



Seminario Internacional

Construcción de Pavimentos de Hormigón

Tema:

Control Tecnológico del Hormigón para Pavimentos

Disertante:

Prof. Dr. Ing. Sergio Gavilán

Patologías



Patologías



Fisuras

- a) elevada **temperatura** ambiente y de **colocación del hormigón**.
- b) exposición durante las horas de mayor soleamiento.
- c) **elevado contenido de cemento**.
- d) **muy elevado calor de hidratación del cemento**.

Patologías



Fisuras

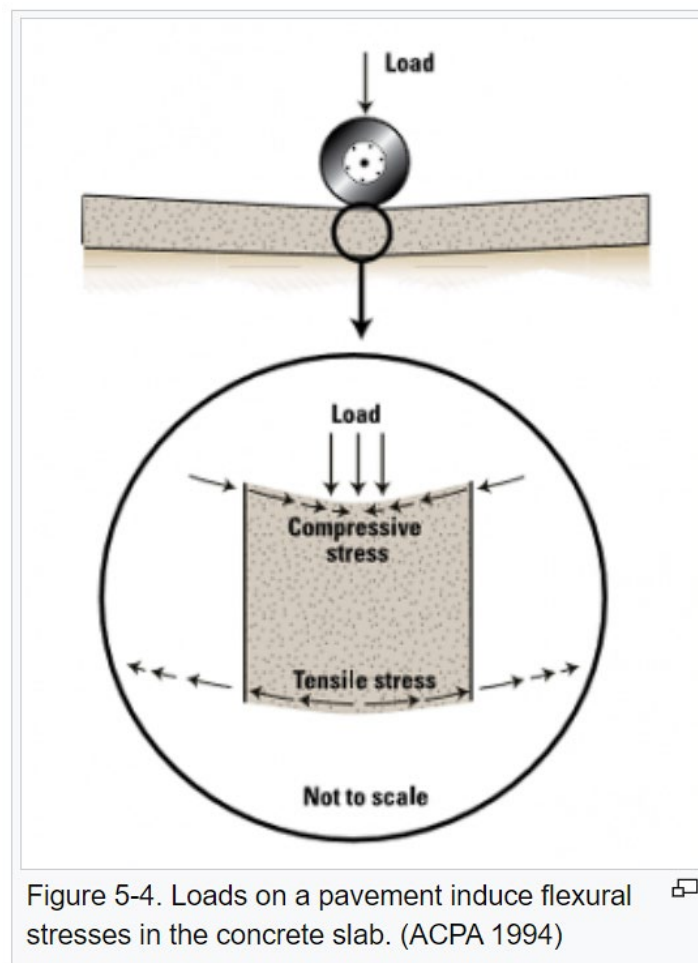
- e) Secado prematuro de la superficie del hormigón.
- f) Deficiencias en el método de curado.
- g) Tiempo de fraguado excesivo
- h) Exceso vibrado y/o terminación del hormigón



!!Control Tecnológico del Hormigón!!!

Resistencia a flexión

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**.



- 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**

Resistencia a flexión



¡¡¡CUIDADO!!!

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

ACI

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

EHE 08

$f_{ct,m} = 0.30 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$

f_c	f_{ct} (ACI)	f_{ct} (EHE08)
25	3,20	2,56
30	3,51	2,90
40	4,05	3,51
50	4,53	4,07

Norma colombiana

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

Control Tecnológico del Hormigón

**1-Muestreo de Materiales (cemento, áridos)
(Laboratorio)**

Tipos de cemento disponibles en nuestro mercado

Cemento Portland Compuesto CPII

CONCEPTO

Es un conglomerante hidráulico obtenido de la molienda conjunta de Clinker, yeso y de dos o más adiciones minerales, que pueden ser filler calcáreo, puzolanas o escoria granulada de alto horno.

CARACTERÍSTICAS

USOS

APLICACIONES

RECOMENDACIONES

- Clinker más yeso (sulfato de calcio): 79-65 %
- Adiciones (filler calcáreo, escoria granulada de alto horno, puzolana): mínimo 2 entre 21 a 35 %

COMPOSICIÓN

REQUISITOS MECÁNICOS

Norma Paraguaya NP 1704480

ALMACENAMIENTO

- Resistencia a la compresión a 7 días \geq 20 MPa.
- Resistencia a la compresión a 28 días \geq 32 MPa.

SEGURIDAD



F40

Cemento Portland Fillerizado CPII



CARACTERÍSTICAS

USOS

APLICACIONES

COMPOSICION

- Clinker más yeso (sulfato de calcio): 94-80 %
- Adición de filler calcáreo entre 6 y 20 %

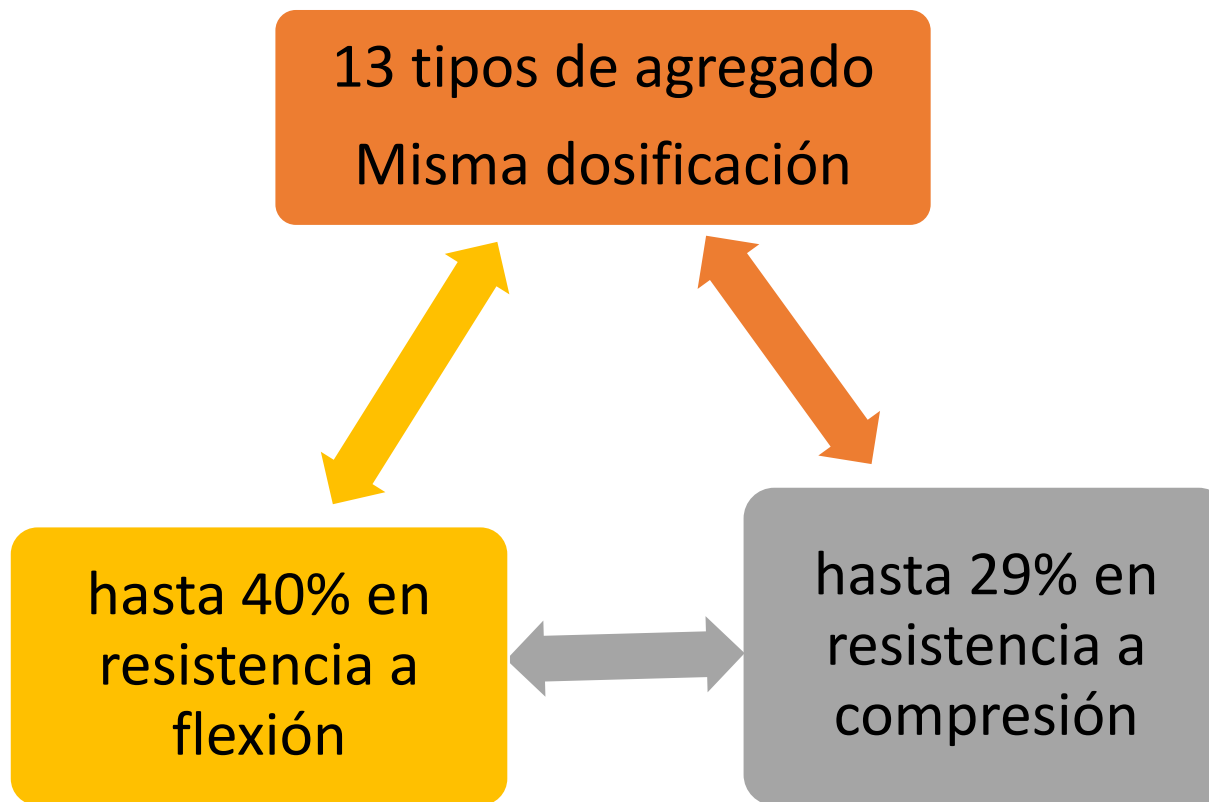
RECOMENDACIONES

Norma Paraguaya NP 1704480

REQUISITOS MECANICOS

- Resistencia a la compresión a 7 días \geq 25 MPa.
- Resistencia a la compresión a 28 días \geq 40 MPa.

Resistencia a flexión



Conceptos básicos de reología del hormigón

5 COMPOSICIÓN

Composición según tipo de cemento-

TABLA II

Tipo	Cemento Tipo	Identificación	Clinker + yeso	Puzolana P	Escoria E	Fillers Calizo F
CPI	Cemento Pórtland común	CPI	95 - 100	5-0	5-0	5-0
CPII-C	Cemento Pórtland Compuesto	CPII-C	79-65	Dos o tres componentes con (P+E+F) 21-35%		
CPII-F	Cemento Pórtland con Filler calizo	CPII-F	94-80	-	-	6-20
CPIII	Cemento Pórtland Siderúrgico	CP III	79-30	-	21 -70	..
CPIV	Cemento Puzolánico	CPIV	85-50	15-50	-	..
CPV ARI	Cemento Pórtland Alta Resistencia Inicial	CPV-ARI	100-95	0-5	0-5	0-5
CAB	Cemento de albañilería	CAB	55-50	-	-	45-50

6/9

Albañilería
AB
4,5
B-45
15
-
90
24
1,0
-
65
16
-
-
2,5
4,5

Conceptos básicos de reología del hormigón

Composición de distintos tipos de cementos

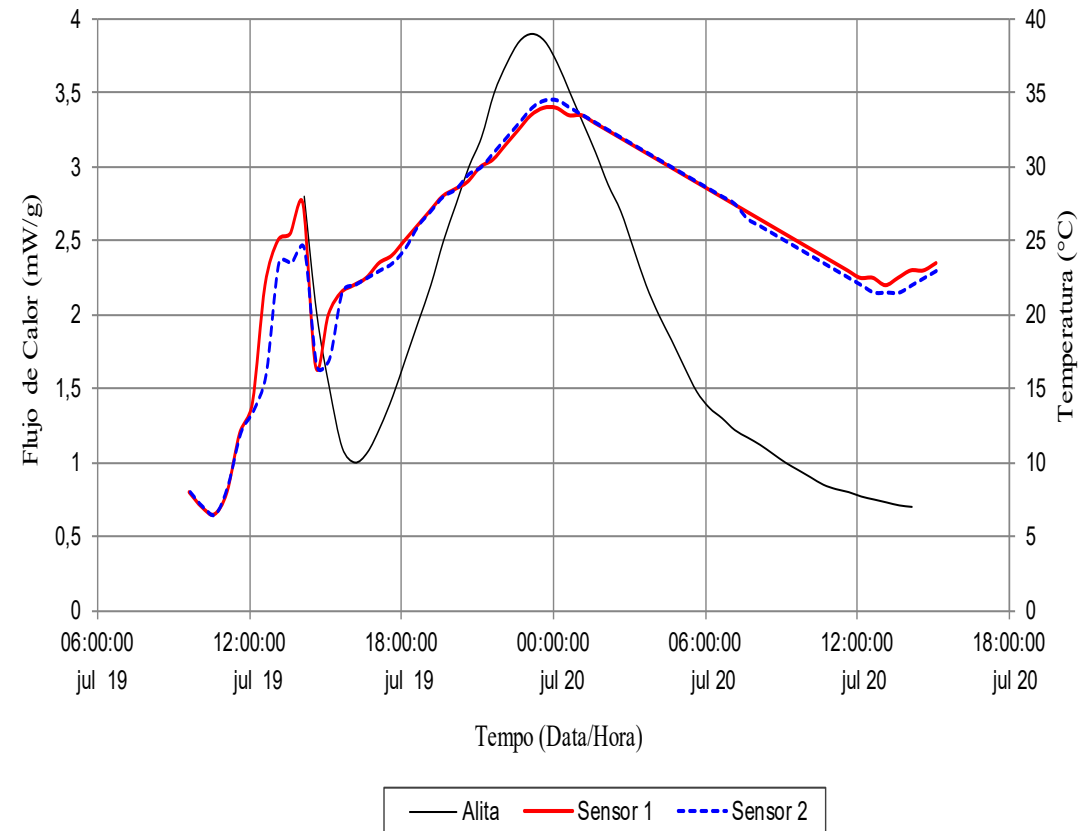
Tipo de cemento	Composição de compostos (%)							
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO livre	MgO	Perda ao fogo
I	59	15	12	8	2,9	0,8	2,4	1,2
II	46	29	6	12	2,8	0,6	3,0	1,0
III	60	12	12	8	3,9	1,3	2,6	1,9
IV	30	46	5	13	3,9	0,3	2,7	1,0
V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	1,0

La Alita
representa entre
un 50% y un 70%
del peso del
cemento

Proceso de hidratación



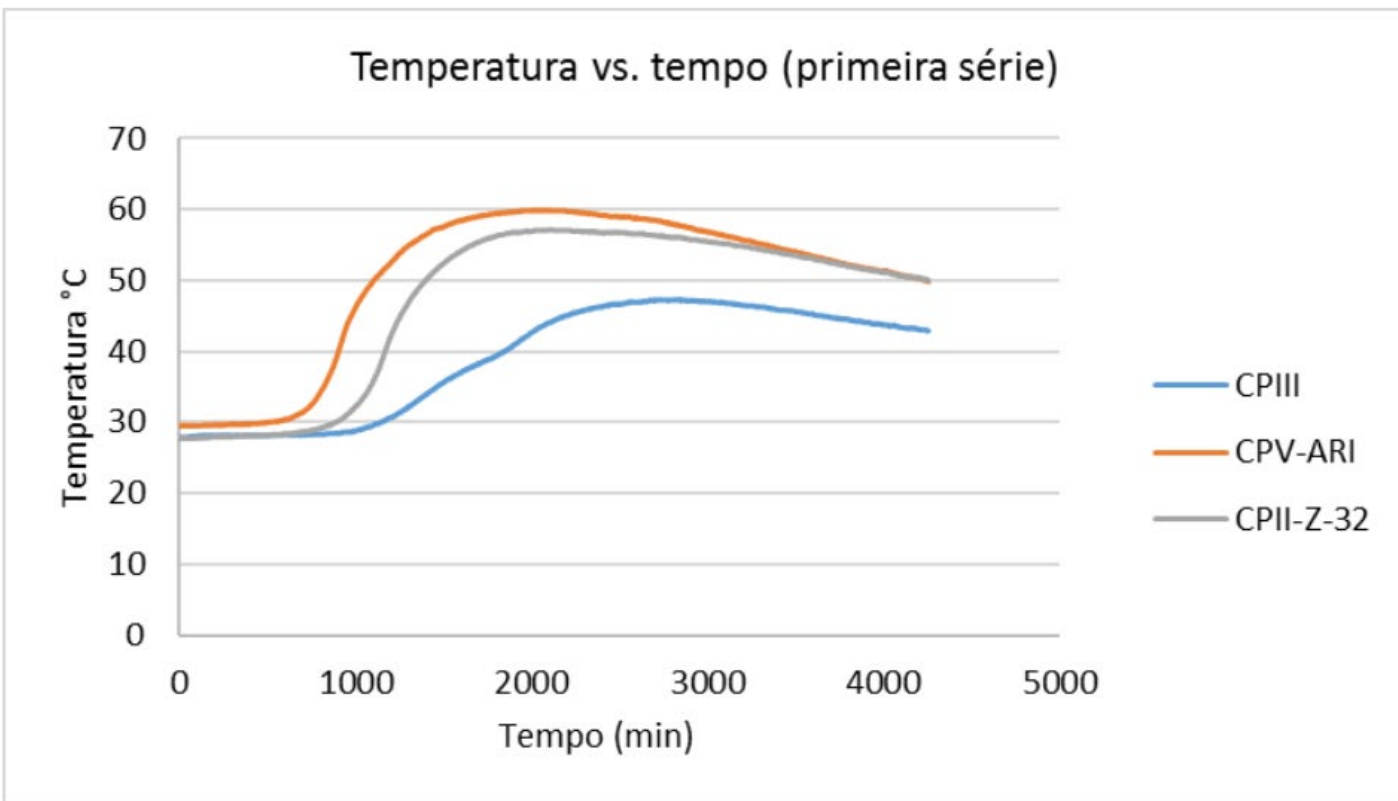
em. BULLARD et al., 2011)



Bullard et al. Mechanisms of cement hydration. Cement and Concrete Research. 41, pg. 1209-1221. 2011, 2011

Gavilán. Aplicação do ensaio APULOT na determinação da resistência à compressão in loco do concreto nas primeiras idades, 2017

Influencia del tipo de cemento en el calor de hidratación



Propriedade	Comum e Composto	Alto-Forno	Pozolânico	Alta Resistência Inicial
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e de esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão

<https://abcp.org.br/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>

Control Tecnológico del Hormigón

2-Dosificación (aditivos, adiciones) (Laboratorio)

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

Wirtgen 850

20 ± 10 mm

Extendedora de encofrado deslizante
SP 850 Vario



GOMACO Comander III

40 ± 10 mm



REGLA VIBRADORA

70 ± 10 mm



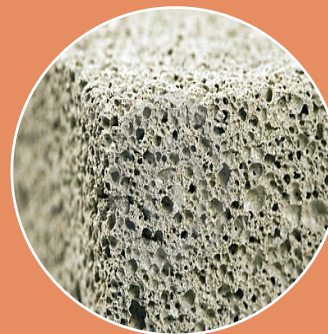
Conceptos básicos de reología del hormigón

“la facilidad con que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado”

“la habilidad del concreto para fluir”



Estabilidad:
Exudación
Segregación



Compactación:
Densidad



Movilidad:
Angulo de fricción interna
Adherencia
Viscosidad





Consistómetro Vebe



Table 2.1—Comparison of consistency measurements for slump and Vebe apparatus

Consistency description	Slump, mm	Slump, in.	Vebe, s
Extremely dry	—	—	32 to 18
Very stiff	—	—	18 to 10
Stiff	0 to 25	0 to 1	10 to 5
Stiff plastic	25 to 75	1 to 3	5 to 3
Plastic	75 to 125	3 to 5	3 to 0
Very plastic	125 to 190	5 to 7-1/2	—

ACI 211.3R-02-Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete

Tiempo Vebe (s)	Consistencia
30 a 18	Extremadamente seca
18 a 10	Muy seca
10 a 5	Seca

Resistencia a flexión

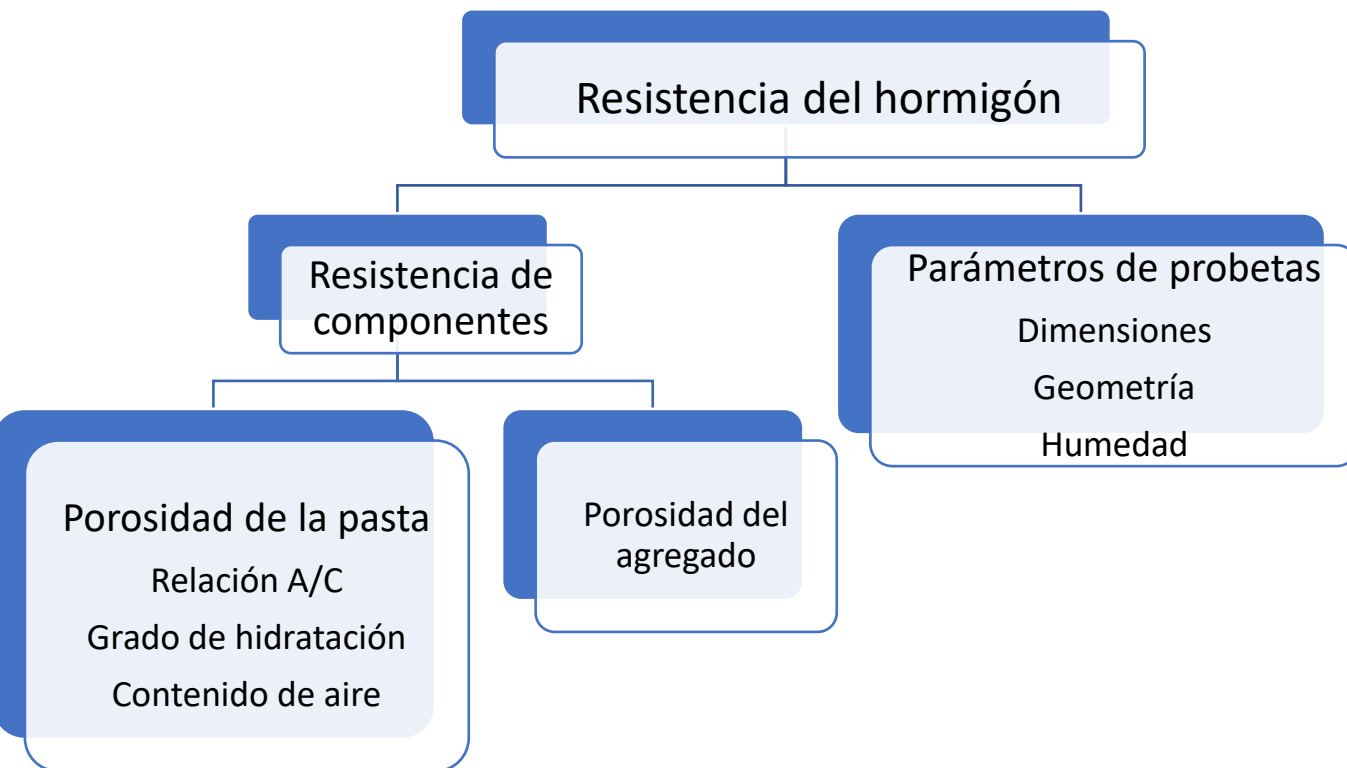


Table 5.10.2—Minimum recommended flexural strengths for opening to traffic

	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).

Guide for Design and Proportioning of Concrete Mixtures for Pavements

Reported by ACI Committee 325



Licensed to: Sergio Gavirón

Table 4.3.3.1—Hydraulic cement types

Cement specification	Types						
	General purpose	Moderate heat of hydration	High early strength	Low heat of hydration	Moderate sulfate resistance	High sulfate resistance	Resistance to alkali-silica reactivity (ASR)
Portland cements ASTM C150/C150M AASHTO M85	Type I	Type II(MH)	Type III	Type IV	Type II	Type V	Low alkali option
Blended hydraulic cements ASTM C595/C595M AASHTO M240	IS(x) IP(x) IT(Ax)(By)	IS(<70)(MH) IP(x)(MH)		IP(x)(LH)	IS(<70)(MS) IP(x)(MS)	IS(<70)(HS) IP(HS)	Low reactivity option
Performance hydraulic cements ASTM C1157/ C1157M	GU	MH	HE	LH	MS	HS	Option R

Note: IS = Type IS (portland blast-furnace slag cement); IP = Type IP (portland-pozzolan cement); IT = Type IT (ternary blend); GU = Type GU (hydraulic cement for general construction); HE = Type HE (high early strength); MS = Type MS (moderate sulfate resistance); HS = Type HS (high sulfate resistance); MH = Type MH (moderate heat of hydration); and LH = Type LH (low heat of hydration).

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						
	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 to 4	385	365	340	325	300	285	245
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270
Approximate entrapped air content in non-air-entrained concrete, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
Air-entrained concrete							
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260
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
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
Severe exposure	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5

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

Recomendaciones ACI

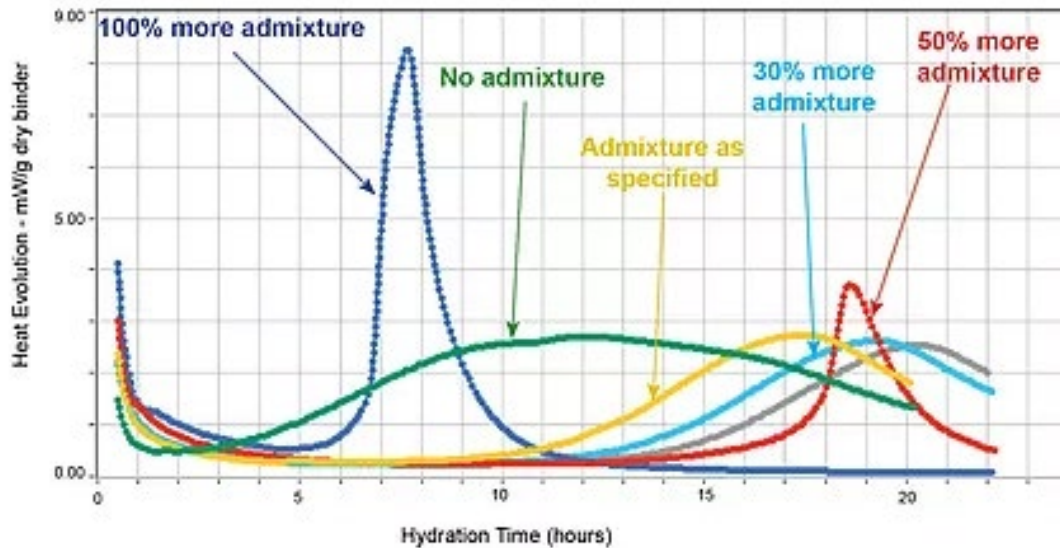
Resistencia

✓ a/c 0.33 a 0.43.....cemento Tipo II con adiciones (humo de sílica)
aceleradores, reductores de fraguado

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- Estudiar Sensibilidad del aditivo/dosificación



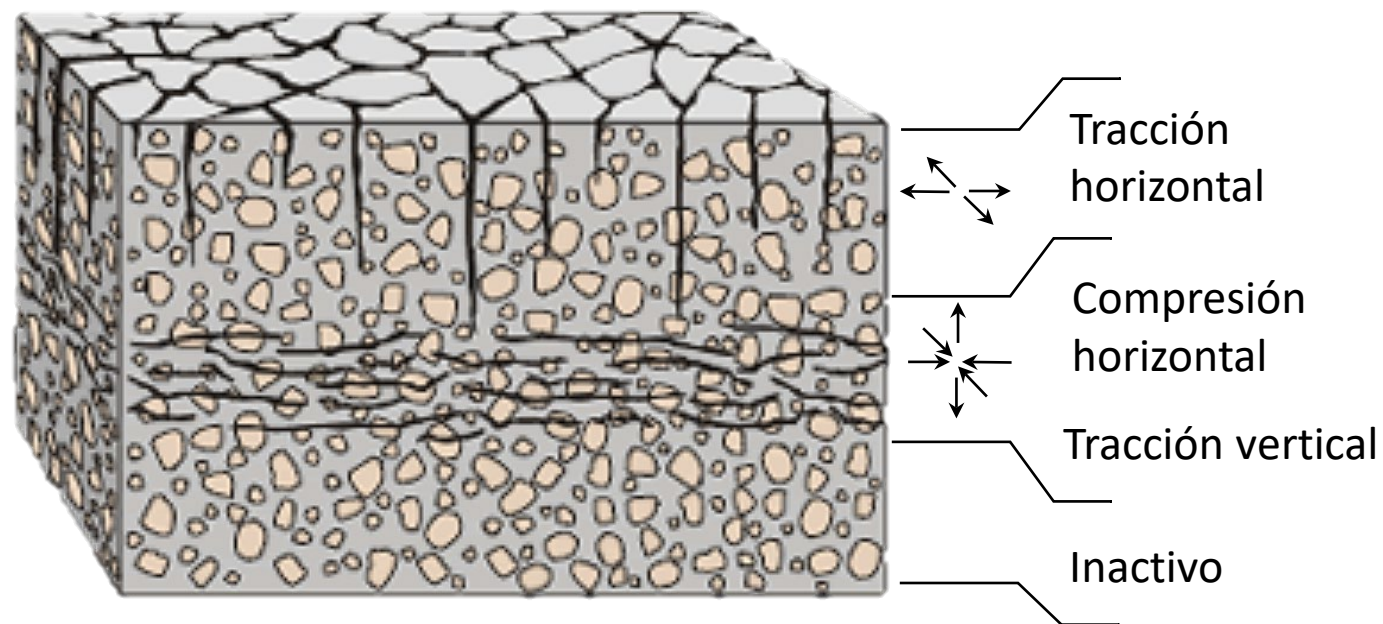
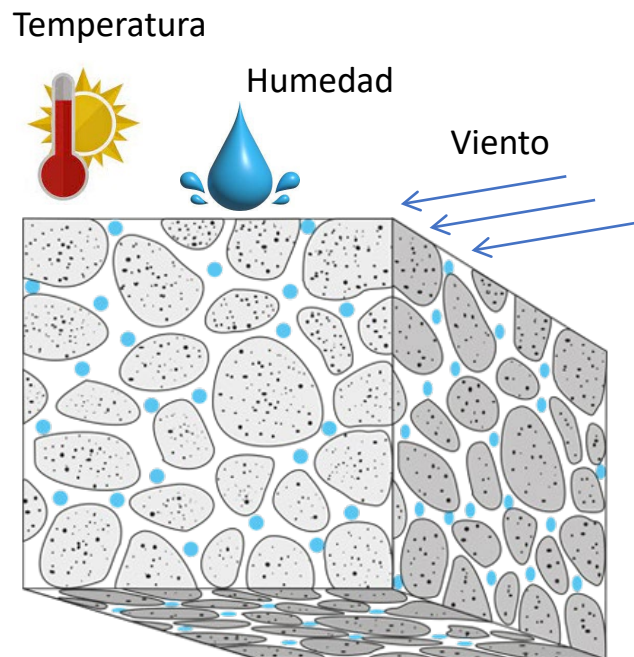
El gráfico muestra la evolución del calor de hidratación de la reacción a lo largo del tiempo.

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 más alto y la consiguiente caída de resistencia



Estructura porosa del hormigón

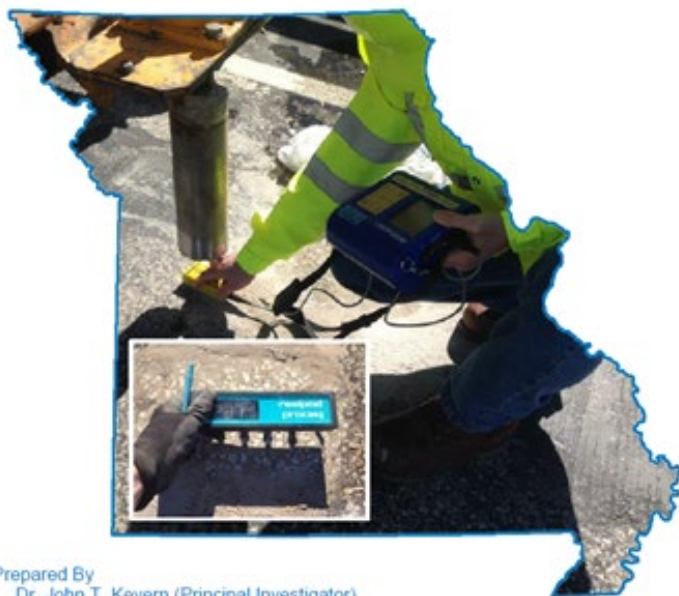
Influencia de las condiciones ambientales



Tendencias preferentes de fisuración en pavimentos de hormigón armado

Medición Resistividad del Hormigón

Evaluation of Resistivity Meters for Concrete Quality Assurance



Prepared By
 Dr. John T. Kevern (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

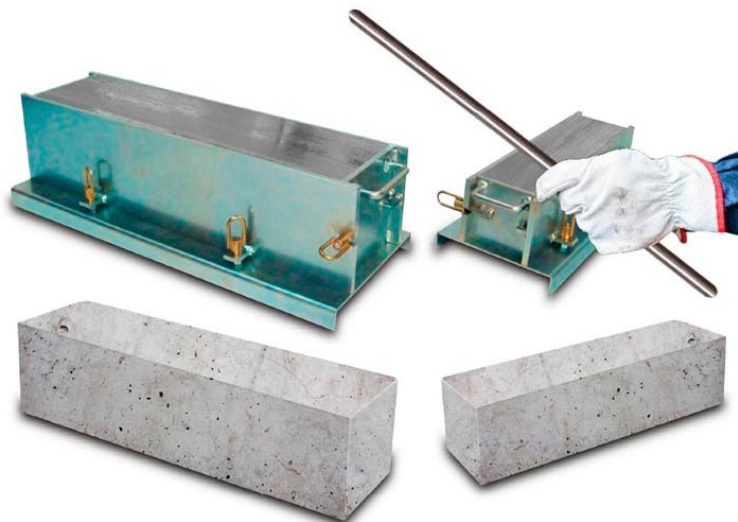
Existe una fuerte correlación entre la a/c y la resistividad del hormigón fresco.

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

Control Tecnológico del Hormigón

**3-Control de la producción (asentamiento, moldeo)
(Campo)**

Determinación de la resistencia a flexión



- ✓ Dimensiones
- ✓ Tamaño máximo del árido



Molde: prismático 15 X 15 X 50 cm o 10 X 10 X 40 cm

NBR

Muestreo y Verificación de Resistencia

Lote no mayor a 500 m³, ni a 2500 m²
32 ejemplares de 2 cuerpos de prueba prismáticos, por lote. (ABNT NBR 5738:2015)-Moldeo

ABNT NBR 12142:2010 - Ensayo

f_{ctMk} *resistencia característica del hormigón a tracción en flexión.*

$f_{ctMk,est}$ *resistencia característica estimada del hormigón a tracción en flexión*

$$f_{ctMk,est} = f_{ctM,j} - kS$$

K *coeficiente distribución de student*

S *desvío padrón*

$$f_{ctMk,est} \geq f_{ctM,k}$$

Aceptación automática

Si no se cumple, se extraen 6 testigos prismáticos por cada 1000 m².

Control Tecnológico del Hormigón

4-Control del curado (Laboratorio y Campo)

Manual



El agua o el solvente se evapora y se forma una resina o membrana sobre la superficie, que es la va a retardar la pérdida de agua por evaporación, y prolongando así la hidratación del cemento.

Mecánica



Cura Química

ASTM C1315-19 ⓘ

Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete



Problemas por incompatibilidad del líquido de curado utilizado en un sector del pavimento.

Control Tecnológico del Hormigón

- 1-Muestreo de Materiales (cemento, áridos)(Laboratorio)
- 2-Dosificación (aditivos, adiciones)(Laboratorio)
- 3-Control de la producción (asentamiento, moldeo)(Campo)
- 4-Control del curado (Laboratorio y Campo)

Hormigones reforzados con fibra ¿Por qué aun tienen poca aplicación?



Barrera técnica

Desconocimiento de los métodos de diseño, fabricación y control de estructuras con HRF

Barrera psicológica

Inercia al cambio.
Falta de experiencias publicadas y transmitidas en la comunidad técnica.



Hormigones reforzados con fibra

Tipos de fibras y clasificación

FIBRAS

Hormigones reforzados con fibra



- Consistencia (docilidad)



Gracias !!

ingsergiogavilan@gmail.com

Conclusión

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