



Charla Técnica Melón Hormigones

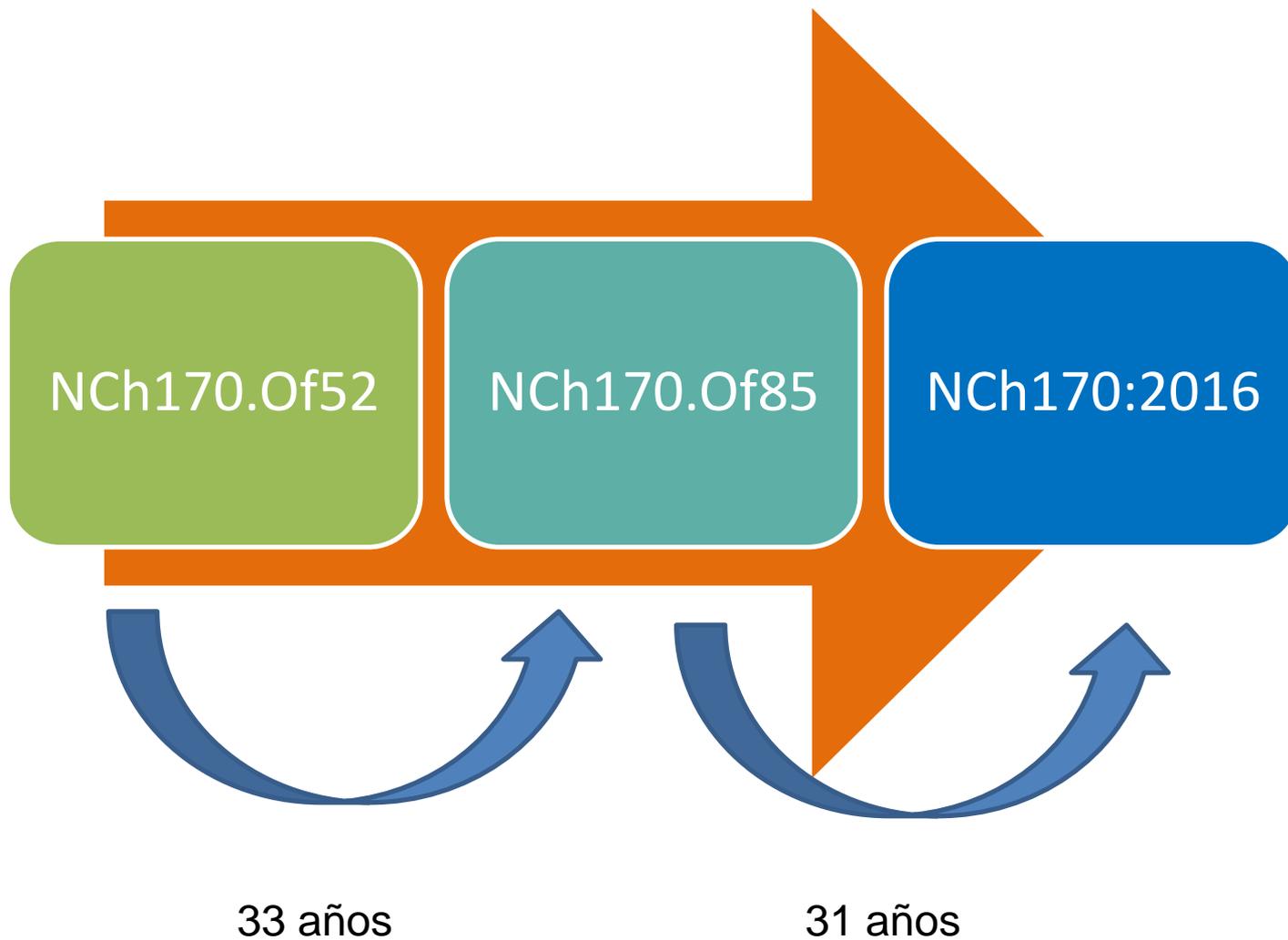
*Gerardo Staforelli V.
Julio 2017*

Introducción

- La norma NCh170 “Hormigón requisitos generales” es el principal documento de referencia para la especificación del hormigón en Chile.
- La nueva versión del año 2016 reemplaza a la del año 1985, incorporando el desarrollo de la tecnología del hormigón y la industria de los últimos 30 años.
- Esta Norma da mucha importancia a la cadena de producción (Diseño – Fabricación – Colocación)
- Introduce el método de Madurez como una opción validada para determinar resistencias.
- Deja “Abierta” la metodología de evaluación de resistencias

1. Resumen principales cambio NCh170:2016 versus NCh170 Of86
2. Método de Madurez
3. Determinación de resistencia final

Fechas Norma NCh 170





1. Alcance

- Establece requisitos generales mínimos para especificar, confeccionar, transportar, colocar, curar, proteger, desmoldar y descimbrar, hormigones de densidad entre 2000kg/m^3 y 2800kg/m^3 , usados en hormigón simple y en hormigón reforzado.
- Clasifica a los hormigones por resistencia a compresión o resistencia a tracción por flexión y establece grados de exposición, junto con los requisitos para especificar el hormigón por durabilidad.

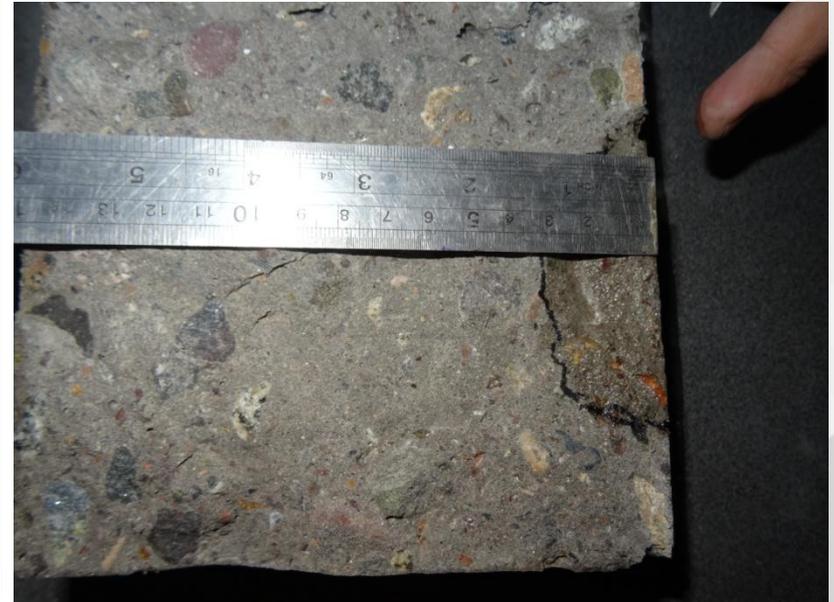
2. Referencias normativas

- Se indica una serie de documentos indispensables para la aplicación de la norma.
- Por ejemplo se citan referencias relativas a **ensayos de durabilidad:**
 - NCh2262 “Hormigón y mortero – **Determinación de la permeabilidad al agua** – Método de la penetración de agua bajo presión”.
 - ASTM C227 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)

Ensayo permeabilidad



Ensayo permeabilidad



3. Términos y definiciones

- Se elimina el concepto de “relación **Agua/Cemento**”
- Se introducen conceptos relativos a durabilidad:
 - Ambiente agresivo
 - Durabilidad
 - Fisuración plástica
- Se incorpora el concepto de “Madurez”:
 - “... la resistencia que el hormigón alcanza a una determinada edad depende de las temperaturas a las que ha estado sometido durante dicho período”

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \cdot \Delta t$$

M: Madurez o Índice de Madurez, (°C - días)
ó (°C-horas).

T : temperatura promedio durante el
intervalo de tiempo Δt (°C).

Δt : intervalo de tiempo (días) ó (horas).

T0: temperatura datum = -10 °C a 0 °C

Clasificación y requisitos

4. Clasificación del hormigón por resistencia mecánica

- Clasificación por resistencia a compresión:

El hormigón se clasifica según su resistencia especificada a compresión, $f'c$, determinada en probetas cilíndricas de 150mm x 300mm

Grado	Resistencia especificada $f'c$ MPa
G05	5
G10	10
G15	15
G17	17
G20	20
G25	25
G30	30
G35	35
G40	40
G45	45
G50	50
G55	55
G60	60

Clasificación y requisitos

5. Requisitos y designación del hormigón

- El hormigón debe cumplir la resistencia especificada de proyecto, los requisitos de **durabilidad** y otros requisitos particulares.
- La designación del hormigón debe considerar **al menos**:
 - Grado de resistencia mecánica
 - Fracción defectuosa
 - Tamaño máximo del árido
 - Asentamiento de cono

Clasificación y requisitos

6. Requisitos por durabilidad del hormigón

“6.1.1 La durabilidad del hormigón depende de sus propiedades y de la presencia de agentes internos o externos que generen ataque al elemento estructural.

Un hormigón con una baja permeabilidad incrementa la durabilidad del hormigón y colabora en la protección de las armaduras frente a la corrosión. Lo anterior se puede evaluar por medio de ensayos de desempeño del hormigón realizados en Laboratorio y/o terreno.

6.1.2 Para obtener un hormigón durable, resulta necesaria la implementación de medidas adecuadas en el diseño de la mezcla, la fabricación, correctas prácticas de colocación, compactación, curado y protección del hormigón. ”

Clasificación y requisitos

6. Requisitos por durabilidad del hormigón

“6.2 Especificación del hormigón por durabilidad

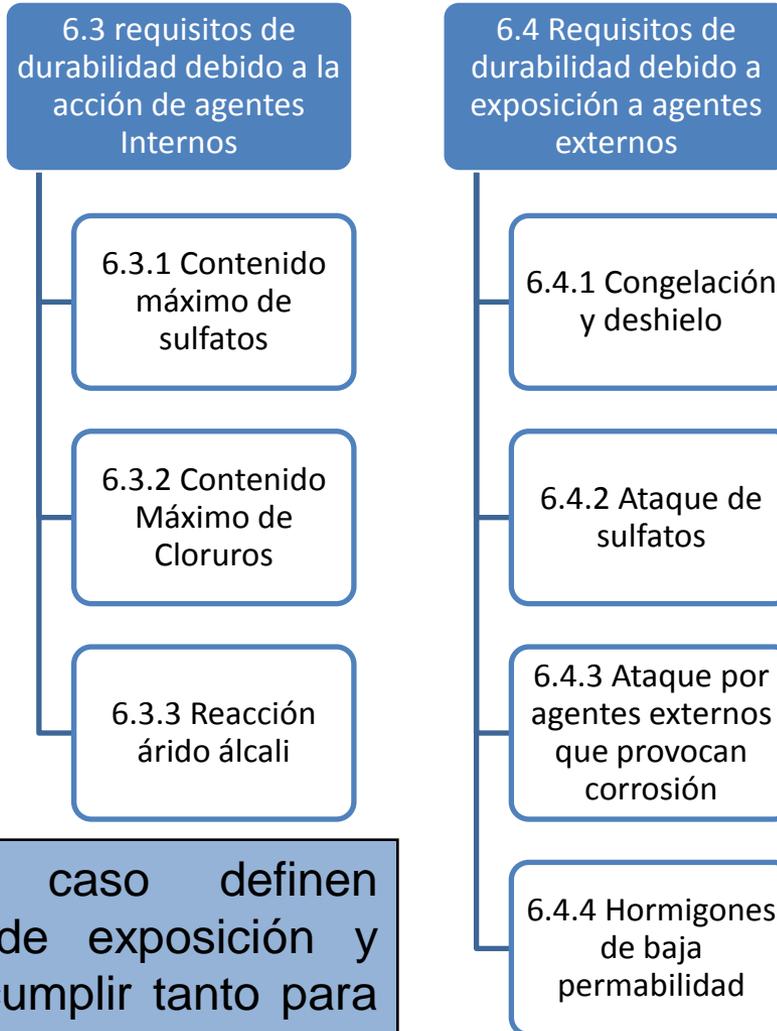
6.2.1 El proyectista estructural debe asignar los grados de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición prevista de los elementos de hormigón...

6.2.2 El proyectista estructural debe considerar, al asignar el grado de exposición, si el proyecto considera medidas especiales de protección del elemento estructural...

6.2.4 Con el fin de proteger a las estructuras de hormigón reforzado en condiciones ambientales consideradas como no agresivas, se debe utilizar una dosis de cemento mínima de 240kg/m³.”

Clasificación y requisitos

6. Requisitos por durabilidad del hormigón



Para cada caso definen condiciones de exposición y requisitos a cumplir tanto para materias primas como para el hormigón

Clasificación y requisitos

- Congelación y deshielo

Tabla 4 - Requisitos del hormigon sometido a la accion de congelacion y deshielo

Grado de exposicion		Minimo grado de resistencia especificado Mpa	Aire total %	Tamaño máximo nominal del árido Dn mm
F0	Hormigon no expuesto a congelacion y deshielo	Sin restriccion	Sin restriccion	Sin restriccion
F1	Hormigon expuesto a congelacion y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad	G30	6,0	10
			5,0	20
			4,5	40
F2	Hormigon expuesto a congelacion y deshielo y en contacto continuo con humedad	G30	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40
F3	Hormigon expuesto a congelacion y deshielo y en contacto continuo con humedad y expuesto a productos quimicos descongelantes	G35	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40

Notas:

.- Tolerancia en contenido de aire $\pm 1,5\%$

.- Para hormigón de grado superior a G35 el contenido de aire se puede reducir en 1%

Clasificación y requisitos

- Ataque externo de sulfatos

- Requisitos para el hormigón en contacto con sulfatos

- Para cada grado de exposición, se debe cumplir con el requisito de resistencia mínima especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua

Tabla 7 - Requisitos del hormigón en contacto con sulfatos			
Grado de exposición	Mínimo grado de resistencia especificada	Dosis mínima de cemento kg/m ³	Profundidad de penetración de agua, según NCh2262 mm
S0	G17	-	-
S1	G25	320	≤ 40
S2	G30	340	≤ 30
S3	G35	360	≤ 20

Nota 1: Para el grado de exposición S0 la dosis mínima de cemento es 240 kg/m³

Nota 2: Para los grados de exposición S1, S2 y S3 se debe cumplir con el mínimo grado de resistencia especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua.

Clasificación y requisitos

- Ataque por agentes externos que provocan corrosión
 - Requisitos para el hormigón
 - Para cada grado de exposición, se debe cumplir con el requisito de resistencia mínima especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua

Tabla 9 . Requisitos del hormigon segun grado de exposicion			
Grado de exposicion	Minimo grado de resistencia especificado	Dosis minima de cemento kg/m ³	Profundidad de penetracion de agua segun NCh2262 mm
C0	G17	-	-
C1	G17	270	≤ 50
C2-A	G20	300	≤ 40
C2-B	G25	330	≤ 30
C2-C	G35	360	≤ 20

Nota 1: Para el grado de exposicion C0 la dosis minima de cemento es 240 kg/m³

Nota 2: Para los grados C1, C2-A, C2-B y C2-C se debe cumplir con el minimo grado de resistencia especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis minima de cemento o profundidad de penetracion de agua.

Nota 3: El proyectista estructural puede disminuir en 5 MPa el minimo grado de resistencia indicado en esta Tabla cuando se haya especificado la profundidad de penetracion de agua en lugar de la dosis minima de cemento. En todo caso, el minimo grado de resistencia debe ser > G17.

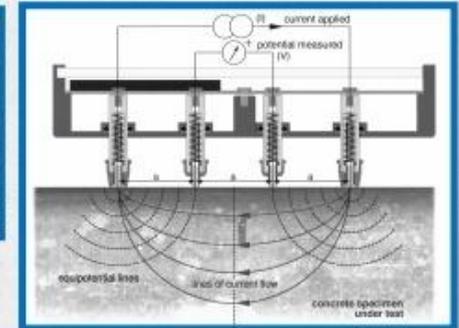
Clasificación y requisitos

- Hormigón de baja permeabilidad
 - Requisitos para el hormigón
 - En estructuras en que se requiere que el hormigón tenga una baja permeabilidad, se debe verificar que se cumplan los siguientes requisitos:

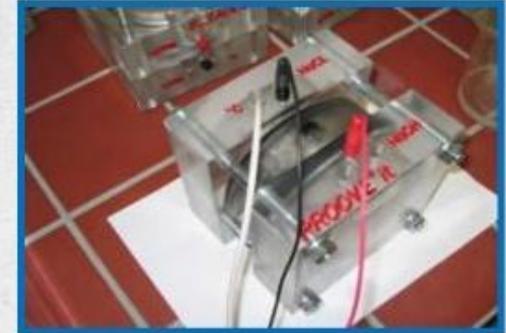
Tabla 10 - Requisitos de profundidad de penetración de agua determinada según NCh2262

Exposición		Profundidad de penetración de agua mm
Grado	Condición	
P0	Hormigón en ambiente seco o en contacto con agua pero que no requiere baja permeabilidad	Sin restricción
P1	Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad	≤ 40
P2	Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad y existe posibilidad de ataque químico no considerado en subcláusulas anteriores	≤ 20

Ensayos rápidos de "Durabilidad"



- Penetración de Agua
- Permeabilidad Gases
 - O₂
 - Aire
- Migración
 - Resistividad Eléctrica
 - Migración de Cl⁻
 - Penetración de Cl⁻



11. Colocación (temperaturas)

- Al momento de la colocación del hormigón se deben cumplir las condiciones de temperatura siguientes:
 - a) la temperatura del hormigón debe ser menor o igual que 35°C
 - b) la temperatura del hormigón debe ser mayor o igual que 5°C
- La Especificación Técnica puede considerar otras temperaturas distintas a las establecidas precedentemente.
- NOTAS respecto versión 85
 1. Se elimina condición de temperatura hormigón menor 16°C para hormigonado masivo (menor dimensión 0,80m)
 2. Se elimina restricción de temperatura ambiente menor 5°C

Hormigonado en "tiempo caluroso"

Aplicación de lloviznas de agua

Protección contra el viento y el sol



13. Curado y protección – Plazo curado

- A menos que la especificación establezca algo diferente, se debe adoptar lo indicado a continuación:
 - a) a menos que se aplique lo indicado en b) o c) el curado se debe realizar por lo menos durante 7 días
 - b) se permite discontinuar el curado cuando la resistencia real del hormigón sea al menos de un 70% de la resistencia especificada. Para estimar la resistencia real se pueden utilizar métodos como madurez, probetas curadas en condiciones de obra, testigos, u otros
 - c) se permite discontinuar el curado cuando la resistencia potencial del hormigón medida en probetas de laboratorio sea al menos de un 85% de la resistencia especificada.

15. Desmolde y descimbre

- El desmolde y el descimbre se deben realizar sin producir daños en el elemento estructural
- El inicio del desmolde y descimbre depende de la resistencia que tenga el hormigón y de las características de los elementos estructurales
- Cuando el retiro de los moldajes se realice durante el período de curado, las superficies de hormigón que queden expuestas se deben someter a las condiciones de curado que corresponda

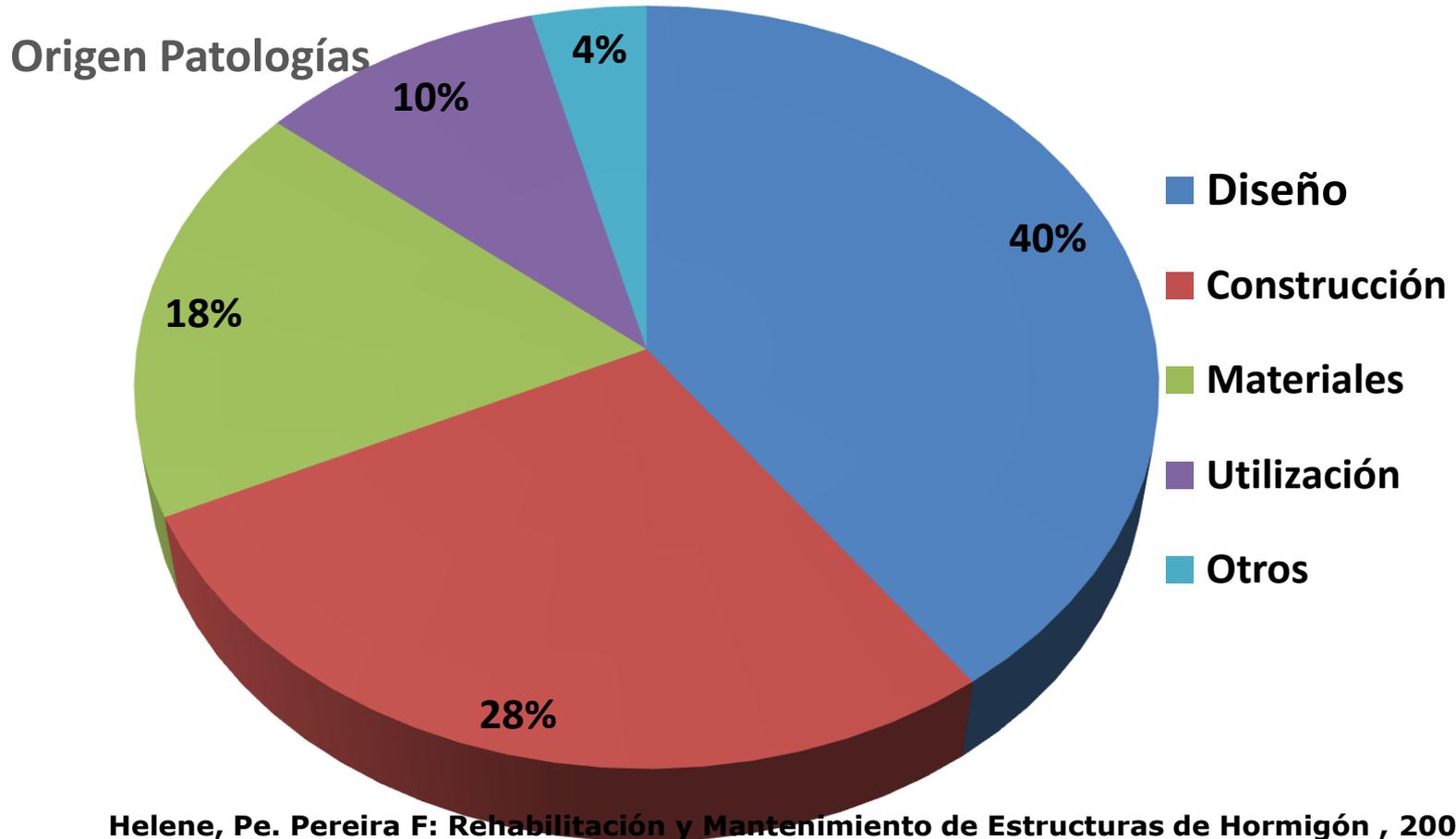
15. Desmolde y descimbre - Plazos

- Paramentos verticales
- Los paramentos verticales o con inclinación hasta 30° (muros, costados de vigas y pilares) se pueden desmoldar tan pronto como esta operación no cause daños a la superficie del hormigón
- NOTA 1 Cuando el hormigón colocado alcance una resistencia mayor o igual a 2MPa se puede iniciar el desmolde. En condiciones normales esta resistencia se alcanza después de 12 horas con temperaturas ambientes mayores a 10°C (a efecto de contabilizar las 12 horas no se deben incorporar los periodos con temperatura menor a 10°C)
- Nota 2 La estimación de la resistencia del hormigón colocado, se puede realizar mediante mediciones de la madurez del hormigón.

15. Desmolde y descimbre - Plazos

- Paramentos horizontales
- Cuando se trate de losas, vigas u otros elementos horizontales se debe considerar separadamente el plazo de desmolde y el de descimbre
- A menos que en el proyecto se especifique algo diferente, los moldajes de fondo de vigas y losas se pueden retirar, siempre que el elemento no esté sometido a cargas externas distintas a su peso propio, cuando la resistencia del hormigón colocado sea de, al menos, 13 MPa.
- A menos que en el proyecto se especifique algo diferente, el retiro de los puntales correspondiente a fondos de vigas y losas se puede realizar cuando el hormigón colocado haya alcanzado una resistencia superior al 75% de la resistencia especificada f_c' , siempre que las cargas de construcción no sean superiores a las cargas de diseño.

Hormigones de Calidad



Helene, Pe. Pereira F: **Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Hormigón**, 2007, Sao Paulo, Brasil.

Hormigón de Calidad

Para que el hormigón cumpla los requisitos, además de un correcto diseño, es imprescindible un correcto manejo en obra.

Buen diseño y mal manejo \Rightarrow no ok !

Mal diseño y buen manejo \Rightarrow no ok !

Buen diseño y buen manejo \Rightarrow OK !!

Manejo en obra: confección, transporte, colocación, compactación, curado, protecciones y controles.

- Migración criterios prescriptivos hacia especificación por comportamiento
- Eliminación de recomendaciones constructivas, pasando a un foco en el material hormigón
- Cambio de probeta cúbica para especificación y medición de la resistencia a compresión del hormigón por probetas cilíndrica establecida en el ACI-318

- Incorporación de un capítulo completo dedicado a los requisitos de durabilidad del hormigón
- Incorporación parámetro penetración agua (NCh2262)
- Incorporación de criterios de Madurez para el desmolde y descimbre temprano de elementos estructurales de hormigón

1. Resumen principales cambios NCh170:2016 versus NCh170 Of86
2. Método de Madurez
3. Determinación de resistencia final

Madurez o Índice de Madurez

Definición de Nurse y Saul (Inglaterra 1950):

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \cdot \Delta t$$

M: Madurez o Índice de Madurez, (°C - días) ó (°C-horas).

T: temperatura promedio durante el intervalo de tiempo Δt (°C).

Δt : intervalo de tiempo (días) ó (horas).

T_0 : temperatura datum = **-10 °C** a **0 °C**

Resistencia vs Madurez

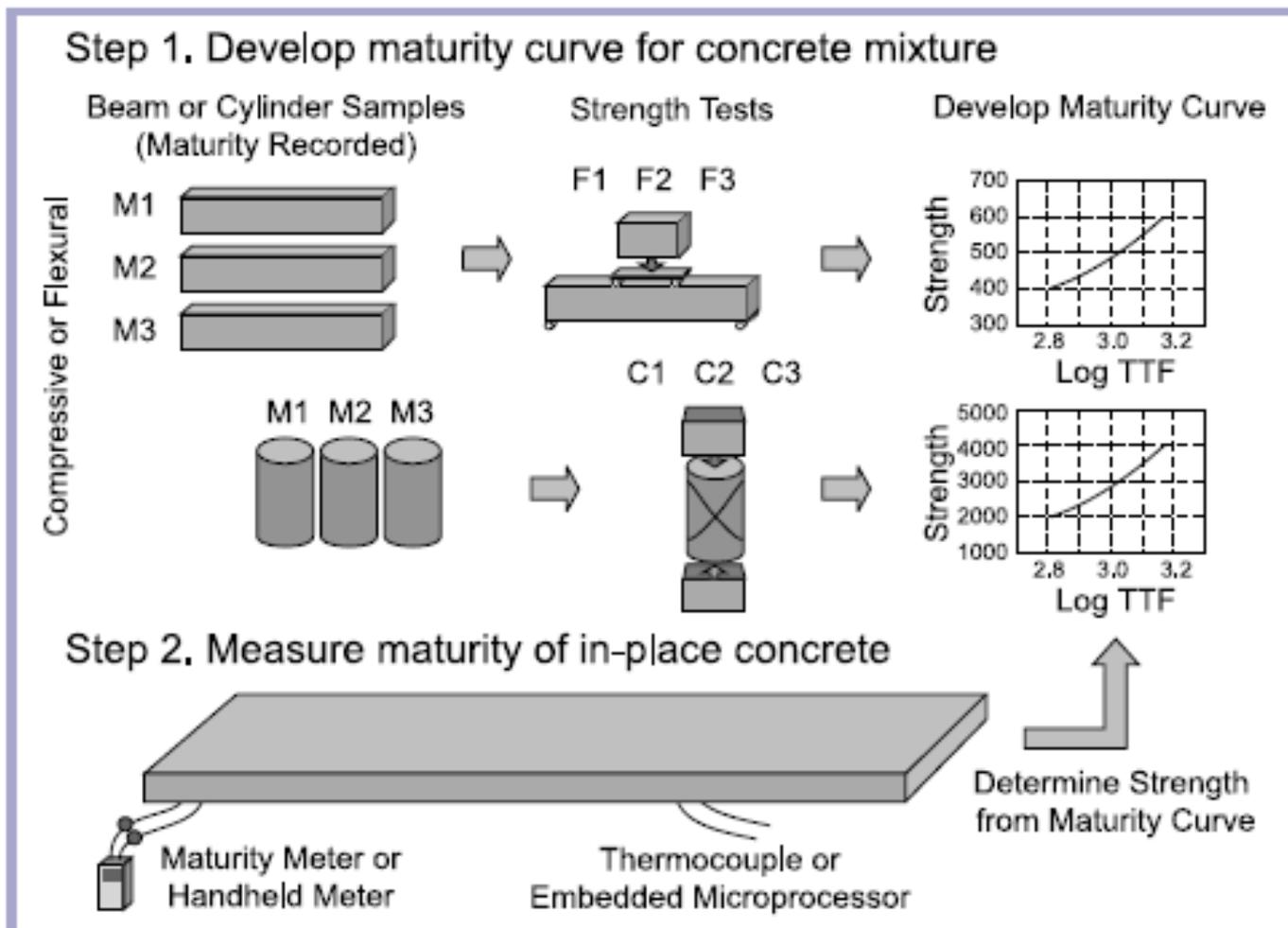
- Principio de Saul :
- “ Hormigones con el mismo Diseño e igual Madurez tendrán, aproximadamente, la misma Resistencia, cualquiera que sea la combinación de temperatura y tiempo para alcanzar esa Madurez”

$$\text{Si } M1 = M2 \rightarrow R1 = R2$$

Método de Madurez

Estimación de Resistencia en la Obra

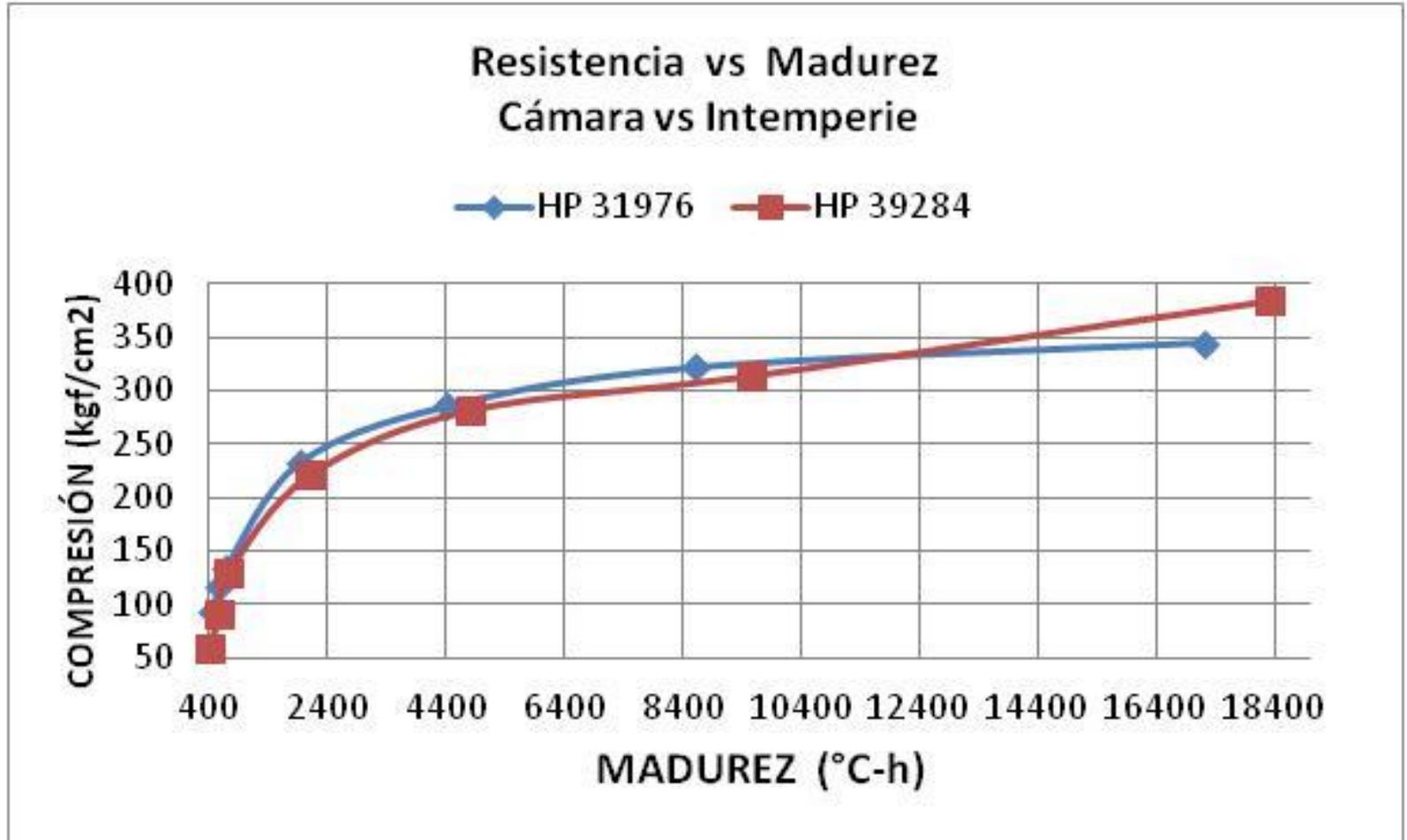
Obtención de la curva $R_t = f(M_t)$.



Madurimetro



Curva resistencia-madurez



3.21

madurez

concepto que utiliza el principio de que la resistencia que el hormigón alcanza a una determinada edad depende de las temperaturas a las que ha estado sometido durante dicho período

El grado de madurez se puede calcular con la fórmula siguiente:

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

T = promedio de la temperatura en cada intervalo de tiempo;

T_0 = temperatura bajo la cual se asume que la hidratación del cemento se detiene;

Δt = intervalo de tiempo, expresado en horas (h) o días.

15.2.1 Paramentos verticales

Los paramentos verticales o con inclinación hasta 30° (muros, costados de vigas y pilares) se pueden desmoldar tan pronto como esta operación no cause daños a la superficie del hormigón.

NOTA 1 Cuando el hormigón colocado alcance una resistencia mayor o igual que 2 MPa se puede iniciar el desmolde. En condiciones normales esta resistencia se alcanza después de 12 h con temperaturas ambientes mayores que 10°C (a efecto de contabilizar las 12 h no se deben incorporar los períodos con temperatura menor que 10°C).

NOTA 2 La estimación de la resistencia del hormigón colocado, se puede realizar mediante mediciones de la madurez del hormigón. Para ello se recomienda tener presente lo establecido en ASTM C 1074, en cuyo caso la temperatura de referencia T_0 (datum) que ella utiliza se puede considerar igual a cero.

15.2.2 Paramentos horizontales

15.2.2.1 Cuando se trate de losas, vigas u otros elementos horizontales se debe considerar separadamente el plazo de desmolde y el de descimbre.

15.2.2.2 A menos que en el proyecto se especifique algo diferente, los moldajes de fondo de vigas y losas se pueden retirar, siempre que el elemento no esté sometido a cargas externas distintas a su peso propio, cuando la resistencia del hormigón colocado sea de, al menos, 13 MPa. Para el retiro de los fondos de vigas o losas, puede ser necesario retirar de los puntales que alzapriman el elemento estructural. En este caso, se debe efectuar un reapuntalamiento (reinstalar los puntales), labor que se debe realizar antes de dos horas o, a lo más, dentro de la misma jornada de trabajo en que fueron retirados.

NOTA Al momento de reapuntalar, los puntales no deberían efectuar sobrepresión a la estructura de hormigón.

15.2.2.3 A menos que en el proyecto se especifique algo diferente, el retiro de los puntales correspondiente a fondos de vigas y losas se puede realizar cuando el hormigón colocado haya alcanzado una resistencia mayor al 75% de la resistencia especificada f'_c , siempre que las cargas de construcción no sean superiores a las cargas de diseño.

15.2.2.4 La resistencia del hormigón colocado se debe estimar preferentemente por medio de métodos de madurez o en su defecto por medio de probetas conservadas en condiciones similares a las del hormigón colocado.

NOTA Para el cálculo de la madurez, ver 15.2.1, Nota 2.

5.410.312 Protección del Pavimento y Apertura al Tránsito

El Contratista deberá proveer todos los medios para proteger el pavimento, tanto de sus propios equipos como del público en general. Deberá disponer vigilantes y colocar la señalización y barreras que resulten necesarias. Cuando los trabajos se realicen en caminos con tránsito, el Contratista deberá tener presente lo estipulado en la Sección 5.804, Disposiciones de Seguridad.

El pavimento sólo podrá ser entregado al tránsito cuando las juntas del tramo estén totalmente selladas, la superficie se encuentre limpia y la resistencia de tracción por flexión del pavimento sea igual o superior al 75% de la resistencia característica especificada. En todo caso, la apertura al tránsito sólo podrá realizarse con la aprobación del Inspector Fiscal.

Será responsabilidad del Contratista conservar todas las juntas perfectamente limpias, retirando cualquier material incompresible que hubiere penetrado, desde el momento en que el pavimento se haya entregado al tránsito y hasta la recepción provisoria de las obras.

Hoy se utiliza método de Madurez para dar a tránsito

Ejemplo N°1 - Real

1.- Datos de la Obra: 6 Octubre 2016

- Edificio :16 pisos en Santiago
- Moldaje : Peri Dominó.
- Hormigonado : 13:00
- Desmolde : Día siguiente 9:00 (21 horas)
- Hormigón : HB300(90) 20 10

2.- Dosificación

- Cemento : Melón Plus
- A/C : 0.66
- Aditivo : 0.5 %

Ejemplo N°1 - Real

- Resistencia vs Madurez: mediciones
 - Dos sensores en el Muro
 - Dos sensores en Probetas
 - Un sensor para Temperatura Ambiente
 - Dos probetas para R a la hora de Desmolde
 - Dos probetas para:
 - R8h-R12h-R16h-R20h-R24h
 - R7 días
 - R28 días

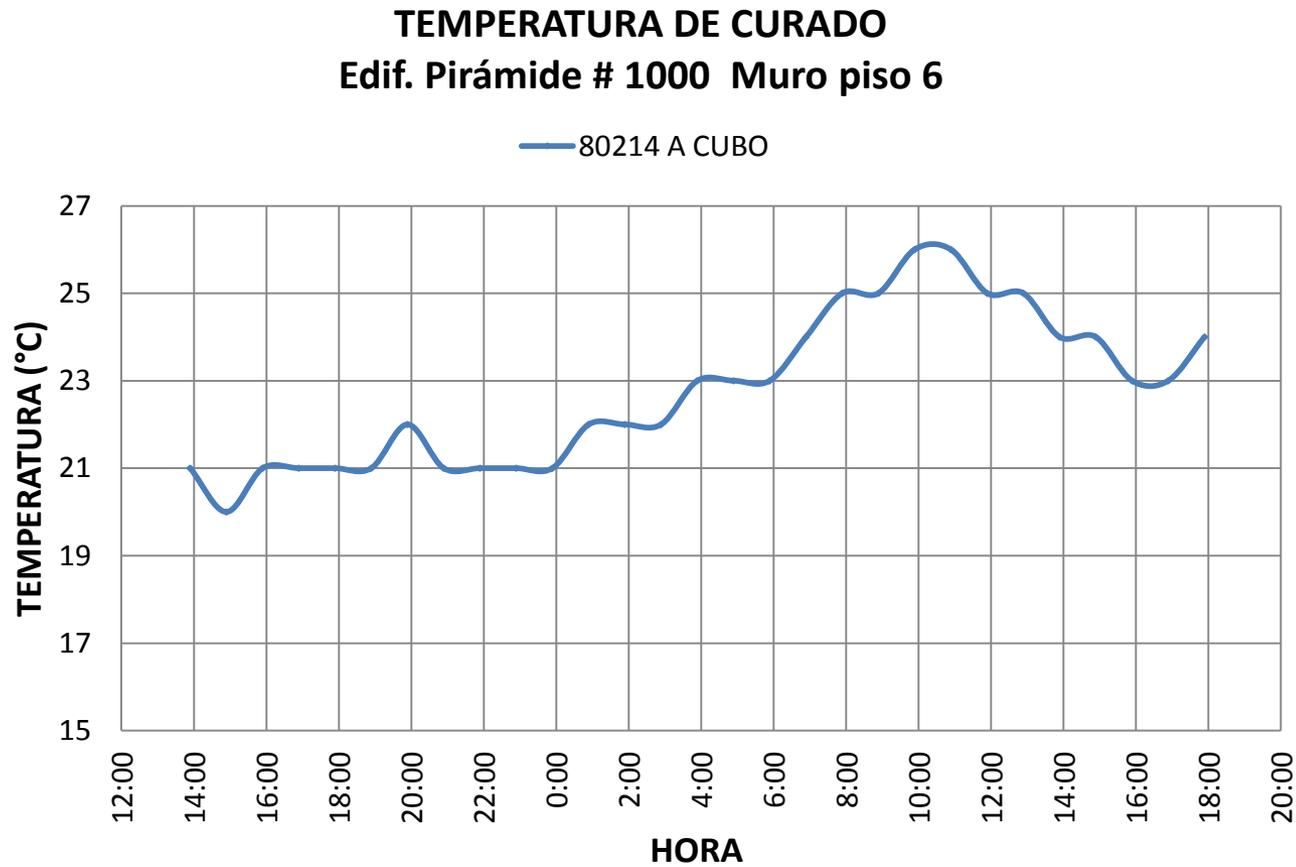
Ejemplo N°1 - Real

- Instalación y Lectura de sensores.



Ejemplo N°1 - Real

- Temperatura Probetas (intemperie)



Ejemplo N°1 - Real

- Resistencia vs Madurez (en probetas)

	Fecha	R cilíndrica	Madurez	EDAD (h)
	06-10-2016 21:41:00	1	165	8
	06-10-2016 23:42:00	2	207	10
	07-10-2016 1:46:00	4	252	12
	07-10-2016 5:40:00	14	340	16
Desmolde	07-10-2016 9:40:00	35	438	20
	07-10-2016 13:59:00	58	547	24
PROBETAS # 8014				

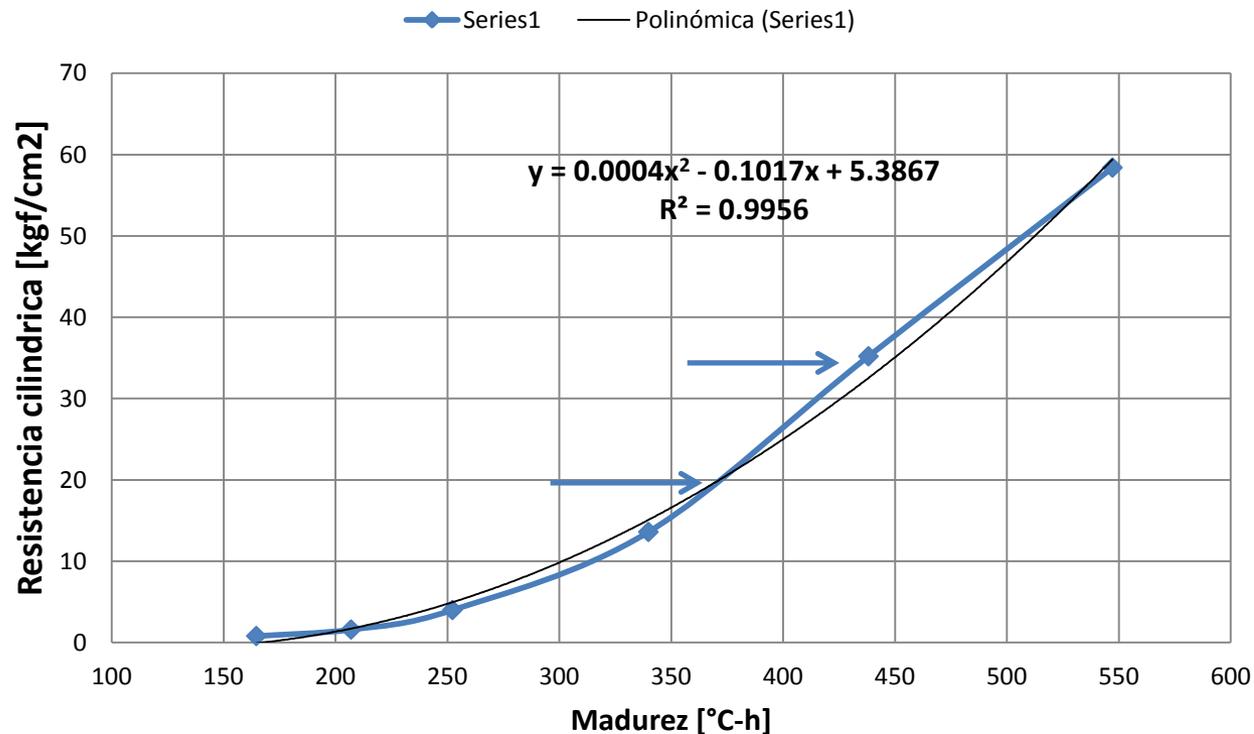
Ejemplo N°1 - Real

Curva Resistencia vs Madurez (probetas)

- Curva Polinómica para edad temprana !!

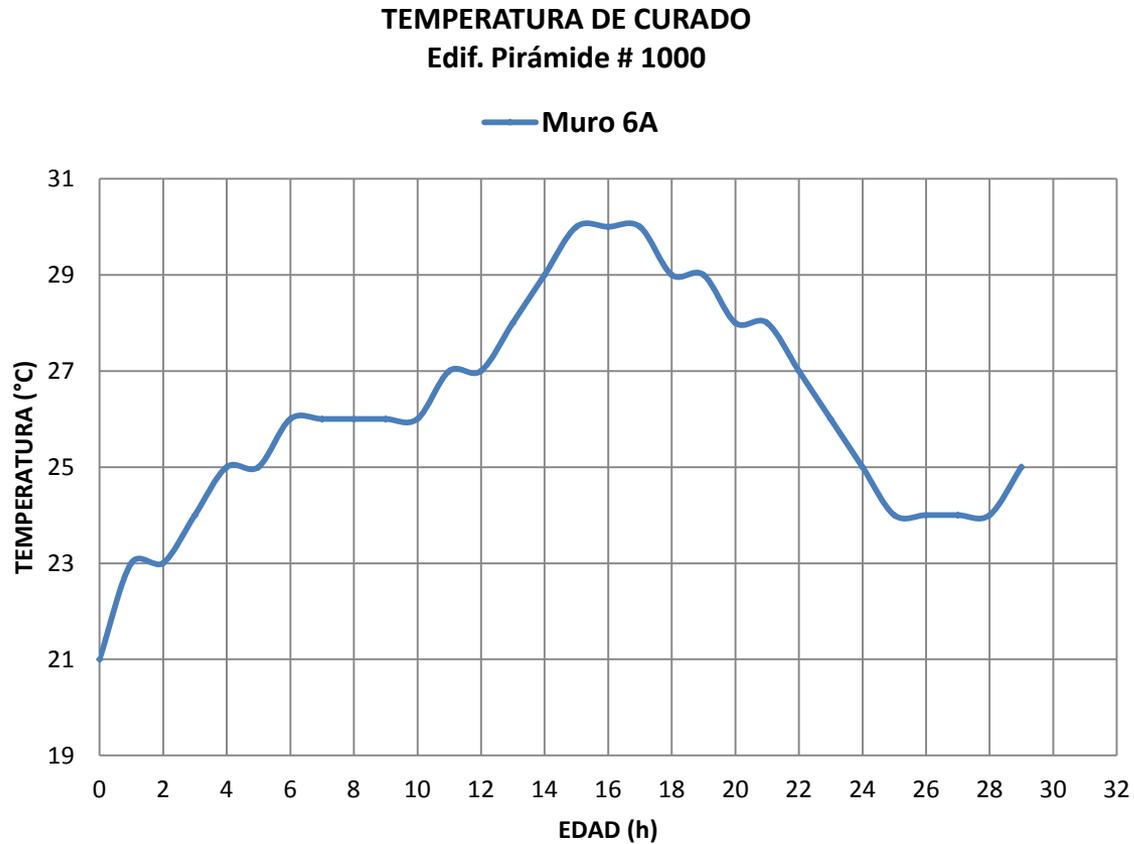
→ Según NCh170, se podría desmoldar con Madurez= 375 (°C-h)

Resistencia vs Madurez
Edif Piramide # 1000 - Probetas



Ejemplo N°1 - Real

- Temperatura del hormigón en el Muro



Ejemplo N°1 - Real

Desmolde : Resistencia estimada (En el Muro)

Fecha	Madurez	Muro 6 A	Hora	EDAD (h)	R cilíndrica
06-10-2016 13:06:50	0		13:06	0	
06-10-2016 14:06:50	21		14:06	1	
06-10-2016 15:06:50	44		15:06	2	
06-10-2016 16:06:50	68		16:06	3	
06-10-2016 17:06:50	92		17:06	4	
06-10-2016 18:06:50	117		18:06	5	
06-10-2016 19:06:50	143		19:06	6	
06-10-2016 20:06:50	169		20:06	7	
06-10-2016 21:06:50	195		21:06	8	
06-10-2016 22:06:50	221		22:06	9	
06-10-2016 23:06:50	247		23:06	10	
07-10-2016 0:06:50	274		0:06	11	
07-10-2016 1:06:50	301		1:06	12	
07-10-2016 2:06:50	329		2:06	13	
07-10-2016 3:06:50	357		3:06	14	
07-10-2016 4:06:50	387		4:06	15	
07-10-2016 5:06:50	416		5:06	16	
07-10-2016 6:06:50	446		6:06	17	
07-10-2016 7:06:50	476		7:06	18	
07-10-2016 8:06:50	505		8:06	19	
07-10-2016 9:06:50	533	Desmolde a las	9:06	20	
07-10-2016 10:06:50	561	9:40	10:06	21	35 (kgf /cm2)
07-10-2016 11:06:50	588		11:06	22	

50 kg/cm2

Ejemplo N°1 - Real

- Desmolde



Ejemplo N°2

1.- Datos de la Obra: 21 Noviembre 2016

- Edificio de 16 pisos.
- Moldaje : Peri Dominó.
- Hormigonado : 7:30
- Desmolde : 15:30 (8 h)
- Hormigón : HB300(90) 20 10 DT

2.- Dosificación:

- Cemento : Melon Extra
- A/C : 0.66
- Adit MX 1600: :1600 cc/m³

Ejemplo N°2

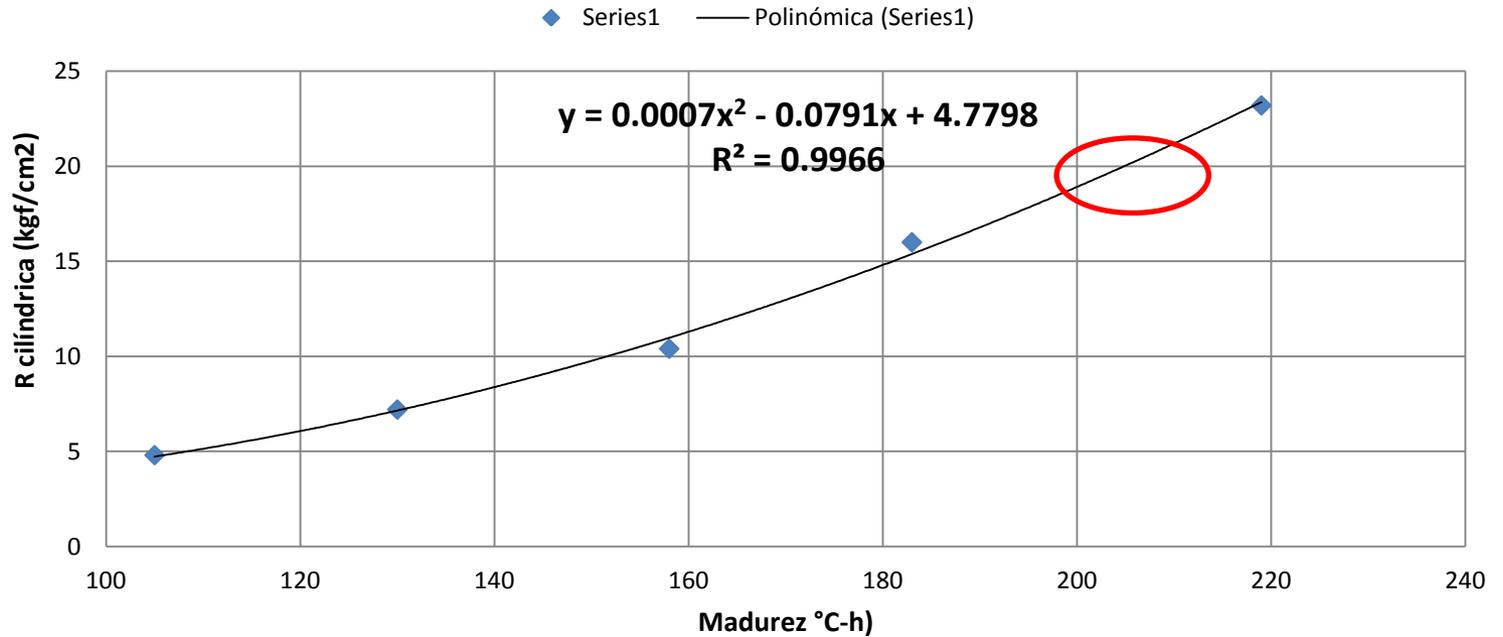
- HB300(90) 20 10 DT

Curva de calibración laboratorio			
Madurez Cubo	R cúbica (kgf/cm²)	R cilíndrica (kgf/cm²)	EDAD (h)
105	6	5	6
130	9	7	7
158	13	10	8
183	20	16	9
219	29	23	10

Ejemplo N°2

- HB300(90) 20 10 DT
- Curva Resistencia vs Madurez

Resistencia vs Madurez Hormigón HB 300 90 20 10 DT



Ejemplo N°2

- HB 300 (90) 20 10 DT
- Resistencia estimada al DESMOLDE

Estimación de Resistencia al DESMOLDE		
Madurez Muro	R Estimada cilíndrica(kgf/cm ²)	EDAD (h)
130	6	6
151	9	7
DESMOLDE	182	14
223	22	9
264	33	10

Ejemplo N°2



- Método de Madurez puede ser usado para definir tiempos de desmolde
- Se comprueba el valor indicado en NCH170 Of2016, de 2Mpa como resistencia requerida para desmolde de Elementos Verticales.
- Método de Madurez refleja de mejor forma la resistencia a edades Tempranas que el ensayo de probetas.
- Dependiendo del tipo de dosificación empleado (Cemento y Aditivos) es posible lograr resistencias de desmolde con madurez menos y por lo tanto en menos tiempo

1. Resumen principales cambio NCh170:2016 versus NCh170 Of86
2. Método de Madurez
3. Determinación de resistencia final

Que nos dice NCh170

Descripción	NCh170 Of2016	NCh170 Of86
Resistencia Especificada	(f'c) :Resistencia establecida en el proyecto	fc y ft: a Compresión y flexotracción , respectivamente establecidas en el proyecto sobre probetas normal con un determinado nivel de confianza
Resistencia Mecánica	Tensión Máxima que soporta el hormigón . Se expresa en Mpa	Idem
Resistencia Media requerida para Dosificación	Valor medio de la resistencia mecánica que se puede alcanzar para satisfacer la resistencia especificada	Idem
Resistencia Potencial	Resistencia determinada mediante muestras extraídas según NCh171, confeccionadas según NCh1017 y ensayadas según NCh1037 o NCh1038 a la edad especificada	No se define
Fracción Defectuosa	Fracción del total de resultados esperados con resistencias menores que un valor especificado, expresado en porcentaje	Idem

Que nos dice NCh170

Descripción	NCh170 Of2016	NCh170 Of86
Nivel de Confianza	No se define	Fracción, expresada en porcentaje o fracción decimal, de resultados iguales o mayores que un valor especificado
Resistencia Característica	No se define	fk: Valor calculado estadísticamente a partir de resultados obtenidos en los ensayos que corresponde a un nivel de confianza determinado, considerando una distribución normal

¿Como Evaluamos?

- NCh 170 Of86 y Of2016 no definen método de evaluación.
- La norma que en Chile define las metodologías de evaluación estadística de hormigones en la NCh1998 Of98, (no son vinculantes.)
- Esta Norma entrega 2 metodologías de evaluación estadística : “Por Grupos de muestras Consecutivas” o “por el Total de muestras”
- Oferta comercial de Melón considera el primer criterio y en caso de ser solicitado y acordado se usa el segundo.
- En caso de no cumplir condición $f_i > f_o$, se considera lo indicado en NCh1998 respecto a la extracción de testigos según NCh1171
- En caso de requerir definir resistencia potencial de una estructura completa (No un elemento), se trabaja correlacionando Indices Esclerometricos y Testigos

5.2 Evaluación de los resultados de la resistencia mecánica

Esta norma entrega dos métodos de evaluación para el lote:

- por grupos de muestras consecutivas (sólo si $N \geq 10$);
- por el total de muestras.

El método elegido deberá quedar estipulado en las especificaciones particulares de la obra o en la norma de diseño correspondiente. En ausencia de ello deberá adoptarse el método de evaluación por muestras consecutivas, salvo que el número total de muestras del lote sea inferior a diez, en cuyo caso se debe emplear el método de evaluación por el total de muestras.

5.2.1 Evaluación del lote por parcialidades mediante grupos de muestras consecutivas

Se considera que la resistencia de cada parcialidad del lote de hormigón es satisfactoria, si se cumplen las siguientes condiciones simultáneamente:

- a) $f_3 \geq f_c + k_1$
- b) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$

5.2.2 Evaluación del lote considerando el total de muestras

Se considera que la resistencia de un determinado lote de hormigón es satisfactoria, si se cumplen las siguientes condiciones simultáneamente:

- a) $f_m \geq f_c + s \cdot t$
- b) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$

Antecedentes		Conclusiones	Recomendaciones
$f_3 \geq f_c + k_1$	$f_i \geq f_o$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_3 < f_c + k_1$	$f_i \geq f_o$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos.
$f_i < f_o$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial	Adoptar las medidas indicadas en A.4

Antecedentes		Conclusiones	Recomendaciones
$f_m \geq f_c + s \cdot t$	$f_i \geq f_o$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_m < f_c + s \cdot t$	$f_i \geq f_o$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos.
$f_i < f_o$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial	Adoptar las medidas indicadas en A.4

A.4 Investigación de los resultados defectuosos

A.4.1 En el caso de resistencias individuales f_i menores que el límite inferior f_o , existe riesgo con respecto a la seguridad estructural y el hormigón afectado debe ser sometido a la investigación que ordenen los proyectistas.

A.4.2 Sin perjuicio de lo anterior, es recomendable que se considere entre otras posibilidades, las siguientes acciones:

- comprobar la validez del ensayo;
- identificar la zona comprometida;
- inspeccionar visualmente la zona y dejar constancia de los eventuales errores de colocación del hormigón;
- realizar ensayos por métodos no destructivos; y/o
- extraer testigos del hormigón endurecido.

A.4.3 Testigos

En caso de utilizar este recurso, se debe extraer, como mínimo, tres testigos por cada resultado f_i defectuoso investigado. El hormigón se considera aceptable si el promedio aritmético de los tres testigos es igual o superior a $0,85 f_c$ y cada resultado individual es igual o superior a $0,75 f_c$.

Caso Real de evaluación de Resistencias

Muestra	R-7-1	R-28-1	R-28-2	f_i	f_3	$f_i > f_o = f_c \cdot k_2 = 475$	$f_3 > f_c + k_1 = 500$
1	407	540	529	535		Sí cumple	
2	447	542	541	541		Sí cumple	
3	498	589	601	595	557	Sí cumple	Sí cumple
4	412	513	506	509	549	Sí cumple	Sí cumple
5	401	491	475	483	529	Sí cumple	Sí cumple
6	425	524	502	513	502	Sí cumple	Sí cumple
7	434	539	524	532	509	Sí cumple	Sí cumple
8	458	551	549	550	531	Sí cumple	Sí cumple
9	448	510	513	512	531	Sí cumple	Sí cumple
10	406	484	492	488	516	Sí cumple	Sí cumple
11	432	501	511	506	502	Sí cumple	Sí cumple
12	442	526	514	520	505	Sí cumple	Sí cumple
13	413	510	504	507	511	Sí cumple	Sí cumple
14	385	474	484	479	502	Sí cumple	Sí cumple
15	452	541	525	533	506	Sí cumple	Sí cumple
16	473	566	548	557	523	Sí cumple	Sí cumple
17	445	530	515	522	537	Sí cumple	Sí cumple
18	437	508	520	514	531	Sí cumple	Sí cumple
19	420	487	470	478	505	Sí cumple	Sí cumple

Resistencia Media	$f_m =$	519,7
Desviación Estándar	$s =$	29,2
Factor t de Student	$t =$	1,33
Calculo de	$s \cdot t =$	38,8
Calculo de	$f_c + s \cdot t =$	538,8
Resistencia característica	$f_k =$	481
Cumplimento $f_m > f_c + S \cdot t$		No

- En este caso la obra cumple el criterio de evaluación por “muestras consecutivas”, pero no el de “Total de muestras”

Antecedentes:

- Tipo de Hormigón :HN300904010
- Resultados de resistencia de control oficial de Melón cumplen criterio de evaluación de resistencia
- Resultados de autocontrol con laboratorio contratado por constructora no cumplen criterios de evaluación
- Se define realizar como primera instancia una evaluación por testigos en zonas de incumplimientos
- Posteriormente a esto se realiza un análisis a la estructura completa mediante una correlación entre Índice Esclerometrico y resultados de testigos.

Evaluación por testigos de Elementos en que $f_i < f_o$:

ENSAYO A COMPRESIÓN										
IDENT TESTIGO	FECHA DE ENSAYO	ALTURA TESTIGO (mm)	DIÁMETRO TESTIGO (mm)	ALTURA ENSAYO (mm)	ESBELTEZ	DENSIDAD TESTIGO (kg/m ³)	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN		
								(a) (MPa)	(b) (MPa)	(c) (MPa)
T1	30-may-16	145	93	121	1,30	2.300	227,3	33,5	31,4	36,4
T2	30-may-16	151	93	-	-	-	-	-	-	-
T3	30-may-16	166	93	101	1,09	2.360	267,2	39,3	35,2	40,2
T4	30-may-16	166	93	106	1,14	2.300	196,1	28,9	26,2	31,2
T5	30-may-16	171	93	-	-	-	-	-	-	-
T6	30-may-16	118	93	96	1,03	2.330	181,4	26,7	23,5	28,5
T7	30-may-16	178	93	106	1,14	2.320	204,5	30,1	27,4	32,4
T8	30-may-16	176	93	145	1,56	2.310	209,7	30,9	29,8	34,8
T9	30-may-16	116	93	98	1,05	2.300	209,3	30,8	27,3	32,3

(a) Resistencia de la probeta a la edad de ensayo, expresada como tensión de rotura.

(b) Resistencia corregida por esbeltez, expresada en cilindro normal de diámetro 15 cm y altura 30 cm.

(c) Resistencia transformada a cubo normal de arista 20 cm.

Tipo de Hormigón :

HB300904010

f_c Kg /cm² :

300

k_3 :

1,20

f_{cil} Kg /cm² :

250

$0,85 f_{cil}$ Kg /cm² :

213

$0,75 f_{cil}$ Kg /cm² :

188



Todos los sublotes cumplen Criterio

Todos los testigos cumplen criterio

Evaluación de todas las estructuras

Tabla 6.1: Identificación de elementos inspeccionados

Número	Elemento
(1)	Losa Fundación Sala Eléctrica
(2)	Losa Fundación Grupo Electrónico
(3)	Losa Fundación Antorcha
(4)	Losa Fundación Sala de Químicos
(5)	Losa Fundación Reactor Anaeróbico (E2E)
(6)	Losa Fundación Estanque Preacidificación
(7)	Losa Fundación SBR
(8)	Losa Fundación Estanque de Lodos
(9)	Muros y Losa Cámara de Contacto

1.- Determinación de IE (Estanque de Preacidificación)

La esclerometría realizada en la losa de fundación de la losa Estanque Preacidificación, presentó índices esclerométricos en los siguientes rangos:

Tabla 6.7: Rango de valores de IE para la losa Estanque Preacidificación

Valor	Índice Esclerométrico
Mínimo	22
Máximo	32
Promedio	27

1.- Determinación de IE (Estanque de Preacidificación)

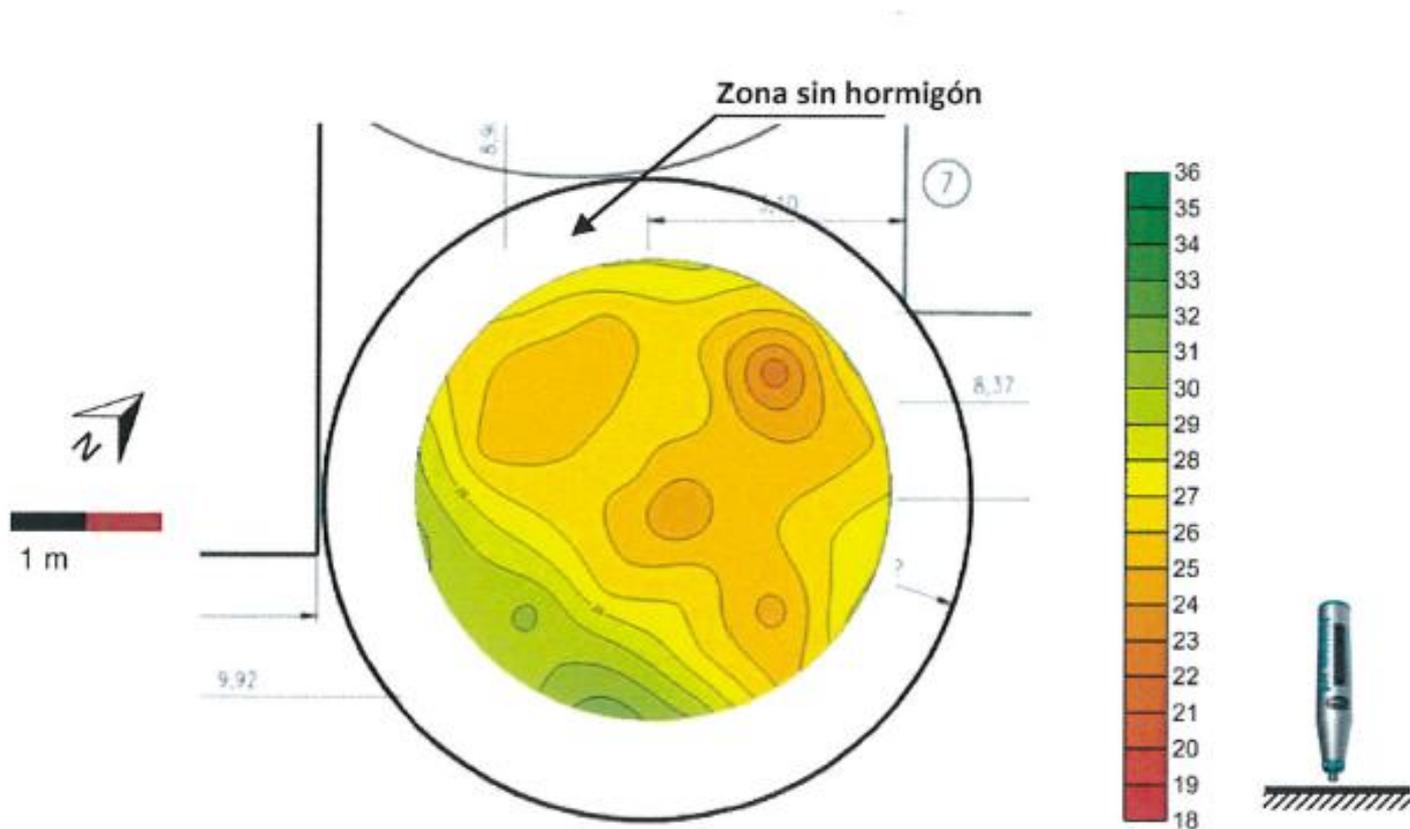


Figura 6.10: Diagrama de Índice Esclerométrico de Losa Estanque Preacidificación

2.-Testigos para calibrar

Tabla 7.1: Ubicación de testigos extraídos

Testigo	Elemento	Ubicación	Índice Esclerométrico en el punto de extracción
T1	Losa	Fundación Estanque PA	22
T10	Losa	Fundación Estanque Lodos	34
T11	Losa	Fundación Estanque Lodos	36
T12	Losa	Fundación Sala Químicos	32
T13	Losa	Fundación Sala Químicos	33
T14	Losa	Fundación SBR	25
T15	Losa	Fundación SBR	25
T4	Muro	Muro Eje B Cámara de Contacto	26
T5	Muro	Muro Eje B Cámara de Contacto	34
T6	Muro	Muro Eje 6 Cámara de Contacto	36
T7	Muro	Muro Eje 6 Cámara de Contacto	32
T8	Muro	Muro Eje A Cámara de Contacto	33
T9	Muro	Muro Eje A Cámara de Contacto	25

Tabla 7.2: Resistencia cilíndrica a compresión de los testigos extraídos

Testigo	Elemento	Resistencia a compresión f_{cil} (kgf/cm ²) (*)	Resistencia a compresión f_{cil} (MPa)
T1	Losa	250	25,0
T10	Losa	269	26,9
T11	Losa	287	28,7
T12	Losa	251	25,1
T13	Losa	256	25,6
T14	Losa	226	22,6
T15	Losa	227	22,7
T4	Muro	274	27,4
T5	Muro	320	32,0
T6	Muro	287	28,7
T7	Muro	316	31,6
T8	Muro	290	29,0
T9	Muro	272	27,2

4.- Evaluación Final:

9.1. Evaluación de la resistencia a compresión de hormigón de muros

Según la revisión de antecedentes, el hormigón colocado en los muros de la cámara de contacto es el hormigón tipo HB 300/90/20/10.

La resistencia estimada a partir de la correlación establecida y su error asociado se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 9.1: Evaluación de la resistencia del hormigón HB/300/90/20/10

Elemento	IE mínimo del elemento	R estimada (kgf/cm ²) (*)	0,85 f'c (kgf/cm ²)
Muro Interior Eje 2	28	277 ± 20	213
Muro Interior Eje 3	29	283 ± 20	213
Muro Interior Eje 4	26	266 ± 20	213
Muro Interior Eje 5	27	272 ± 20	213
Muro Exterior Eje A	26	266 ± 20	213
Muro Exterior Eje B	25	261 ± 20	213
Muro Exterior Eje 1	28	277 ± 20	213
Muro Exterior Eje 6	30	289 ± 20	213

(*) El valor de resistencia a compresión es determinado a partir de la correlación establecida para el tipo de hormigón evaluado.

- El método de evaluación debe ser claro y definido desde el principio.
- Por defecto se utiliza el criterio de “Grupos de muestras Consecutivas”.
- En caso de diferencias entre laboratorios se recomienda determinar si el origen de una baja de resistencias esta en una falla en el proceso de muestreo.
- En caso de evaluar por testigos hay que tener muy claros los criterios de evaluación y los tiempos involucrados.
- Si se requiere evaluar una estructura completa, correlacionar resultados de testigos con IE es una muy buena herramienta, pero demanda tiempo y de alto costo

“Si te lo dicen lo olvidas, si lo aprendes lo recuerdas, si te involucras lo aprendes”...

Benjamín Franklin.

GRACIAS



Charla Técnica Melón Hormigones

*Gerardo Staforelli V.
Julio 2017*