



Método de madurez

Monitoreo de resistencia en tiempo real del
hormigón

Francisco Sabat
Asesor de hormigones
Cementos BSA

CONTENIDO

- Introducción
- Concepto de madurez
- Aplicación en obra
- Beneficios
- Ejemplos



INTRODUCCIÓN

Francisco Sabat

INTRODUCCIÓN

Accidente Skyline Tower, Fairfax City, 1973

- Colapso Progresivo de las terrazas de la estructuras
- 14 personas fallecidas
- Remoción temprana de alzaprimas.



Francisco Sabat

INTRODUCCIÓN

Accidente Edificio en Vitacura

- Colapso Progresivo de las terrazas de la estructuras
- 0 personas fallecidas
- Remoción temprana de alzaprimas.



Francisco Sabat

INTRODUCCIÓN



Alzaprimado, moldajes

Probetas en obra



Francisco Sabat

INTRODUCCIÓN

Resistencia potencial vs real



Francisco Sabat

INTRODUCCIÓN

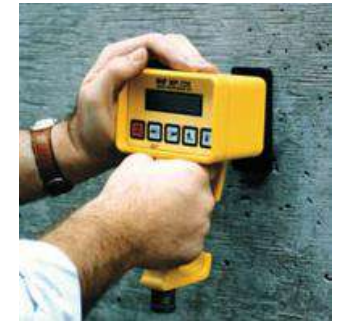
Limitaciones de curado de probetas en obra

- Temperatura de curado no se correlaciona o no es representativo con el curado real de los elementos hormigonados de obra
- Demora de los resultados
- Información limitada (medición de sólo un camión)
- No se diferencia de las resistencias en las diferente localidades de una estructura

INTRODUCCIÓN

Otros métodos de medición de resistencia del hormigón In-Situ

- Sistema de ensayo Windsore Probe
- Ensayo del Índice Esclerométrico
- Ensayo de arranque
- Concepto de Madurez (madurímetro)



MADUREZ

Francisco Sabat

Madurez

Método de madurez

Usa el historial de temperaturas del hormigón para la estimación del desarrollo de resistencias.

Madurez

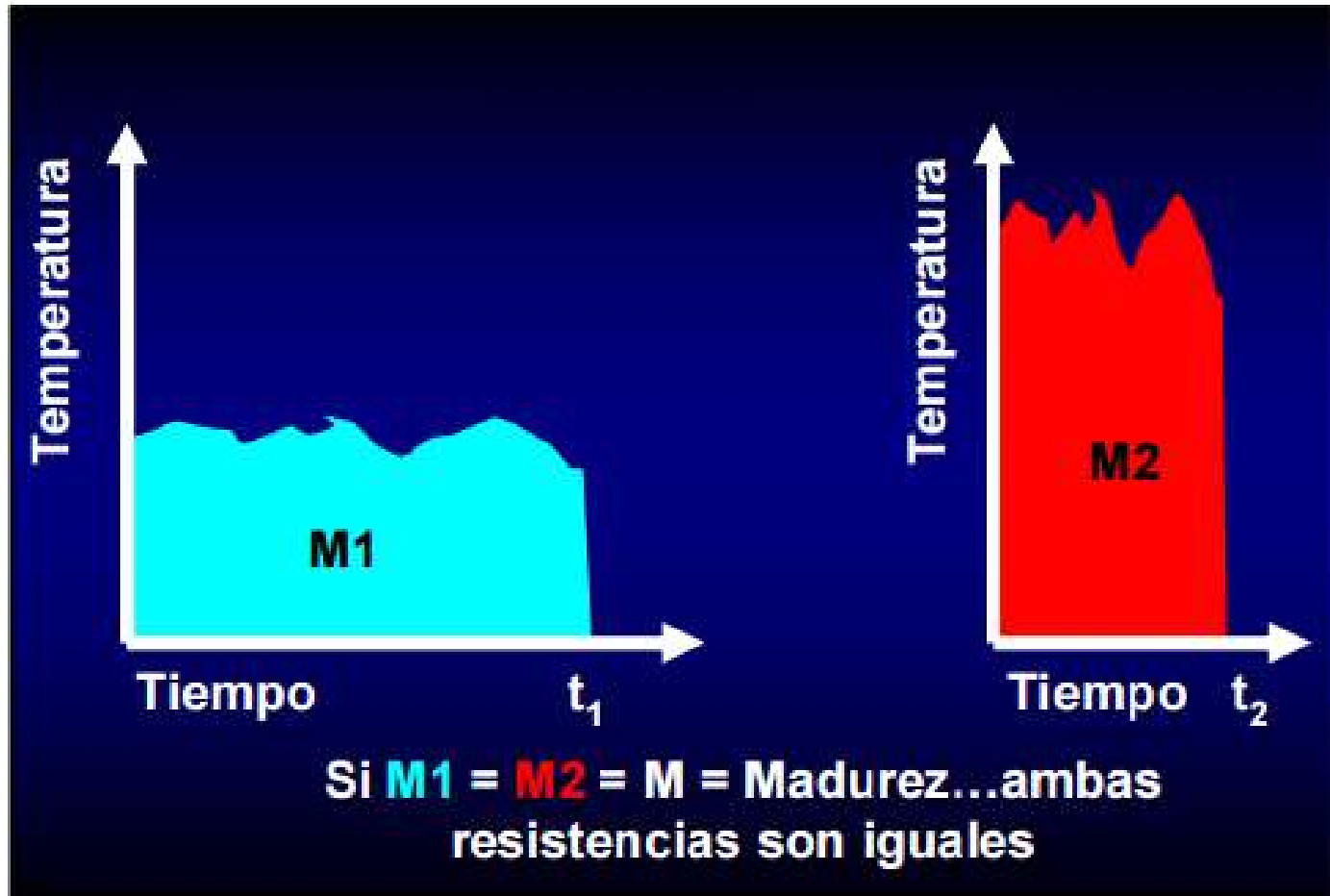
Normas

- ASTM C1074
- CSA A23.1, A23.2
- ACI 228. 1R, 318, 306R
- Especificaciones DOT
- NEN 5970

Madurez

Existe una única correlación entre el **índice de madurez** (Una función de la temperatura del hormigón) y la **resistencia del hormigón** para cada mezcla considerada en proyecto.

Madurez



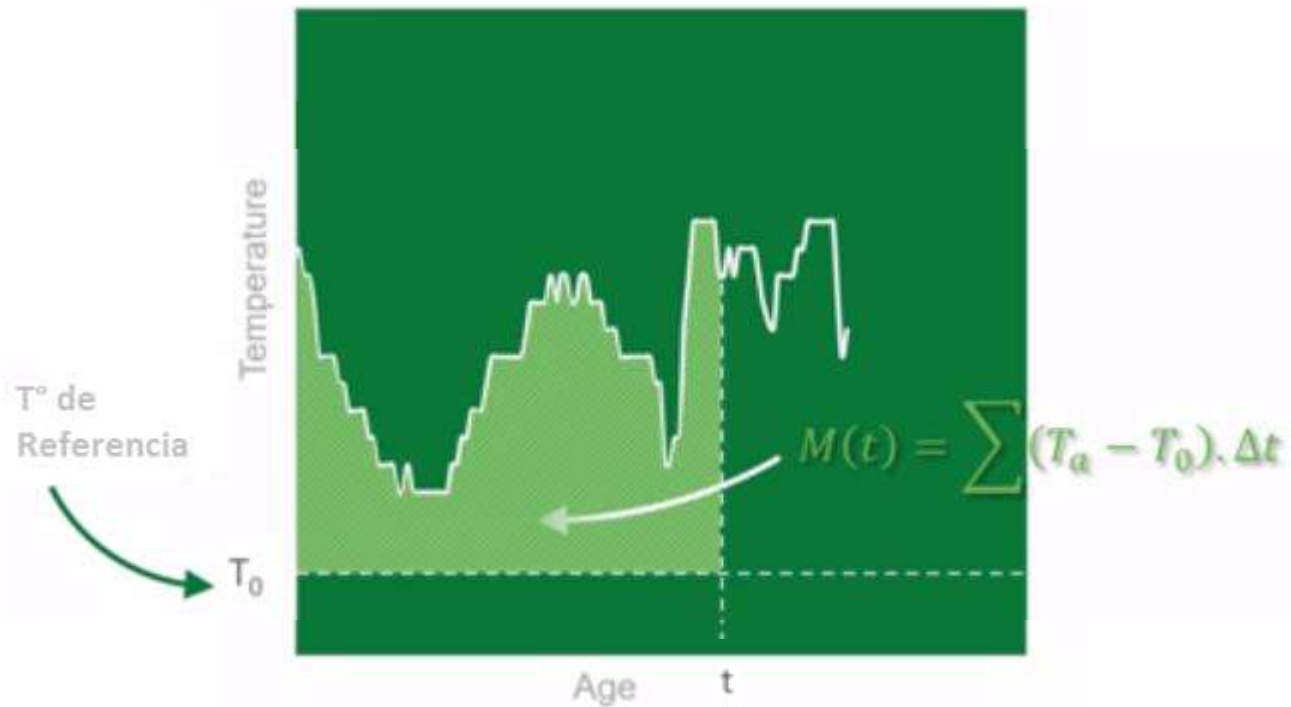
Francisco Sabat

Madurez

Diferentes métodos para calcular el Índice de Madurez

- Nurse-Saul (Factor de Tiempo-Temperatura (TTF))
- Arrhenius (Edad Equivalente)
- Madurez ponderada

Madurez



Francisco Sabat

Madurez

$$M(t) = \sum (T_a - T_0) \times \Delta t$$

Temperatura-tiempo
Factor por edad (t)
(grados horas)

Promedio de la temperatura del
hormigón durante un intervalo
de tiempo Δt

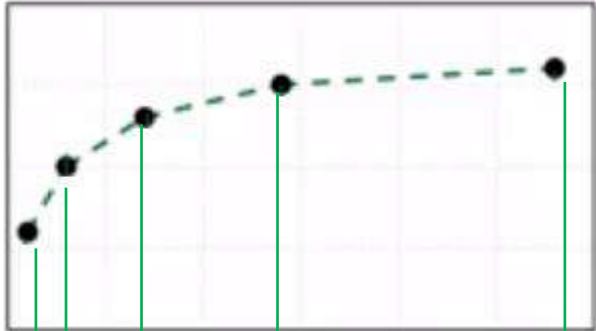
Temperatura de referencia
Tradicionalmente = -10°C
ASTM = 0°C

Intervalo de tiempo

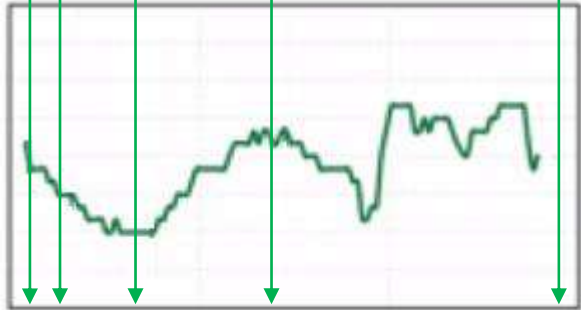
Madurez



Resistencia a la compresion



Temperatura

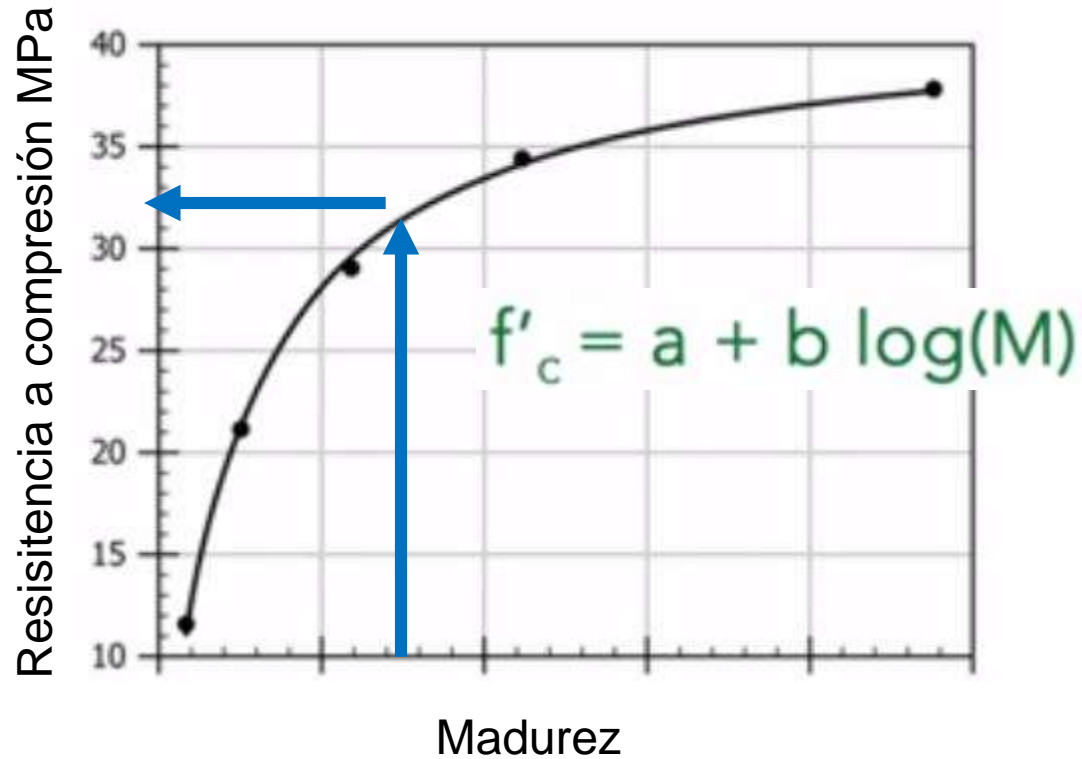


Edad

Cada 0,5 horas en los primeros 48 horas y luego cada 1 hora

Francisco Sabat

Madurez




Francisco Sabat

Madurez

Limitaciones

- ASTM entrega consideraciones generales para el valor de la temperatura de referencia
- Asumen que la relación entre la resistencia y la madurez del hormigón no cambia en la mezcla del producto en obra
- La madurez asume un curado adecuado es dado en obra, por lo cual no cuenta con el factor de humedad.



APLICACIÓN EN OBRA

Francisco Sabat

Aplicación en obra

Usos primarios para el monitoreo por madurez

- Losas post-tensadas
- Ciclos/Desmolde o descimbre temprano
- Protección para masivos / Retracciones térmicas



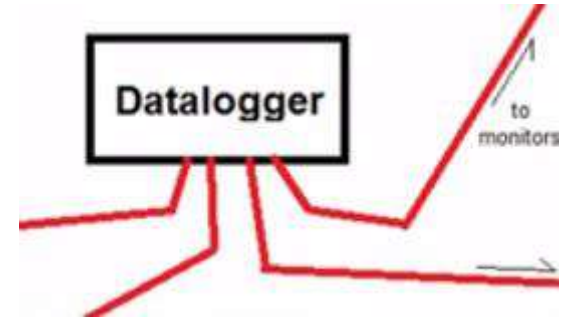
Francisco Sabat

Aplicación en obra

Sistemas

Equipo Exterior

- Cables van a una central
- Acceso sólo a una unidad central para visualizar los datos



Francisco Sabat

Aplicación en obra

Sistemas

Equipo Individual

- Cada monitor registra los datos
- Se necesita cada unidad para registrar los datos



Francisco Sabat

Aplicación en obra

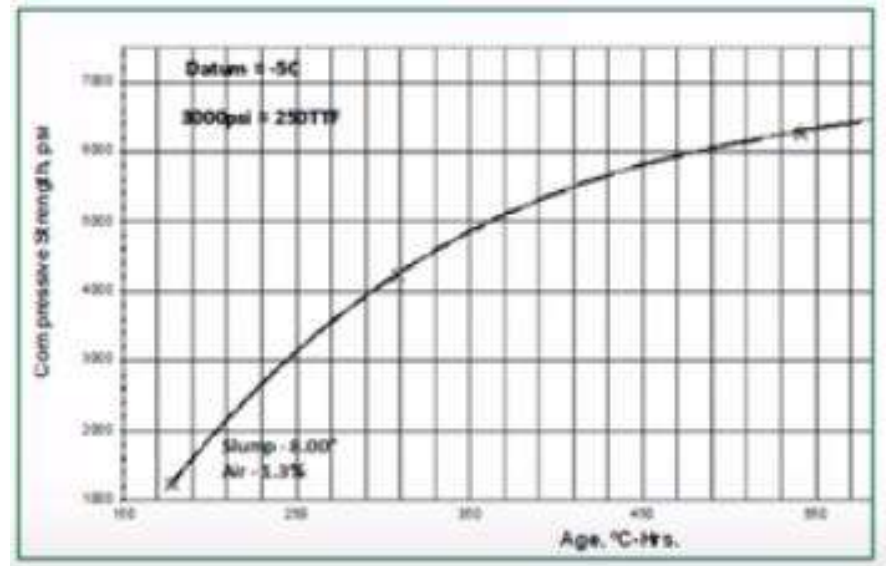
Preparación

Creación de la curva de calibración

- Realizado en laboratorio
- Mezcla en obra o laboratorio

Cuando recalibrar

- Usar juicio de ingeniería
- Adiciones
- Cambio en materia prima



Francisco Sabat

Aplicación en obra

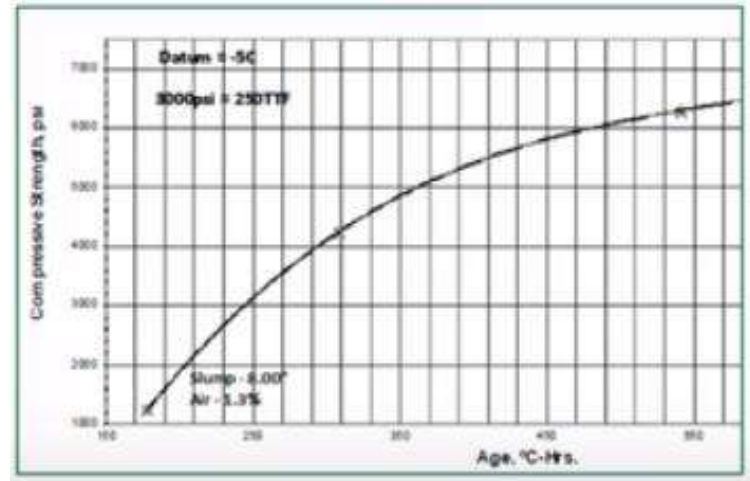
Instalación

- Locaciones **críticas**
- Menos calor = Menos resistencia
- Masivos
- Cuando empezar a grabar datos
- Cuantos Sensores (planificación)

Aplicación en obra

Recolección de datos y análisis

- Personal de obra debe tener la curva de calibración
- Chequear siempre los datos
- Estar pendiente del clima y los pronósticos



Francisco Sabat

Aplicación en obra

Consejos generales

- Tiempo de instalación
- Comunicación con la hormigonera
- Predicción de las resistencias
- No ignorar el mundo real



Manufacturer??

Usage	INTERIOR CONCRETE
MATERIAL SPECIFICATION & DESCRIPTION	
ASTM C150 - CEMENT	470 lb
ASTM C618, CLASS C - FLY ASH	100 lb
ASTM C94, POTABLE - POTABLE	30.8 gal
ASTM C494 - TYPE A WATER REDUCER	(*)
ASTM C33 #67 LIMESTONE - COARSE AGGREGATE	1750 lb
ASTM C33 - FINE AGGREGATE	1500 lb
W / C M RATIO:	0.45

Francisco Sabat

Aplicación en obra

Francisco Sabat



BENEFICIOS

Francisco Sabat

Beneficios

Elimina inconvenientes de curado en obra

- Protección de probetas en obra
- Viajes entre laboratorio y obra

Finalización de proyecto temprano

- Optimización de ciclos
- Ahorro →MO
 - Equipos (Arriendo Grúa Torre)
 - Tiempo de reacción (probetas)

Ejemplos

Hotel McCormick

Hotel de 41 pisos con losas post-tensadas, ciclo de 3 días

- Uso concepto de madurez
- Ahorro de 1 día por ciclo
- Ahorro total de 16 semanas del proyecto.



Francisco Sabat

Ejemplos

Proyecto Nueva El Golf

- 2 Torres 30 mil m³
- 500 m³ semanales
- Losas post-tensadas



Francisco Sabat

Resumen

- Método aprobado por la ICH y NCh170 Of. 2016
- Resultados al instante y en obra
- Resistencia real del hormigón (desarrollo de resistencia)
- Ahorro en tiempos y costos
- Monitoreo de temperaturas
- Fácil de calcular y de manipular



Muchas Gracias

Francisco Sabat