

III Jornadas Chilenas de la Construcción
Universidad Central

Los pavimentos de hormigón dentro
del marco de la norma NCh170:2016

Mauricio Salgado Torres

Jefe de Pavimentación

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile

**Los pavimentos
de hormigón
dentro del marco
de la norma
NCh170:2016**

Mauricio Salgado

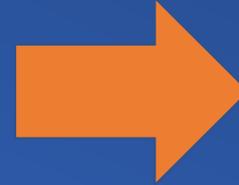
- Antes del NCh170:2016
- Principales modificaciones y actualizaciones
- Influencia en la industria de los pavimentos
- Próximos desafíos para la industria

Norma NCh170:2016 “Hormigón – Requisitos Generales”



NCh 170 Of.1985

**Prescriptiva
Didáctica
Anexos Informativos (Guías)**



NCh 170: 2016

**Transición a Norma de
especificaciones por
comportamiento.**

NCh 170:2016

- Establece Requisitos por comportamiento, dejando alternativas de cumplir por prescripción.
- Elimina anexos informativos de construcción.

Diseño y dosificación de mezclas de hormigón

El objetivo general de la dosificación de las mezclas de hormigón es asegurar que cumple con los requisitos de diseño y equilibrio de los siguientes factores:

- Economía
- Constructabilidad
- resistencia
- Durabilidad
- Sustentabilidad



El diseño de mezclas de hormigón óptimo consiste en seleccionar la combinación adecuada de los materiales disponibles que cumplan con los umbrales de los criterios considerados.

Tenga en cuenta que algunos de estos criterios están en conflicto y el proceso de diseño de la mezcla es típicamente de cumplimiento y compensaciones (trade-offs).

Diseño y dosificación de mezclas de hormigón

- Proceso de determinación de las características requeridas y especificables de una mezcla de hormigón:

Enfoque prescriptivo (límites a los materiales)

Enfoque por desempeño (características deseables)

- Los requerimientos de diseño de las mezclas se basan en el uso previsto, medio ambiente, etc.



Enfoque Prescriptivo

VS

Enfoque Por Desempeño



Exige el cumplimiento de uno o varios parámetros del hormigón que no necesariamente aseguran un óptimo performance

**Enfoque prescriptivo
(límites a los materiales)**



La idea es evaluar y garantizar el nivel requerido de calidad del hormigón con relación a la durabilidad esperada de la estructura, bajo el entorno en el que estará construida

**Enfoque por desempeño
(características deseables)**

**Enfoque
Prescriptivo**

VS

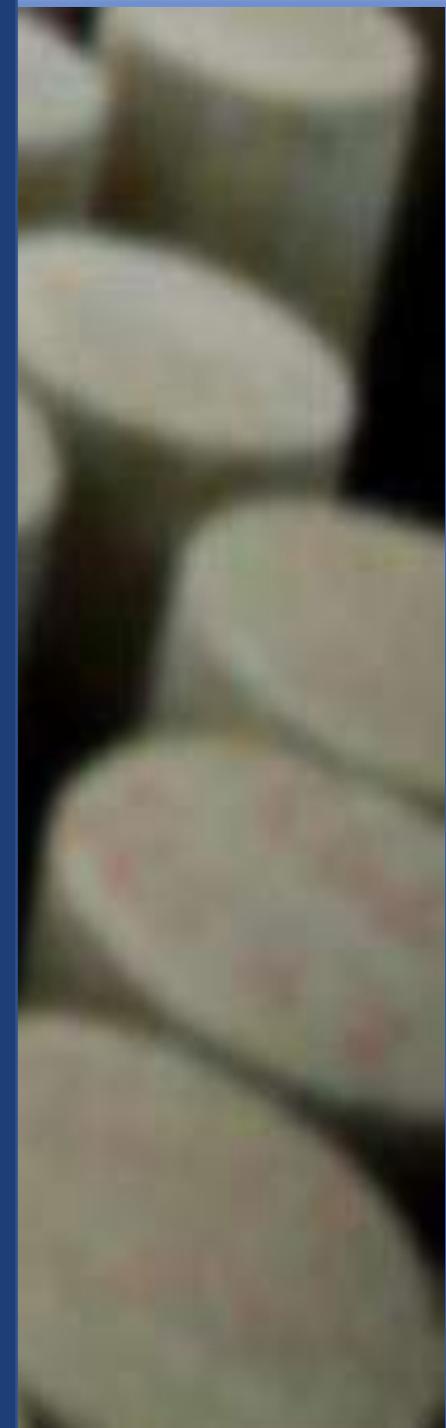
**Enfoque Por
Desempeño**



**Contenido de Aire
Resistencia
Asentamiento**



**Trabajabilidad
Permeabilidad
Resistividad
Retracción
Vacíos con Aire**





Especificación de hormigones según resistencia a la compresión de una probeta cúbica (H-25, H-30, etc).



Se establecen dosis mínimas de cemento según condiciones tales como: Tipo de confección, uso o protección de la estructura final, etc.



Control de hormigones mediante probetas cúbicas o equivalencias desde testigos a probetas cúbicas.

Antes del NCh170:2016



Testigo



Viga
prismática



Probeta
cilíndrica



Probeta cúbica



Principales modificaciones y actualizaciones

G25

Modificación en la clasificación de hormigón por resistencia a la compresión.

ΔT°

Se agrega el concepto de Madurez.

% Aire

Especificación del hormigón por durabilidad (corrosión, sulfatos, permeabilidad, etc.)

↓ Cemento

Actualización de conceptos producto de nuevos conocimientos, métodos y aplicaciones.

Influencia en la industria de los pavimentos



Permite la apertura temprana al tránsito.

Mejoras las condiciones para la competencia



Fomenta las buenas prácticas e innovación



Facilita los mecanismos de control



Especificaciones Serviu Metropolitano para pavimentos de hormigón Pavimentos Participativos – Llamado 27



3.8 HORMIGON

3.8.1 Dosificación. Se preparará usando los materiales indicados en el punto 3.5, que se medirán de acuerdo a lo indicado en el punto 3.7, en todo caso deberá considerarse una dosis de cemento mínima de **340 Kg/m³ de hormigón elaborado**, en base a cemento corriente. Se acepta un 10 % menos de dosificación con el uso de cementos de alta resistencia debidamente certificados por planta que cumpla con las normas INN. El hormigón resultante deberá cumplir con los requisitos de resistencia establecidos en el punto 3.10 y 3.11 y durabilidad de acuerdo a lo establecido en la Norma NCh 170 /2016. La Dosificación debe ser presentada antes de hormigonar y con una vigencia hasta 60 días.

3.10 RESISTENCIAS

La resistencia media a flexotracción será **4,2 MPa**. Su equivalente en compresión cilíndrica es **G30** según NCh 170/2016 (pag.6) en cuyo caso $f'c=30$ MPa.

Para efectos del diseño de la dosificación respectiva ha de considerarse la resistencia característica con un 20 % de fracción defectuosa y un coeficiente de variación mínimo de 10 % para hormigones preparados en plantas.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPECIALES
PARA OBRAS DE VEREDAS Y SOLERAS

PAVIMENTOS PARTICIPATIVOS
27° LLAMADO

2018

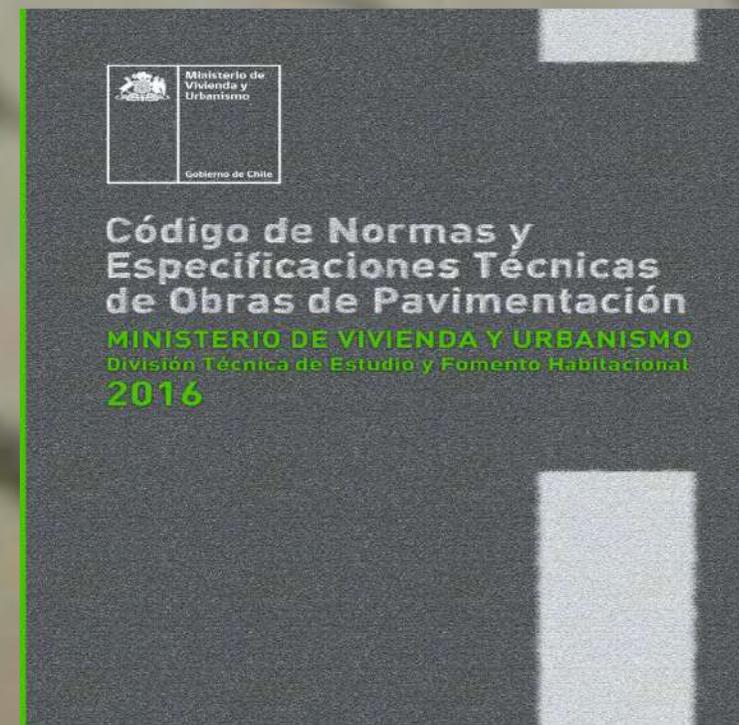
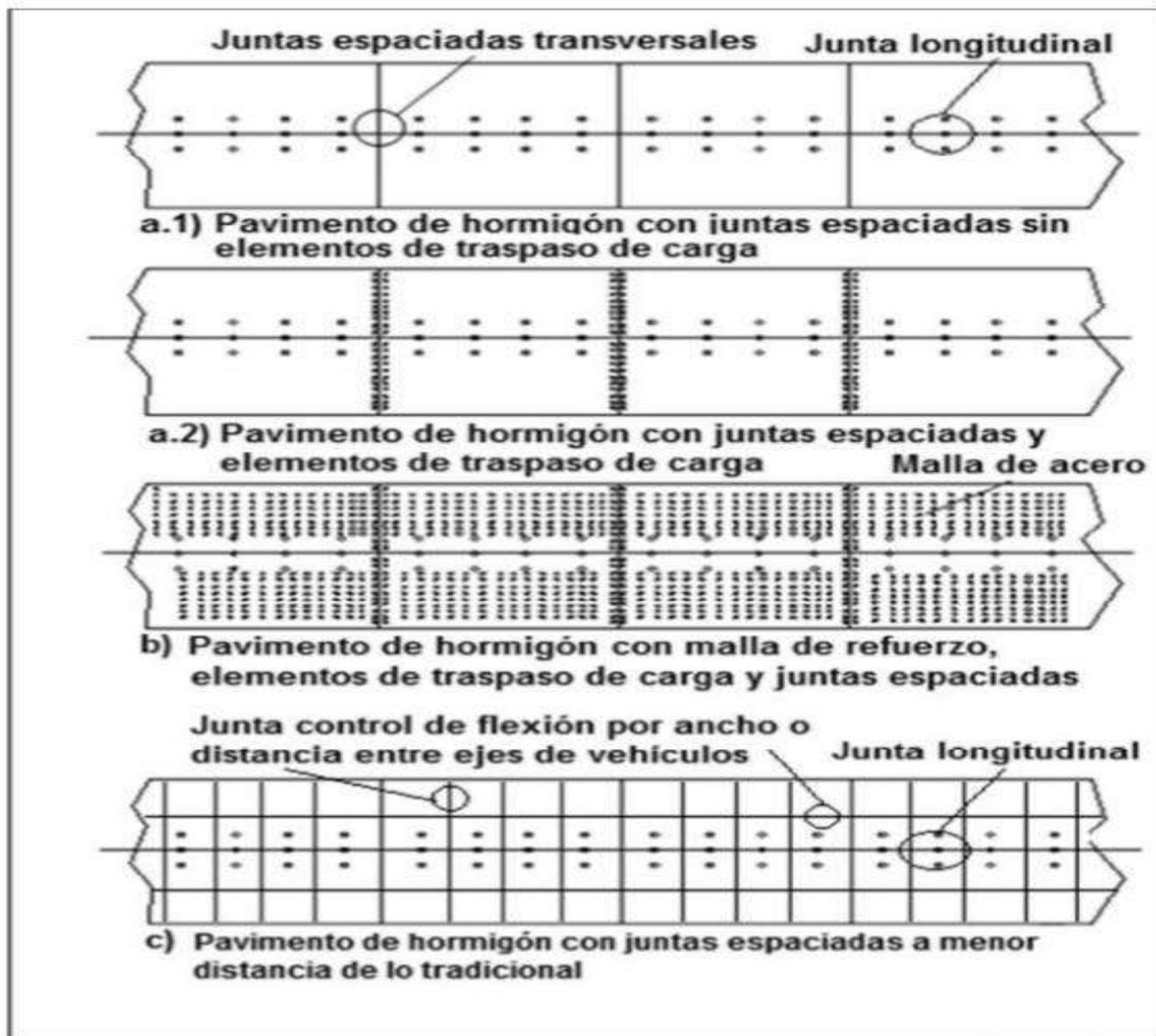
Especificaciones Serviu Metropolitano para obras de veredas y soleras en pavimentos participativos

RESISTENCIAS

La resistencia media a flexotracción será **3,5 MPa**, su equivalente en compresión cilíndrica es **G25** según NCh170/2016 (pag.11) en cuyo caso $f'c=25$ MPa.

Para efectos del diseño de la dosificación respectiva ha de considerarse la resistencia especificada con un 20 % de fracción defectuosa y un coeficiente de variación mínimo de 10 % para hormigones preparados en plantas.

FIGURA 14-1: TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGON



4.3.2. ESPECIFICACIONES DEL HORMIGÓN

4.3.2.1 Resistencia a compresión del hormigón

El hormigón requerido para la obra será especificado y controlado en base a los siguientes parámetros de resistencia, considerando su cumplimiento a los 28 días desde su fabricación:

- (1) Rmf: Valor de la Resistencia media a la flexotracción de diseño del proyecto de pavimentación, y a partir del cual se debe calcular la resistencia especificada del hormigón para la provisión en obra.
- (2) f_c : Resistencia especificada a la compresión cilíndrica expresada a partir de la resistencia media a la compresión cilíndrica.

El hormigón será controlado mediante ensayos de testigos del pavimento ejecutado. Los valores deberán ser corregidos para corresponder al valor de compresión cilíndrica en probetas de 30 cm de alto y esbeltez 2, de manera que sean comparables con los requisitos especificados para el proyecto en hormigón moldeado en fresco, considerando las indicaciones de las Normas NCh 1171/01 y NCh1171/02.

Los requisitos mínimos que se deberán cumplir para la especificación del hormigón de pavimentos, son los indicados en la Tabla 4-1.

TABLA 4-1. ESPECIFICACIONES PARA EL HORMIGÓN DE PAVIMENTOS

Tipo de Vía	Resistencia media a la Flexotracción de diseño (MPa) Rmf	Grado especificado a compresión cilíndrica, para f_c Fracción defectuosa 20%
Expresa, Troncal y Colectora	5,0	G30
Servicio, Local y Pasajes **	5,0	G30

(*) Los valores de f_c han sido obtenidos desde los valores de f_m presentados en la Tabla 4-1, considerando un coeficiente de variación del 10% y un factor t de student de 0,842, que se usa para más de 30 resultados de ensayos (NCh1998). Para otros valores de f_m y/o cantidad de ensayos a evaluar utilice la expresión $f_c = f_m (1 - t * 0,1)$, donde t es el coeficiente de student.

(**) Para este tipo de vías se permitirá considerar una Resistencia Media a la Flexotracción de Diseño menor a la indicada en la tabla 4-1 pero en ningún caso menor a 4,0 MPa (G25). Se hace presente que los espesores de las cartillas de Diseño (Sección 14) para este tipo de pavimentos, son válidos para los valores ilustrados en la tabla 4-1 por lo tanto el uso de resistencias menores, implicarán justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas.

TABLA 4-1. ESPECIFICACIONES PARA EL HORMIGON DE PAVIMENTOS

Tipo de Vía	Resistencia media a la Flexotracción de diseño (MPa) Rmf	Grado especificado a compresión cilíndrica, para f_c Fracción defectuosa 20%
Expresa, Troncal y Colectora	4,2	G30
Servicio, Local y Pasajes **		G30

(*) Los valores de f_c han sido obtenidos desde los valores f_m presentados en la Tabla 4-1, considerando un coeficiente de variación del 10% y un factor t de student de 0,842, que se usa para más de 30 resultados de ensayos (NCh1998). Para otros valores de f_m y/o cantidad de ensayos a evaluar utilice la expresión $f_c = f_m (1 - t * 0,1)$, donde t es el coeficiente de student.

(**) Para este tipo de vías se permitirá considerar una Resistencia Media a la Flexotracción de Diseño menor a la indica en la tabla 4-1 pero en ningún caso menor a 4,0 MPa (G25). Se hace presente que los espesores de las cartillas de Diseño (Sección 14) para este tipo de pavimentos, son válidos para los valores ilustrados en la tabla 4-1 por lo tanto el uso de resistencias menores, implicarán justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas.

Control de Resistencias del Hormigón Endurecido

TABLA 4-3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDRICA MÍNIMA DE HORMIGONES PARA VALORES INDIVIDUALES f_i Y PARA PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS f_3 .

Tipo de Vía	Resistencia especificada a compresión cilíndrica f_c [MPa]	Fracción Defectuosa	
		20%	
		f_i	f_3
Expresa Troncal y Colectora	30 (G30)	24,5	28,5
Servicio, Local y Pasajes(*)	30 (G30)	24,5	28,5

Los ensayos de laboratorio se efectúan por un laboratorio acreditado por el INN de acuerdo a NCh17025 e inscrito en los registros de la especialidad en el MINVU.}

(*) Para este tipo de vías se permitirá considerar una Resistencia Media a la Flexotracción de Diseño menor a la indica en la tabla 4-1 pero en ningún caso menor a 4,0 MPa (G25). Se hace presente que los espesores de las cartillas de Diseño (Sección 14) para este tipo de pavimentos, son válidos para los valores ilustrados en la tabla 4-1 por lo tanto el uso de resistencias menores implicarán justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas. Para otros valores de f_c , se debe calcular los requisitos de f_i y f_3 según: $f_i = f_c - 5,5$ y $f_3 = f_c - 1,5$



Concepto de la Madurez del Concreto

El método de madurez es una técnica para predecir la resistencia del concreto basada en la historia de la temperatura del mismo.

La resistencia aumenta con la hidratación del cemento.



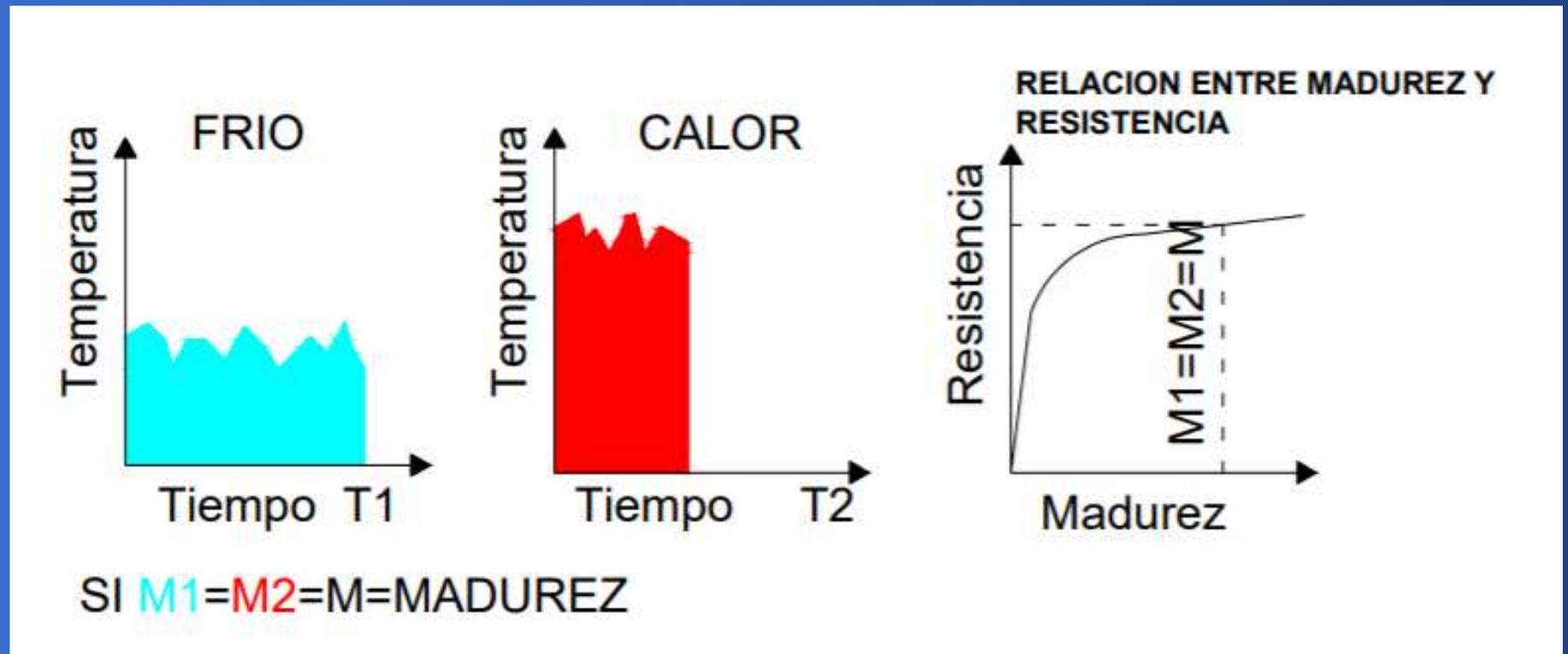
La cantidad de cemento hidratado depende del tiempo de curado del concreto y la temperatura.



Por lo tanto, la madurez es una medida de cómo ha progresado la hidratación.

El procedimiento para estimar la resistencia del concreto usando los **conceptos de madurez** se describe en la **ASTM C 1074**, Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method.

El concepto de Madurez asume que las muestras de una mezcla de concreto que tengan la misma madurez, tendrán resistencias similares, independientemente de la combinación de tiempo y temperatura con la que se alcance la madurez.

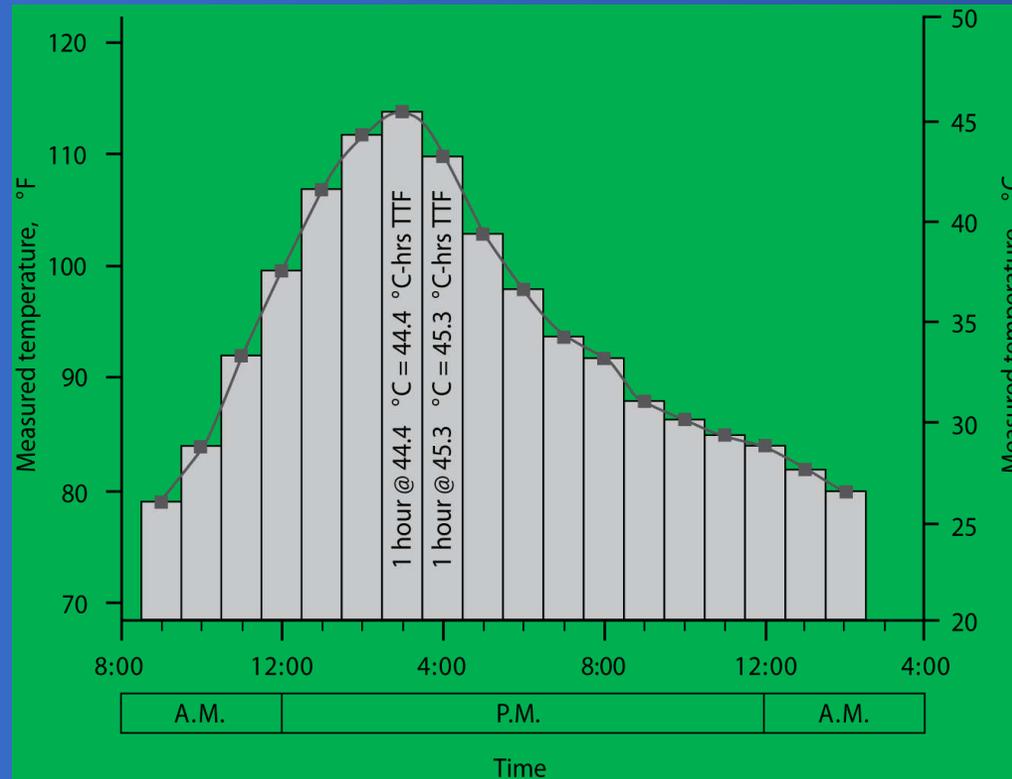


El desafío de la rápida apertura al tránsito

Aprovechando adecuadamente el cambio de temperatura que naturalmente tiene el concreto durante su proceso de endurecimiento, y **tomando a su vez medidas para acelerar el proceso de madurez del concreto que permita alcanzar la resistencia suficiente que habilite la apertura al tránsito en un corto lapso de tiempo**, ofrece la posibilidad de permitir la circulación antes de lo acostumbrado.



Método para estimar la resistencia del concreto a partir de la madurez



Time-Temperature Factor (TTF)

$$TTF = \sum (T_a - T_0) \Delta t$$

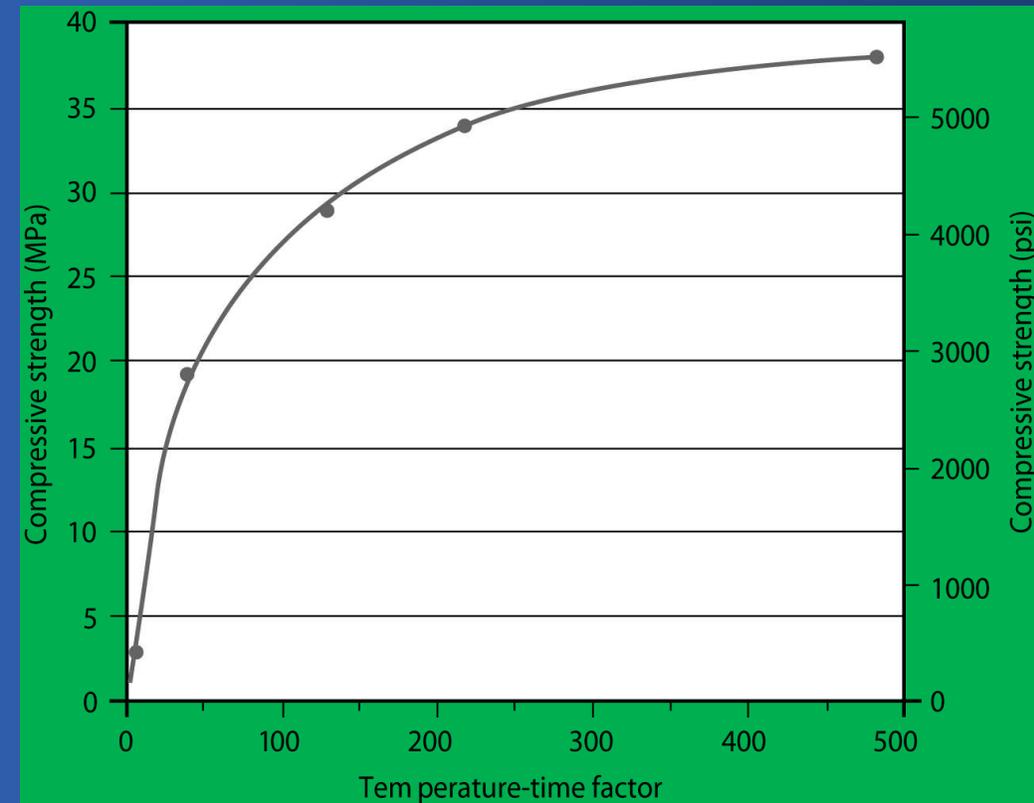
Dónde:

TTF = factor tiempo-temperatura a la edad t, grado-día o grado-hora,
 Δt = intervalo de tiempo, días u horas,
 T_a = temperatura promedio del concreto durante el intervalo de tiempo, Δt , ° C, T_0 = temperatura de referencia, -10 ° C.

Método para estimar la resistencia del concreto a partir de la madurez

Índice de Madurez: El área acumulada bajo la curva tiempo-temperatura se desarrolló como curas de concreto.

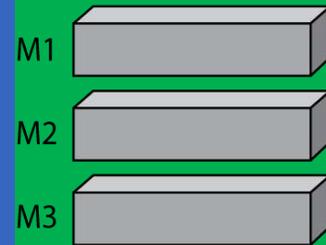
Las unidades de índice de madurez están en grados-horas (C-hr). A los fines de este procedimiento, el índice de madurez llamado factor tiempo-temperatura (TTF).



Método para estimar la resistencia del hormigón a partir de la madurez aplicándolo a pavimentos

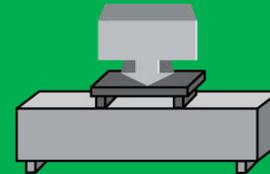
Step 1. Develop maturity curve for concrete mixture

Beam or cylinder samples
(Maturity recorded)

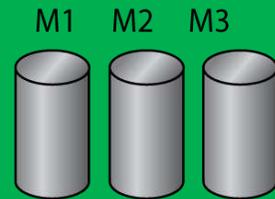
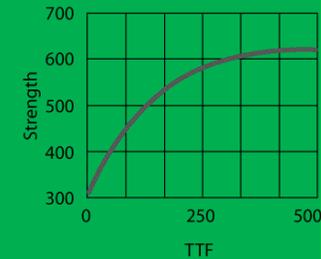


Strength tests

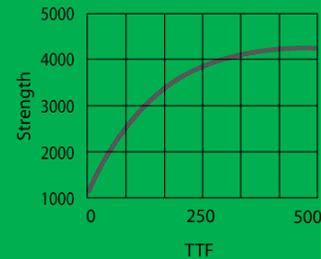
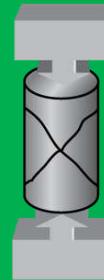
F1 F2 F3



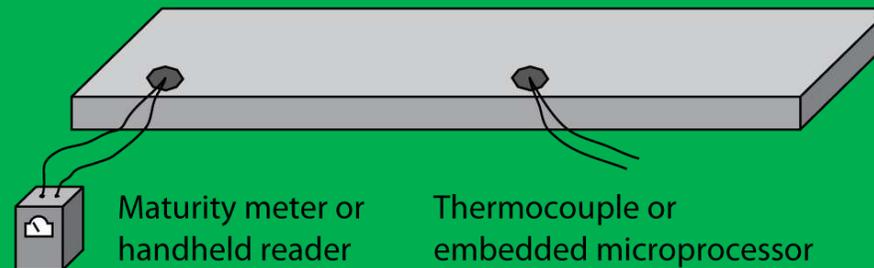
Develop maturity curve



C1 C2 C3



Step 2. Measure maturity of in-place concrete



Obtain TTF
and Estimate
Strength from
Maturity Curve

Método para estimar la resistencia del hormigón a partir de la madurez

Toma de Muestras de Hormigón en estado fresco



Colocación de sensor de madurez dentro de una probeta de control



Sensor de temperatura

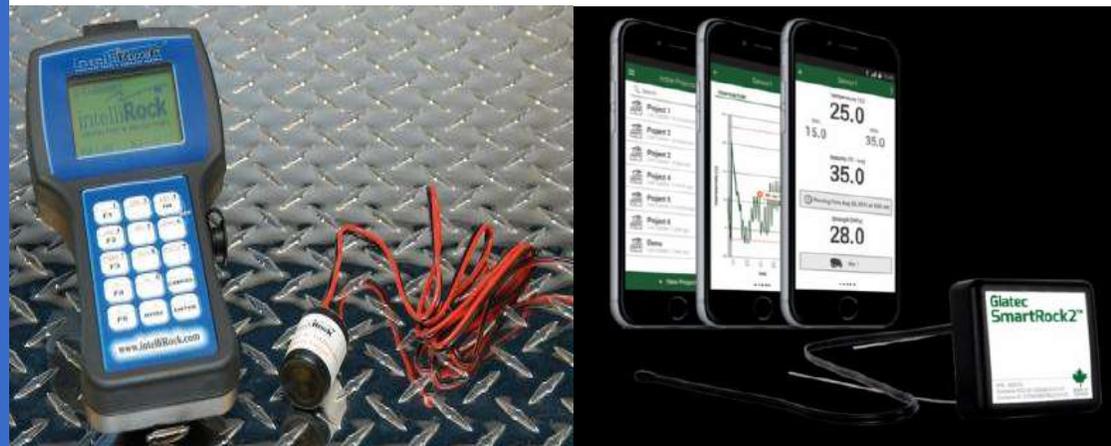
El dispositivo es un medidor de madurez o registrador de datos que se inserta en el hormigón y proporciona una medida de temperatura.



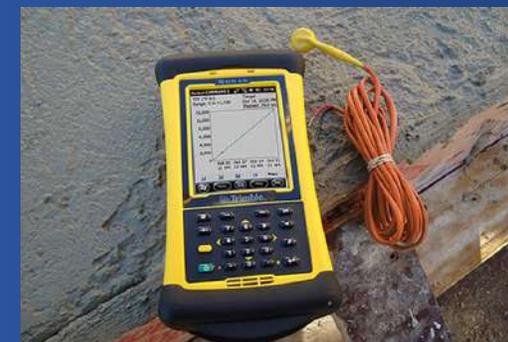
Data Logger - Registrador de datos

Un dispositivo comercialmente disponible que registra las mediciones de temperatura desde un sensor de temperatura en varios intervalos.

Estos sensores pueden medir la madurez directamente del hormigón y almacenar estos datos por largos periodos de tiempo gracias a que contienen baterías de larga vida, microprocesadores, memoria interna y termo-cuplas que miden la temperatura cada determinado intervalo de tiempo.



Medidor de madurez



Medidor de madurez:
Un dispositivo disponible comercialmente que incluye un sensor de temperatura, registrador de datos y realiza cálculos de madurez de forma automática.

Método para estimar la resistencia del hormigón a partir de la madurez

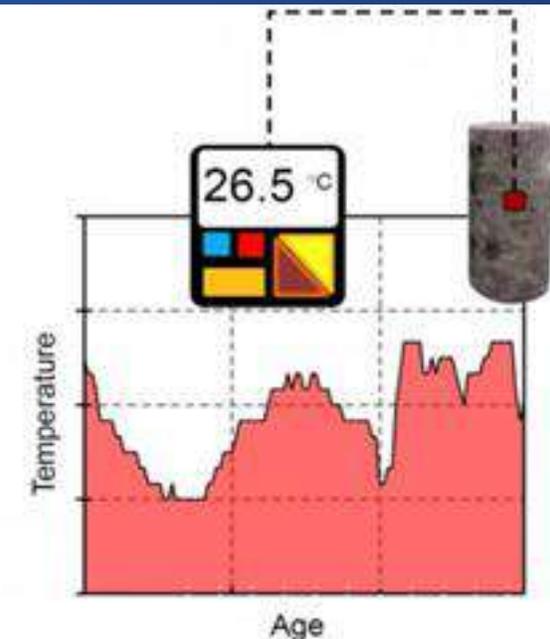
Las probetas se deben curar mientras espera a ser ensayadas en la edad que les corresponde



Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes a diferentes edades



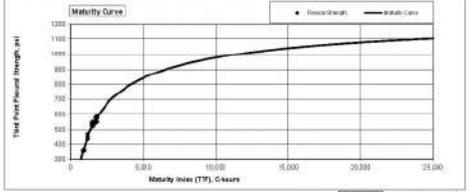
Registro de temperatura del espécimen de control a diferentes edades



Project No: 090-215 Title: C.C. Alloway Report Code: 0070-9
 Location: Contract: Twp. Center Coding Date: 02/07/07
 Curve #: Engineer: T. Sander Sub. Revision: 1

Beam Breaker Type: Reinforced Beam Breaker

Beam No.	Age at Break (Hours or days)	Ave. Width "B" (in)	Ave. Depth "D" (in)	Total Test Load (psi)	Area Correction Factor	Broken in Center Third? (Y/N)	Modulus of Rupture (psi)	TTF Sensor 1 (C-Hours)	TTF Sensor 2 (C-Hours)	Ave. TTF (C-Hours)
1	16.5	6.00	5.94	242	1.01	y	244			
2	16.5	6.06	6.00	248	0.98	y	243	525	534	530
3	16.5	6.00	6.00	225	1	y	225			
4	28.5	6.03	6.00	361	0.99	y	357			
5	28.5	6.06	6.00	371	0.98	y	364	852	864	860
6	28.5	6.12	6.00	380	0.96	y	365			
7	39.5	6.12	6.00	453	0.96	y	435			
8	39.5	6.09	5.94	477	0.98	y	467	1148	1160	1155
9	39.5	6.06	6.00	458	0.98	y	449			
10	53.5	6.06	5.94	543	0.99	y	538			
11	53.5	6.12	5.88	536	0.98	y	525	1508	1534	1520
12	53.5	6.00	5.97	543	1.01	y	548			
13	64.5	6.09	6.00	567	0.97	y	550			
14	64.5	6.06	5.97	588	0.99	y	582	1752	1781	1765
15	64.5	6.00	6.00	575	1	y	575			

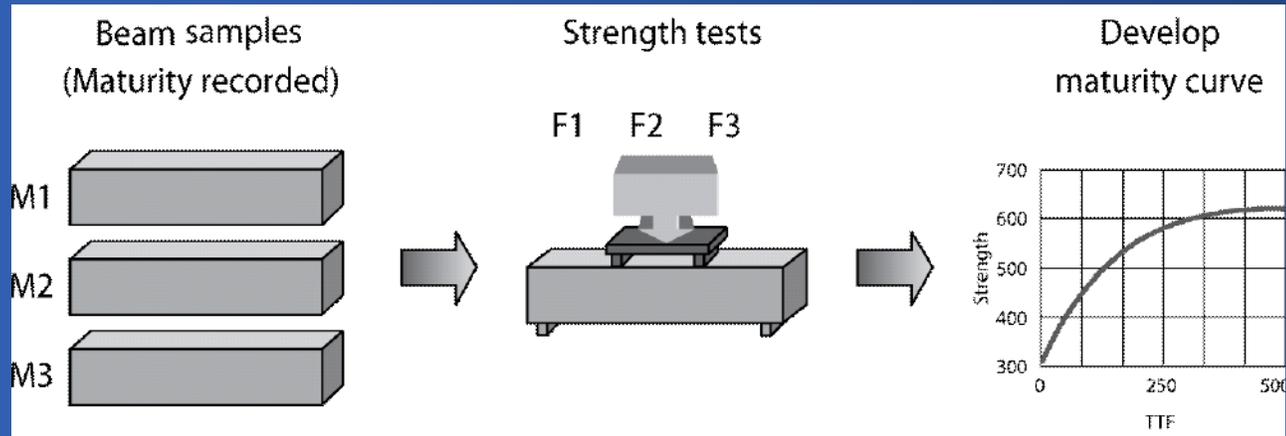


Required Strength for Opening: 500 psi
 Required TTF for Opening: 1200 C-Hours

Comments:

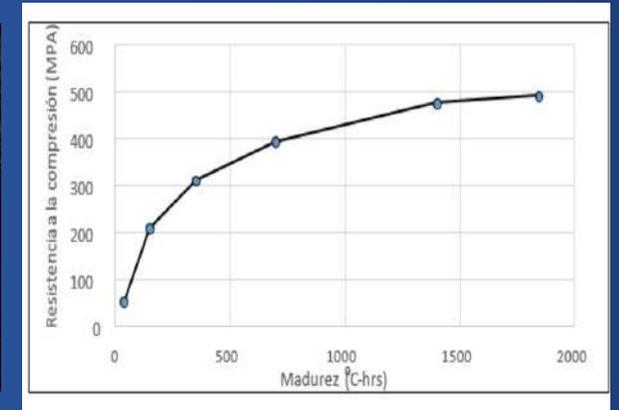
Mix Information	Spec	Certified Concrete Representative	Estimator
Mix No: SAC1-1			
Curve No: 020704			
Mix %:	0.17		
Temp. #: 75		Maturity Curve Reviewed by:	Lee Blair
MC Ratio: 0.17			

Beam No.	Age at Break (hours or days)	Ave. Width "B" (in)	Ave. Depth "D" (in)	Total Test Load, psi	Area Correction Factor	Broken in Center Third? (Y/N)	Modulus of Rupture (psi)	TTF Sensor 1 (C-Hours)	TTF Sensor 2 (C-Hours)	Ave. TTF (C-Hours)
1	16.5	6.00	5.94	242	1.01	y	244			
2		6.06	6.00	248	0.98	y	243	525	534	530
3		6.00	6.00	225	1	y	225			
4	28.5	6.03	6.00	361	0.99	y	357			
5		6.06	6.00	371	0.98	y	364	852	864	860
6		6.12	6.00	380	0.96	y	365			
7	39.5	6.12	6.00	453	0.96	y	435			
8		6.09	5.94	477	0.98	y	467	1148	1160	1155
9		6.06	6.00	458	0.98	y	449			
10	53.5	6.06	5.94	543	0.99	y	538			
11		6.12	5.88	536	0.98	y	525	1508	1534	1520
12		6.00	5.97	543	1.01	y	548			
13	64.5	6.09	6.00	567	0.97	y	550			
14		6.06	5.97	588	0.99	y	582	1752	1781	1765
15		6.00	6.00	575	1	y	575			

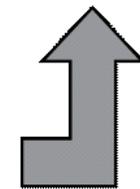
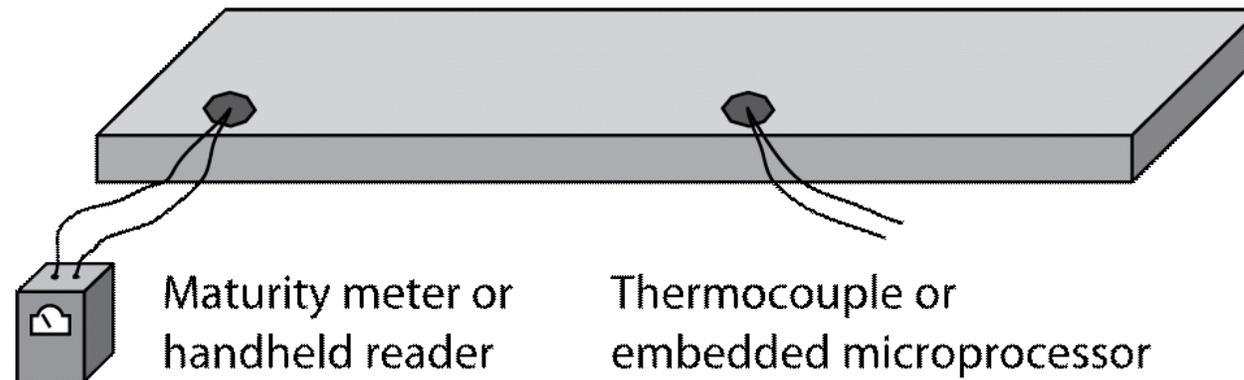


Método para estimar la resistencia del hormigón a partir de la madurez

Los especímenes son instrumentados con sensores de madurez, que procesan el historial **Tiempo Temperatura** y reportan la madurez de los cilindros durante el proceso de curado.

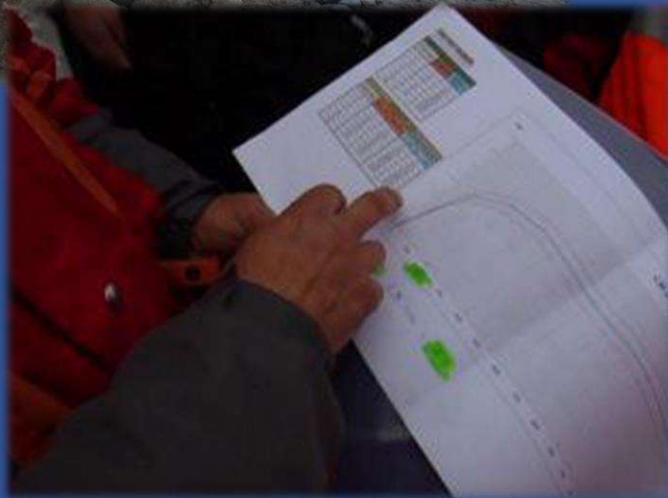


Step 2. Measure maturity of in-place concrete



Obtain TTF and Estimate Strength from Maturity Curve

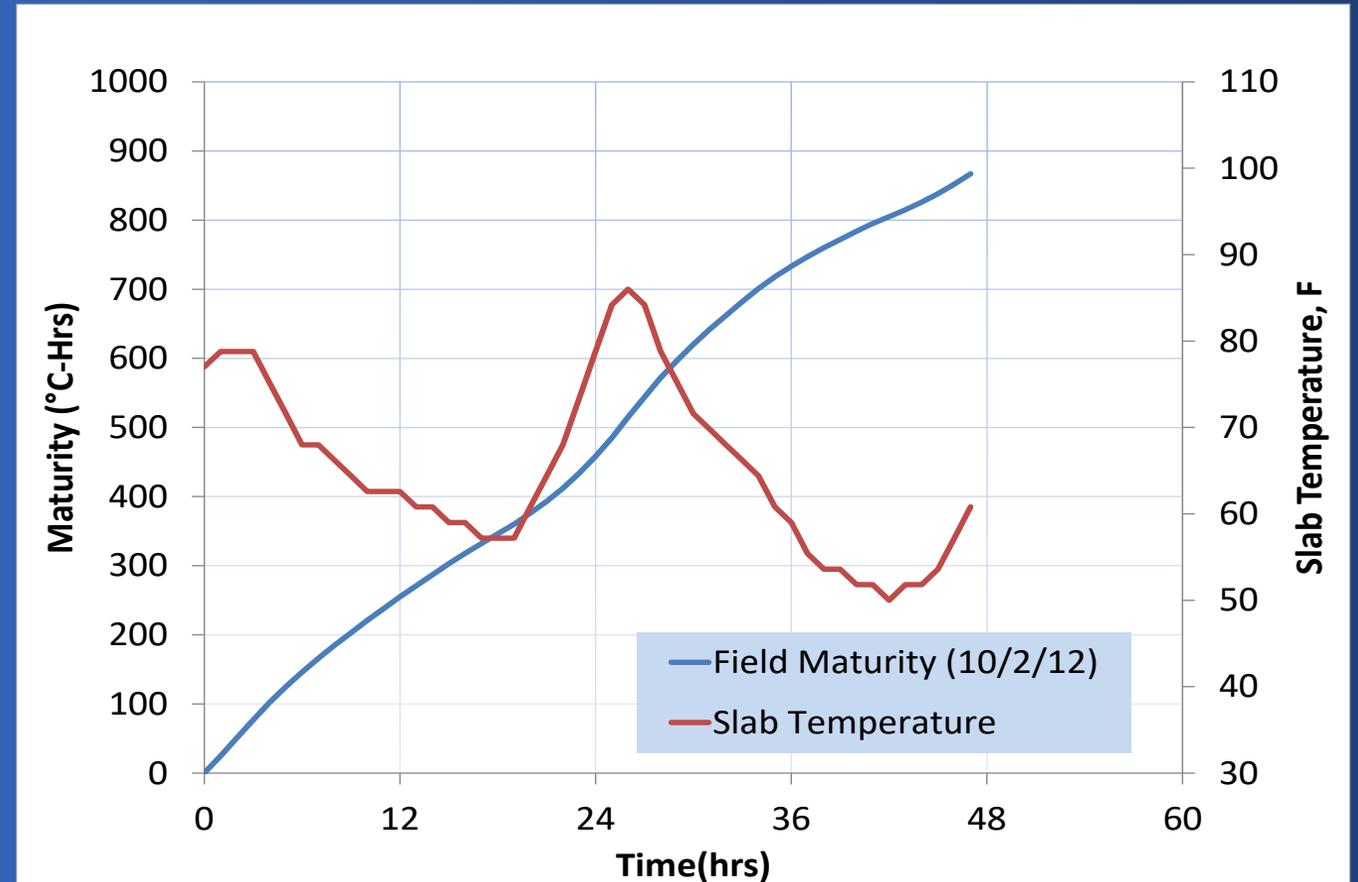
Método para estimar la resistencia del hormigón a partir de la madurez aplicado a pavimentos



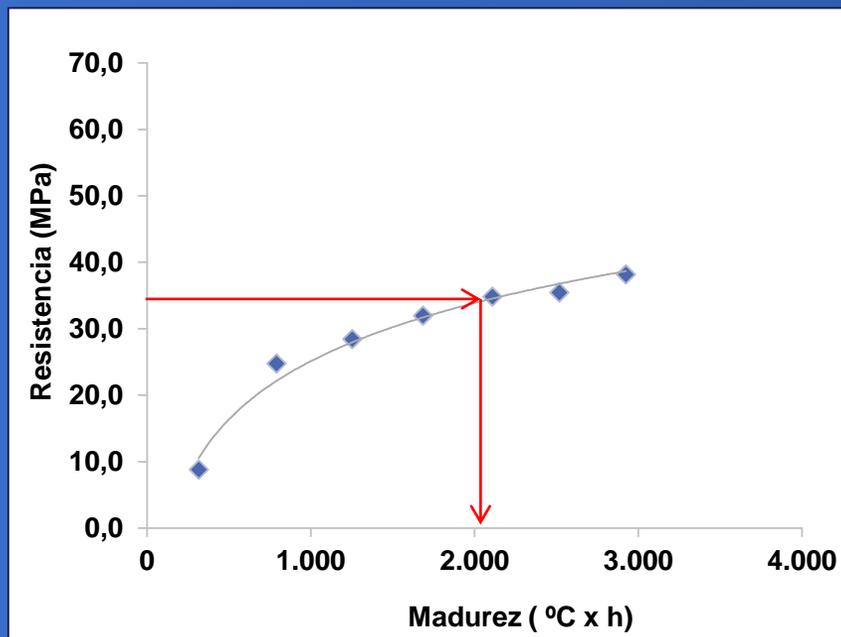
Obtener los valores de madurez de acuerdo a los datos de temperatura tomados en terreno.

El concepto de la Madurez aplicado a pavimentos

Condiciones de Recepción y Apertura al Tránsito



Relación entre la temperatura y el tiempo de curado del hormigón.



Laboratorio

Terreno



El desafío de la rápida apertura al tránsito

Aprovechando la relación directamente proporcional entre madurez y resistencia se utiliza este concepto como herramienta para procurar acelerar la puesta en servicio y verificar objetivamente el momento en que es posible hacerlo.



El desafío de la rápida apertura al tránsito

La idea por supuesto es desarrollar un nivel de resistencia temprano sin apelar al uso de aditivos sino simplemente controlando los procesos de curado y el calor de hidratación.



Uso de mantas húmedas y plástico (burbujas) que cubran e incluso encapsulen la superficie del pavimento recién construido de modo que el mismo calor de hidratación favorezca la madurez del Hormigón.

REQUISITOS DEL HORMIGÓN SOMETIDO A LA ACCIÓN DE CONGELACIÓN Y DESHIELO

La tolerancia de los valores de contenido de aire es de -1% +2%. Para hormigones de grado superior a G35 (HF 4,0) el contenido total de aire de la tabla se podrá reducir en un punto porcentual.

Grado de Exposición	Mínimo Grado de Resistencia Especificado (MPa)	Aire Total (%)	Tamaño máximo nominal del árido D _n (mm)
F0: Hormigón no expuesto a congelación y deshielo	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
F1: Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad	G30	6.0	10
		5.0	20
		4.5	40
F2: Hormigón expuesto a congelación y deshielo en contacto continuo con humedad	G30	7.5	10
		6.0	20
		5.5	40
F3: Hormigón expuesto a congelación y deshielo en contacto continuo con humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	G35	7.5	10
		6.0	20
		5.5	40



Las adiciones deben cumplir con lo especificado en la NCh 170 Anexo A y, debido a que no existe marco normativo y regulatorio, se deben evaluar mediante hormigones de prueba caso a caso, verificando las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido. Procedimiento que debe ser visado por el Laboratorio de Vialidad.

El curado y protección se deberá iniciar inmediatamente después de completadas las operaciones de terminación y antes que comience la evaporación del agua superficial. El período normal de curado del pavimento será de mínimo 6 días. Sin embargo, cuando la temperatura ambiental sea inferior a 5°C o en condiciones de tiempo seco, caluroso o en ambiente con viento, deberán aplicarse las recomendaciones establecidas en NCh 170 y en sus Anexos D y E.

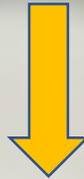
Próximos desafíos para la industria



Testigo



Viga prismática



Probeta cilíndrica



Probeta cúbica



Próximos desafíos para la industria



Consistencia de las mediciones de madurez y el potencial para la definición de los tiempos de corte en las juntas



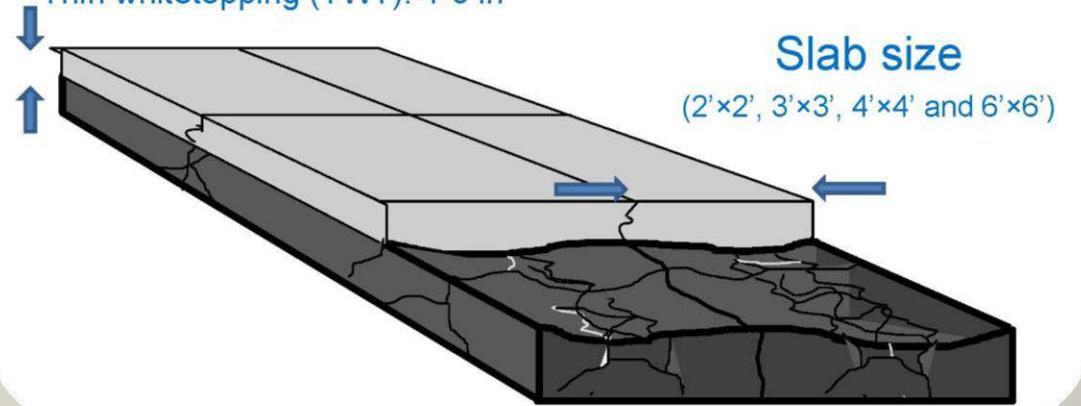
Próximos desafíos para la industria



Thickness

Ultra-thin whitetopping (UTW): 2-4 in

Thin whitetopping (TWT): 4-6 in



Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile

Los pavimentos de hormigón dentro del marco de la norma NCh170:2016

Mauricio Salgado Torres
msalgado@ich.cl