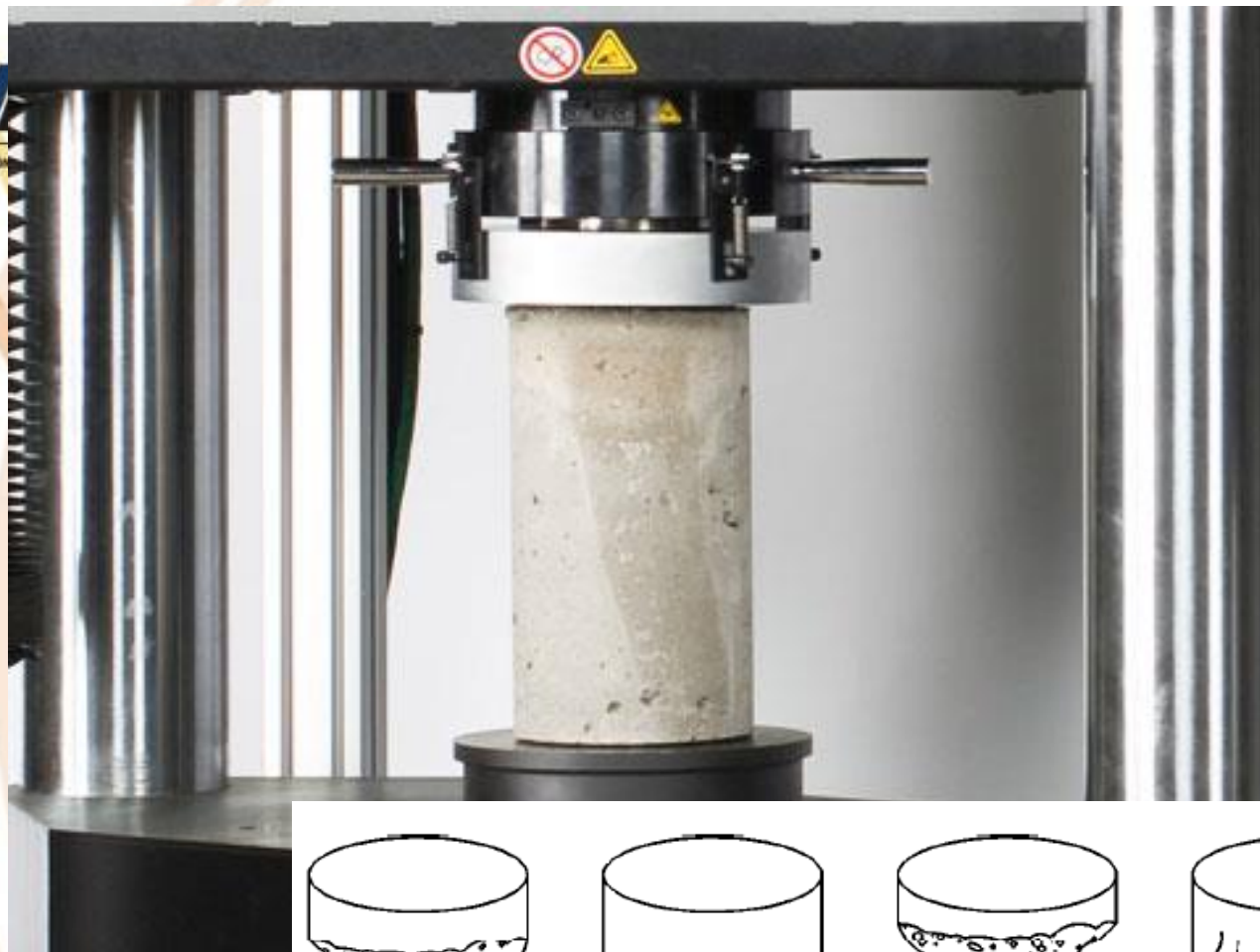


Fig. 3 – Roturas satisfactorias en probetas cilíndricas

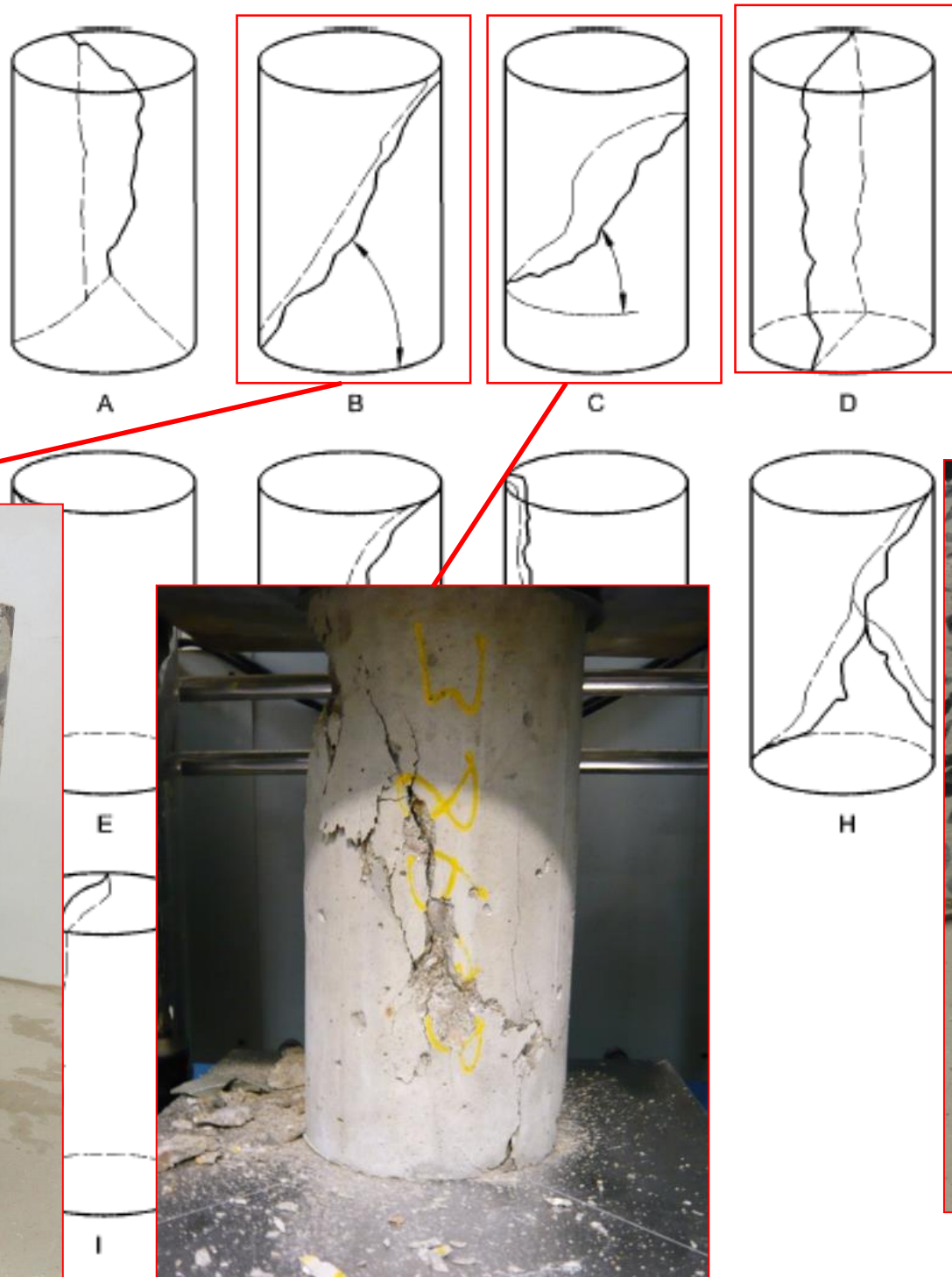


Fig. 4 – Ejemplos de roturas no satisfactorias en probetas cilíndricas

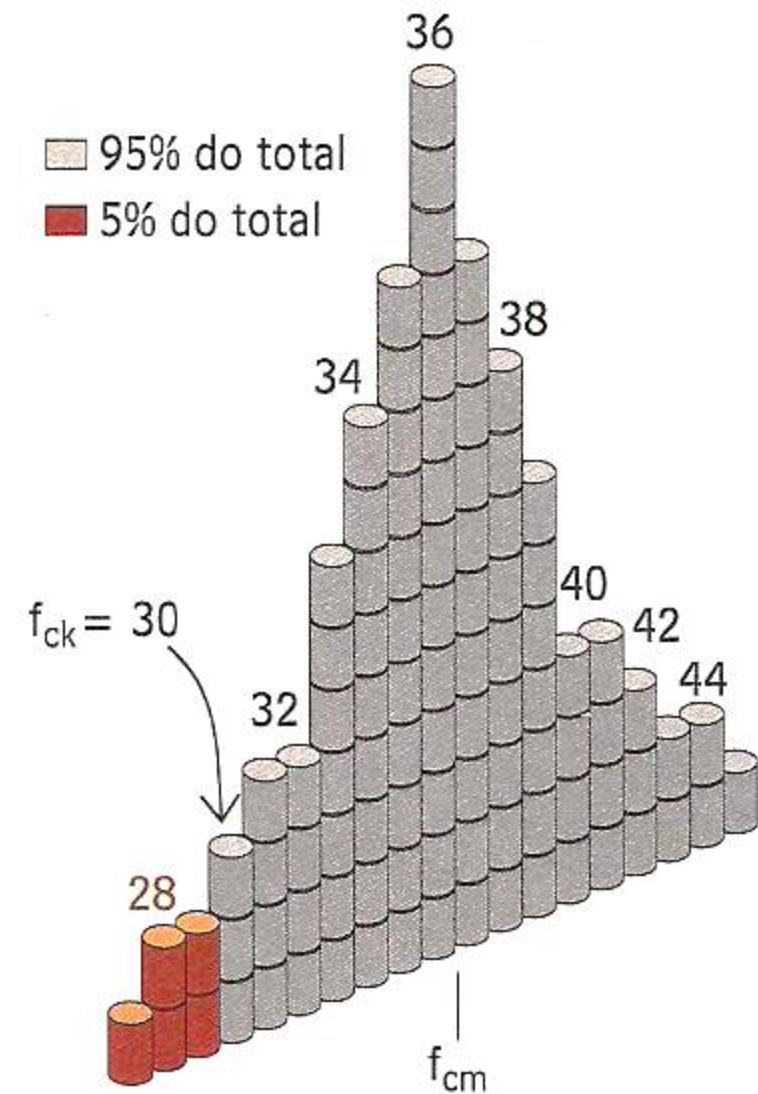
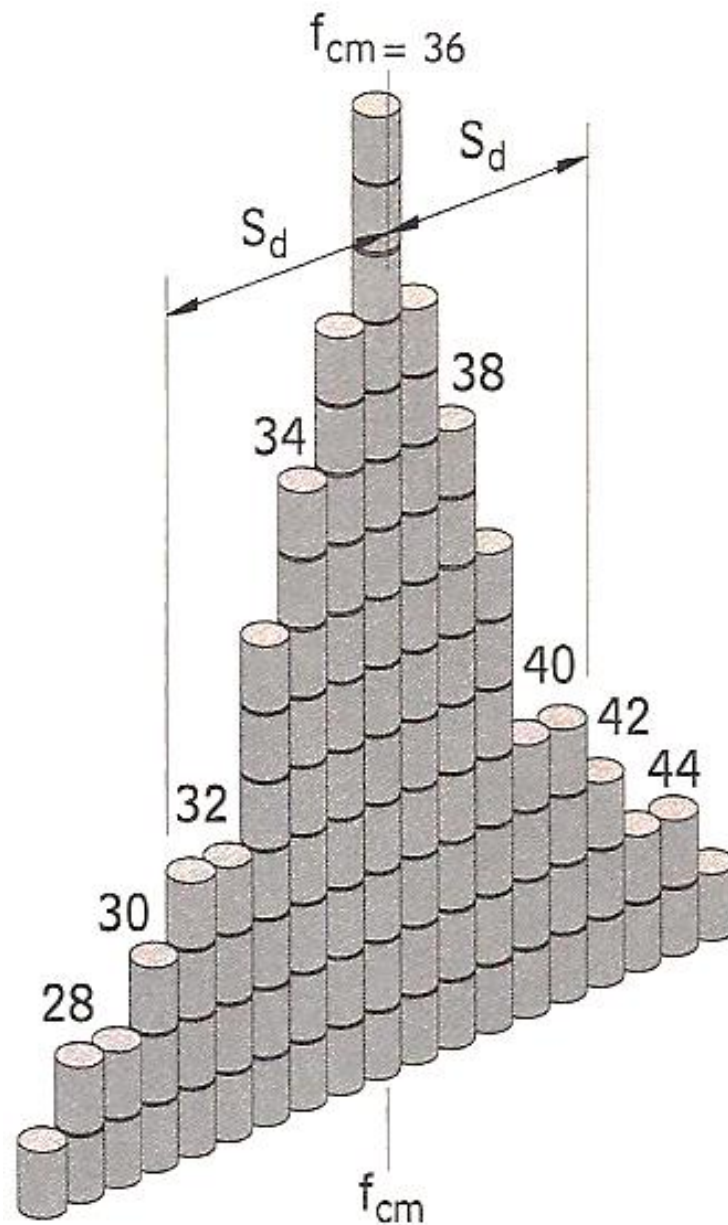
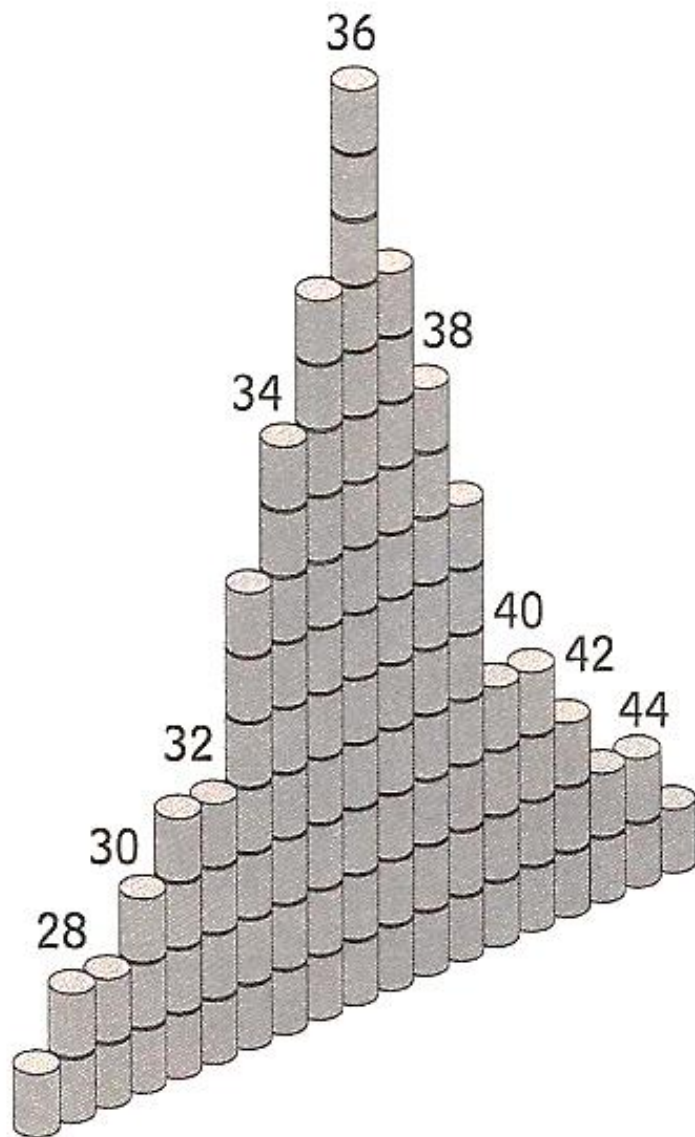


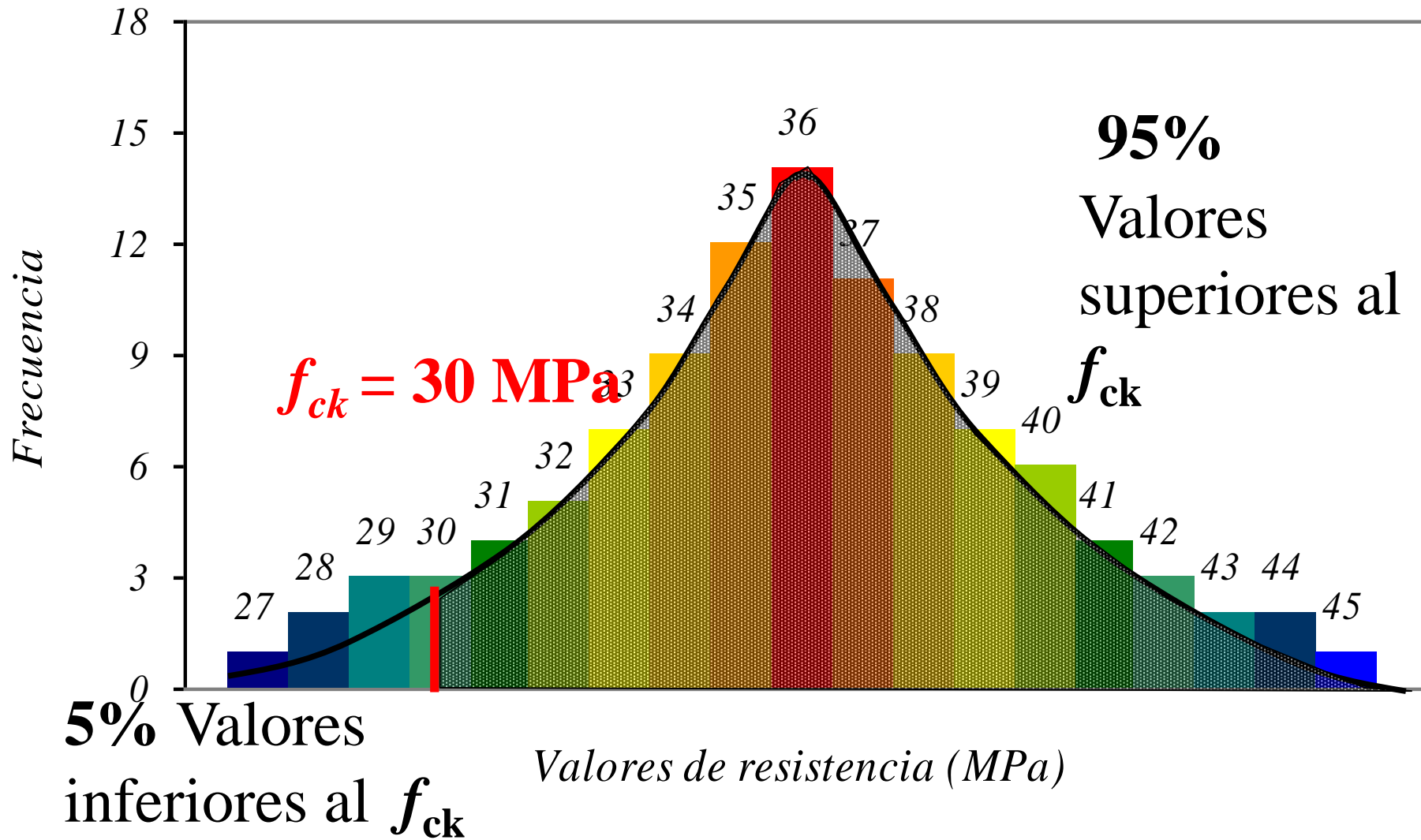
Ensayo de Resistencia a la Compresión Probetas 15 x 30	Obra:	Fecha:
		Hora:

nº Probeta	FCK	Fecha Moldeo	Fecha Ruptura	Edad en días	Carga Aplicada Kg	Resistencia a la Compresión
3299	210	19/01/2012	16/02/2012	28	44.000	249
3300	210	19/01/2012	16/02/2012	28	48.000	271
3301	210	19/01/2012	16/02/2012	28	50.800	287
3302	210	19/01/2012	16/02/2012	28	49.000	277
3303	210	19/01/2012	16/02/2012	28	45.000	254
3304	210	19/01/2012	16/02/2012	28	50.200	284

TESTIGO Nro	FECHA DE CARGAMENTO	CARGA DE ROTURA kg	TIEMPO seg	SECCIÓN cm ²	ALTURA DEL TESTIGO cm	DIAM. DEL TESTIGO cm	TENSIÓN DE ROTURA kg/cm ²	VELOCIDAD DE CARGA kg/cm ² s	(h/d)	FACTOR DE CORRECCIÓN	TENSIÓN CORREGIDA kg/cm ²
T2.1	25/07/2012	23.223	55,7	86,26	18,48	10,48	269,22	4,83	1,76	0,981	264,10
T2.2	25/07/2012	21.501	59,8	85,84	19,55	10,45	250,47	4,19	1,87	0,990	247,96
T3.1	25/07/2012	19.957	63,4	85,93	18,79	10,46	232,24	3,66	1,80	0,984	228,53
T3.2	25/07/2012	18.749	65,9	86,04	19,32	10,47	217,91	3,30	1,85	0,988	215,29
T4.1	25/07/2012	19.207	61,2	86,21	17,60	10,48	222,79	3,64	1,68	0,974	217
T4.2	25/07/2012	20.332	66,1	85,75	17,52	10,45	237,10	3,58	1,68	0,974	230,94
T5.1	25/07/2012	16.452	65,1	86,31	14,84	10,48	190,61	2,93	1,42	0,950	181
T5.2	25/07/2012	17.062	45,6	85,75	14,93	10,45	198,97	4,36	1,43	0,952	189,4
T6.1	25/07/2012	17.037	47,2	86,27	17,79	10,48	197,48	4,18	1,70	0,976	192,74
T6.2	25/07/2012	17.572	64,4	85,92	17,98	10,46	204,51	3,18	1,72	0,978	200
T7	25/07/2012	19.734	57,1	85,87	19,64	10,46	229,81	4,02	1,88	0,990	227,51
T8.1	25/07/2012	15.192	61	86,16	18,92	10,47	176,32	2,89	1,81	0,985	173,6
T8.2	25/07/2012	16.659	50,7	86,07	19,02	10,47	193,55	3,81	1,82	0,986	190,8
T9	25/07/2012	17.503	46,6	85,62	20,10	10,44	204,42	4,38	1,93	0,994	203,2
T10.1	25/07/2012	18.029	51,6	85,98	19,97	10,46	209,69	4,06	1,91	0,993	208,2

Qué es el f_{ck} ?





Resistencia característica estimada, f_c es el valor que estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

La resistencia característica resulta de la interpretación estadística de los resultados de los ensayos. Es definida por una u otra de las siguientes relaciones:

$$f_k = f_m - K S = f_m(1 - KV)$$

f_m = media aritmética de los diferentes resultados de ensayo

S = desviación Standard

V = desviación cuadrática media relativa

K = coeficiente que depende por un lado, de la probabilidad aceptada "a priori" tener resultados de ensayos inferiores al valor f_k ; y por otro, del número de ensayos que definen f_m . (2,33 ACI)

El valor $(1 - KV)$ no debe ser en ningún caso superior a 0.87, vale decir que se requiere:

$$f_k = 0.87 f_m$$

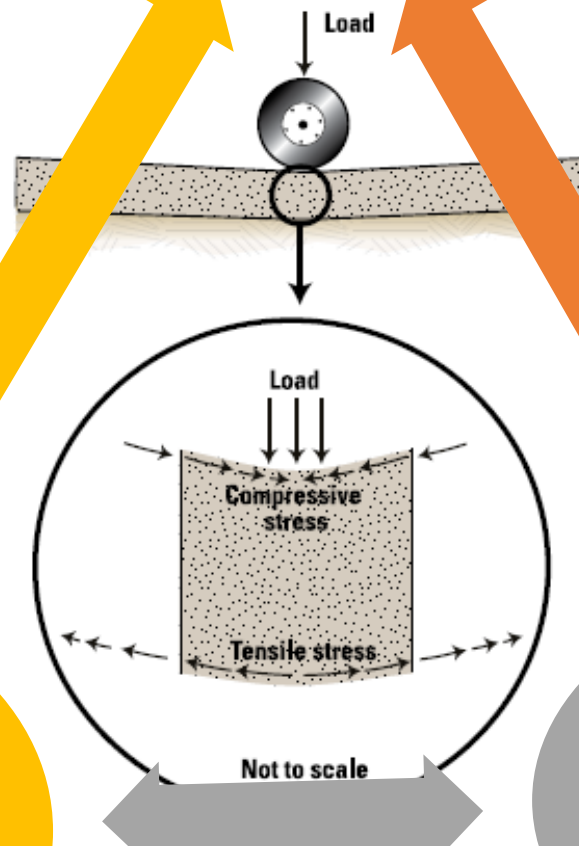
DECISIONES DERIVADAS DE LOS ENSAYOS

- Si $f_k \geq f_{ck}$, se acepta el hormigón
- Si $f_k \geq 0,91 f_{ck}$ se acepta con una penalización económica
- Si $f_k < 0.9 f_{ck}$, es obligado efectuar un análisis de la influencia que tendrán en la seguridad de la estructura este descenso, se deberá sacar probetas testigos en un número no menor a 6 y en el caso de sección segmentada, se sacará 3 por cada segmento.



Resistencia a flexión

13 tipos de agregado
Misma dosificación



5-4. Loads on a pavement induce flexural stress in concrete slab. (ACPA 1994)

El diseño de pavimentos de hormigón está basado en la **resistencia a flexión** (o Módulo de Ruptura) porque los pavimentos de hormigón **fallan debido a esfuerzos de flexión**

hasta 40% en resistencia a flexión

➤ El mayor factor de impacto de la resistencia a flexión es la adherencia entre la pasta y el árido.

➤ No los mismos factores afectan a la resistencia a compresión y a la resistencia a la flexión.

➤ Bajo ciertas condiciones la resistencia puede especificarse a **56** o **90** días

hasta 29% en resistencia a compresión



Resistencia a flexión

ACI

$$\text{Flexural tensile strength : } f_{ct} = 0.64\sqrt{f_c} \quad (f_c \text{ in MPa})$$

EHE 08

$$f_{ct,m} = 0,30 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

ACPA 2000

$$MR = a \cdot \sqrt{f'_c}$$

MR = modulus of rupture (flexural strength), in pounds per square inch (lb/in²) or megapascal (MPa).

f'_c = compressive strength, lb/in² or MPa.

a = coefficient ranging from 7.5 to 10 for lb/in², or 0.62 to 0.83 for MPa (coefficient must be determined for specific mixture).

CAUIDADO!!

...con el uso de la resistencia a compresión como factor de control, estableciendo una correlación directa y única con la resistencia a flexión



Manual de diseño de pavimentos de concreto. ICPC

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Resistencia a flexión

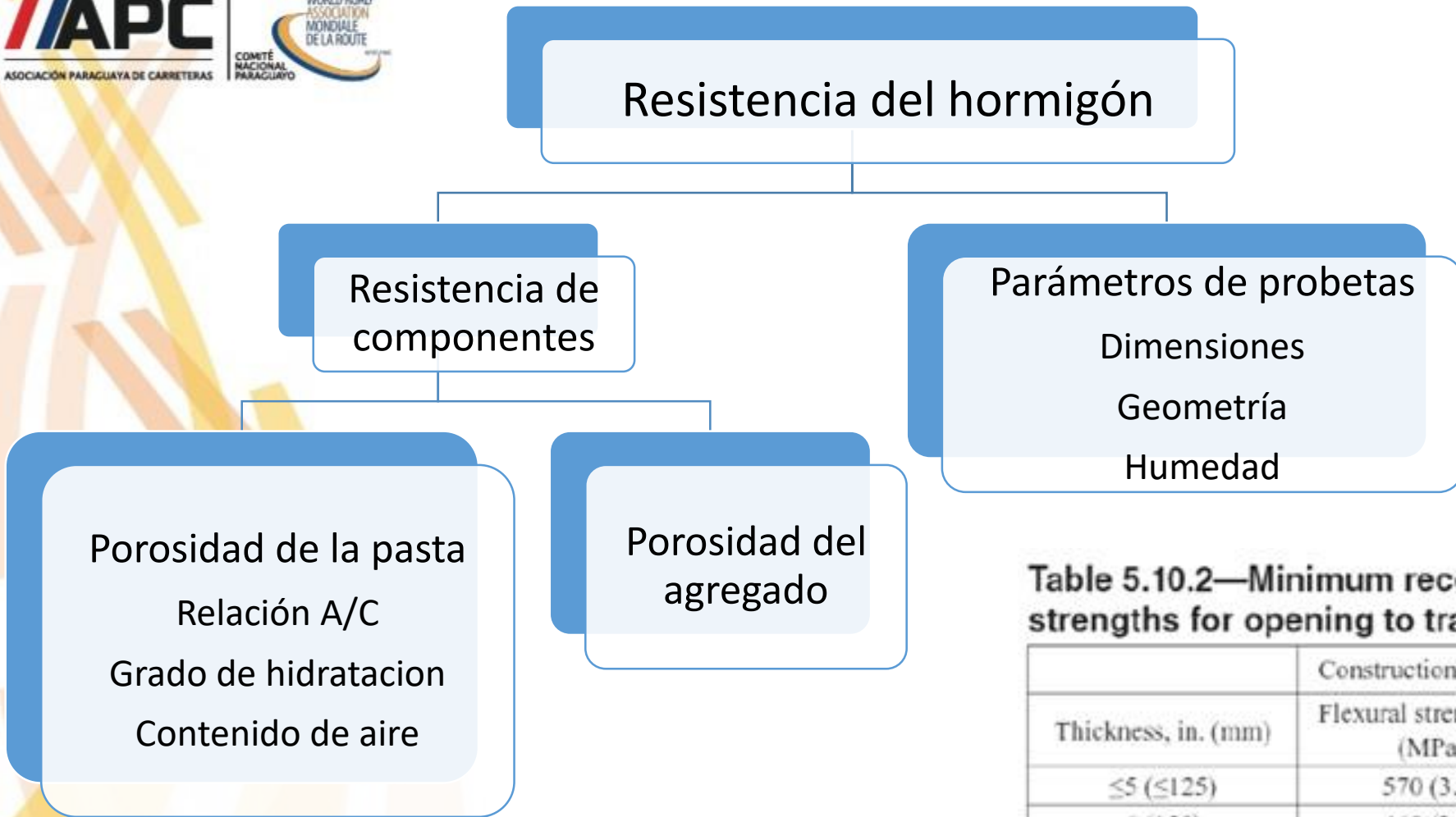


Table 5.10.2—Minimum recommended flexural strengths for opening to traffic

	Construction traffic ^{*†}	Public traffic [‡]
Thickness, in. (mm)	Flexural strength, psi (MPa)	Flexural strength, psi (MPa)
≤5 (≤125)	570 (3.9)	570
6 (150)	460 (3.2)	540
7 (175)	340 (2.3)	450
8 (200)	300 (2.1)	330
≥10 (≥50)	300 (2.1)	300

*Assumes 50 passes of a fully loaded vehicle.

†Assumes 500 one-way equivalent single axle load (ESAL) repetitions between time of opening and time concrete reaches design strength.

‡Assumes modulus of subgrade reaction of 100 psi/in. (27 MPa/m).



Determinación de la resistencia a flexión

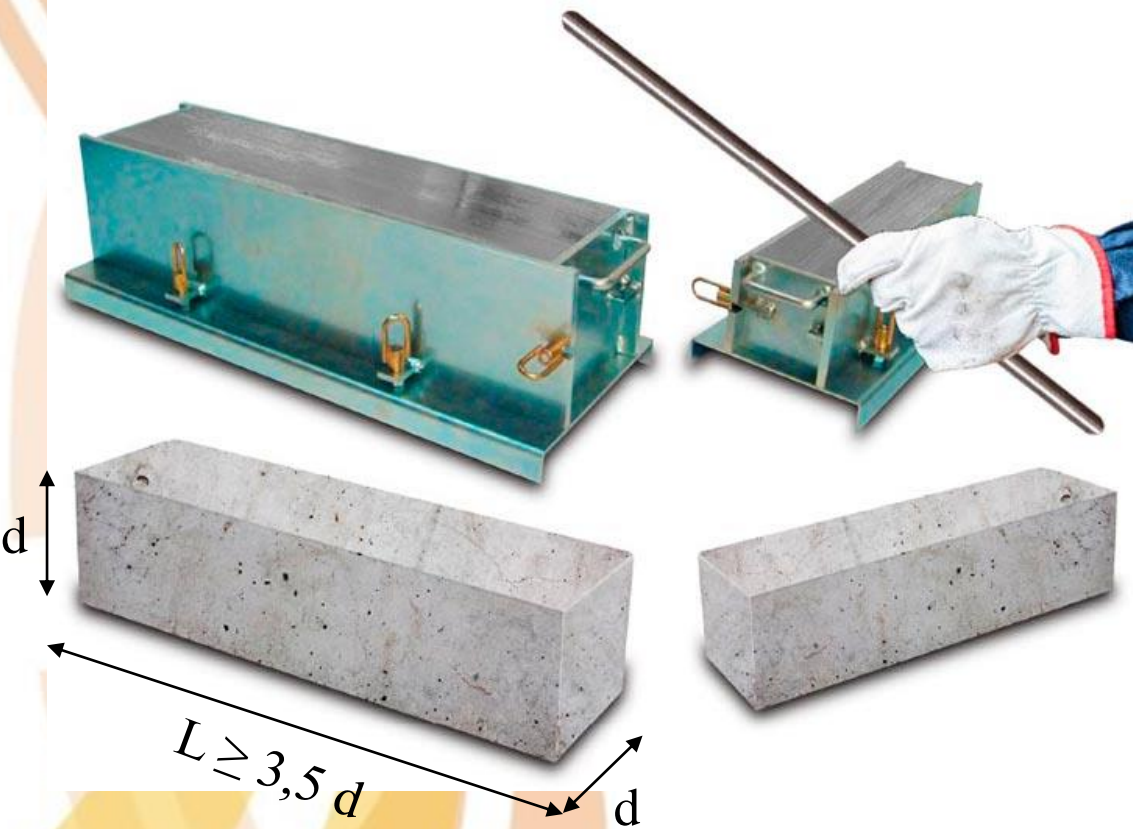


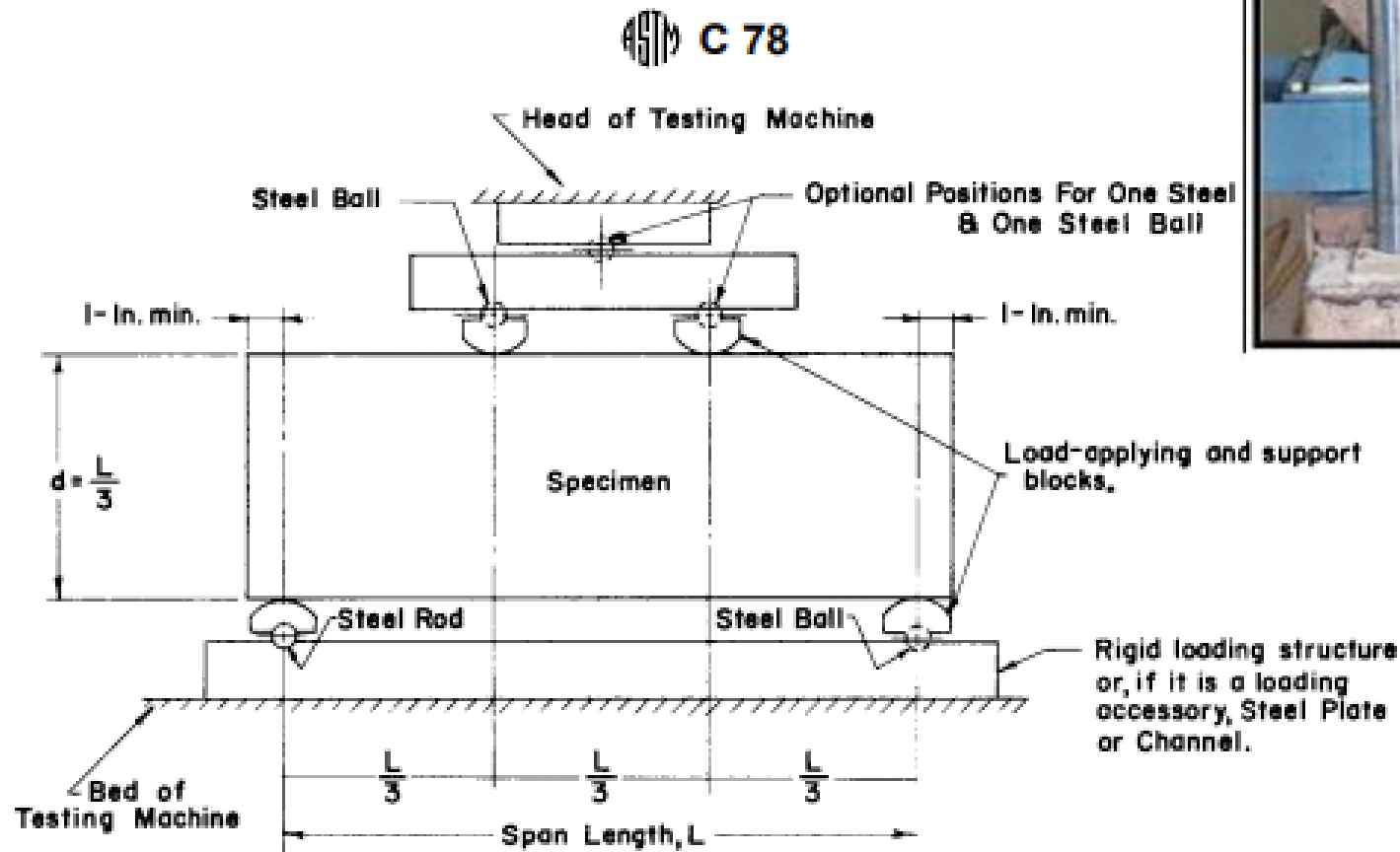
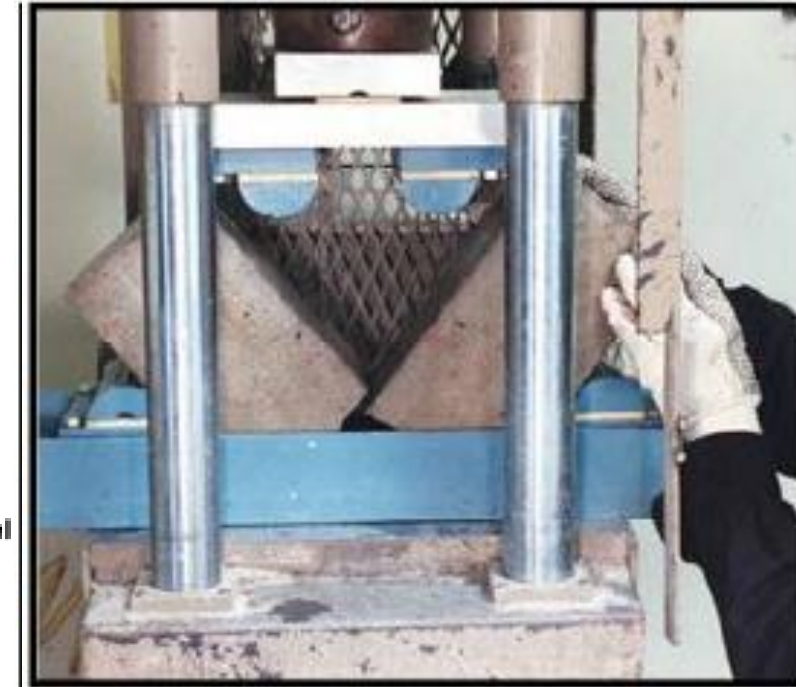
Figure 4 – Reaction Frame for Third-Point Flexural Beam Test (ASTM C78)

- ✓ Dimensiones
- ✓ Tamaño máximo del árido



Tipo de falla

Determinación de la resistencia a flexión



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.

NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

Alabeo de placas

IMPORTANT!

Resistencias muy elevadas aumentan la posibilidad de alabeo

Placas no siempre reflejan totalmente la

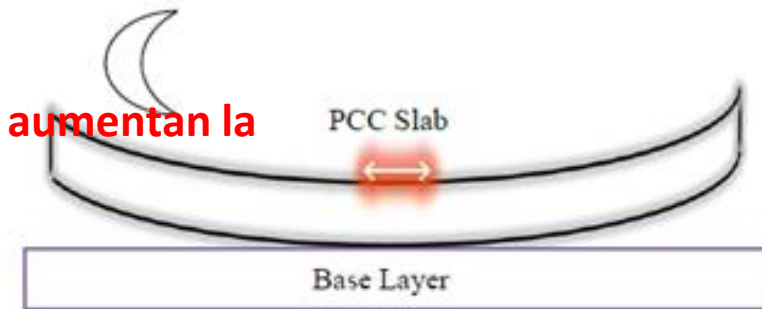


Tabla 3-1 Cinco factores de alabeo de pavimentos de hormigón

Causa	Frecuencia	Comentarios
Gradiente de temperatura	Variación diaria y climática	Resulta de cambios de temperatura diferencial a través de la losa; afectado por variaciones dentro del día, exposición solar y fenómenos climáticos.
Gradiente de temperatura en construcción	Fija	Resulta de gradientes de temperatura durante la colocación del hormigón; afectado por el calor de hidratación del cemento, la temperatura del aire y fenómenos climáticos durante la colocación.
Gradiente de humedad	Variación estacional y climática	Resulta de cambios diferenciales de la humedad relativa en el interior de la losa; es afectado por la temperatura atmosférica y la humedad, los fenómenos atmosféricos y drenajes.
Retracción diferencial por secado	Desarrollo a tempranas edades	Resulta de pérdidas de humedad irreversibles dentro del hormigón; afectado por las condiciones de curado, los componentes del hormigón y las condiciones ambientales.
Deslizamiento	Cambio a corto y largo plazo	Resulta de tensiones ascendentes provenientes de las restricciones y del peso propio de las placas; afectado por la magnitud de las tensiones y los componentes del hormigón.

Alabeo de placas

El fenómeno aumenta con el espesor y la longitud de las placas.

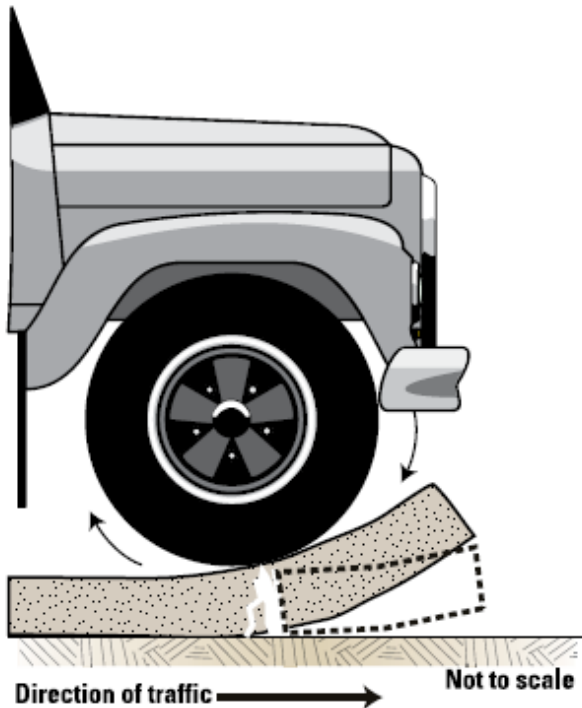


Figure 5-24. Exaggerated illustration of pavement curling. The edge of the slab at a joint or a free end lifts off the base, creating a cantilevered section of concrete that can break off under heavy wheel loading. (PCA)



Placas de 7 m de largo en Iowa con alabeos muy pronunciados en comparación con losas de 5 m de largo o menos en otras zonas.



Alabeo de placas

Estrategias para mitigar el alabeo

Selección de materiales

Diseño de la mezcla

Diseño del pavimento

Prácticas constructivas





Alabeo de placas

Estrategias para mitigar el alabeo



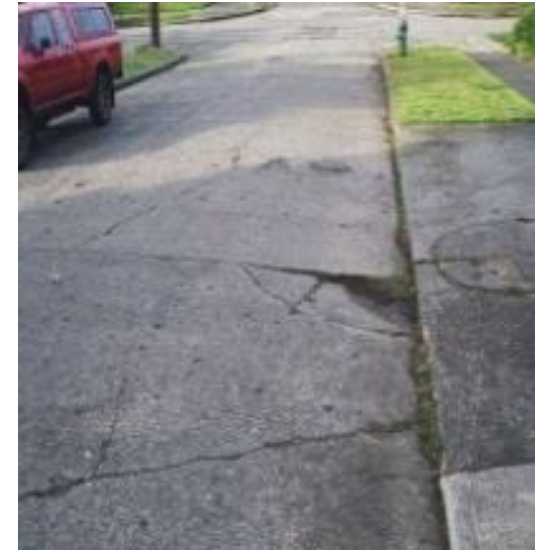
La construcción de pavimentos con altas temperaturas y baja humedad relativa y vientos fuertes favorece la aparición de alabeos.



Para minimizar el fenómeno se recomienda la ejecución durante la segunda mitad del día o durante la noche disminuye el tiempo del hormigón fresco expuesto a la radiación



Las cantidades de cemento y ceniza volante son factores significativos para mitigar el alabeo, ya que guardan relación directa con el proceso de hidratación y la retracción.





Construcción

La **trabajabilidad** se refiere a la facilidad para el mezclado, transporte, colocación, consolidación, acabado y textura de la superficie.



**Cada método de colocación
requiere un diseño propio
de mezcla**



Construcción

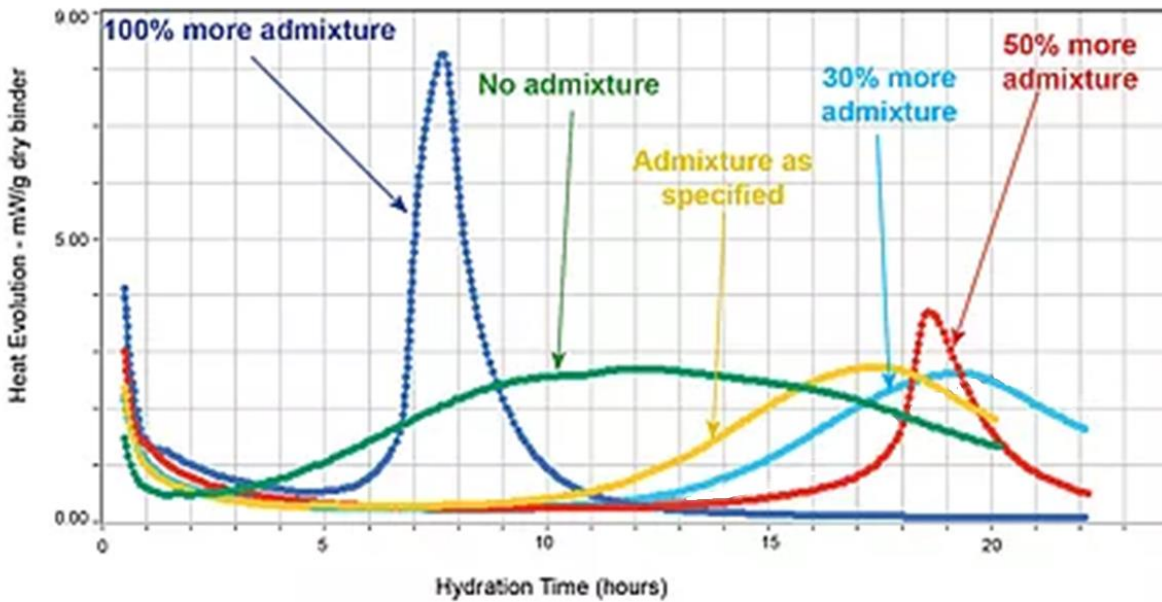
Factores a tener en cuenta

- ✓ Resistencia
- ✓ a/c 0.33 a 0.43.....cemento Tipo II con adiciones (humo de sílica) aceleradores fraguado, reductores
- ✓ Cemento tipo II ACI 413 -472 kg/ m³

Resistencia	Contenido de cemento	Tiempo de Liberación
1,7 MPa	392 - 534	6 – 8 hs
2,1 a 4,2 MPa	395 - 502	20 – 24 hs

Lo que más influye es el **tipo y cantidad de cemento y adiciones**, la temperatura y los aditivos

Calorimetría



La curva amarilla representa el aditivo standard.
La turquesa con un retraso de 2 hs.
La roja altera el pico.
La azul una reacción con un pico aún mas alto y la consiguiente caída de resistencia

Este ejemplo muestra la sensibilidad de los cambios por la dosificación del aditivo. El grafico muestra la evolución del calor de hidratación de la reacción a lo largo del tiempo.





Necesitamos

- ✓ Buenos diseños
- ✓ Materiales adecuados
- ✓ Criterios de durabilidad
- ✓ Control de calidad en la ejecución

Los **REQUISITOS** que debe cumplir el pavimento deben ser **BIEN DEFINIDOS EN EL PROYECTO**, tienen que **PODER SER MEDIDOS** y nunca sujetos a arbitrariedades

Guide for Design and Proportioning of Concrete Mixtures for Pavements

Reported by ACI Committee 325

Table 5.4.3.1.1—Recommended slumps for various types of pavement construction

Types of construction	Slump, in. (mm)	
	Minimum	Maximum
Slipform	1/2 (12)	2 (50)
Form and place	2 (50)	4 (100)
Laser-guided, wet, roller, and vibrating truss screeds	4 (100)	5 (125)
Hand finish	5 (150)	5+ (150+)



Table 5.4.3.1—Approximate mixing water and air content for different water-only slumps and nominal maximum sizes of aggregates

Slump, in.	Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregates							Air content, %
	3/8 in.	1/2 in.	3/4 in.	1 in.	1-1/2 in.	2 in.	3 in.	
Non-air-entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	3.0
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	2.20
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	2.45
Approximate entrapped air content in non-air-entrained concrete, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	2.70
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	0.3
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	2.05
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	2.25
Recommended average total air content, percent for level of exposure								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	2.00
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	1.5
Severe exposure	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	3.5

Note: 1 in. = 25.4 mm; 1 lb/yd³ = 0.5932764 kg/m³.

Note: 1 in. = 25.4 mm; 1 lb/yd³ = 0.5932764 kg/m³.



Patologías

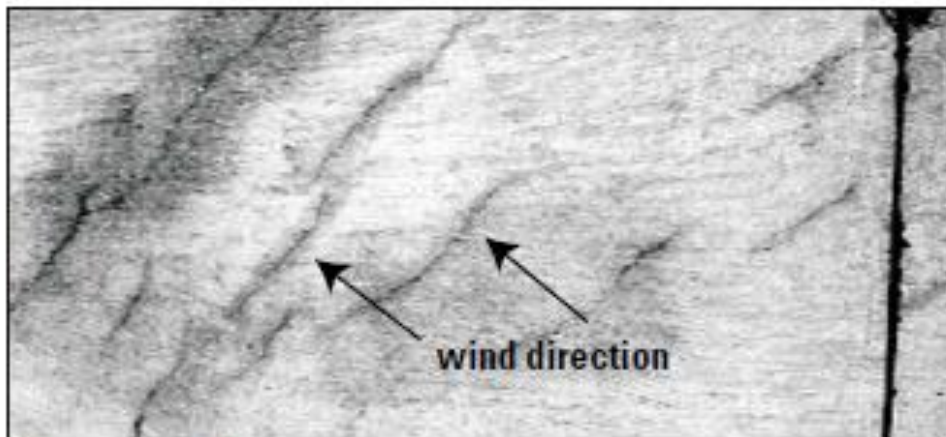


Figure 5-30. Typical plastic shrinkage cracks



Figure 5-31. Deep plastic shrinkage cracks

Fisuras

- e) Secado prematuro de la superficie del hormigón.
- f) Deficiencias en el método de curado.
- g) Tiempo de fraguado excesivo
- h) Exceso vibrado y/o terminación del hormigón



¿Qué le importa al contratista?

La **trabajabilidad** y saber **cuando cortar**



Si esperamos demasiado



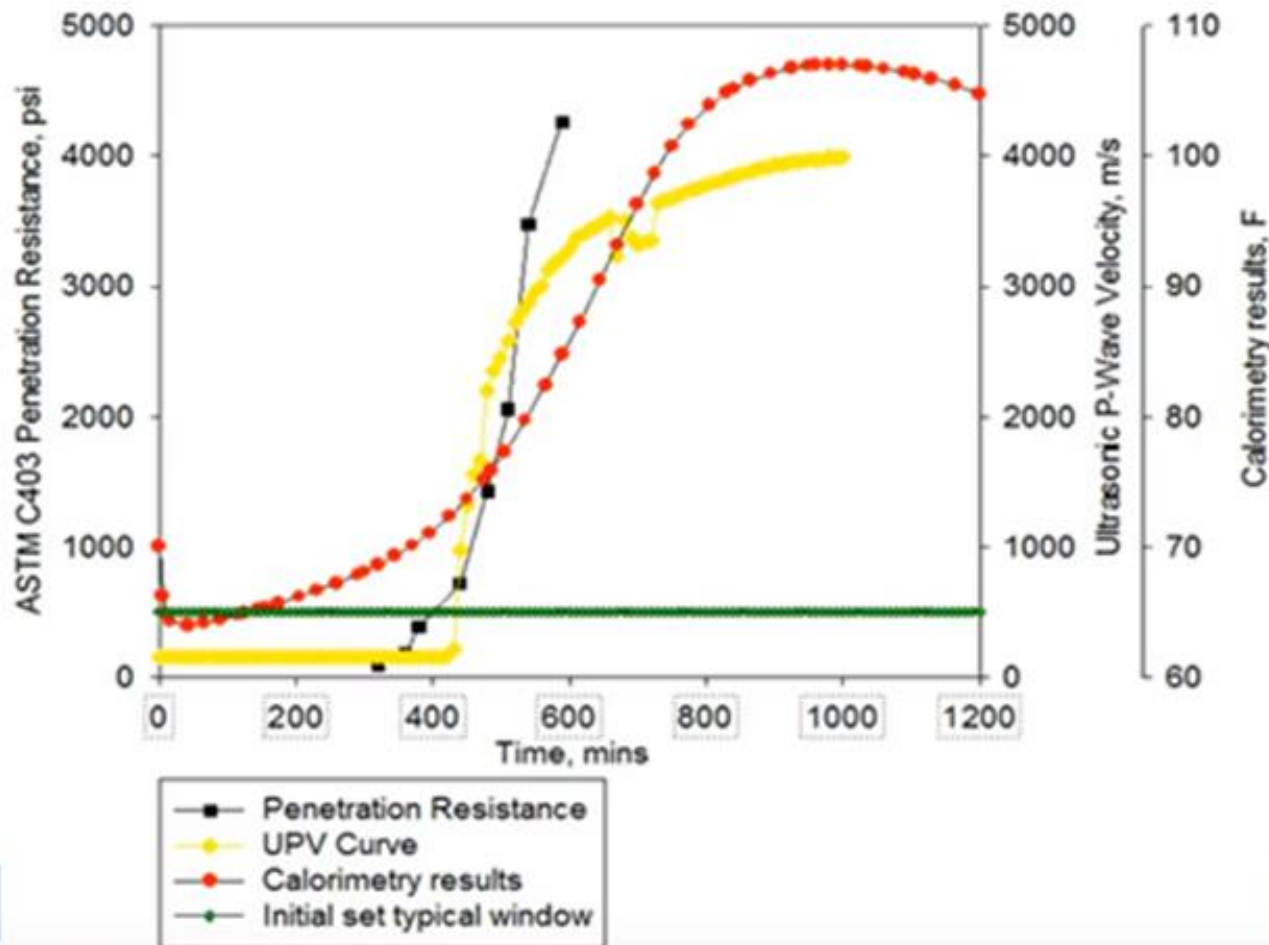
Si no esperamos lo suficiente

Quando Cortar?

20 pavimentos - Medición trabajabilidad –Tiempo de inicio corte

Workability and Setting Time for

Lab Data



The Kelly Ball



etría

ods





Innovaciones

CP Road MAP Brief April 2018

Optimum Joint Spacing Research

Research is currently being conducted by the Iowa Highway Research Board to help determine the optimum joint spacing for thin (4 to 6 in.) concrete overlays. The duration that was considered for this research is 10 to 15 years.

References

- Calkins, J. D., M. H. Kim, and J. C. Cha. 2001. Thin Roadway Overlay Evaluation. Construction Research, Civil and Environmental Engineering, Iowa State University, Ames, IA.
- FHWA and FHWA. 2006. 2006 State of the Nation: Highways, Bridges, and Transit: Conditions and Performance. Federal Highway Administration and Federal Transit Administration, Washington, DC.
- Fink, G., and D. Hartington. 2005. Guide Specifications for Concrete Overlays. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.
- Fink, G., and D. Hartington. 2010. Performance History of Concrete Overlays in the United States. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.
- Hartington, D., and G. Fink. 2014. Guide to Concrete Overlays, Third Edition. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.
- King, D., and J. Riedler. 2014. Structural Performance of Ultra-Thin Overlaying on Existing Roadways and Parking Lots. Illinois Center for Transportation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- McChes, K. H. 1994. NCHRP Synthesis of Highway Practice 214. Portland Cement Concrete Reinforcing Steel. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.
- Riedler, J., A. Riedler, A. Isamberto, M. Bost, and D. Wang. 2008. Design and Construction Manual for Concrete Overlays on Ultra-Thin Overlaying. Illinois Center for Transportation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- Smith, K., D. Hartington, L. Piner, F. Ram, and K. Smith. 2014. Concrete Pavement Performance Guide. National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA.
- Vandenbroucke, J., M. Bost, F. Mui, and K. Gert. 2011. Development of Design Guide for Thin and Ultra-Thin Concrete Overlay of Existing Asphalt Pavements. Task 4 Report. Compilation and Review of Existing Information, Data and Information. University of Pittsburgh, Department of Civil and Environmental Engineering, Jerome School of Engineering, Pittsburgh, PA.
- Woldesenbet, T. T. 2004. Whitepaper Performance in Illinois. Illinois Department of Transportation, Bureau of Materials and Physical Research, Springfield, IL.

CP Road MAP Brief April 2018

CP Road MAP Brief April 2018

Empirical joint spacing research has been performed with joint spacings on lower traffic volume roadways. The majority of the research on 4 to 6 in. thick, larger joint spacing is more desirable because it reduces the number of joints, it was reducing the cost of joint installation and maintenance. However, longer joint spacing can also result in road cracking, increased maintenance requirements, or rough pavements due to rutting and raveling.

For thinner overlays (4 to 6 in.), the current design approach of determining the spacing of longitudinal and transverse joints results in smaller panel sizes normally in the range of 5.5 by 5.5 ft or 4 by 4 ft. However, some field observations have demonstrated that, for pavements with shorter joint spacing, some joints may not be working effectively (lack of crack deployment under the surface, see figure 22), particularly on lower volume roadways.

In conclusion, a small construction joint where a crack does not deploy increases cost of the project and adds the pavement to potential distress over the years. In such situations, determination of maximum joint spacing is desired as determination of the optimal joint spacing for concrete overlays is warranted. This is particularly true for relatively thin RCCO pavements. By optimizing joint spacing, the economy of pavement construction and maintenance may be improved.

Analytical investigation and field testing are being performed to determine the optimum joint spacing for thin concrete overlays based on the following testing parameters: concrete overlay type, thickness, joint spacing and the use of synthetic macrofibers.

With the assistance of Dr. Jeff Roesler, University of Illinois, ultrasonic pulse echo imaging is being utilized to analyze crack deployment on existing concrete overlays and concrete overlay test sections throughout Iowa (figure 23). The research is planned to be completed in 2019.

Figure 22: Lack of crack deployment at a joint construction joint

Figure 23: Ultrasonic pulse echo imaging of concrete overlays to analyze crack deployment

With the assistance of Dr. Jeff Roesler, University of Illinois, ultrasonic pulse echo imaging is being utilized to analyze crack deployment on existing concrete overlays and concrete overlay test sections throughout Iowa (figure 23). The research is planned to be complete in 2019.



Figure 23. Ultrasonic pulse echo imaging of concrete overlays to analyze crack deployment

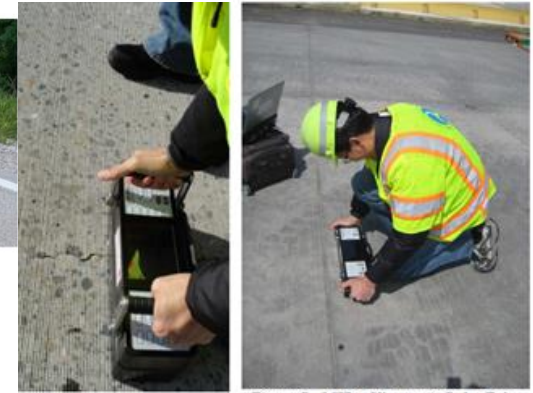


Figure 7 - MIRA Ultrasonic Pulse Echo

<http://www.cproadmap.org/>



Figure 5 - Broken panels in Highway 60 East



(a)



(b)

Figure 6 - (a) Transverse joint spalling in I-394 and (b) longitudinal joint spalling in Highway 60 East

No se encontró en el estudio una relación directa entre espesores insuficientes o excesivos y los daños, lo que **NO IMPLICA** que el **espesor NO ES IMPORTANTE**.

A medida que disminuye la velocidad aumenta la aparición de los daños.



Innovación: **Medición Resistividad del Hormigón**

Evaluation of Resistivity Meters for Concrete Quality Assurance



Prepared By
Dr. John T. Keven (Principal Investigator)
Dr. Ceki Halmen (Co-Principal Investigator)
Dirk Hudson (Graduate Research Assistant)
University of Missouri-Kansas City



Figure 49. Surface resistivity testing on the bridge deck

Existe una fuerte correlación entre la relación A/C y la resistividad del hormigón fresco.

La resistividad es una oportunidad para mejorar el diseño de las mezclas de hormigón, incrementando la durabilidad con un costo insignificante de los ensayos.

Innovación: ¿Cómo evitamos el asentamiento del borde ?



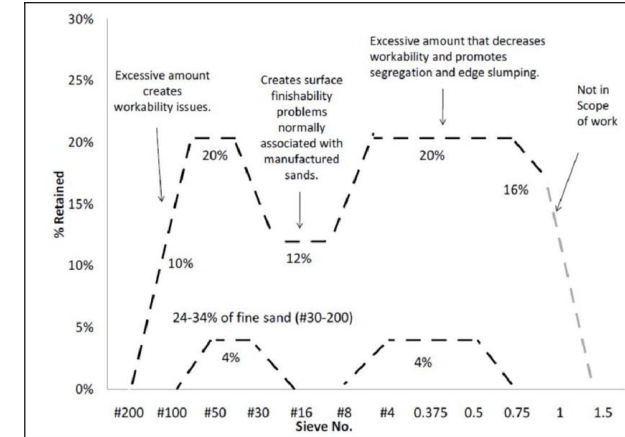

CONGRATULATIONS TO Dr. Tyler Ley

Recipient of the 2018 Oklahoma Medal for Excellence Award!

Thank you for your contributions to the College of Engineering, Architecture and Technology at Oklahoma State University, to the State and to the Nation!

Tarantula curve for concrete Mix Design

Tyler Ley, PE, PhD



<http://www.tarantulacurve.com/>

El objetivo del método es aumentar el volumen de agregado y disminuir la pasta

Determinar la combinación de agregados, el volumen y la consistencia que se necesita para la aplicación.

Box Test



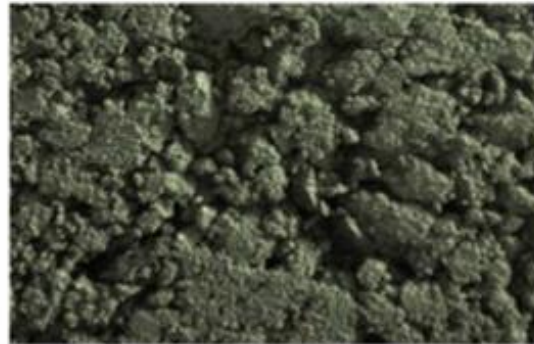
Vibrador 3 s



Innovación: ¿Como evitamos el asentamiento del borde ?

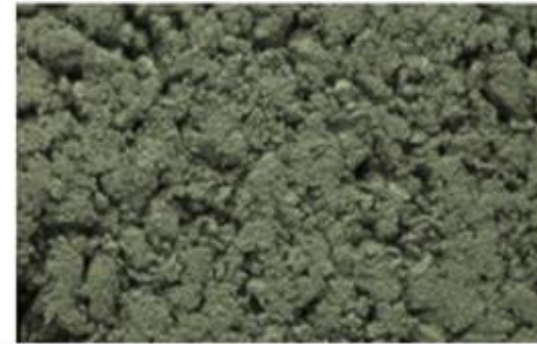
Box Test

Resultados



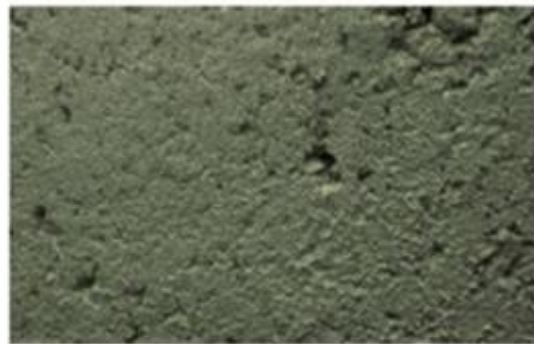
4

Más del 50% de vacíos en la superficie



3

30-50% de vacíos en la superficie



2

10-30% de vacíos en la superficie



1

Menos del 10% de vacíos en la superficie

Please encourage people to check out my YouTube Channel at

www.youtube.com/tylerley



Sample Information:

Test Group C Field Test Sheet

Project: OKDOT Demo. Project I-35, Love Co.

Date: 5-Apr-06

Time: 1:30 PM

Portland Cement
Sample Temp.: 114.4

Fly Ash Sample Temp.: 82.8

GGBFS Sample
Temp.: n/a

Comments: Sampled cement from truck (ticket #9904551)

Sampled fly ash from bulk storage - all fly ash in the pig was delivered on 04APR2006

Mix Time Observations:

Batch #1 (sec.) 145

Batch #2 (sec.) 133

Average Mix Time (sec.) (avg. cycle time - 35 sec.): 104

Batch #3 (sec.) 138

- cement sample temp.
- fly ash sample temp.
- ggbfs sample temp.
- mix time observations (3) and average
- cementitious heat generation (coffee cup)
- combined gradation
- false set (when necessary)
- HIPERPAV

Comp. Maturity Logger: 8:45 AM

IG Drum (mortar): 8:30 AM

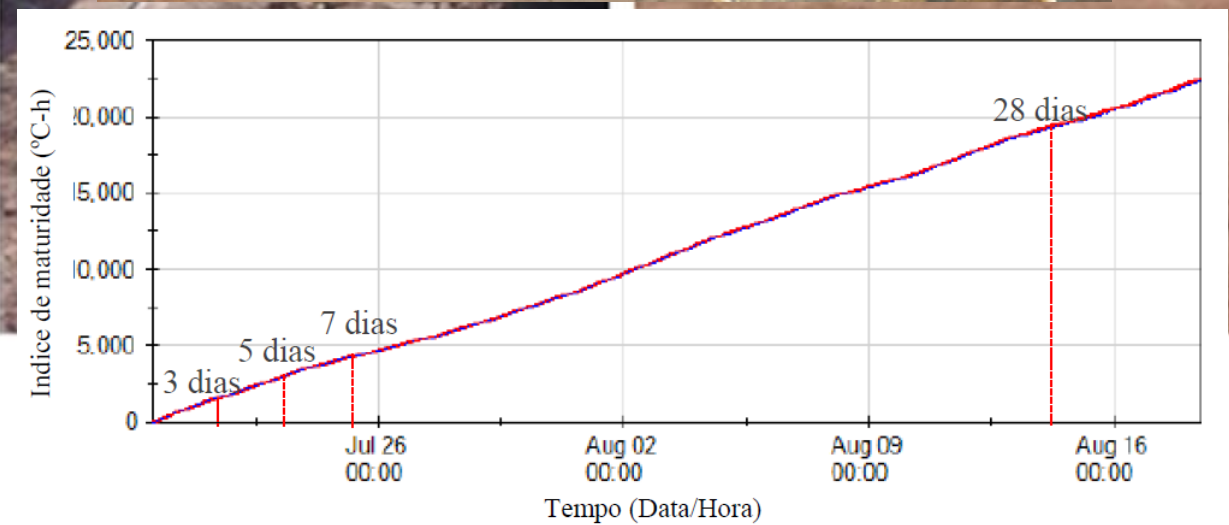
First Penetration for Set Time
(sample time + 3 hours): 11:30 AM

- slump
- flow
- unit weight
- pressure air
- set time (penetration resistance)
- microwave water content
- iq drums (mix & mortar)
- maturity (compressive and flexural)



Control de la Maduración del Hormigón

Avenida Fdo. de la Mora- Asunción



3er. CONGRESO
PARAGUAYO
**Vialidad
y Tránsito**
EXPO VIAL 2018



APC
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS



Muchas gracias!

ingsergiogavilan@gmail.com