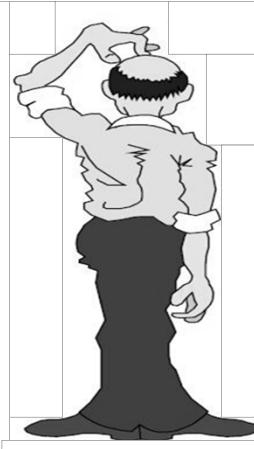


## DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES



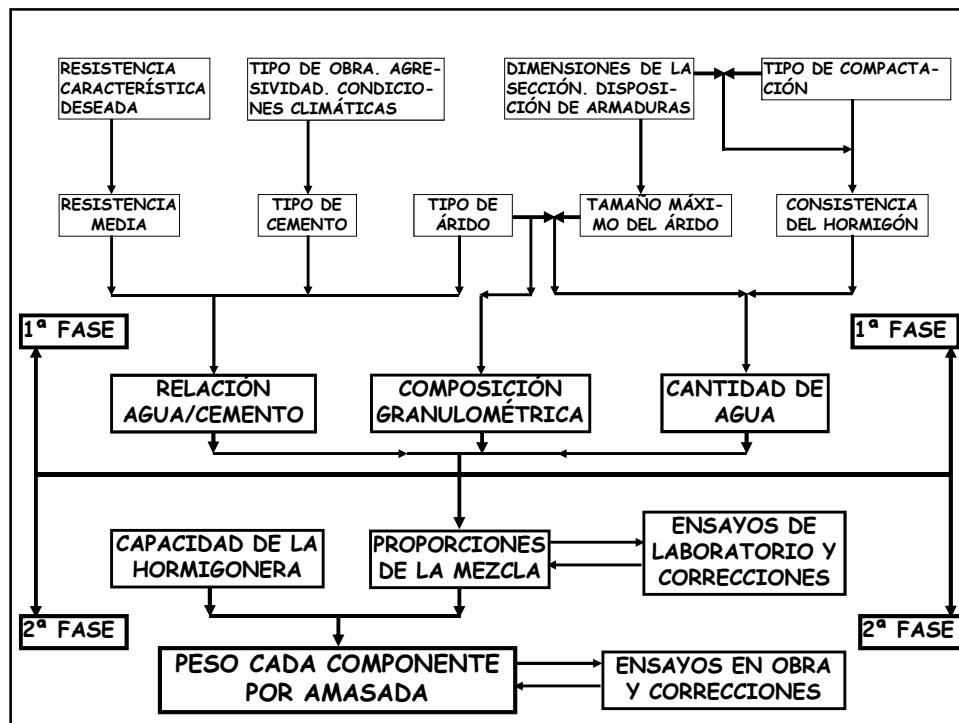
### PARTICIPANTES

Para fabricar un buen hormigón se necesitan 5 individuos

un sabio	para el	agua
un avaro	para el	cemento
un dadivoso	para los	áridos
un fantasioso	para los	aditivos

y... para revolverlo ????????

**un LOCO INGENIERO**



# RESISTENCIA

**Resistencia característica mínima:**

- Tipo de hormigón (masa, armado o pretensado)
  - Ambiente
  - Cálculo de estructuras

### Resistencia media

- Resistencia característica especificada
  - Condiciones previstas para la ejecución de la obra

Medias  $0.20 < cv < 0.25$

Buenas  $0.15 < cv < 0.20$

Muy buenas  $0.10 < cv < 0.15$

## Relación entre la resistencia media y la resistencia característica en función de las condiciones de ejecución del hormigón

Condiciones de ejecución previstas en la obra	Resistencia media necesaria en laboratorio (Mpa)
MEDIAS	$f_{cm} = 1.50 f_{ck} + 2.0$
BUENAS	$f_{cm} = 1.35 f_{ck} + 1.5$
MUY BUENAS	$f_{cm} = 1.20 f_{ck} + 1.0$

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA $\sigma_{COM}$

Condiciones de fabricación y puesta en obra

↓  
Dispersión de resultados

CONDICIONES DE EJECUCIÓN PREVISTAS	CARACTERÍSTICAS
<b>MEDIAS</b> $\delta \rightarrow 0.20-0.25$	Cemento sin conservación adecuada ni controles frecuentes de su estado. Áridos medidos en volumen por procedimientos de precisión no comprobada. Ausencia de correcciones cuando varía la humedad de la arena.
<b>BUENAS</b> $\delta \rightarrow 0.15-0.20$	Cemento bien conservado, con frecuentes comprobaciones de su calidad. Áridos cuidadosamente medidos en volumen, procurando corregirlos siempre que varíe la humedad de los áridos. Vigilancia volumen de arena de acuerdo con su entumecimiento. Reajuste de la cantidad de agua vertida en la hormigonera a pie de obra con el utilaje mínimo necesario para realizar las comprobaciones oportunas.
<b>MUY BUENAS</b> $\delta \rightarrow 0.10-0.15$	Control estricto de la calidad del cemento y de la relación agua/cemento. Áridos medidos en peso, determinando periódicamente la granulometría y humedad. Laboratorio a pie de obra con el personal e instalaciones necesarias en cada caso. Constante atención a todos los detalles.

## 2. CONSISTENCIA. Elección de la consistencia

- Medios de compactación
- Dificultades de puesta en obra (cantidad de armadura y forma de los encofrados)
- Utilización o no de bombas de hormigón
- Normalmente se utilizan hormigones una consistencia entre 8 y 12 (B y F), en obras con condiciones medias de compactación. Por encima de 12 puede haber problemas de segregación.

Consistencia definida por su tipo			
Tipo de consistencia	Asiento (cm)	Tolerancia en cm	Intervalo resultante
<b>Seca</b>	0 - 2	0	0 - 2
<b>Plástica</b>	3 - 5	$\pm 1$	2 - 6
<b>Blanda</b>	6 - 9	$\pm 1$	5 - 10
<b>Fluida</b>	10 - 15	$\pm 2$	8 - 17

Consistencia definida por su asiento		
Asiento en cm	Tolerancia en cm	Intervalo resultante
Entre 0 - 2	$\pm 1$	$A \pm 1$
Entre 3 - 7	$\pm 2$	$A \pm 2$
Entre 8 - 12	$\pm 3$	$A \pm 3$

### 3. ELECCIÓN DE LOS ÁRIDOS. Tamaño Máximo

A tener en cuenta:

- Distancia libre entre armaduras
- Distancia entre armaduras y encofrados
- Dimensiones mínimas de las piezas

- **Tamaño máximo de un hormigón:** el tamaño máximo del árido más grueso.  
(recordad tamaño máximo de un árido).

- **Tamaño máximo de cálculo (?????)**

- A mayor D, más resistencia ya que se puede reducir el agua o mayor economía si la resistencia es fija, ya que se puede reducir la cantidad de cemento.

- **Normalmente:**

- 40 mm. Cimentaciones, losas poco armadas
- 20-25 mm. Estructuras normales de hormigón
- 10-15 mm. Hormigón muy armado

- **Elegir** la mínima cantidad de áridos posible (normalmente dos gravas y una arena), para obtener una curva granulométrica continua y que se ajuste bien a la curva deseada.

- **Elegir** grava que cumpla D

- **Elegir** arena que esté dentro del huso granulométrico que aparece en la EHE (normalmente el valor del módulo granulométrico, debe estar entre 2.8 y 3.1, ver huso de la EHE)

### TAMAÑO MÁXIMO Y MÍNIMO DE UN ÁRIDO (art 28.3)

"Se denomina **tamaño máximo D** de un árido grueso o fino a la mínima abertura de tamiz que cumple (ver tabla adjunta)"

"Se denomina **tamaño mínimo d** de un árido grueso o fino a la máxima abertura de tamiz que cumple (ver tabla adjunta)"

ÁRIDO		Porcentaje que pasa (en masa)				
		2D	1,4 D <sup>a)</sup>	D <sup>b)</sup>	d	d/2 <sup>a)</sup>
Árido grueso	D > 11,2 y D/d > 2	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5
	D ≤ 11,2 ó D/d ≤ 2	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5
Árido fino	D ≤ 4 y d = 0	100	95 a 100	85 a 99	-	-

a) Como tamices 1,4D y d/2 se tomarán de la serie elegida o el siguiente tamaño del tamiz más próximo de la serie,

b) El porcentaje en masa que pase por el tamiz D podrá ser superior al 99%, pero en tales casos el suministrador deberá documentar y declarar la granulometría representativa, incluyendo los tamices D, d y d/2 y los tamices intermedios entre d y D de la serie básica más la serie 1, o de la serie básica más la serie 2. Se podrán excluir los tamices con una relación menor a 1,4 veces el siguiente tamiz más bajo

#### 4. ELECCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA: en l de agua/m<sup>3</sup> de hormigón

- Dependerá de:

$D_{max}$ , tipo de árido (rodado/machacado), consistencia

Tamaño máximo $D$ (mm)	Árido rodado			Árido machacado		
	Consistencia deseada (asiento en mm)					
	25-50(P)	75-100(B)	150-175(L)	25-50(P)	75-100(B)	150-175(L)
10	190	200	230	210	225	255
20	170	190	210	195	210	225
40	160	170	190	170	190	210
50	150	165	180	165	180	195
80	135	155	160	155	165	185

PROCURAR: ↓ AGUA



#### DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

Si se utiliza reductor de agua, corregir la cantidad

#### 5. RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y CANTIDAD DE CEMENTO. Limitaciones

UN HORMIGÓN HA DE SER DURABLE Y RESISTENTE

• POR RESISTENCIA: Tipo de árido, Clase y tipo de cemento, Resistencia media

$$\frac{C}{A} = k_1 \cdot f_{cm} + k_2$$

CEMENTO	A. RODADOS	A. MACHACADOS	$k_2$
	$k_1$		
I- 22,5	0,072	0,046	0,5
I- 32,5	0,054	0,035	0,5
I - 42,5	0,043	0,028	0,5
I - 52,5	0,038	0,026	0,5
II - 32,5		0,033	0,64

• POR DURABILIDAD:

Factores intrínsecos: A/C, Medios de puesta en obra (E. compactación), Áridos y Aire ocluido

Factores externos: Condiciones ambientales y agresividad del medio.

**LIMITACIONES POR DURABILIDAD: A/C (máx), Cemento (mín K/m<sup>3</sup>), Resistencia (mín N/mm<sup>2</sup>)**

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición												
		I	IIa	IIIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
<b>Máxima relación A/C</b>	masa	0,65	--	--	--	--	--	--	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
<b>Mínimo contenido en cemento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	masa	200	--	--	--	--	--	--	275	300	325	275	300	325
	armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
<b>Resistencia Mínima (N/mm<sup>2</sup>)</b>	masa	20	--	--	--	--	--	--	30	30	35	30	30	30
	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

En cualquier caso según EHE cemento/m<sup>3</sup> :

mínimo = 200 kilos

máximo = 400 kilos (500 kilos)

**DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN:** Se selecciona la relación A/C y la cantidad de cemento que cumpla las dos condiciones (por resistencia y durabilidad)

## 5.1. CONTENIDO EN ÁRIDOS POR m<sup>3</sup> DE HORMIGÓN

Conocidas las cantidades de agua y cemento vamos a determinar el contenido total en áridos de un m<sup>3</sup> de hormigón.

Es conocido que :

$$\Sigma \text{ Volumen de todos los componentes} = 1025 \text{ litros}$$

Tened en cuenta que se habla de volumen absoluto

1025 (V<sub>abs</sub>) litros de componentes para 1 m<sup>3</sup> de hormigón endurecido

$$V_{\text{áridos}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{cemento}} = 1025 \text{ litros}$$

$$V_{\text{áridos}} = 1025 - (V_{\text{agua}} + V_{\text{cemento}})$$

$$V_{\text{cemento}} = \text{Peso cemento} / \gamma_{\text{cemento}}$$

$$\gamma_{\text{cemento}} = 3,05 \text{ a } 3,15$$

## 6. COMPOSICIÓN DE LOS ÁRIDOS. Granulometría de la mezcla

"**Granulometría óptima**" para una misma resistencia y docilidad proporciona una mezcla más económica sin segregación.

"**Granulometría ideal**": la más trabajable para igual docilidad necesita menos agua y menos cemento.

### Efecto de los finos

#### COMPOSICIÓN

- Intentar que nuestra curva mezcla se asemeje lo más posible a curvas teóricas que dan el hormigón más trabajable (con menos agua) y más resistente o que nuestra curva mezcla está dentro de un huso recomendado.

#### CURVAS RECOMENDADAS

$$\text{FULLER} \quad y = 100 \sqrt{\frac{d_i}{D}}$$

$$\text{BOLOMEY} \quad y = a + (100 - a) \sqrt{\frac{d_i}{D}}$$

Donde  $d_i$ : abertura del tamiz  $i$  de la serie elegida

$D$ : tamaño máximo del árido

$y$  : porcentaje del árido que pasa por el tamiz  $i$  de la serie elegida

$a$  : parámetro de Bolomey que depende del tipo de árido y de la consistencia

TIPO DE ÁRIDO	CONSISTENCIA	VALOR DE $a$
RODADO	Seco -Plástica	10
	Blanda	11
	Fluida	12
MACHACADO	Seco -Plástica	12
	Blanda	13
	Fluida	14

Tener en cuenta que: Bolomey considera el cemento como árido, mientras que Fuller NO

## 6. COMPOSICIÓN DE LOS ÁRIDOS. Granulometría de la mezcla

¿ En qué proporción mezclo los áridos disponibles para que la curva granulométrica de su mezcla se asemeje lo más posible a la curva teórica elegida?

¿ Cómo obtengo esas proporciones?

### MÉTODOS de aproximación

♣ Método gráfico

♣ Métodos analíticos

♣ Método de los módulos granulométricos:

el módulo granulométrico de la curva de los áridos disponibles deberá ser igual al módulo granulométrico de la curva teórica elegida

♣ Método de los mínimos cuadrados:

la suma de los cuadrados de las diferencias del porcentaje, que pasa por el tamiz i, de la curva teórica elegida y el porcentaje de la curva mezcla de los áridos disponibles.

### ♣ MÉTODO DE LOS MÓDULOS GRANULOMÉTRICOS:

$$M_G \text{ curva teórica} = MG \text{ curva mezcla}$$

Si tenemos **dos áridos**, un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas:

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 + [p_{\text{cemento}}] &= 100 \\ mg_{a1} \times p_1 + mg_{a2} \times p_2 &= 100 \times Mg_{CT} \end{aligned}$$

Donde:  $p_1$ , es el porcentaje del árido 1 en la mezcla;  $p_2$  id del árido 2

$mg_{a1}$  es el módulo granulométrico del árido 1;  $mg_{a2}$  id del árido 2 y  $Mg_{CT}$  id Curva Teórica.

Si tenemos **tres áridos**, un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas:

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 + p_3 + [p_{\text{cemento}}] &= 100 \\ mg_{a1} \times p_1 + mg_{a2} \times p_2 + mg_{a3} \times p_3 &= 100 \times Mg_{CT1} \\ mg_{a2} \times p_2 + mg_{a3} \times p_3 &= (100 - p_1) \times Mg_{CT2} \end{aligned}$$

Donde:  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $mg_{a1}$ ,  $mg_{a2}$  y  $Mg_{CT1}$  tienen el mismo significado que en el punto anterior.  $p_3$ , es el porcentaje del árido 3 en la mezcla y  $Mg_{CT2}$  es el módulo granulométrico de la curva teórica constituida por la mezcla de los áridos eliminado el más grueso.

#### ♣ MÉTODO DE LOS MÓDULOS GRANULOMÉTRICOS:

$M_G$  curva teórica =  $Mg$  curva mezcla

Si tenemos  $n$  áridos, un sistema de  $n$  ecuaciones con  $n$  incógnitas:

$$p_1 + p_2 + \dots + p_{n-1} + p_n + p_{cemento} = 100$$

$$m_{g_{a1}} \times p_1 + m_{g_{a2}} \times p_2 + \dots + m_{g_{an-1}} \times p_{n-1} + m_{g_{an}} \times p_n = 100 \times Mg_{CT}$$

$$m_{g_{a2}} \times p_2 + \dots + m_{g_{an-1}} \times p_{n-1} + m_{g_{an}} \times p_n = (100 - p_1) \times Mg_{CT1}$$

$$m_{g_{a3}} \times p_3 + \dots + m_{g_{an-1}} \times p_{n-1} + m_{g_{an}} \times p_n = (100 - p_1 - p_2) \times Mg_{CT2}$$

•

•

•

$$m_{g_{an-2}} \times p_{n-2} + m_{g_{an-1}} \times p_{n-1} + m_{g_{an}} \times p_n = (100 - p_1 - p_2 - \dots - p_{n-3}) \times Mg_{CTN-2}$$

$$m_{g_{an-1}} \times p_{n-1} + m_{g_{an}} \times p_n = (100 - p_1 - p_2 - \dots - p_{n-3} - p_{n-2}) \times Mg_{CTN-1}$$

## 7. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

Tras los cálculos realizados conocemos, por metro cúbico de hormigón, la cantidad de agua, de cemento, el volumen total de áridos y el porcentaje (de volumen absoluto) de cada uno de los áridos, respecto al volumen total de los mismos.

### ¿CÓMO SE DARÁ LA DOSIFICACIÓN FINAL?

♦ La dosificación de los áridos se puede dar en peso o volumen, de cada árido utilizado, por m<sup>3</sup> de hormigón.

♦ La dosificación de agua se da en volumen por m<sup>3</sup>, con las correcciones correspondientes de humedad de los áridos y del agua de los aditivos si se utilizan.

♦ La dosificación de cemento se da, **SIEMPRE**, en peso por m<sup>3</sup> de hormigón

♦ Los aditivos se calculan a partir del peso de cemento en función del porcentaje elegido como dosificación.

## 7. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

### 7.1 EN PESO

- Agua, obtenida en función de  $D_{máx}$ , tipo de árido y consistencia. Se puede dar en  $\text{kg}$  o  $\text{l/m}^3$ .
- Cemento, en función de la  $A/C$ , por resistencia y durabilidad y conocida la cantidad de  $A$ , SIEMPRE en peso,  $\text{kg/m}^3$ .
- Áridos:

Sabemos :

$$V_{árídos} = 1025 - A - C \text{ (peso)}/\gamma_{cemento}$$

RECORDAD: se usa esta expresión si la curva teórica NO considera el  $C$  como árido y  $\gamma_{cemento}$  (3,05 a 3,15).

$$V_{árídos} = 1025 - A$$

(si la curva teórica considera el  $C$  como árido)

El Peso del árido i en un  $\text{m}^3$  de hormigón será:

$$M_{iseco} = V_{árídos} \times (p_i/100) \times \gamma_{absoluto \text{ del } árido \text{ i}} \text{ en } \text{kg/m}^3 \text{ de hormigón}$$

donde  $p_i$  es el porcentaje del árido i en la mezcla de áridos.

**EL PESO DE UN  $\text{M}^3$  DE HORMIGÓN SERÁ IGUAL A  
Agua + Cemento +  $\sum M_i$**

## 7. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

### 7.2 EN VOLUMEN

- Agua y Cemento como en la diapositiva anterior.
- Áridos:

Primero como en el apartado anterior

$$V_{árídos} = 1025 - A - C \text{ (peso)}/\gamma_{cemento}$$

RECORDAD: se usa esta expresión si la curva teórica NO considera el  $C$  como árido y  $\gamma_{cemento}$  (3,05 a 3,15).

$$V_{árídos} = 1025 - A$$

(si la curva teórica considera el  $C$  como árido)

$$M_{iseco} = V_{árídos} \times (p_i/100) \times \gamma_{absoluto \text{ del } árido \text{ i}} \text{ en } \text{kg/m}^3 \text{ de hormigón}$$

A partir de estos valores y para poder obtener la dosificación en volumen:

Recordad que los áridos se miden en volumen de conjunto y recordad que el volumen de conjunto de la arena varía según su humedad.

**POR LO TANTO:**

$$V_i = M_{iseco} / \gamma_{conjunto \text{ del } árido \text{ i}} \text{ en } \text{l/m}^3$$

En el caso de la arena, y si ésta está húmeda, hay que poner el  $\gamma_{conjunto \text{ húmedo}}$ . En los áridos gruesos el  $\gamma_{conjunto}$  no varia en función de la humedad.

## 7. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

### 7.3 Corrección de la cantidad de agua y de áridos en función de la humedad de los mismos

Si los áridos contienen humedad, antes de dar las cantidades, debemos corregirlas de acuerdo a su humedad.

Conocidos el peso de cada uno de los áridos y su humedad:

$$M_{ihúmedo} = M_{iseco} (1+H/100) \text{ en } k/m^3 \text{ donde } H \text{ es la humedad en \%}$$

Debemos saber que:  $M_{ihúmedo} =$

$$M_{iseco} + \text{Agua } (M_{iseco} \times 0,0H)$$

Por lo que al dar la dosificación deberemos indicar:

$$\text{Agua} = \text{Agua Calculada} - \text{Agua de la } H \text{ áridos} - \text{Agua en aditivo}$$

**Cemento el calculado**

**Áridos:**

en peso :  $M_{ihúmedo}$

en volumen: Hay que calcular el agua que aportan, pero al dar el volumen

$$V_i = M_{iseco} / \gamma_{conjunto}$$

## 7. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

### 7.4 CORRECCIONES Y COMPROBACIONES

♥ Ajuste de la curva mezcla obtenida a la curva teórica empleada

$$\text{Ajuste} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (P_{ict} - P_{icm})^2}}{n - 1}$$

Donde  $n$  es el número de tamices de la serie elegida,  $P_{icm}$  es el porcentaje de mezcla que pasa por el tamiz  $i$  y  $P_{ict}$  id de la curva teórica

**BUENO SI EL VALOR ES ≤ 4. ÓPTIMO SI ES 0**

- ♥ Contenido en finos
- ♥ Resistencia media y característica
- ♥ Tamaño máximo del hormigón (fracción gruesa)
- ♥ Relación A/C por durabilidad
- ♥ Contenido mínimo en cemento por durabilidad
- ♥ Resistencia característica mínima por durabilidad