



Universidad de  
**los Andes**



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
Y CIENCIAS  
APLICADAS**

---

# **Tecnología del Hormigón**

## **Taller 3**

---

**Profesor:**

Alvaro Paul

**Ayudante:**

Felipe Ronda

**Alumnos:**

Felipe Vicencio

Lukas Wolff

**21 de octubre de 2025**

## 1. Introducción

El control de la resistencia del hormigón en obra es un aspecto fundamental para la gestión eficiente y segura del proceso constructivo. En este contexto, el Taller 3 busca aplicar diferentes metodologías de estimación de resistencia, relacionando la dosificación, el historial térmico y el tiempo de curado del material, con el fin de comprender su influencia en las decisiones técnicas y económicas que se adoptan durante la ejecución de estructuras de hormigón armado.

El taller se estructura en tres partes complementarias. En primer lugar, se estudia el método de madurez, el cual permite estimar la resistencia del hormigón a partir de su historial de temperatura interna. Este método, ampliamente utilizado en terreno, se basa en el principio de que una mezcla específica alcanza una misma resistencia cuando presenta el mismo índice de madurez, lo que permite determinar el tiempo equivalente necesario para realizar operaciones críticas, como el postensado o el retiro de moldajes.

En la segunda parte se aborda el análisis de la presión de moldajes, considerando los factores que influyen en la carga lateral ejercida por el hormigón fresco, tales como la velocidad y altura de colocación, la densidad y la temperatura de la mezcla. Este análisis permite comprender la importancia de una correcta planificación del vaciado y del diseño del sistema de encofrado para garantizar la seguridad estructural y la continuidad del proceso constructivo.

Finalmente, la tercera parte aplica los métodos empíricos de Bolomey y Venuat para estimar la resistencia del hormigón en función de su razón agua/cemento y del tiempo. El método de Bolomey permite determinar la dosis de cemento necesaria para alcanzar una resistencia objetivo a una edad específica, mientras que el de Venuat relaciona la resistencia con el tiempo de curado mediante una función logarítmica. Ambos métodos se aplican en un caso práctico donde se busca optimizar el tiempo de desmolde y los costos de operación en columnas de obra gruesa, comparando alternativas con cemento corriente y de alta resistencia inicial.

El objetivo general del taller es integrar los conceptos de madurez, presión de moldajes y estimación de resistencia para desarrollar una comprensión global del comportamiento del hormigón en distintas etapas del proceso constructivo, fortaleciendo la capacidad de análisis y toma de decisiones técnicas en el ámbito de la tecnología del hormigón.

## 2. Desarrollo

### Parte 1: Madurez

En primer lugar se determina la madurez del hormigón según el método de Plowman, para luego determinar el tiempo necesario para alcanzar la resistencia requerida con los metodos de Nurse-Saul como la de Freieslaben, Hansen y Pedersen.

#### Plowman

Considerando una temperatura de terreno de 23 °C ( $T_r$ ), así como  $T_D$  tiene un valor de 0 °C, se calcula la madurez como:

$$M = t_{eq}(T_r - T_D) \quad \text{donde} \quad t_{eq} = 13,27 \quad (1)$$

A partir de los datos entregados, se obtiene la siguiente tabla:

Edad [días]	Temperatura [°C]	Resistencia MPa	dt días	T prom C	Madurez C*h	Madurez C*día	Plowman C*hr
0	29	0	0	—	0	0	0
0.25	39	0.39	0.25	34	8.5	7	168
0.5	49	0.88	0.25	44	19.5	14	336
0.75	54	1.42	0.25	51.5	32.375	21	504
1	59	2.01	0.25	56.5	46.5	28	672
1.5	64	3.29	0.5	61.5	77.25	42	1008
2	59	4.47	0.5	61.5	108	56	1344
2.5	48	5.43	0.5	53.5	134.75	70	1680
3	44	6.31	0.5	46	157.75	84	2016
3.5	39	7.09	0.5	41.5	178.5	98	2352
4	34	7.77	0.5	36.5	196.75	112	2688
4.5	29	8.35	0.5	31.5	212.5	126	3024
5	26	8.87	0.5	27.5	226.25	140	3360
5.5	26	9.39	0.5	26	239.25	154	3696
6	23	9.85	0.5	24.5	251.5	168	4032
7	23	10.77	1	23	274.5	196	4704
8	23	11.69	1	23	297.5	224	5376
9	23	12.61	1	23	320.5	252	6048
10	23	13.53	1	23	343.5	280	6720
11	23	14.45	1	23	366.5	308	7392
14	23	17.21	3	23	435.5	392	9408
21	23	23.65	7	23	596.5	588	14112
28	23	30.09	7	23	757.5	784	18816

De esta manera, interpolando la madurez obtenida, se obtiene un tiempo de 8.33 días, es decir, ese es el tiempo necesario para el hormigón en obra tenga una resistencia similar a la resistencia alcanzada a los 13.27 días en laboratorio.

## Tecnología del Hormigón

---

Ahora, es necesario determinar la madurez del hormigón al 85 % de  $f_{cm}$ , donde considerando un hormigón G20 con 4MPa de desviación estándar, se obtiene:

$$0,85 \cdot f_{cm} = f'_c + t \cdot s = (20 + 1,282 \cdot 4) \cdot 0,85 = 21,35 \text{ MPa} \quad (2)$$

Luego se obtienen los factores  $K_1$  y  $K_2$  a partir de los valores de 3 y 28 días:

$$6,31 = K_1 + K_2 \log(2016) \quad (3)$$

$$30,09 = K_1 + K_2 \log(18816) \quad (4)$$

De esta forma,  $K_1 = -74,698$  y  $K_2 = 24,514$ . Luego, la madurez para la resistencia requerida es:

$$R(M) = K_1 + K_2 \log(M) \quad (5)$$

$$21,35 = -74,698 + 24,514 \log(M) \quad (6)$$

De esta forma, la madurez requerida es de  $M = 345,264$  C día.

### Nurse-Saul

El método establece que el tiempo equivalente se puede calcular como:

$$\Delta t_{eq} = \frac{T_i - T_d}{T_r - T_d} \Delta t_i \quad (7)$$

De esta forma, se obtiene la siguiente tabla:

## Tecnología del Hormigón

Edad [días]	Temperatura [°C]	t eqi obra [días]	t eqi lab [días]	Madurez c día
0	29	0	0	0
0.25	39	0.423913043	0.39	7
0.5	49	0.956521739	0.88	14
0.75	54	1.543478261	1.42	21
1	59	2.184782609	2.01	28
1.5	64	3.576086957	3.29	42
2	59	4.858695652	4.47	56
2.5	48	5.902173913	5.43	70
3	44	6.858695652	6.31	84
3.5	39	7.706521739	7.09	98
4	34	8.445652174	7.77	112
4.5	29	9.076086957	8.35	126
5	26	9.641304348	8.87	140
5.5	26	10.20652174	9.39	154
6	23	10.70652174	9.85	168
7	23	11.70652174	10.77	196
8	23	12.70652174	11.69	224
9	23	13.70652174	12.61	252
10	23	14.70652174	13.53	280
11	23	15.70652174	14.45	308
14	23	18.70652174	17.21	392
21	23	25.70652174	23.65	588
28	23	32.70652174	30.09	784

Luego, interpolando la madurez obtenida, se obtiene un tiempo de 17.037 días en obra y 15.674 días en laboratorio para alcanzar la resistencia requerida de 21.35 MPa.

## Freiesleben Hansen y Pedersen

El metodo establece que el tiempo equivalente se puede calcular como:

$$t_{eq} = \sum e^{-Q \cdot (\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s})} \Delta t_i \quad (8)$$

Donde Q corresponde a la energia de activacion, para cemento tipo II Q = . De esta forma, se obtiene la siguiente tabla:

## Tecnología del Hormigón

Edad	Temperatura	Madurez	K prom	teq obra	teq lab
0	29	0	273.15	0	0
0.25	39	7	307.15	0.457650536	0.40864708
0.5	49	14	317.15	1.222276193	1.091399566
0.75	54	21	324.65	2.322859691	2.074136823
1	59	28	329.65	3.713048795	3.315469833
1.5	64	42	334.65	7.200620997	6.429606238
2	59	56	334.65	10.6881932	9.543742643
2.5	48	70	326.65	13.10702707	11.7035771
3	44	84	319.15	14.79507793	13.21087797
3.5	39	98	314.65	16.14428463	14.41561682
4	34	112	309.65	17.1881452	15.34770482
4.5	29	126	304.65	17.98899055	16.06279874
5	26	140	300.65	18.63274066	16.63761856
5.5	26	154	299.15	19.22498612	17.16644866
6	23	168	297.65	19.76938993	17.65255981
7	23	196	296.15	20.76938993	18.54548366
8	23	224	296.15	21.76938993	19.43840751
9	23	252	296.15	22.76938993	20.33133136
10	23	280	296.15	23.76938993	21.22425522
11	23	308	296.15	24.76938993	22.11717907
14	23	392	296.15	27.76938993	24.79595062
21	23	588	296.15	34.76938993	31.04641759
28	23	784	296.15	41.76938993	37.29688455

Luego, interpolando la madurez obtenida, se obtiene un tiempo de 17.037 días en obra y 15.674 días en laboratorio para alcanzar la resistencia requerida de 21.35 MPa.

## Parte 2: Presión de Moldajes

Se tienen los siguientes datos de entrada:

Tipo de Cemento	Cono de Asentamiento (mm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Altura de Colocación (m)	Temperatura (°C)	Presión Lateral (kPa)
II	148	2376	6.1	16.4	89

Los cuales fueron ingresados en la calculadora de presión de moldajes de la página [PERI](#). Los datos fueron ingresados como se muestra en la siguiente imagen:

<b>Standard Selection</b>	
Standard	ACI 347R-14
Imperial units	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Boundary Conditions</b>	
Wall / base	<input checked="" type="radio"/>
Column	<input type="radio"/>
Concrete type	(I) Concrete type I, II or III (
Concrete slump (mm)	148
Concrete density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2376
Placing temperature $T$ (°C)	16
Height of concrete placement $h$ (m)	6.10
Internal vibration depth $\leq 1.2$ m	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Construction Description</b>	
Show parameters	<input type="checkbox"/>
<b>Input Values</b>	
Max. lateral pressure $C_{CPmax}$ (kPa)	89.0
Max. rate of placement $R$ (m/h)	
<b>Calculate</b>	

Figura 1: Datos ingresados en la calculadora de PERI

Lo cual da el siguiente resultado:

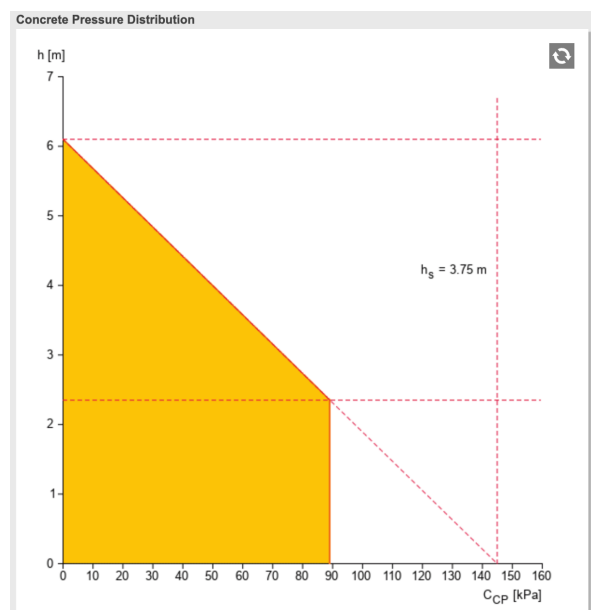


Figura 2: Resultado de la calculadora de PERI

### Parte 3: Bolomey y Venuat

En esta parte se requirió determinar el tiempo mínimo de desmolde de una columna para optimizar el presupuesto de la obra. Se compararon los tiempos de desmimbre utilizando un hormigón tradicional con uno de alta resistencia. Para el desarrollo de esta sección, se utilizaron los métodos de Bolomey y Venuat, los cuales permiten estimar la resistencia del hormigón en función de su dosificación y del tiempo de curado.

A continuación, se presentan los datos utilizados, los cálculos realizados para ambos tipos de hormigón y los resultados obtenidos.

Tabla 1: Datos experimentales – Grupo 5

Parámetro	Unidad	Cem. corriente	Cem. alta resistencia
Agua utilizada	kg/m <sup>3</sup>	166.32	153.68
Cemento mezcla 1 (Z1 / V1)	kg/m <sup>3</sup>	432.23	324.68
Cemento mezcla 2 (Z2 / V2)	kg/m <sup>3</sup>	312.42	381.65
Resistencia 14 días mezcla 1	MPa	20.45	24.24
Resistencia 14 días mezcla 2	MPa	15.47	33.20
Resistencia 28 días mezcla 1	MPa	27.27	29.55
Resistencia 28 días mezcla 2	MPa	22.42	43.11
Agua para columnas	kg/m <sup>3</sup>	141	141

#### 2.0.1. Resistencia a la compresión

En primer lugar, se determinó la resistencia requerida a partir de la especificada utilizando la siguiente fórmula:  $f_{cm} = f_c + t \cdot s$ , donde  $f_c$  es la resistencia especificada,  $t$  es un factor de seguridad y  $s$  es la desviación estándar del hormigón.



Tabla 2: Resistencia requerida para el desmolde

Parámetro	Símbolo	Valor [MPa]
Desviación estándar	$s$	3.42
Factor de seguridad	$t$	2.113
Resistencia especificada	$f'_c$	28.86
Resistencia requerida	$f_{cm}$	36.08
Porcentaje requerido	$\%$	90
Resistencia mínima para desmolde	$f_{req}$	32.47

### 2.0.2. Dosis mínima de cemento

En segundo lugar, se utilizó el método de Bolomey para determinar la dosis de cemento a utilizar para alcanzar la resistencia requerida. Se utilizó esta fórmula  $R = a(\frac{c}{w} - b)$  para determinar los parámetros  $a$ ,  $b$ , con los cuales se obtuvo la relación  $c/w$  y finalmente de la dosis de cemento. Los sistemas de ecuaciones resueltos son los siguientes:

Para el cemento corriente:

$$\begin{cases} 20,45 = a_{14} (3,07 - b_{14}) \\ 15,47 = a_{14} (2,22 - b_{14}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 27,27 = a_{28} (3,07 - b_{28}) \\ 22,42 = a_{28} (2,22 - b_{28}) \end{cases}$$

Para el cemento de alta resistencia:

$$\begin{cases} 24,24 = a_{14} (2,31 - b_{14}) \\ 33,20 = a_{14} (2,71 - b_{14}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 29,55 = a_{28} (2,31 - b_{28}) \\ 43,11 = a_{28} (2,71 - b_{28}) \end{cases}$$

Tabla 3: Parámetros obtenidas por el método de Bolomey para cada tipo de cemento

Parámetro	Cemento corriente	Cemento alta resistencia
$c/w$ - Mezcla 1 (Z1 / V1)	3.07	2.31
$c/w$ - Mezcla 2 (Z2 / V2)	2.22	2.71
$a_{14}$	5.85	22.15
$b_{14}$	-0.42	1.21
$a_{28}$	5.70	33.51
$b_{28}$	-1.72	1.42
$c/w$	4.62	2.50
$c$	650.12 [kg/m <sup>3</sup> ]	352.10 [kg/m <sup>3</sup> ]