

# Teoría y Cálculo de Estructuras Mineras y Energéticas

## Tema 1. Principios básicos del hormigón



**José Ramón Berasategui Moreno**  
**Noemí Barral Ramón**  
**Jokin Rico Arenal**

Departamento de Transportes y Tecnología  
de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



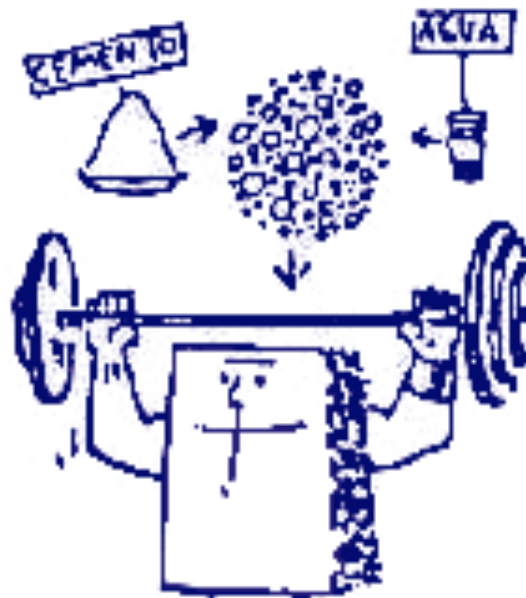
# ÍNDICE

- ☐ El hormigón.
- ☐ Normativa.
- ☐ Tipificación del hormigón.
- ☐ Ventajas e inconvenientes del hormigón.
- ☐ Componentes del hormigón.
- ☐ Propiedades del hormigón.
- ☐ Curado del hormigón.
- ☐ Control de calidad.

### EL HORMIGÓN

Definición: se define como hormigón la mezcla en proporciones adecuadas de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades por endurecimiento de la pasta de cemento (cemento y agua). PG3 Art. 610.

Los hormigones que aquí se definen cumplirán las especificaciones indicadas en la vigente "Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)" o normativa que la sustituya, así como las especificaciones adicionales contenidas en este artículo.



### NORMATIVA



[Real Decreto 1247/2008](#), de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).

### NORMATIVA

El **RD 2661/1998 (BOE 13.1.1999)** actualiza y refunde las instrucciones precedentes en un único texto reglamentario, la **EHE-98**, donde se regulan aspectos relativos al proyecto y ejecución de estructuras y elementos estructurales de hormigón, tanto en masa como armado o pretensado.

➔ Instrucción de Hormigón Estructural – EHE.



**La EHE-98, deroga con su aprobación las siguientes normativas:**

- EH-88** - “Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado”.
- EH-91** - “Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado”.
- EP-93** - “Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón pretensado”.
- EF-88** - “Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado”.

## **NORMATIVA**

### Instrucción de Hormigón estructural EHE-ÍNDICE:

#### **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

##### **TÍTULO I. BASES DE PROYECTO**

- CAPÍTULO II. PRINCIPIOS GENERALES Y MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITE.
- CAPÍTULO III. ACCIONES.
- CAPÍTULO IV. MATERIALES Y GEOMETRÍA.

##### **TÍTULO II. ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

- CAPÍTULO V. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

##### **TÍTULO III. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES**

- CAPÍTULO VI. MATERIALES.
- CAPÍTULO VII. DURABILIDAD.

##### **TÍTULO IV. CÁLCULO DE SECCIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

- CAPÍTULO VIII. DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO.
- CAPÍTULO IX. CAPACIDAD RESISTENTE DE BIELAS, TIRANTES Y NUDOS.
- CAPÍTULO X. CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.
- CAPÍTULO XI. CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.
- CAPÍTULO XII. ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

##### **TÍTULO V. EJECUCIÓN**

- CAPÍTULO XIII. EJECUCIÓN.

##### **TÍTULO VI. CONTROL**

- CAPÍTULO XIV. BASES GENERALES DEL CONTROL DE LA CALIDAD.
- CAPÍTULO XV. CONTROL DE MATERIALES.
- CAPÍTULO XVI. CONTROL DE LA EJECUCIÓN.

## NORMATIVA

### Instrucción de Hormigón estructural EHE-ÍNDICE:

#### TÍTULO IV. CÁLCULO DE SECCIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

##### • CAPÍTULO XII. ELEMENTOS ESTRUCTURALES:

[Artículo 52° Elementos estructurales de hormigón en masa.](#)

[Artículo 53° Forjados.](#)

[Artículo 54° Vigas.](#)

[Artículo 55° Soportes.](#)

[Artículo 56° Placas o losas.](#)

[Artículo 57° Muros.](#)

[Artículo 58° Láminas.](#)

[Artículo 59° Elementos de cimentación.](#)

[Artículo 60° Cargas concentradas sobre macizos.](#)

[Artículo 61° Zonas de anclaje.](#)

[Artículo 62° Vigas de gran canto.](#)

[Artículo 63° Ménsulas cortas.](#)

[Artículo 64° Elementos con empuje al vacío.](#)

#### TÍTULO V. EJECUCIÓN

##### • CAPÍTULO XIII. EJECUCIÓN:

[Artículo 65° Cimbras, encofrados y moldes.](#)

[Artículo 66° Elab. de ferralla y colocación de las arm. pasivas.](#)

[Artículo 67° Colocación y tesado de las armaduras activas.](#)

[Artículo 68° Dosificación del hormigón.](#)

[Artículo 69° Fabricación y transporte a obra del hormigón.](#)

[Artículo 70° Puesta en obra del hormigón.](#)

[Artículo 71° Juntas de hormigonado.](#)

[Artículo 72° Hormigonado en tiempo frío.](#)

[Artículo 73° Hormigonado en tiempo caluroso.](#)

[Artículo 74° Curado del hormigón.](#)

[Artículo 75° Descimbrado, desencofrado y desmoldeo.](#)

[Artículo 76° Acabado de superficies.](#)

[Artículo 77° Uniones de continuidad entre elementos prefabricados.](#)

[Artículo 78° Inyección.](#)

[Artículo 79° Observaciones generales respecto a la ejecución.](#)

### **NORMATIVA**

Pliego de prescripciones técnicas generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3):

**610.1. DEFINICIÓN.**

**610.2. MATERIALES.**

**610.3. TIPOS DE HORMIGÓN Y DISTINTIVOS DE LA CALIDAD.**

**610.4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.**

**610.5. ESTUDIO DE LA MEZCLA Y OBTENCIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO.**

**610.6. EJECUCIÓN:**

**610.6.1. FABRICACIÓN Y TRANSPORTE DEL HORMIGÓN.**

**610.6.2. ENTREGA DEL HORMIGÓN.**

**610.6.3. VERTIDO DEL HORMIGÓN.**

**610.6.4. COMPACTACION DEL HORMIGÓN.**

**610.6.5. HORMIGONADO EN CONDICIONES ESPECIALES:**

**610.6.5.1. HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO.**

**610.6.5.2. HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO.**

**610.6.5.3. HORMIGONADO EN TIEMPO LLUVIOSO.**

**610.6.6. JUNTAS.**

**610.6.7. CURADO DEL HORMIGÓN.**

**610.7. CONTROL DE CALIDAD.**

**610.8. ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA:**

**610.8.1. TOLERANCIAS.**

**610.8.2. REPARACIÓN DE DEFECTOS.**

**610.9. RECEPCIÓN.**

**610.10. MEDICIÓN Y ABONO.**

**610.11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISTINTIVOS DE CALIDAD.**

**Normas de referencia en el artículo 610.**



### TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

#### **EHE-08 Art. 39.2. Tipificación de los hormigones.**

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato (lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto):

**T – R / C / TM / A**

- T.** Indicativo que será HM en el caso de hormigón en masa, HA en el caso de hormigón armado y HP en el de pretensado.
- R.** Resistencia característica especificada, en  $\text{N/mm}^2$ .
- C.** Letra inicial del tipo de consistencia, (DOCILIDAD) tal y como se define en el art. 31.5.
- TM.** Tamaño máximo del árido en milímetros, definido en el art. 28.2.
- A.** Designación del ambiente, de acuerdo con el art. 8.2.1.

En cuanto a la resistencia característica especificada, se recomienda utilizar la siguiente serie: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

Las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, expresada en  $\text{N/mm}^2$ .

La resistencia de  $20 \text{ N/mm}^2$  se limita en su utilización a hormigones en masa.

El hormigón que se prescriba deberá ser tal que, además de la resistencia mecánica, asegure el cumplimiento de los requisitos de durabilidad (contenido mínimo de cemento y relación agua/cemento máxima) correspondientes al ambiente del elemento estructural, reseñados en 37.3.

## TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

**T – R / C / TM / A**

**T:** Tipo de hormigón:

- HM: hormigón en masa.
- HA: hormigón armado.
- HP: hormigón pretensado.

**R:** Resistencia característica expresada en **N/mm<sup>2</sup>**:

- Se recomienda utilizar como **f<sub>ck</sub>**, resistencia característica especificada o resistencia de proyecto del hormigón a compresión, la serie **20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 N/mm<sup>2</sup>**.

**C:** Consistencia del hormigón:

- Docilidad del hormigón. Se emplean los valores límite de asiento en cono de Abrams y tolerancias indicadas.

| Tipo de consistencia | Asiento (cm) | Tolerancia (cm) | Intervalo resultante |
|----------------------|--------------|-----------------|----------------------|
| Seca                 | 0-2          | 0               | 0-2                  |
| Plástica             | 3-5          | + –1            | 2-6                  |
| Blanda               | 6-9          | + –1            | 5-10                 |
| Fluida               | 10-15        | + –2            | 8-17                 |



### TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

**T – R / C / TM / A**

**TM:** Tamaño máximo del árido. Se denomina tamaño máximo  $D$  de un árido grueso o fiono, la mínima abertura de tamiz UNE-EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la siguiente tabla (Art. 28.3), en función del tamaño del árido.

**Tabla 28.3.a**

Requisitos generales de los tamaños máximo  $D$  y mínimo  $d$

| Árido        |                              | Porcentaje que pasa (en masa) |            |         |        |          |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|------------|---------|--------|----------|
|              |                              | $2 D$                         | $1,4 D^a)$ | $D^b)$  | $d$    | $d/2^a)$ |
| Árido grueso | $D > 11,2$ y $D/d > 2$       | 100                           | 98 a 100   | 90 a 99 | 0 a 15 | 0 a 5    |
|              | $D \leq 11,2$ ó $D/d \leq 2$ | 100                           | 98 a 100   | 85 a 99 | 0 a 20 | 0 a 5    |
| Árido fino   | $D \leq 4$ 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  $D$ ,  $d$ ,  $d/2$  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.

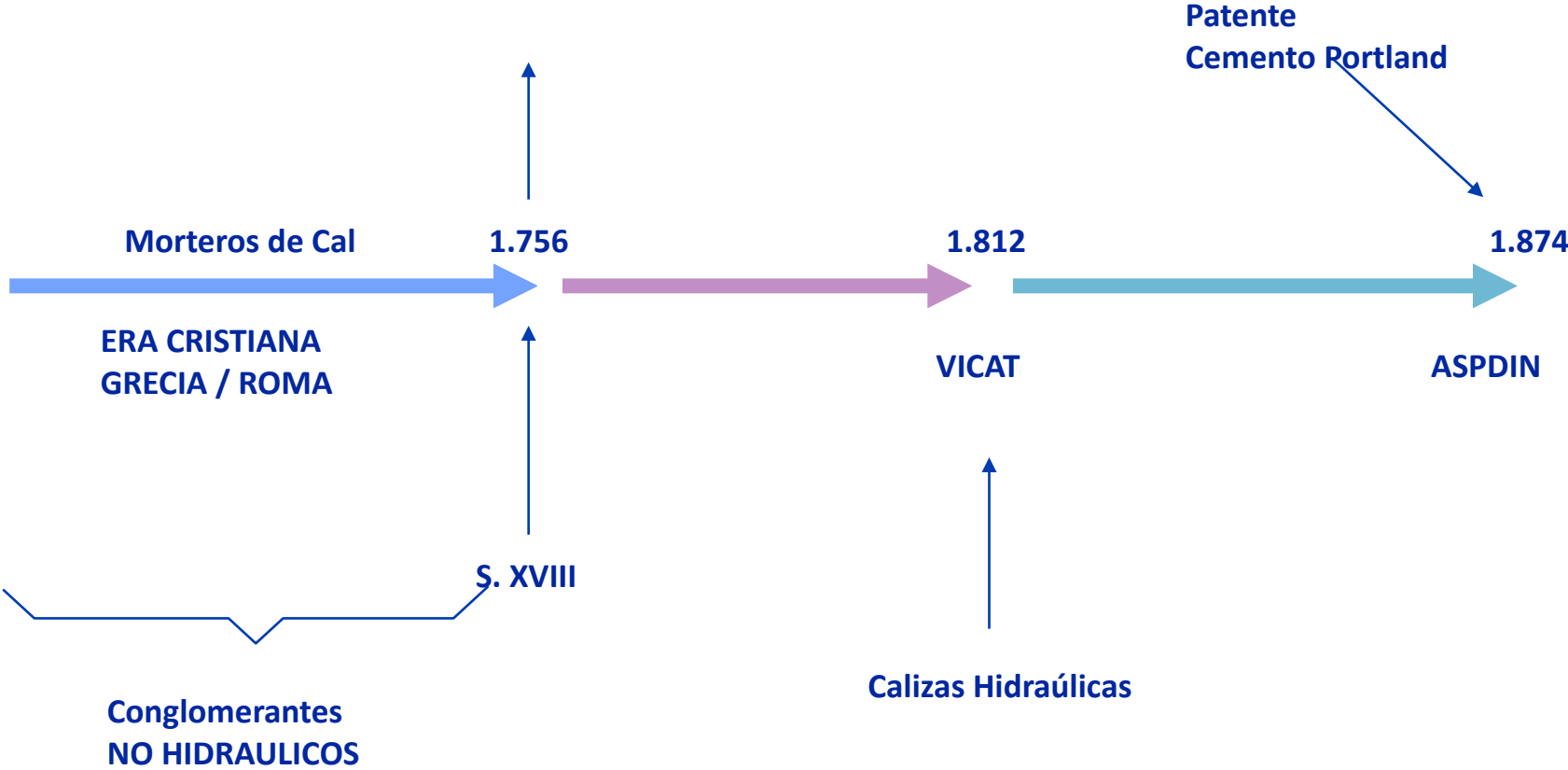
## TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

T – R / C / TM / A

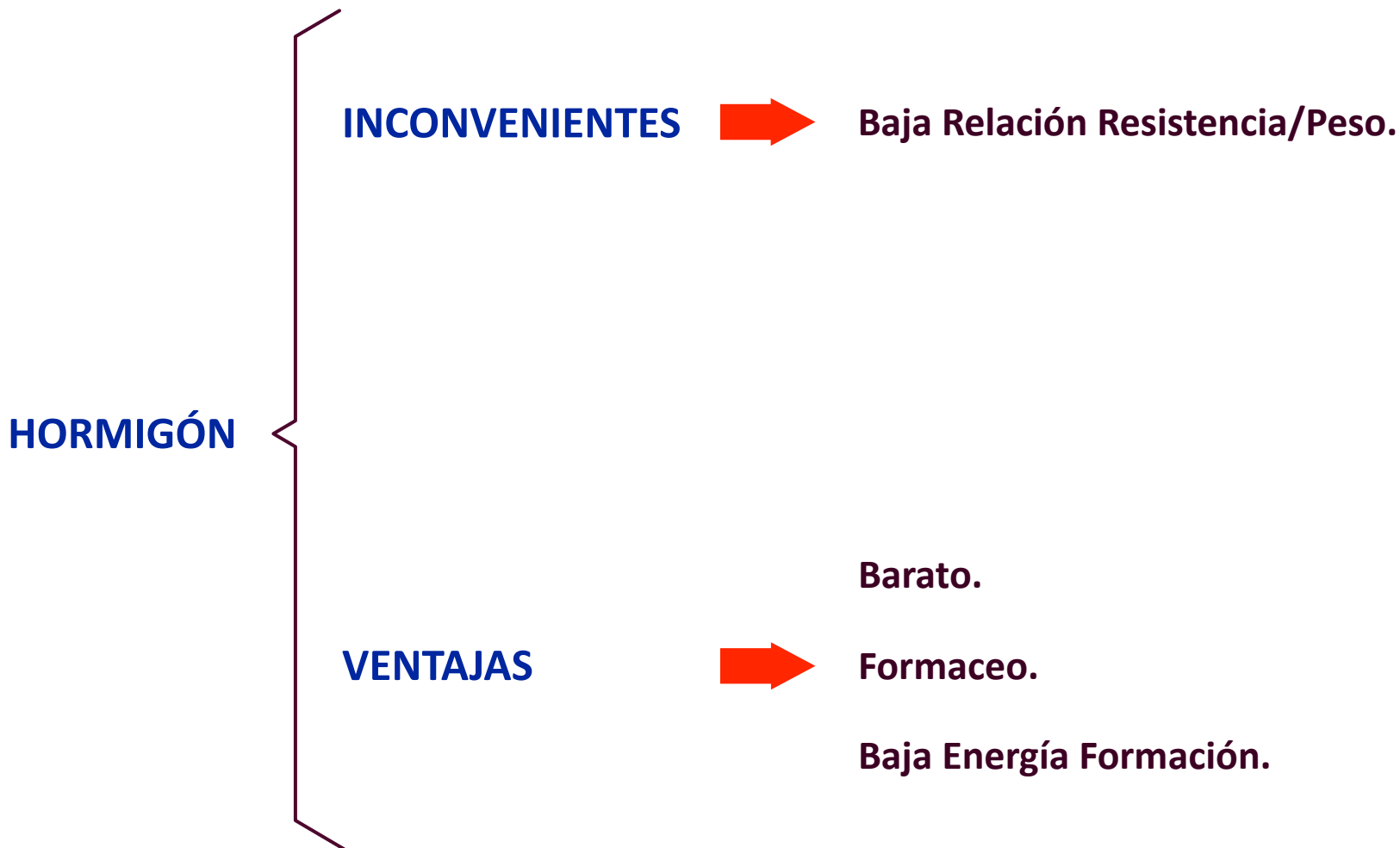
### **A:** Designación del ambiente (Art. 8.2.1):

- El tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural viene definido por el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que está expuesto, y que puede llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural.
- El tipo de ambiente viene definido por la combinación de:
  - Una de las clases generales de exposición, frente a la corrosión de las armaduras (Art 8.2.2).
  - Las clases especificadas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que procedan para cada caso, de entre las definidas en Art. 8.2.3.

# EL HORMIGÓN. PRELIMINARES HISTÓRICOS



## EL HORMIGÓN. VENTAJAS E INCONVENIENTES

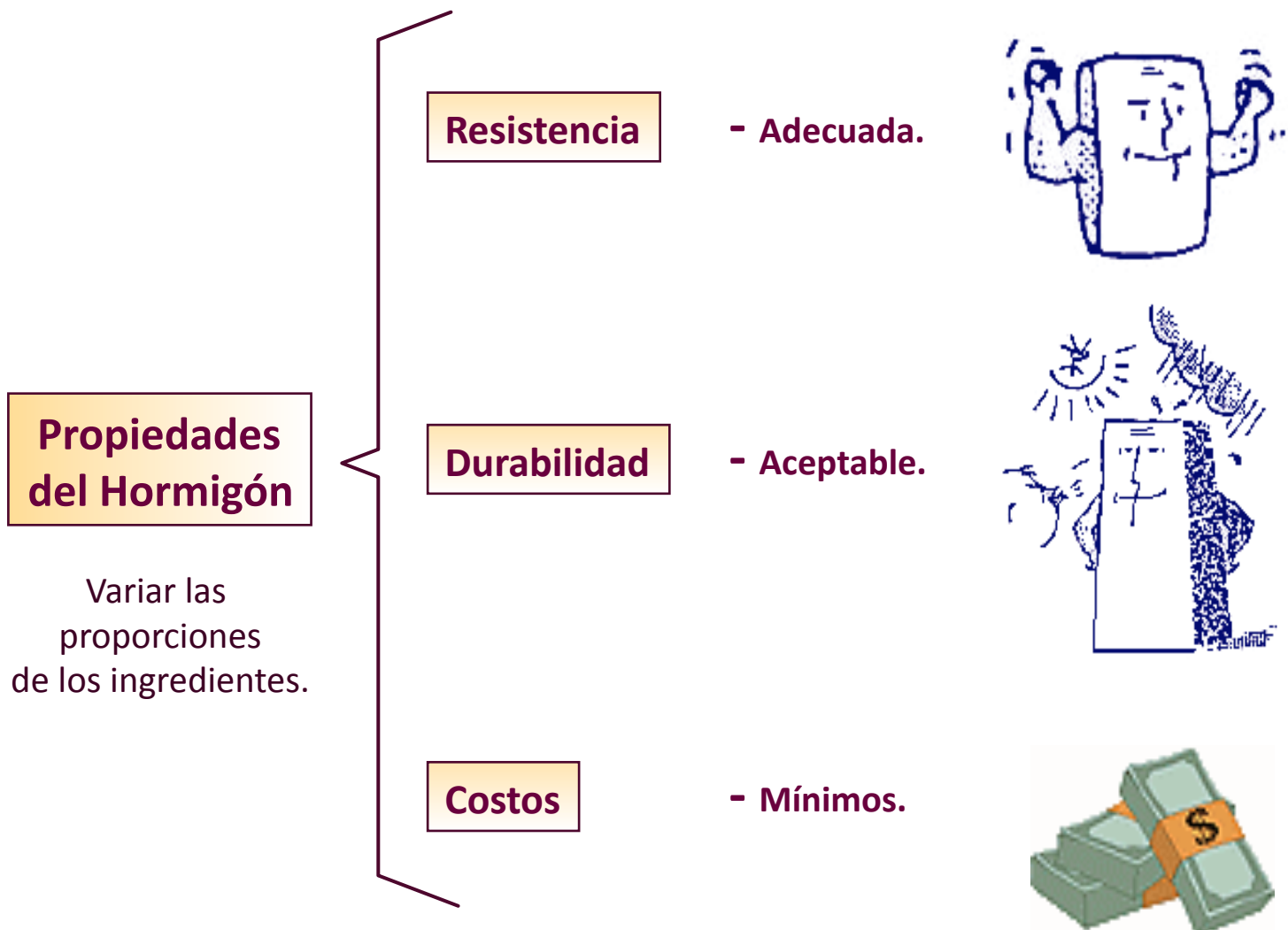


# EL HORMIGÓN. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Energía de formación necesaria para los distintos materiales:

|          | CONSUMO ENERGÉTICO RELATIVO |          |
|----------|-----------------------------|----------|
| Material | Por Volumen                 | Por Masa |
| Hormigón | 1                           | 1        |
| Acero    | 131                         | 40       |
| Aluminio | 190                         | 168      |
| Vidrio   | 29                          | 28       |
| P.V.C.   | 27                          | 62       |

## EL HORMIGÓN. VENTAJAS E INCONVENIENTES





### EL HORMIGÓN. COMPONENTES

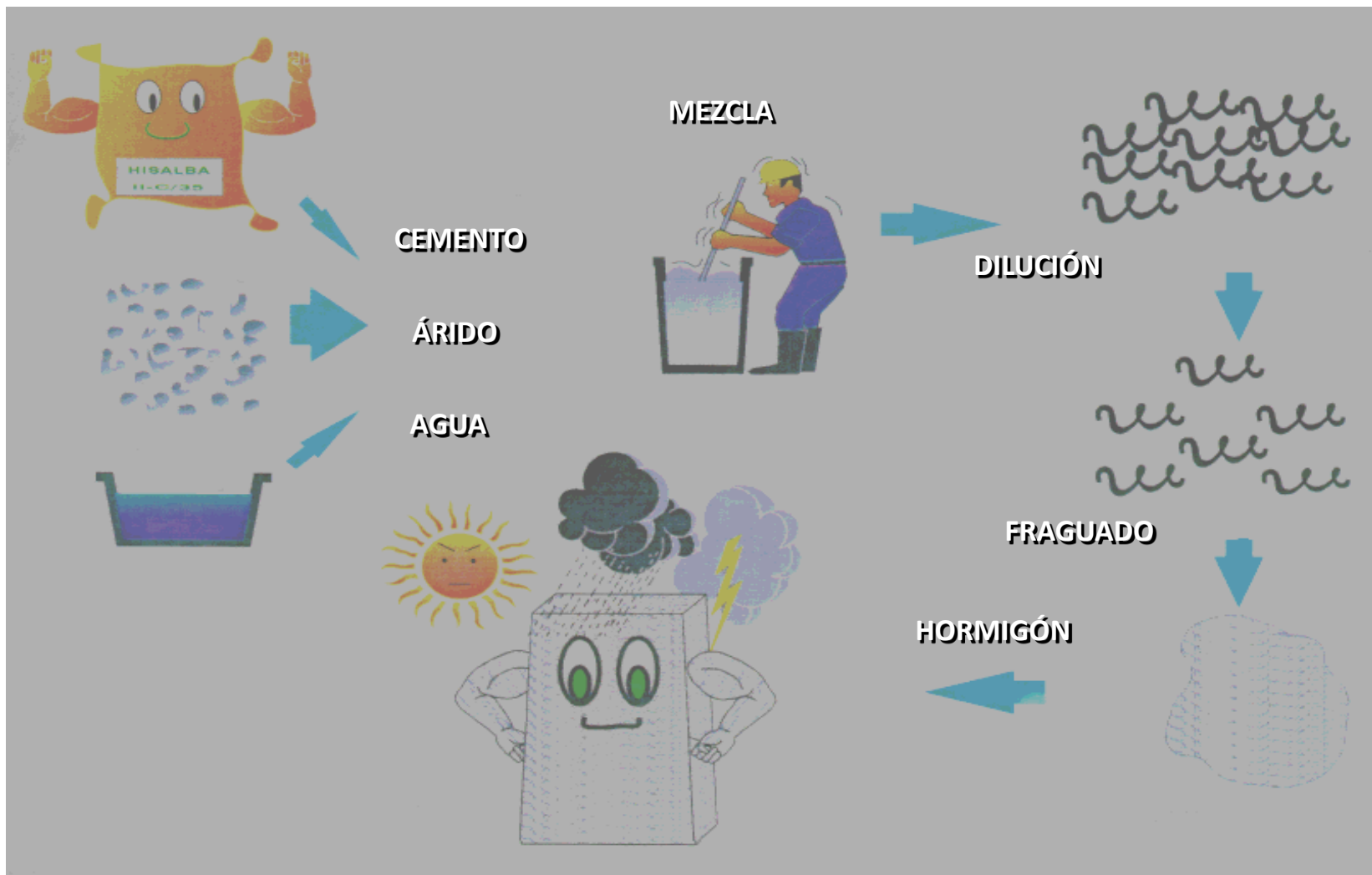
**COMPONENTES DEL HORMIGÓN:** mezcla íntima de áridos de diferentes tamaños + conglomerante + aditivos + adiciones + agua.



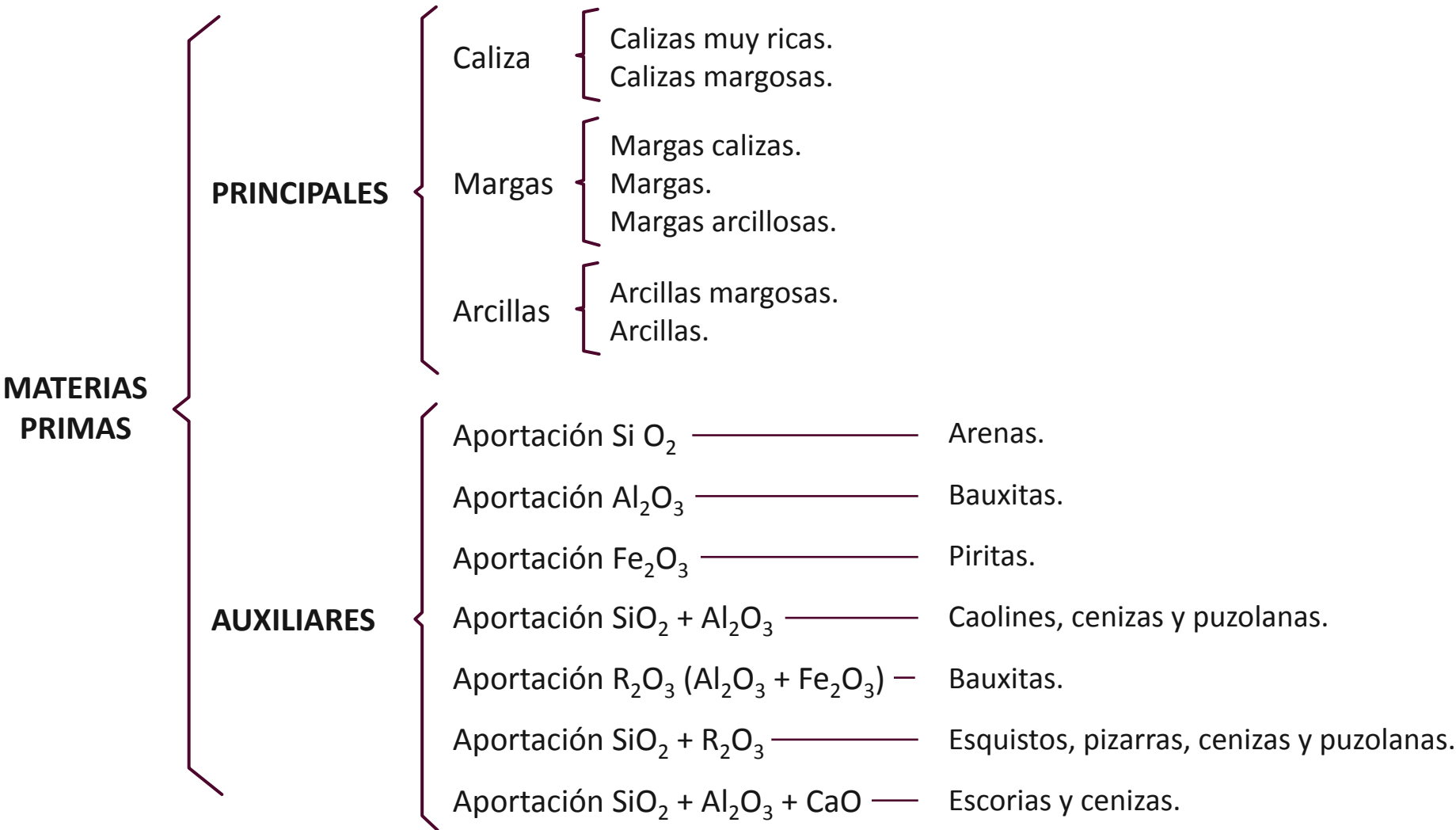
## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Conglomerantes hidráulicos



## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Conglomerantes hidráulicos



# EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. Materias primas



## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

El cemento es un producto pulverulento e hidráulicamente activo, es decir, que genera resistencias mecánicas al hidratarse.

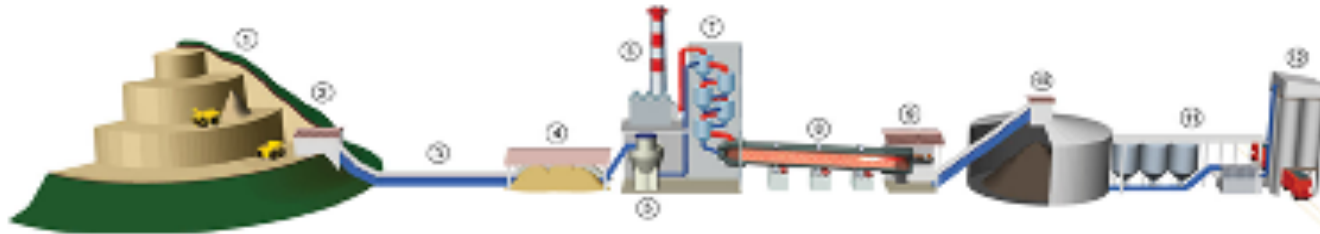
Se fabrica a partir de una mezcla de **clinker y yeso** que actúa como controlador de fraguado. Además se le pueden añadir otro tipo de adiciones activas como cenizas volantes, escorias de alto horno, caliza, humo de sílice o puzolanas.

**El proceso de fabricación consta de 6 etapas importantes:**

1. Obtención de las materias primas.
2. Preparación de las materias primas.
3. Molienda de crudo.
4. Cocción en el horno rotativo.
5. Molienda de cemento.
6. Almacenamiento y expedición.

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

### PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO



- Obtención de las materias primas (1)(2)(3)
- Preparación de las materias primas(4)
- Molienda de crudo(5)(6)
- Cocción en el horno rotativo(7)(8)(9)
- Silo de clinker (10)
- Molienda de cemento(11)
- Almacenamiento y expedición(12)

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

### 1. Obtención de las materias primas

Las materias primas para la fabricación de **clinker** son dos principalmente.

Un aporte de **carbonato**: generalmente calizas o margas. Son las encargadas de aportar el  $\text{CaO}$  que luego reaccionará en el horno para formar los silicatos que son los **componentes realmente activos en el clinker**.

Un aporte de **fundentes**: generalmente arcillas o pizarras. Son las encargadas de aportar los óxidos que funcionan como fundentes y que contribuyen a la formación de fase líquida en el horno facilitando las reacciones.

Estos materiales se extraen mediante perforación y voladura de una cantera que generalmente se encuentra en las proximidades de la fábrica. Una vez realizado el arranque el material sufre una primera trituración y es transportado a las instalaciones de la fábrica.

### 2. Preparación de las materias primas

Uno de los factores más importantes en la fabricación del clinker es la alimentación del horno con un **material de composición homogénea**. Para conseguir esto el material sufre un proceso de prehomogeneización en unas grandes pilas formadas por capas que luego se cortan en sentido transversal.

La materia prima para la fabricación del clinker debe de tener un porcentaje determinado de cada uno de los óxidos y suele ser necesario el aportar adiciones correctoras de la composición (ferrita, magnetita, alúmina, sílice, caliza, etc.).

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

### 3. Molienda de crudo

El material aportado al horno debe ser **finamente molido** con la ayuda de molinos, generalmente verticales. El resultado de esta molienda es un material que recibe el nombre de harina o crudo que es almacenado en unos silos dotados de un sistema de homogeneización neumática.

### 4. Cocción en el horno rotativo

El crudo es introducido a través de un intercambiador de ciclones donde el material se calienta con los gases del horno en contracorriente hasta alcanzar una temperatura de unos 600°C a la entrada del horno.

Una vez en el horno, el material sufre una serie de reacciones a **altas temperaturas (1500°C)** **para formar los componentes básicos del clinker que le van a conferir sus propiedades**. El clinker a la salida del horno debe de sufrir un proceso de **enfriamiento rápido** con el fin de que no se reviertan las reacciones que tienen lugar en el horno.

El aporte calorífico del horno se realiza mediante la combustión en el mechero de combustibles. Hoy en día muchas fábricas utilizan residuos industriales (aceites, disolventes o neumáticos usados) como combustible, valorizando así los mismos y evitando los posibles daños en el medio ambiente que su almacenamiento provoca.

### 5. Silo de clínker

Dependiendo de las necesidades de producción el clínker puede pasar al molino o bien almacenarse en el silo.



## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

### 6. Molienda de cemento

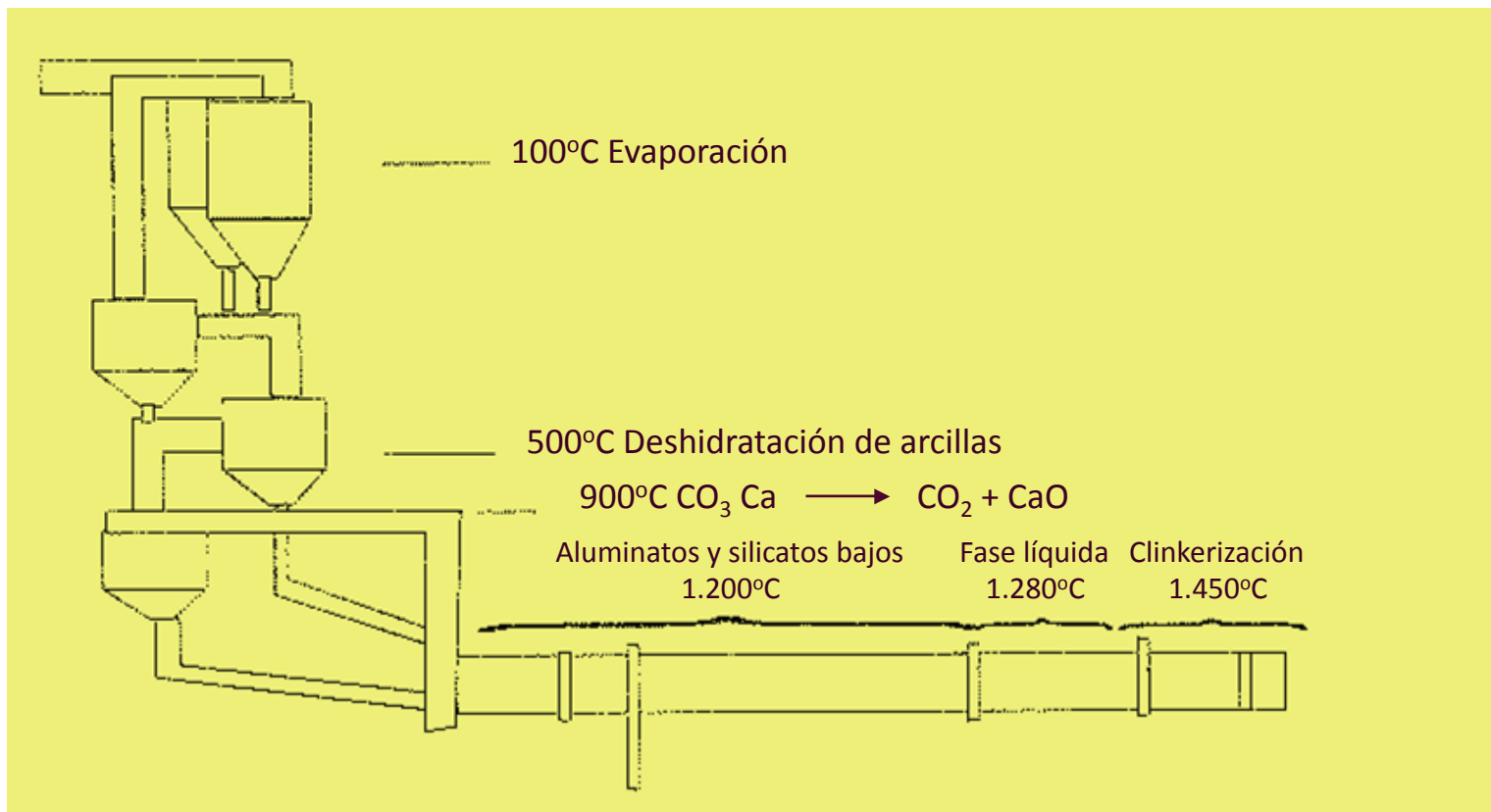
En esta etapa el **clinker se mezcla con el regulador de fraguado (yeso)** y con las posibles adiciones y se introduce en los molinos de bolas para su molienda. Una vez alcanzada la finura deseada, el producto que obtenemos finalmente es el cemento.

### 7. Almacenamiento y expedición

El cemento se almacena por tipos en silos donde espera a ser ensacado o bien a ser expedido directamente en forma de granel.

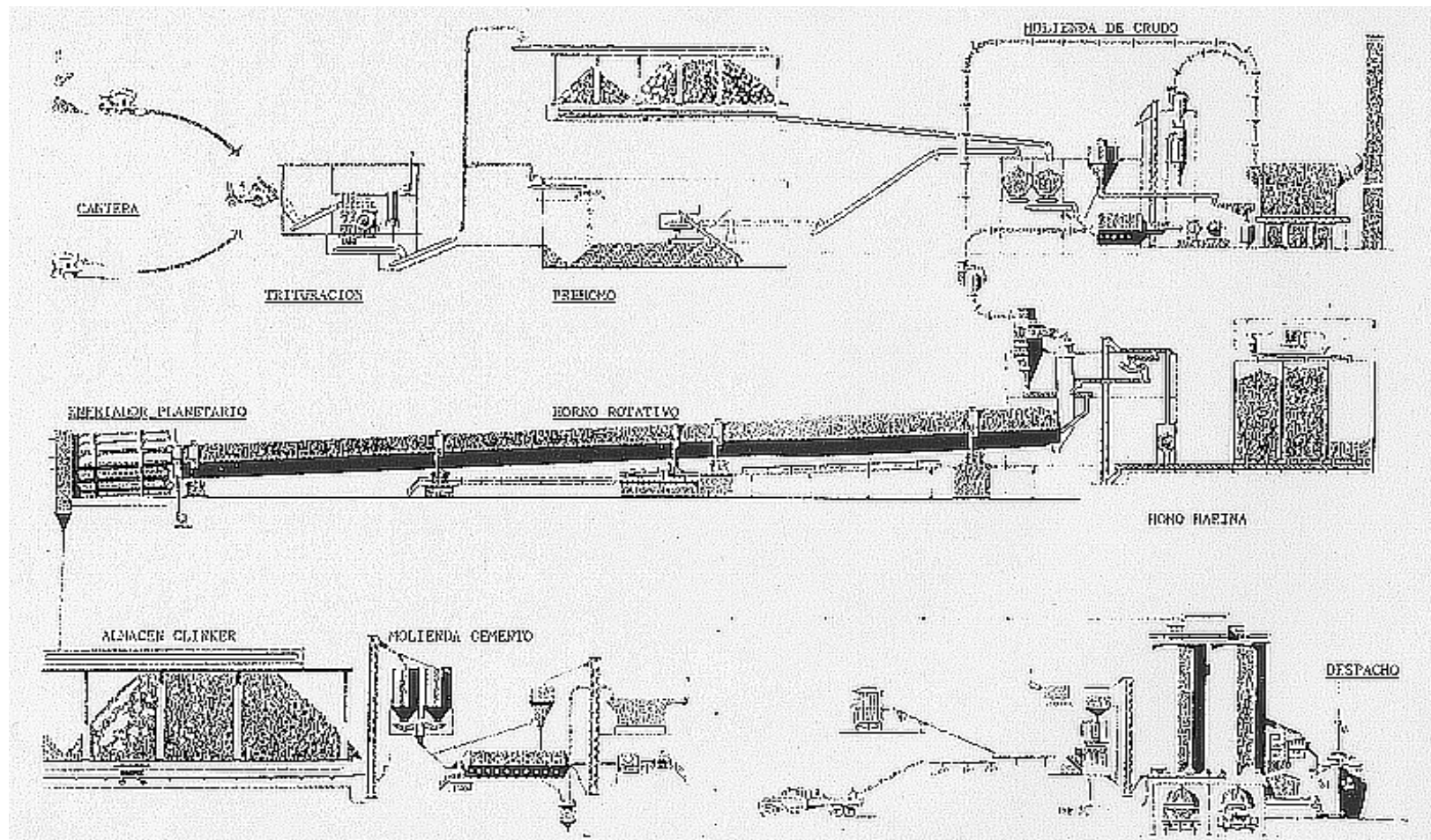
## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

### OPERACION HORNO



## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. La fabricación del cemento

### PROCESO SECO







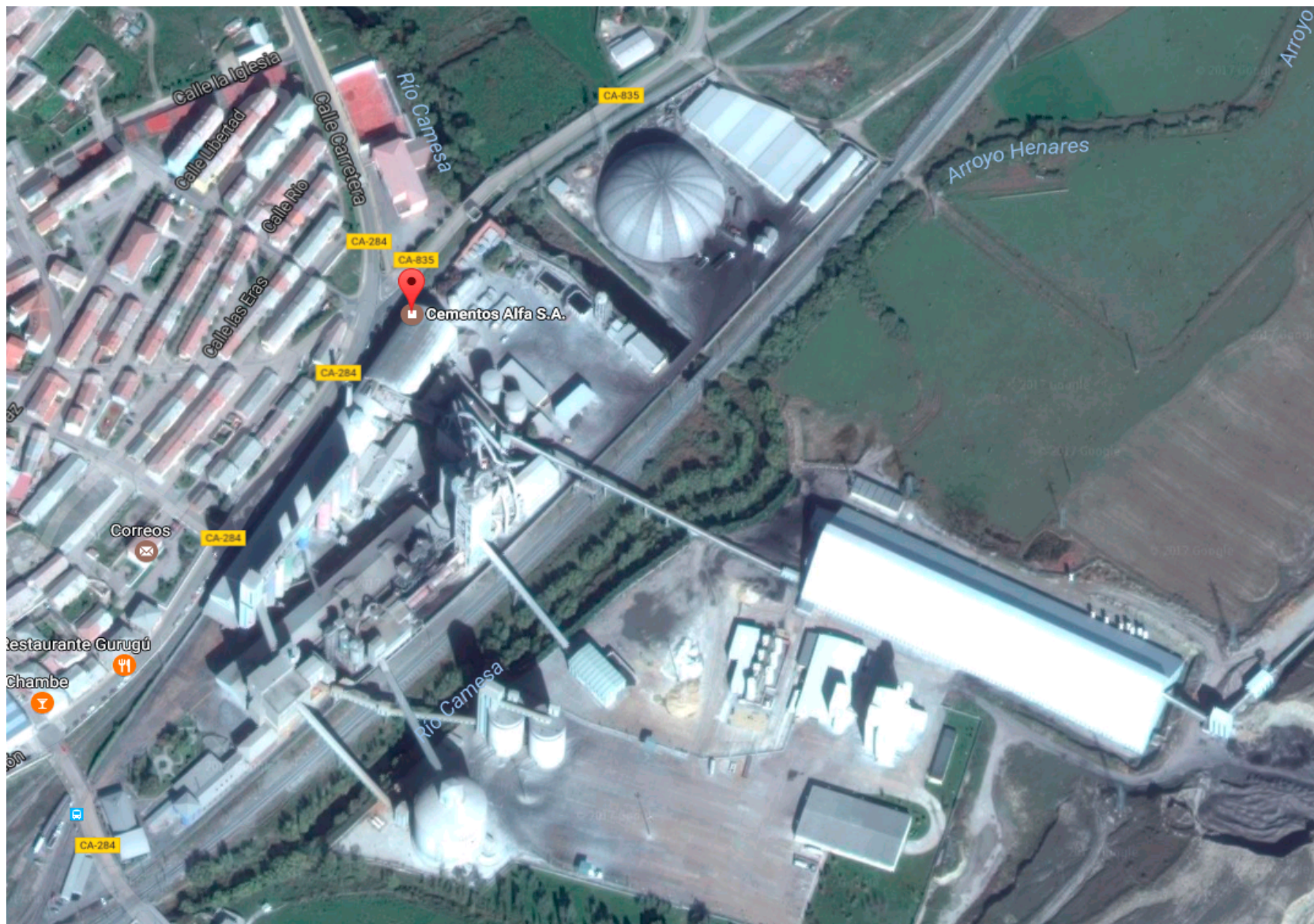














## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. Normativa REGLAMENTACIÓN ESPAÑOLA DE CEMENTOS.



Desde 1993



**RC-93**



Desde 1997



**RC-97**



Desde 2003



**RC-03**



**¿ POR QUE ?**

Adecuación a la nueva  
normativa Europea

**RC-16 NUEVA**

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. Normativa

### INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS (RC-03) antes RC-97.

#### Artículo 3. Tipos de cementos.

Los tipos y denominaciones de los cementos y sus componentes que se incluyen en esta instrucción son los que figuran en las siguientes normas:

- Cementos comunes: UNE-EN 197-1:2000 Cemento. Parte 1: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.
- Cementos resistentes a los sulfatos: UNE 80303-1:2001 Cementos con características adicionales. Parte 1: cementos resistentes a los sulfatos.
- Cementos resistentes al agua de mar: UNE 80303-2:2001 Cementos con características adicionales. Parte 2: cementos resistentes al agua de mar.
- Cementos de bajo calor de hidratación: UNE 80303-3:2001 Cementos con características adicionales. Parte 3: cementos de bajo calor de hidratación.
- Cementos blancos: UNE 80305:2001 Cementos blancos.
- Cementos para usos especiales: UNE 80307:2001 Cementos para usos especiales.
- Cementos de aluminato de calcio: UNE 80310:1996 Cementos de aluminato de calcio.
- Cementos de albañilería: los tipos y denominaciones de los cementos de albañilería serán conformes a lo establecido en el artículo 4.3.

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. Tipos de cemento

### CEMENTOS COMUNES

UNE 197-1 2000

- **CEM I** - Cemento Portland.
- **CEM II** - Cemento Portland con adiciones/con subtipos.
- **CEM III** - Cemento de horno alto/con subtipos.
- **CEM IV** - Cemento Pozolánico/con subtipos.
- **CEM V** - Cemento compuesto/con subtipos.

### CEMENTOS RESISTENTES A SULFATOS

UNE 80 303-1:01

### CEMENTOS RESISTENTES AL AGUA DE MAR

UNE 80 303-2:01

### CEMENTOS BLANCOS

UNE 80 305:01

### CEMENTOS BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN

UNE 80 303-3:01

### CEMENTOS PARA USOS ESPECIALES

UNE 80 307:01

# EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. Tipos de cemento

EHE-08. Tabla 26.1.

| Tipo de hormigón | Tipo de cemento                                   |
|------------------|---------------------------------------------------|
| <b>HM</b>        | Cementos comunes/Cementos para usos especiales.   |
| <b>HA</b>        | Cementos comunes.                                 |
| <b>HP</b>        | Cementos comunes de los tipos CEM I y CEM II/A-D. |

### EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento

# Aplicaciones

#### CEM I

Hormigones de muy altas resistencias. Obras públicas especiales en hormigón pretensado. Prefabricados.

#### CEM II

Hormigones y morteros en general.

#### CEM III

Hormigones en ambientes agresivos (sulfatos de los terrenos, aguas agresivas y de mar, etc.). Obras marítimas. Cimentaciones en terrenos yesíferos.

#### CEM IV

Hormigones y morteros en general especialmente en ambientes moderadamente agresivos de carácter ácido. Obras Hidráulicas.

#### CEM V

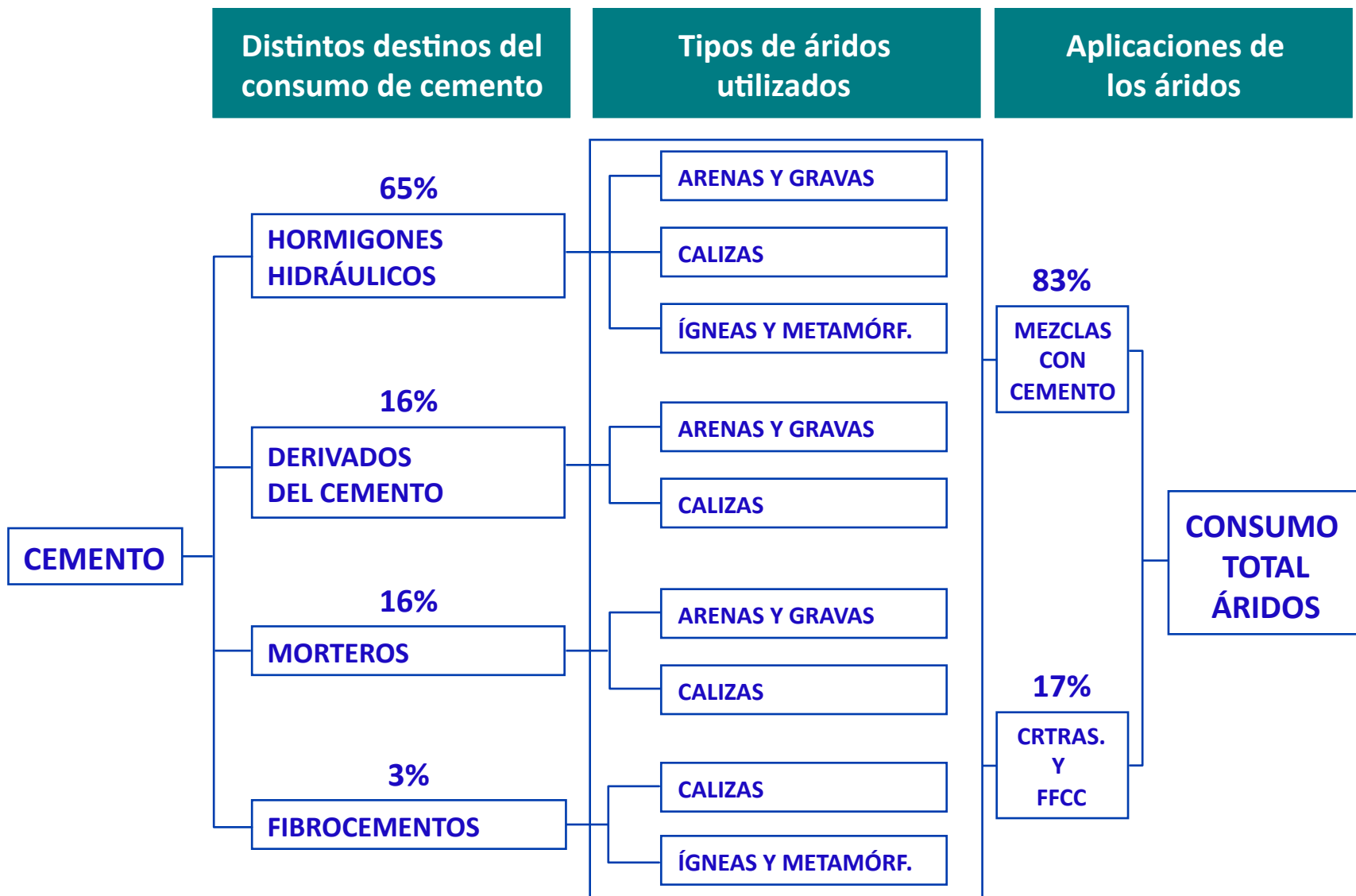
Estabilización de suelos y terrenos. Bases tratadas para carreteras y firmes de hormigón. Hormigonado de grandes macizos de hormigón compactado con rodillo. Presas.

# EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Cemento. Consumo

|                    |                |                 |                   |
|--------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| • ANDALUC.         | 10.462.774     | • C. VALENCIANA | 6.700.285         |
| • ARAGON           | 1.238.099      | • EXTREMADURA   | 1.117.300         |
| • ASTURIAS         | 901.430        | • GALICIA       | 2.857.881         |
| • BALEARES         | 950.095        | • MADRID        | 3.946.567         |
| • CANARIAS         | 2.453.154      | • MURCIA        | 2.691.582         |
| • <b>CANTABRIA</b> | <b>507.497</b> | • NAVARRA       | 704.862           |
| • CST. LEON        | 3.028.135      | • P. VASCO      | 1.369.314         |
| • CST. MANCHA      | 2.014.256      | • RIOJA         | 389.950           |
| • CATALUÑA         | 6.672.210      | • <b>ESPAÑA</b> | <b>48.005.391</b> |

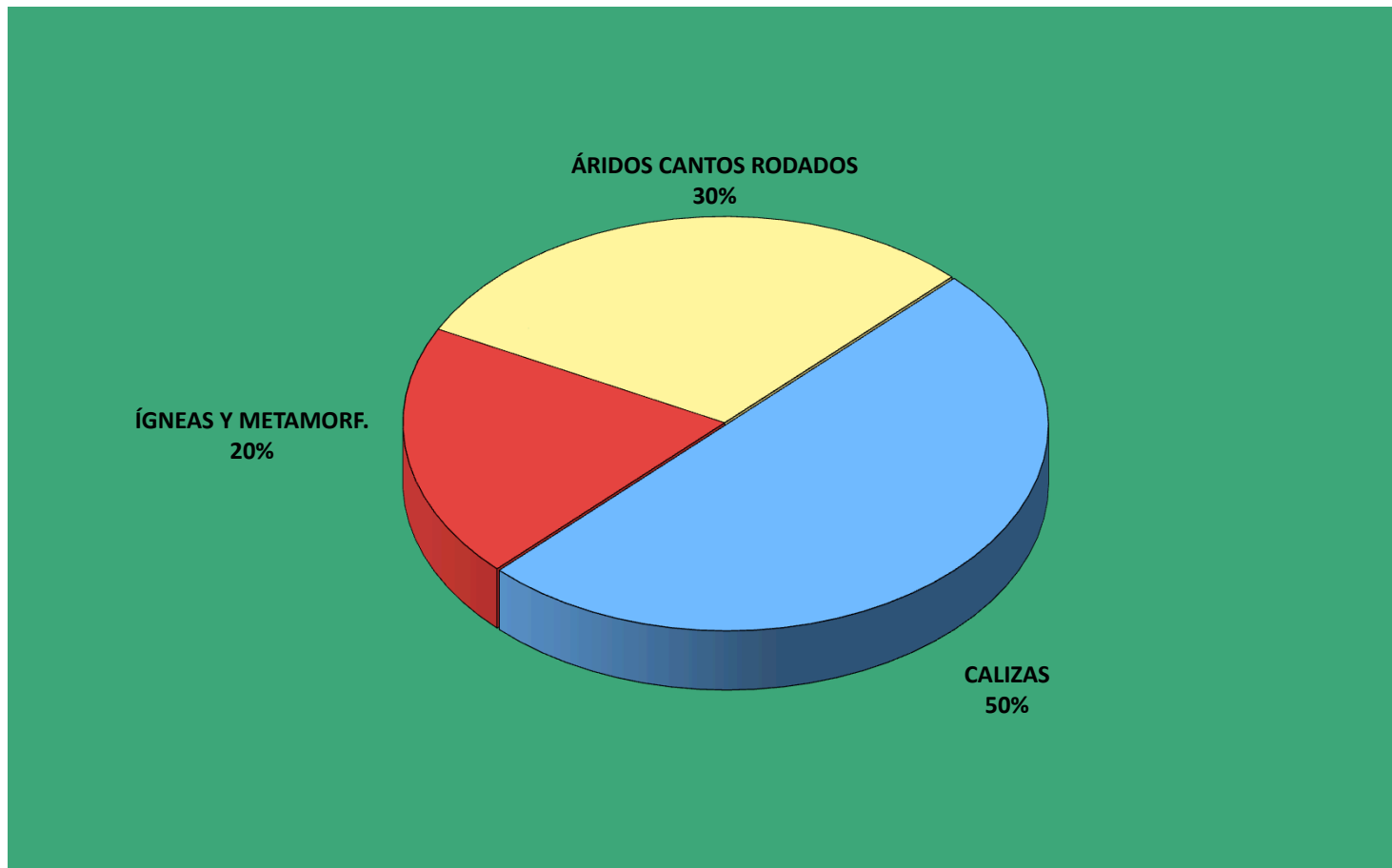


## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Cemento – Áridos



## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Tipos de áridos

Distribución porcentual de la utilización de cada tipo de árido.



### EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Adiciones

Adiciones son aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle características especiales. La presente Instrucción recoge únicamente la utilización de las cenizas volantes y el humo de sílice como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación.

Con la única excepción del humo de sílice, se prohíbe el uso de adiciones de cualquier tipo, y en particular, las cenizas volantes, como componentes del hormigón pretensado.

Las principales adiciones contempladas para su inclusión en el hormigón son las siguientes:

- Cenizas volantes.
- Humo de Sílice.
- Filler Calizo.
- Escorias de Alto Horno.
- Puzolanas Naturales.

### EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Aditivos

Aditivos son aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

EHE Art. nº29.

Deben ser siempre suministrados con la garantía del fabricante de los mismos.

Como el comportamiento del hormigón puede variar con las condiciones particulares de cada obra, con el tipo y dosificación del cemento, con la naturaleza de los áridos, etc., es conveniente la realización de los ensayos oportunos en cada caso.

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Aditivos. Clasificación de los aditivos

### I. ADITIVOS QUE MODIFICAN:

#### **LA REOLOGIA (Grupo A)**

- Plastificantes.
- Reductores de agua.
- Superplastificantes – Superfluidificantes reductores de alta actividad.

#### **EL FRAGUADO Y EL ENDURECIMIENTO (Grupo B)**

- Aceleradores de fraguado.
- Retardadores de fraguado.
- Aceleradores de endurecimiento.

#### **EL CONTENIDO DE AIRE, O DE OTROS GASES (Grupo C)**

- Inclsores de aire.
- Generadores de gas.
- Generadores de espuma.
- Desaireantes o antiespumantes.
- Generadores de expansión.

## EL HORMIGÓN. COMPONENTES – Aditivos. Clasificación de los aditivos

### II. ADITIVOS QUE MEJORAN:

#### LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS (Grupo D)

- Protectores contra las heladas:
  - Incluidores de aire (en estado endurecido).
  - Aceleradores de fraguado.
  - Aceleradores de endurecimiento.
- Anticongelantes.
- Reductores de la penetrabilidad:
  - Repulsores de agua o hidrófugos.

#### LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICOQUIMICAS (Grupo E)

- Inhibidores de corrosión de armadura.
- Modificadores de la reacción alcali – árido.

### III. OTROS ADITIVOS: (Grupo E):

- Aditivos para el bombeo.
- Aditivos para hormigones y morteros proyectados.
- Aditivos para inyecciones.
- Colorantes.



### PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Proporciones de sus ingredientes:



**1. Agua – Cemento**



**Resistencia.**

**2. Cemento – Áridos**



**Trabajabilidad.**



**3. Tamaño árido grueso**



**Bombeabilidad – Segregación.**

**4. Árido fino – Árido grueso**



**Trabajabilidad – Cambios volumen.**

**5. Tipo de cemento**



**Resistencia y fraguado.**

**6. Aditivos y adicciones**



**Tiempos de fraguado, fluidez.**

## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

### TRABAJABILIDAD

- Fluidez.
- Cohesión.
- Adherencia.
- Plasticidad.
- Etc.



### DENSIDAD

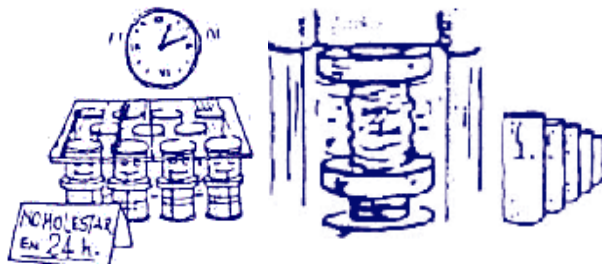
- 2.300 – 2.500 kg./m<sup>3</sup>.



### FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO

- Reacción exotérmica entre cemento y el agua.

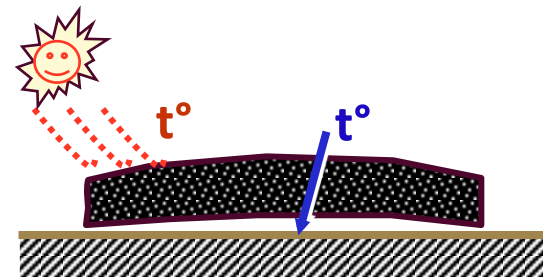
### RESISTENCIA



### PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Otras propiedades

#### CAMBIO DE VOLUMEN

- Contracción y expansión.



$$\Delta_t = t_e^\circ - t_i^\circ$$

#### COEFICIENTE DE EXPANSIÓN

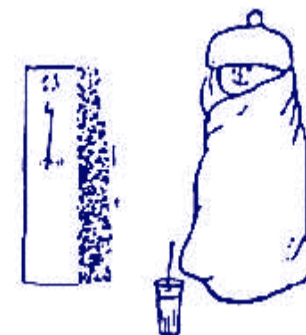
- Coeficiente térmico  $-1.0 \cdot 10^{-5} \text{ (cm/cm)/}^\circ\text{C}$

#### MÓDULO DE ELASTICIDAD

- Aproximadamente 100 veces la  $f_{ck\ 28}$ .

#### FLUENCIA O FLUJO PLÁSTICO

- Primero sufre deformación elástica y después cuando la carga es permanente la deformación aumenta gradualmente.



## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Granulometría

La Granulometría de un hormigón depende de los elementos con que se pueda contar en obra.

**DISCONTINUA:** cuando falta uno o varios elementos intermedios.



Se adapta mejor a los áridos de piedra triturada.



**CONTINUA:** cuando esta integrada por todos los elementos.



Se emplean con preferencia con áridos de forma redondeadas.



### PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Tipos de hormigón por su densidad

#### **NORMALES o CONVENCIONALES**

- 2400 – 2580 kg/m<sup>3</sup>.

#### **ESPECIALES**

- Secos (RCC). - 2000 – 2200 kg/m<sup>3</sup>.
- Con aire ocluido (retenido). - 2400 – 2500 kg/m<sup>3</sup>.

#### **LIGEROS**

- Expandidos – En base aluminio. - 1260 – 1680 kg/m<sup>3</sup>.
- Espumados – En base a oxido de sílice. - 170 – 200 kg/m<sup>3</sup>.
- Clavable – Arena y serrín.

#### **ALTA DENSIDAD**

- En base a limonita/magnetita. - 3500 – 3750 kg/m<sup>3</sup>.

## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Curado del hormigón

El complejo de reacciones químicas y fenómenos de hidratación que constituyen la esencia del fraguado y endurecimiento del hormigón necesita la presencia del agua como elemento reaccionante y catalizador.

El proceso cuyo objeto es conseguir que, durante esta etapa inicial de la hidratación del cemento, la humedad sea suficiente es el CURADO.

El CURADO debe prolongarse hasta que el hormigón haya alcanzado el 70% de su resistencia característica.



## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Curado del hormigón

Tipos de Curado:

### Curado por aportación de humedad

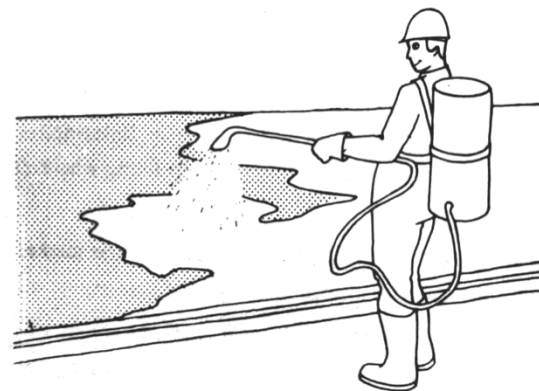
- Agua pulverizada en forma de neblina.

### Curado por recubrimiento

- Cubrición con materiales con elevada capacidad de retención de agua.
- Membranas impermeables.
- Productos filmógenos (PG3. Art. 285).

### Curado al vapor

- Cámaras reguladas de vapor.



| Sistema de Protección     | Pérdida de agua (g/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Sin protección            | 0,400                                |
| Hoja de polietileno 1 mm. | 0,088                                |
| Líquido de curado         | 0,011                                |

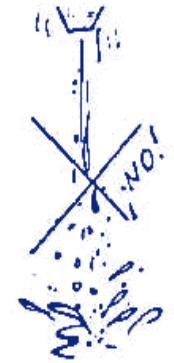


## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Curado del hormigón

Cuidados especiales en caso de:

### Lluvia sobre hormigón fresco

- Protección mecánica – Recubrimiento con materiales impermeables.



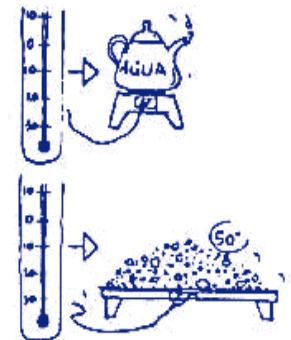
### Radiación solar o viento sobre hormigón fresco

- Utilización de productos de curado impermeables o películas plásticas opacas.
- Control de temperatura de la mezcla ( $< 30^{\circ}\text{C}$ ).
- Riego del cemento de apoyo.
- Cobertizos provisionales.
- Pulverización de agua sobre la superficie.



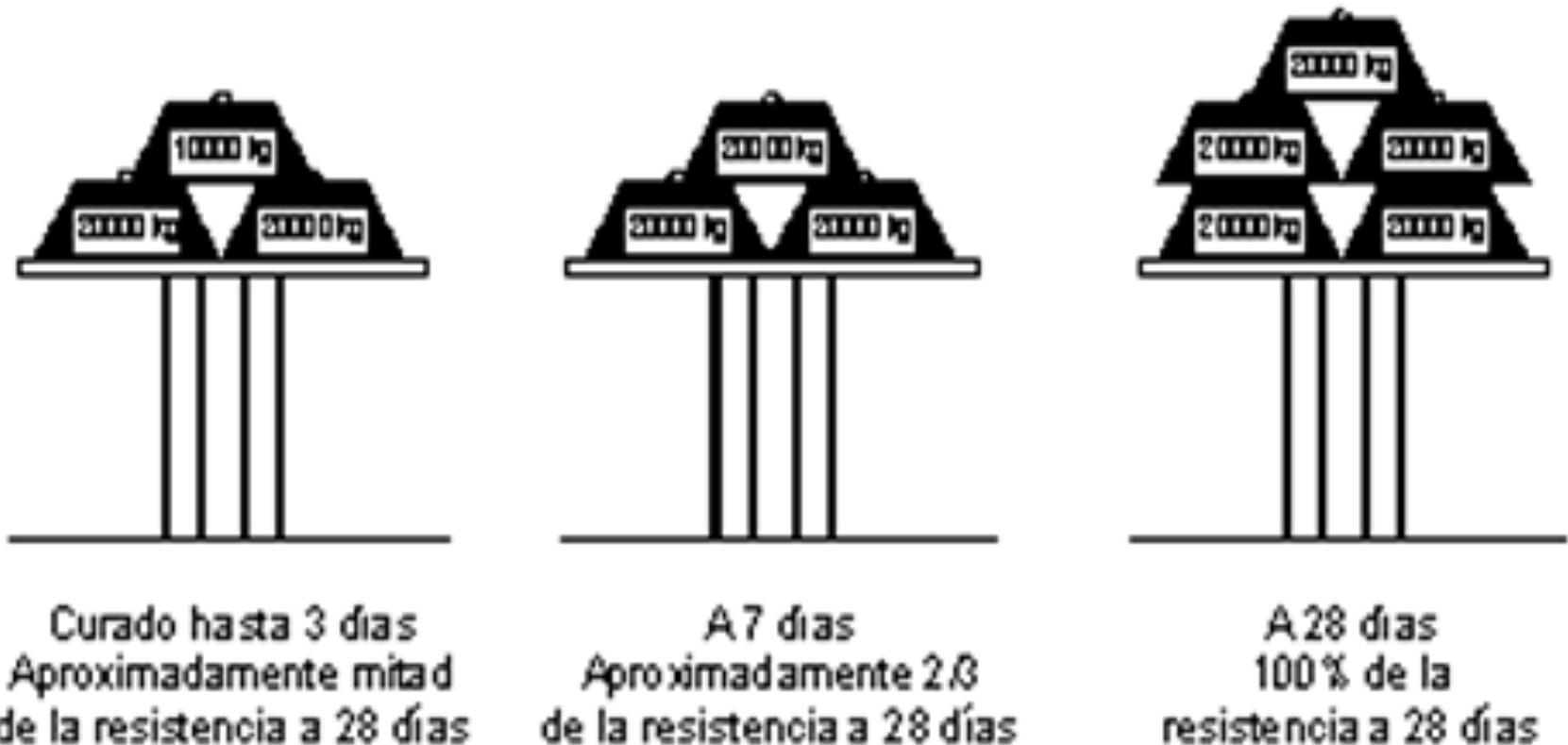
### Heladas sobre hormigón fresco

- Prolongar la duración de la protección mientras persiste el hielo.
- Adicionar cloruro de calcio al hormigón.
- Emplear esteras, lonas, paja, arena. etc., sobre la superficie como protección.
- Precalentamiento del agua o los áridos, para que la mezcla conserve una temperatura superior a  $5^{\circ}\text{C}$  durante las primeras horas.



## PROPIEDADES DEL HORMIGÓN. Curado del hormigón

Efectos del curado en la resistencia del hormigón:



## EL HORMIGÓN. Puesta en obra. Hormigonado en tiempo frío

### Perdida de resistencia

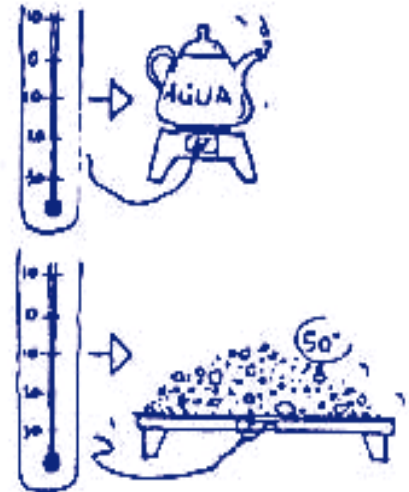
La acción expansiva del agua disgrega la masa.

- Se debe suspender el hormigonado cuando se prevea que dentro de las 48 horas siguientes puede bajar la temperatura ambiente por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ .
- Por debajo de  $5^{\circ}\text{C}$  de temperatura ambiente NO debe hormigonarse.



Otras recomendaciones para la puesta en obra:

- Utilizar relación a/c bajas.
- Calentar el agua y/o áridos.
- Cubrir superficies.
- Utilizar aditivos.



### EL HORMIGÓN. Puesta en obra. Hormigonado en tiempo caluroso



**Perdida de resistencia**



**Fisuración**



**Aumento de la retracción en las primeras edades**



## **EL HORMIGÓN. Puesta en obra. Hormigonado en tiempo caluroso**

- Los materiales y encofrados deben estar protegidos del soleamiento.
- Utilizar cemento de bajo calor de hidratación y con la dosificación más baja posible.
- Enfriar el árido grueso con agua fría.
- Amasar el hormigón con agua fría y/o trozos de hielo.
- Realizar el hormigonado por la noche.
- Una vez hormigonado, proteger del sol y el viento:
  - Mantas de plásticos.
  - Tejadillos móviles.
  - Regado continuo de la superficie.
  - Etc.



## **EL HORMIGÓN. Control de calidad**

El control de calidad se debe aplicar a toda la Obra, pues de una forma u otra influyen en la del Hormigón.

El hormigón es un material esencialmente variable.

Se debe llevar a cabo el control de cada uno de los materiales constituyentes.

2 tiempos para el control de calidad:

- **El control en Obra:**

- Control de Recepción: recibir los materiales en perfecto estado.
- Ensayos de consistencia: para medir la trabajabilidad o consistencia.
- Toma de muestras: para medir la resistencia.

- **El control en las Plantas de Premezclado:**

- Control de producción: control de calidad de materias primas.
- Granulometrías.
- Humedad de los áridos.
- Contrastación de las básculas.



## EL HORMIGÓN. Control de calidad

### DEFECTOS EN LOS COMPONENTES:

- Cemento:
  - Contenidos bajos de cemento: afecta a la resistencia y a la durabilidad ↘
- Agua:
  - Altas relaciones Agua/Cemento: Resistencia ↘ – Porosidad ↗ – Retracción ↗
- Áridos:
  - Finos plásticos – Adherencia árido-pasta ↘
  - Presencia de impurezas – Cloruros, sulfuros, etc.
  - Granulometría poco cuidada – Hormigón poco compacto.

### DEFECTOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN:

- Dosificación inapropiada.
- Amasado incorrecto.
- Adición de “agua extra”.



### EL HORMIGÓN. Control de calidad

#### PREVIOS

- Revisión de planos de proyecto y de obra.
- Equipo de puesta “in situ” – Hormigoneras, vibradores, canaletas, etc.
- Equipamiento de laboratorio.
- Dispositivos y medidas de seguridad.
- Replanteo.
- Andamios y cimbras.
- Encofrados y moldes.
- Colocación de Armaduras – Tipo, diámetro, posición, etc.
- Comprobación de recubrimientos.
- Previsión de juntas.
- Previsión de condiciones climáticas...

### EL HORMIGÓN. Control de calidad

#### DURANTE

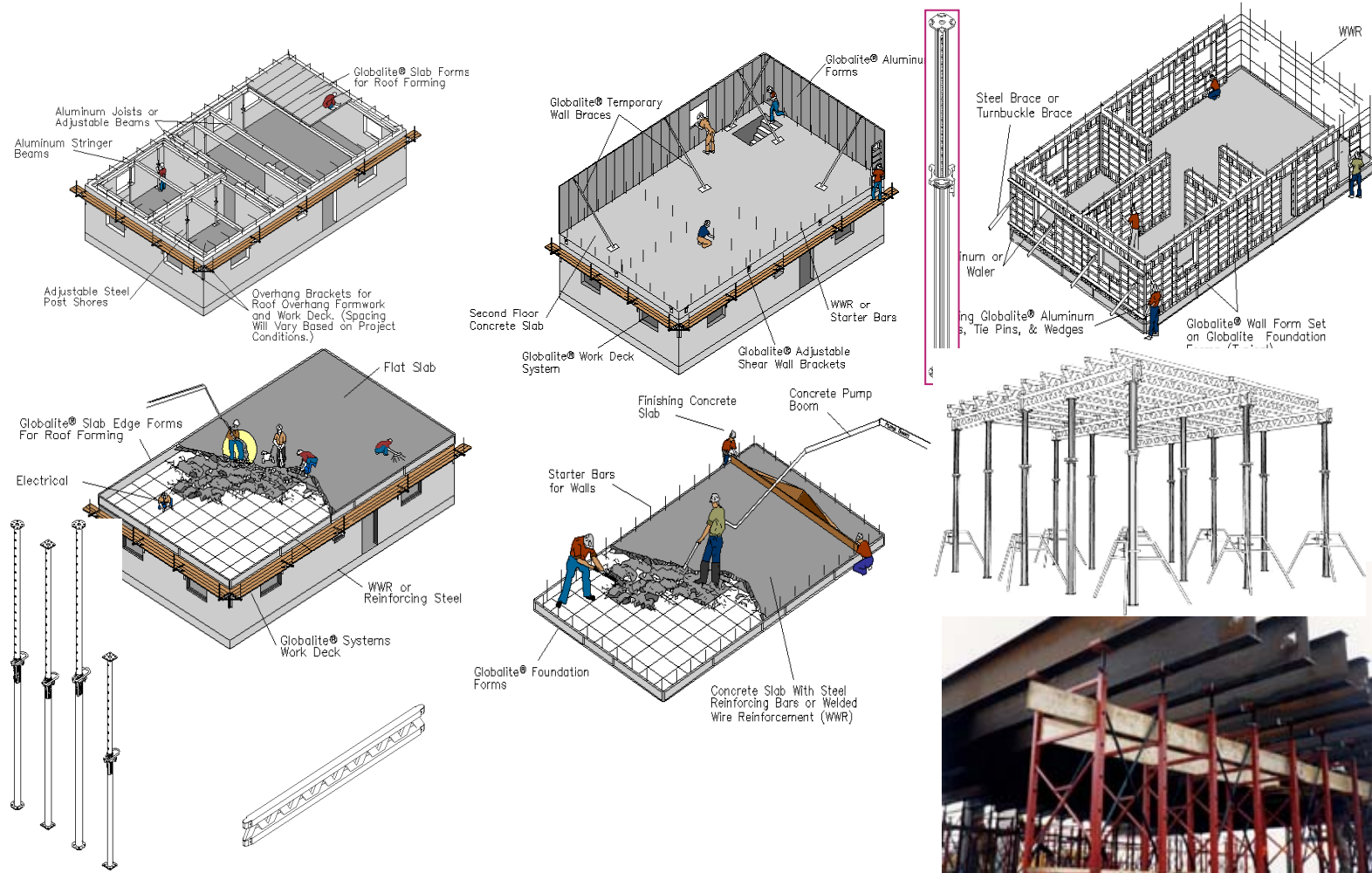
- Fabricación, transporte y colocación del hormigón.
- Compactación del hormigón.
- Juntas de hormigonado y retracción.
- Juntas de dilatación.
- Condiciones climáticas.
- Acabado de superficies.

#### POSTERIOR

- Curado.
- Descimbrado, desencofrado y desmoldeo.
- Tolerancias (flechas, contraflechas, combas laterales, etc.).
- Transporte y montaje de elementos prefabricados.
- Previsión de acciones mecánicas durante la ejecución.
- Reparación de los defectos superficiales.

## EL HORMIGÓN. Control de calidad

### Puntales y componentes de encofrados.



## EL HORMIGÓN. Control de calidad

Períodos mínimos de desencofrado y descimbrado de elementos de hormigón armado.  
EHE Art. 75.

| Temperatura superficial del hormigón |          | ≥ 24° | 16°  | 8°   | 2°   |
|--------------------------------------|----------|-------|------|------|------|
| Encofrado vertical                   |          | 9 h   | 12 h | 18 h | 30 h |
| Losas                                | Fondos   | 2 d   | 3 d  | 5 d  | 8 d  |
|                                      | Puntales | 7 d   | 9 d  | 13 d | 20 d |
| Vigas                                | Fondos   | 7 d   | 9 d  | 13 d | 20 d |
|                                      | Puntales | 10 d  | 13 d | 18 d | 28 d |