



Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

DATOS TECNOLOGICOS DEL HORMIGON NORMAL

ABRIL 1985



INTI

PROLOGO

Esta segunda edición de los Datos Tecnológicos del Hormigón Normal incorpora algunas modificaciones con respecto a la primera edición con el objeto de mejorar el ordenamiento.

Los datos han sido seleccionados teniendo en mente el viejo proverbio chino que dice: "Un dibujo vale más que mil palabras".

Con este espíritu se han tratado de reunir en un reducido número de páginas los datos más importantes sobre el hormigón normal.

Este trabajo no tiene la intención de reemplazar el estudio de la excelente bibliografía y de las normas y reglamentos que existen sobre el hormigón. Está pensado para brindar un ayuda-memoria y reunir en forma cómoda la información más importante y elemental sobre el tema.

El ordenamiento que se le ha dado es el siguiente: primero figuran los datos de los materiales componentes del hormigón: cemento, agregados, agua y aditivos, luego los datos sobre el hormigón normal, clasificación y propiedades. Después se dedica un capítulo a la dosificación de los hormigones y otro al control de calidad y a los ensayos.

Esta publicación es sin duda perfeccionable. En el estado actual complementa un cursillo teórico-práctico elemental sobre tecnología del hormigón normal que el CIRSOC comenzó a dictar en el año 1983 en diversas Secretarías Regionales.

Queremos contribuir de esta forma a la difusión de aquellos conocimientos básicos que un tema tan importante como la tecnología del hormigón se merece.

Abril de 1985

Dr. Alfonso Huber
Director Técnico

INDICE

Introducción	1
1. CEMENTOS	1
1.1. Cementos normalizados	1
-Cemento Pórtland Normal, requisitos químicos	2
-Cemento Pórtland Normal, requisitos físicos	2
-Densidad sólida y aparente del cemento pórtland	3
-Fraguado de la pasta de cemento	3
-Falso fraguado	4
-Almacenamiento de cementos	4
-Color de los cementos	5
1.2. Compuestos básicos del Cemento Pórtland	5
-Fabricación del cemento	5
-Proceso de fabricación	5
-Composición de óxidos del clinker de cemento Pórtland	5
-Compuestos básicos de Cemento Pórtland	6
-Propiedades de los componentes básicos a hidratarse	7
-Influencia de los contenidos de silicatos y de aluminatos	7
1.3. Otros cementos	8
1.4. Normas IRAM de Ensayos de Cementos y Componentes	8
2. AGREGADOS	9
2.1. Tipos de agregados naturales, provenientes de la roca	9
-Densidad de algunos agregados naturales	10
2.2. Granulometría	10
-Tamices IRAM	10
-Tamaño máximo nominal	10
-Módulo de finura	10
-Ensayos de laboratorio	10
2.3. Agregado fino	11
-Límites granulométricos de agregados finos normales	11
-Sustancias perjudiciales	12
-Influencia de la humedad en la densidad aparente de la arena	13

-Humedad aproximada de agregados finos	13
2.4. Agregado grueso	14
-Límites granulométricos de los agregados gruesos normales	14
-Sustancias perjudiciales	14
-Densidad aparente de agregados gruesos	15
2.5. Curvas límites de agregados totales	16
2.6. Normas IRAM sobre agregados	16
3. AGUA	20
3.1. Componentes perjudiciales	20
3.2. Relación agua-cemento (a/c)	20
3.3. Requerimientos aproximados de agua en ℓ/m^3 de hormigón fresco para partículas angulosas	22
3.4. Máximas razones agua/cemento especificadas por razones de durabilidad o por otros motivos	23
4. ADICIONES	25
5. ADITIVOS	26
5.1. Incorporadores de aire	26
5.2. Aceleradores	26
5.3. Retardadores, plastificantes, fluidificantes y super-fluidificantes	27
6. HORMIGON	27
6.1. Clasificación de los hormigones	27
6.2. Composición del hormigón	28
-Estudios previos	28
-Contenido unitario de cemento	28
-Propiedades empíricas	29
-Tamaño máximo del agregado grueso	30
-Preparación del hormigón	30
-Mezclado	31
-Temperatura del hormigón	31
6.3. Propiedades del hormigón fresco	31
-Consistencia	31
-Asentamiento del tronco cono y métodos de compactación recomendados	32
-Resumen de la ejecución del ensayo con el tronco de cono	32
-Apreciación de la trabajabilidad	33

6.4.	Propiedades del hormigón endurecido	33
	-Desarrollo de la resistencia del hormigón (influencias del curado, temperatura, edad y tipo de cemento)	34
	-Otras propiedades del hormigón (relación de resistencias tracción-compresión, módulo de elasticidad)	36
	-Fluencia lenta y retracción	37
6.5.	Hormigones de características y propiedades especiales	37
	-Hormigones de elevada impermeabilidad	38
	-Hormigones resistentes a bajas temperaturas	38
	-Hormigones resistentes a la agresión química o físico-química	38
	-Hormigones expuestos a acciones mecánicas y a la abrasión superficial	38
	-Hormigones expuestos a la acción del calor ($> 70^{\circ}\text{C}$)	39
	-Hormigones para su colado bajo agua	39
6.6.	Normas IRAM sobre hormigones	40
7.	DOSIFICACION DEL HORMIGON	40
7.1.	Resistencia media en función del factor agua/cemento	40
7.2.	Base del método de dosificación	41
7.2.1.	Aplicación del método en obras pequeñas	45
7.2.2.	Aplicación rigurosa del método	46
7.3.	Ejemplo de aplicación	49
7.4.	Dosificaciones tipo	52
8.	PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS	57
8.1.	Producción	57
8.2.	Transporte	57
8.3.	Colocación	57
8.4.	Compactación	57
8.5.	Curado	58
8.6.	Remoción de encofrados	58
9.	CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS	58
9.1.	Evaluación de la resistencia a compresión	59
9.2.	Control estadístico de ensayos de resistencia	61
9.3.	Ensayos de resistencia a compresión del hormigón	64
	-Moldeo de probetas	64
	-Curado de probetas	64

-Encabezado de probetas	64
-Ejecución del ensayo	64
-Variación de la resistencia con la esbeltez de la probeta y con su forma	65
9.4. Recubrimiento y separación libre entre barras para hormigón armado	65
9.5. Tolerancias dimensionales	66
9.6. Normas IRAM de ensayo y Normas IRAM-IAS para armaduras del hormigón armado	67
10. BIBLIOGRAFIA	69

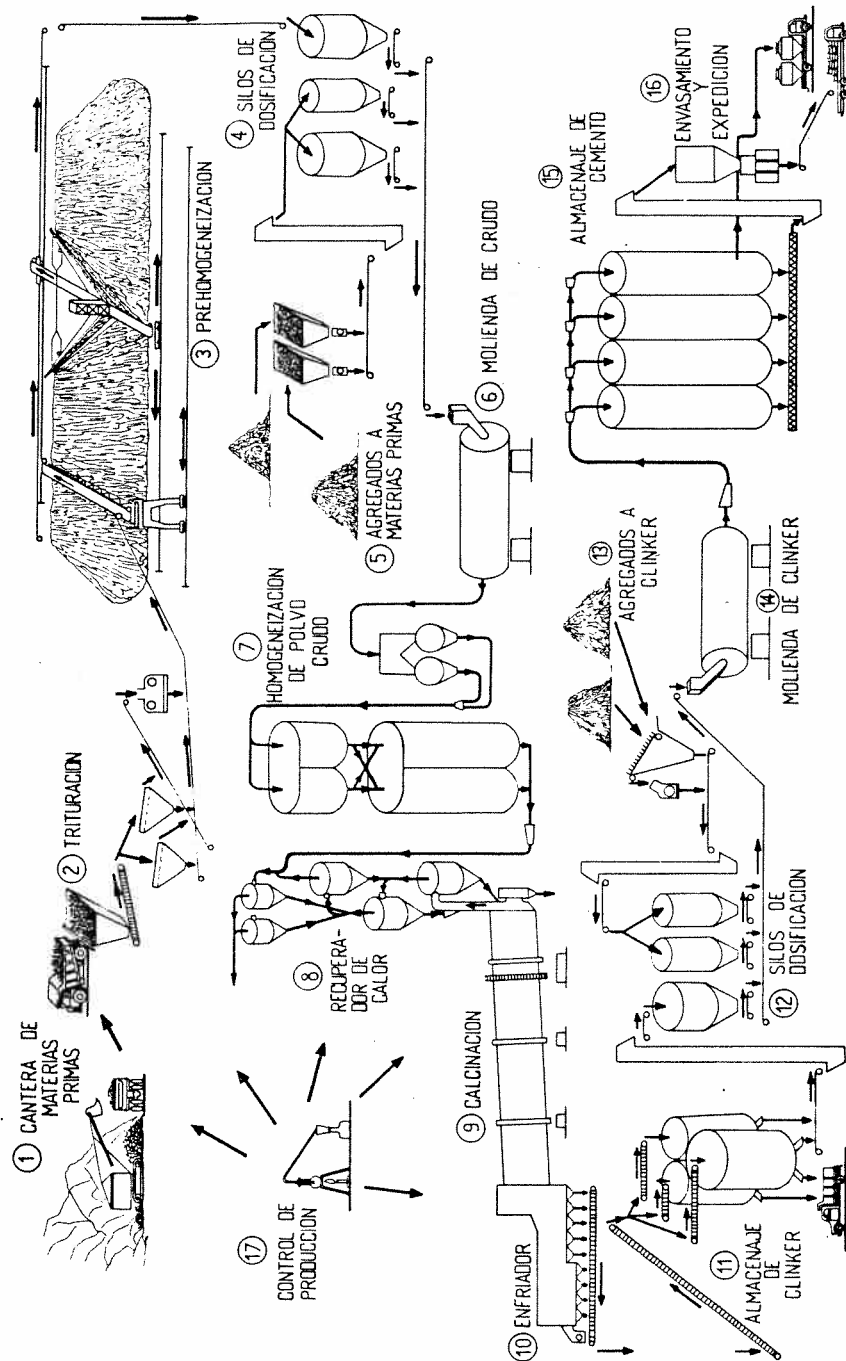


DIAGRAMA DE LA FABRICACION DEL CEMENTO PORTLAND

(Origen: Boletín del Cemento Pórtland, Publicación del Instituto del Cemento Pórtland Argentino, año XV N° 82 Julio-Agosto 1981).

DATOS TECNOLOGICOS DEL HORMIGON NORMAL

INTRODUCCION

El hormigón normal de cemento Pórtland está constituido por agregados pétreos naturales, cemento Pórtland y agua. A veces se adicionan pequeñas cantidades de ciertas sustancias, aditivos químicos y adiciones pulverulentas, para conferir al hormigón fresco o endurecido ciertas propiedades especiales.

En la concepción moderna del hormigón, éste está constituido por un sistema de dos componentes: agregados y pasta de cemento. La pasta de cemento, formada por cemento y agua, determina en el hormigón fresco en alto grado, la trabajabilidad y la consistencia y constituye en el hormigón endurecido la matriz que envuelve a los agregados y que determina la resistencia y la durabilidad del hormigón.

En las hojas que siguen se han resumido los datos tecnológicos más importantes del hormigón normal de cemento Pórtland. El objetivo es una mayor difusión de la información que es requisito previo para lograr mejores calidades de hormigón en las obras. El contenido de la publicación toma en cuenta las Normas IRAM vigentes sobre los materiales y el Reglamento CIRSOC 201 "Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado".

1. CEMENTOS

Para la ejecución de las estructuras de hormigón se emplearán únicamente cementos del tipo Pórtland de marcas aprobadas. En casos especiales podrán emplearse otros tipos de cemento, si sus características han sido convenientemente estudiadas por un laboratorio oficial especializado, si cumplen los requisitos de calidad establecidos y si el empleo de dichos cementos ha sido aprobado por las partes por escrito.

1.1. Cementos normalizados

Tipos de cementos Pórtland normalizados en la Argentina

- a) Cemento Pórtland normal (Norma IRAM 1503)
- b) Cemento Pórtland de alta resistencia inicial (Norma IRAM 1646)
- c) Cemento Pórtland puzolánico (Norma IRAM 1651)
- d) Cemento Pórtland altamente resistente a los sulfatos (Norma IRAM 1669)
- e) Cemento Pórtland de bajo calor de hidratación (Norma IRAM 1670)
- f) Cemento Pórtland resistente a la reacción álcali-agregado (Norma IRAM 1671).

g) Cemento Pórtland de escorias de alto horno (Norma IRAM 1636)

Comentario: No todos los tipos de cemento Pórtland se mantienen en stock permanente, en particular el tipo g) no es de fabricación normal.

Cementos de distintos tipos o marcas

No se permite el mezclado de distintos tipos o marcas de un mismo tipo de cemento. En un mismo elemento de la estructura no se permite el empleo de cementos de distintos tipos o marcas.

CEMENTO PORTLAND NORMAL - REQUISITOS QUIMICOS (IRAM 1504)

Concepto	Contenido máximo (%)
Residuo insoluble	1,0
Anhídrico sulfúrico	2,5
Oxido de magnesio	5,0
Pérdida por calcinación	3,0

CEMENTO PORTLAND NORMAL - REQUISITOS FISICOS (IRAM 1503)

Requisitos	Unidad	mín.	máx.
Material retenido sobre tamiz IRAM 75 μ m	%	----	15
Superficie específica promedio	cm ² /g	2500	
individual mín.		2250	
Ensayo de expansión en autoclave	%	----	1
Tiempo de fraguado	inicial min.	45	--
	final hrs.	--	10
Resistencia mín. a flexión	7 días MPa (Kg/cm ²)	3,5 (35)	
	28 días MPa (Kg/cm ²)	5,5 (55)	
Resistencia mín. de compresión	7 días MPa (Kg/cm ²)	17 (170)	
	28 días MPa (Kg/cm ²)	30 (300)	

DENSIDAD SOLIDA Y APARENTE DEL CEMENTO PORTLAND (KG DE MASA)

Sólido (Kg/dm^3)	Aparente (Kg/dm^3)	
	suelto	compactado
3,10 a 3,15	0,9 a 1,1	1,2 a 1,4

Fraguado de la pasta de cemento Portland Normal (Ref. 3)

Las siguientes figuras muestran el principio y el fin del fraguado en función de la temperatura y del factor agua/cemento.

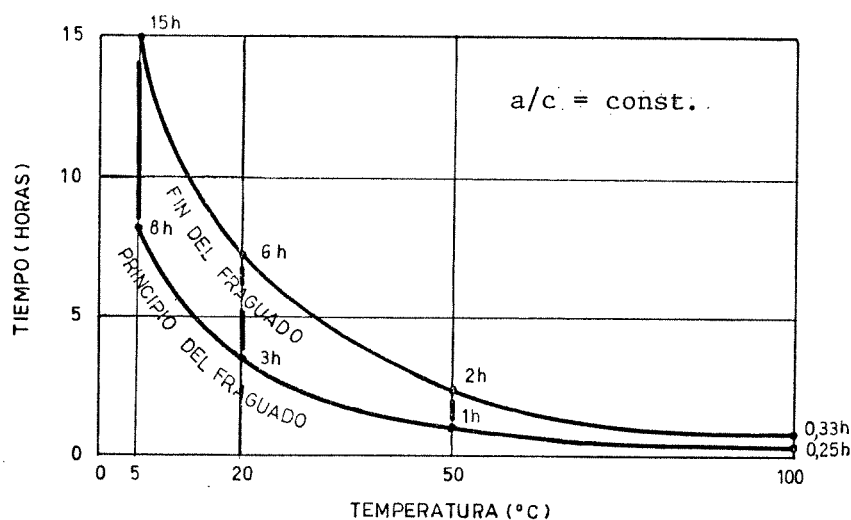


Figura 1. Principio y fin del fraguado en función de la temperatura.

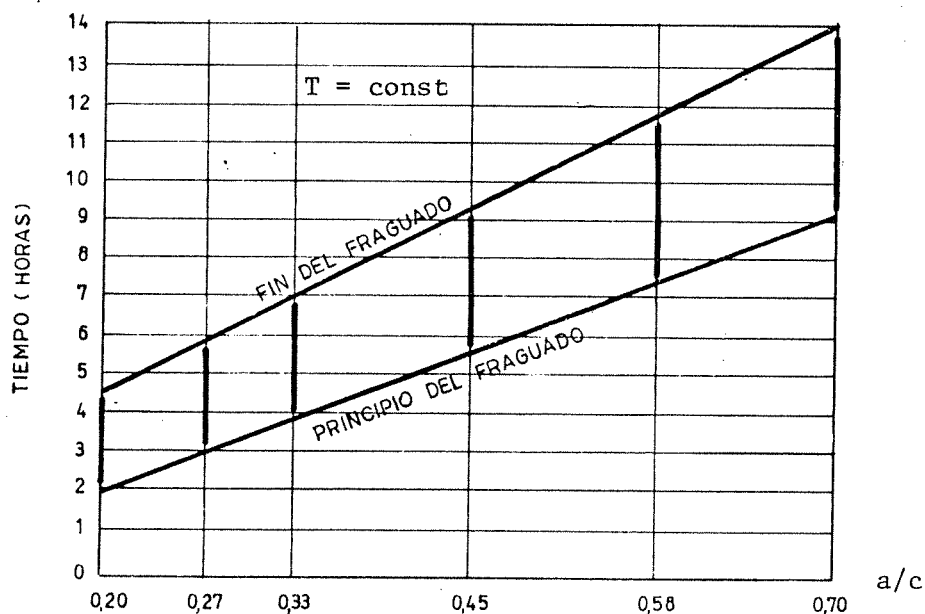


Figura 2. Principio y fin del fraguado a temperatura constante en función del factor agua-cemento.

FALSO FRAGUADO

El fenómeno puede producirse con cementos llevados a molido fino y con elevada adición de yeso siendo más sensible en épocas de tiempo frío. Por lo general, el falso fraguado se manifiesta entre uno y cinco minutos después del comienzo del amasado. Se caracteriza por un brusco aumento de la viscosidad de la pasta de cemento, sin gran desprendimiento de calor. No debe confundirse con el fraguado rápido al que acompaña un elevado desprendimiento de calor y una rigidez irreversible. Este se produce con cementos de elevado contenido de aluminato tricálcico (AC_3) e insuficiente contenido de yeso.

ALMACENAMIENTO DE CEMENTOS

Los cementos de distinto tipo, marca o partida deben almacenarse separadamente y por orden cronológico de llegada. El empleo debe realizarse en el mismo orden.

El almacenamiento debe realizarse en depósitos o silos secos o bien ventilados, protegidos contra la intemperie. Particularmente debe evitarse un estacionamiento mayor de 60 días.

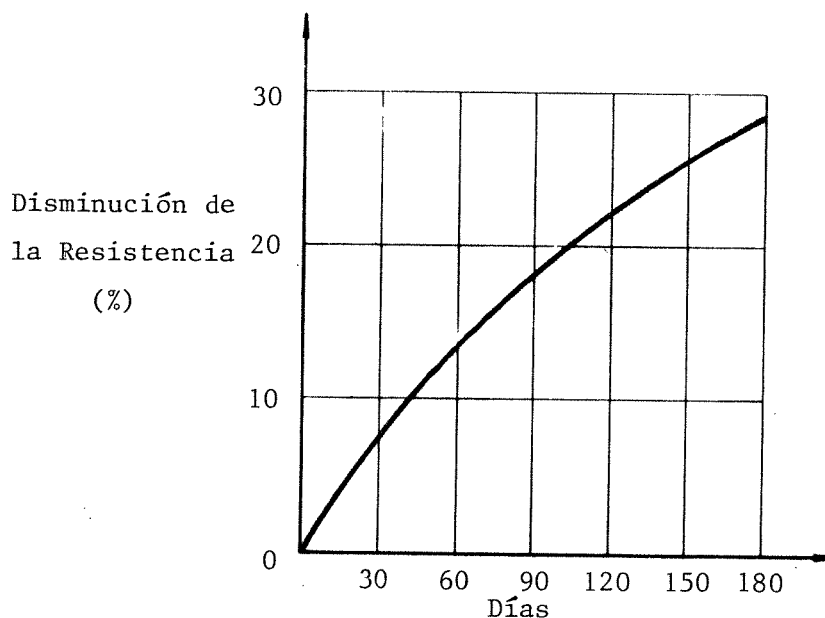


Figura 3. Influencia del estacionamiento prolongado (según Ref. 3) del cemento.

COLOR DE LOS CEMENTOS

Es una propiedad no normalizada.

Para el hormigón a la vista el color debe ser parejo. El color depende de las materias primas, del proceso de fabricación y de la finura del cemento. Los cementos de mayor superficie específica (molido más fino) de una misma planta tienen generalmente un color más claro que los cementos de menor superficie específica.

1.2. Compuestos básicos del cemento pórtland

FABRICACION DEL CEMENTO PORTLAND

Las materias primas son rocas calcáreas y arcillosas. Las primeras proveen la cal (CaO) y las segundas la sílice (SiO_2) y la alúmina (Al_2O_3).

Para producir 1 tonelada de clinker se precisan más de 1,5 t de materias primas.

PROCESO DE FABRICACION (ver diagrama de la página V)

- explotación en cantera, luego trituración y acopio
- dosificación del material crudo
- homogenización del material crudo vía húmeda o vía seca
- cocción en horno rotativo (1 a 2 RPM) de gran diámetro (orden de 6 m) y longitudes hasta 180 m, temperatura de salida 1500° ; el material crudo es precalentado a 800°C aprovechando los gases calientes provenientes del horno. En la última parte del recorrido el material entra en estado de clinkerización.
- molido del clinker: el clinker se presenta en forma de piedras porosas granu-
ladas que son molidas en molinos de bola.

COMPOSICION DE LOS OXIDOS DEL CLINKER DEL CEMENTO PORTLAND (%)

Oxido de calcio (C) ⁺	CaO	61 a 67
Dióxido de silicio (S) ⁺	SiO_2	20 a 27
Alúmina (A) ⁺	Al_2O_3	4 a 7
Oxido de hierro (F) ⁺	Fe_2O_3	2 a 4
Anhídrido sulfúrico	SO_3	1 a 3
Oxido de magnesio	MgO	1 a 5
Alcalis	K_2O y Na_2O	0,25 a 1,5

+ Símbolo abreviado

COMPUESTOS BASICOS DEL CEMENTO PORTLAND (% valores medios)

Componentes	Símbolo	Tipo de cemento (ver 1.1.)			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Silicato tricálcico	SC_3	50	56	30	43
Beta-silicato dicálcico	SC_2	25	15	46	36
Aluminato tricálcico	AC_3	12	12	5	4
Ferro-aluminato tetra-cálcico	FAC_4	8	8	13	12

Las letras simbolizan los siguientes elementos:

C = CaO

S = SiO_2

A = Al_2O_3

F = Fe_2O_3

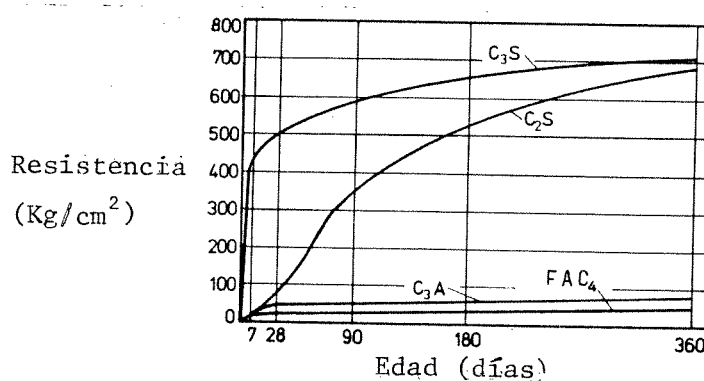


Figura 4 . Desarrollo de la resistencia de los componentes del clinker.

Requisitos para cementos según referencia 5 con una:

a) moderada capacidad de resistencia a los sulfatos: $AC_3 \leq 8\%$

b) alta capacidad de resistencia a los sulfatos: $AC_3 \leq 5\%$ y $FAC_4 + 2AC_3 \leq 20\%$

Propiedades de los componentes básicos a hidratarse (Ref. 3)

Componentes (ver 1.3.)	Velocidad 1) de hidratación	Calor	Cal/gr
SC ₃ silicato tricálcico	grande	fuerte	120
SC ₂ silicato dicálcico	pequeña	regular	62
AC ₃ aluminato tricálcico	casi instant.	muy elevado	207
FAC ₄ ferroaluminato tetracálcico	muy grande	regular	100

1) El yeso que se agrega en la fabricación del cemento modifica la velocidad de todos los componentes

Componentes	Resistencias		
	Mecánicas		Químicas
	inicial	a largo plazo	(Durabilidad)
SC ₃	grande	-----	aceptable
SC ₂	-----	grande	buena
AC ₃	pequeña	-----	escasa 2)
FAC ₄	negativa	negativa	elevada 3)

2) Frente a cloruros y sulfatos produce variación de volumen y de grietas.

3) Elevada frente a aguas salinas.

Influencia de los silicatos: Al reaccionar el SC₃ con el agua, se libera cal, la cual es sensible a la acción de las aguas ácidas, puras y carbónicas agresivas. SC₃ se hidrata rápidamente desprendiendo gran cantidad de calor.

SC₂ tiene características opuestas al SC₃, su reacción con el agua es lenta, produce menos calor de hidratación y libera menos cal.

Los contenidos sumados de SC₃ y SC₂ dan valores prácticamente constantes.

Influencia de los aluminatos: AC₃ es el primero en hidratarse (en las primeras 24 hs.). La incorporación de yeso evita que el fraguado sea casi instantáneo. Es muy vulnerable ante la presencia de los sulfatos que provocan una acción expansiva en detrimento de la cohesión de la pasta cementicia.

FAC₄ aporta muy poco a la resistencia del cemento y aparece como consecuencia de la necesidad de controlar el contenido de AC₃. Tiene características opuestas a aquel.

1.3. Otros cementos

Tipo	Contenido de Oxidos (%)		
	C = CaO	S = SiO ₂	A = Al ₂ O ₃
Cemento Pórtland normal (a)	65	25	5
Cemento de Escorias de Alto Horno	48	36	12
Cemento Aluminoso	33	6	63

Cemento puzolánico: compuesto por una mezcla de cemento de un clinker Pórtland y una puzolana natural o artificial (25 a 40%).

Puzolanas naturales: materiales silíceos o sílico-aluminosos de origen volcánico, capaces de reaccionar con la cal en presencia de agua, formando silicatos de calcio estables.

Puzolanas artificiales: escoria de alto horno, cenizas volantes (producidas por la combustión de carbón en usinas) y las arcillas activadas.

Cementos puzolánicos liberan menos cal al hidratarse y se consigue una real mejora frente a aguas que pudieran producir el fenómeno de lixiviación (proceso químico de disolución y arrastre de un sólido por un líquido) de la cal libre, pero su resistencia a los sulfatos puede ser menor que la del cemento Pórtland normal.

1.4. Normas IRAM de ensayos de cementos y componentes

1503 Cemento Pórtland normal

1504 Cemento Pórtland. Análisis químico (residuos insolubles).

1612 Cemento Pórtland. Método de determinación de la consistencia normal.

1614 Cemento Pórtland. Método de ensayo acelerado para pronosticar la resistencia a la compresión.

1616 Cemento Pórtland. Método de determinación del contenido de escorias granuladas de alto horno.

1619 Cemento Pórtland. Método de determinación del tiempo de fraguado.

1620 Cemento Pórtland. Método de determinación de la constancia de volumen mediante el ensayo en autoclave.

1621 Cemento Pórtland. Método de ensayo de finura por tamizado húmedo (residuo sobre tamiz 75 μ m - N° 200).

1622 Cemento Pórtland. Método de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión.

1623 Cemento Pórtland. Método de ensayo de finura por determinación de la superficie específica por permeametría (método de Blaine).

1643 Cementos. Muestreo (toma de muestras).

1668 Puzolanas. Características y muestreo.

2. AGREGADOS

En esta publicación se consideran solamente los agregados finos y gruesos de densidad normal, triturados o no, destinados a la elaboración de hormigones. Los agregados deben estar constituidos por partículas limpias y no deben contener sustancias perjudiciales en mayor cantidad que las especificadas.

PROPIEDADES: Composición mineralógica, resistencia mecánica, forma, tamaño, textura superficial, dureza, impermeabilidad, resistencia química (particularmente la reacción ante los álcalis del cemento).

2.1. Tipos de agregados naturales, provenientes de la roca

<u>Origen geológico</u>	<u>Descripción</u>
Igneos	<ul style="list-style-type: none"> - cristales de granos gruesos enfriados lentamente: granito diorita - cristales de granos finos enfriados rápidamente: basalto, riolita, andresita - sedimentos provenientes de actividad volcánica: cenizas y pómez
Sedimentarios	<ul style="list-style-type: none"> - depositados mecánicamente: <ul style="list-style-type: none"> a) no consolidados: grava, arena, limo, arcilla b) consolidados: arenisca, piedra limosa, pizarra - depositados químicamente: <ul style="list-style-type: none"> a) calcáreos caliza, dolomita, calcita, tosca b) silíceos ágata, ópalo, calcedonia
Metamórficos	<ul style="list-style-type: none"> - laminados: pizarra, gneis - masivos: mármol, cuarcita

DENSIDAD DE ALGUNOS AGREGADOS NATURALES (Ref. 1)

<u>Tipo</u>	<u>Densidad (kg/dm³)</u>
Piedra granítica	2,65 a 2,70
Canto rodado: Litoral	2,60
Río Tunuyán	2,57
Villa Mercedes	2,67
Arena natural: Río Paraná u Oriental	2,64 a 2,69

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa muestra seca}}{\text{masa muestra saturada} - \text{masa muestra sumergida}} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

2.2. Granulometría

Tamices IRAM

1. Aberturas según IRAM 1627

150 250 500 (μm) 1 2 4,75 8 13,2 19 26,5 37,5 53 63 (mm)

2. Aberturas según la serie suplementaria R 40/3 (Ref. 5)

150 300 600 (μm) 1,18 2,36 4,75 9,5 (13,2) 19 (26,5) 37,5 (53)
75 (mm)

Para la determinación del módulo de finura se utilizan diez tamices de la serie suplementaria R 40/3; las aberturas de los tamices entre paréntesis no se utilizan para la determinación del módulo granulométrico.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL: Es la abertura de la malla en mm del menor tamiz IRAM a través de la cual puede pasar el 95% o cifra inmediatamente superior, del peso del árido seco.

MODULO DE FINURA: Suma de los porcentajes retenidos acumulados de los diez tamices dividido por 100. Su valor numérico está comprendido entre 1 y 9. Valores usuales para arenas, aproximadamente entre 2 y 3 y para agregados gruesos entre 6 y 8.

Ensayos de laboratorio

Densidad de agregados = relación entre la masa de las partículas secas y el volumen correspondiente a las mismas, incluyendo la porosidad interna de las partículas.

Densidad aparente de los agregados = relación entre la masa de las partículas y el volumen del recipiente que las contiene (se diferencia material suelto y material compactado).

$$\text{Absorción: } A_b (\%) = \frac{G_s - G}{G} \cdot 100\%$$

G_s : peso de la muestra saturada y superficie seca

G : peso de la muestra seca

$$\text{Humedad: } H (\%) = \frac{G_H - G}{G} \cdot 100 \%$$

G_H : peso de la muestra húmeda

$$G = \frac{G_H}{1 + \frac{H}{100} (\%)}$$

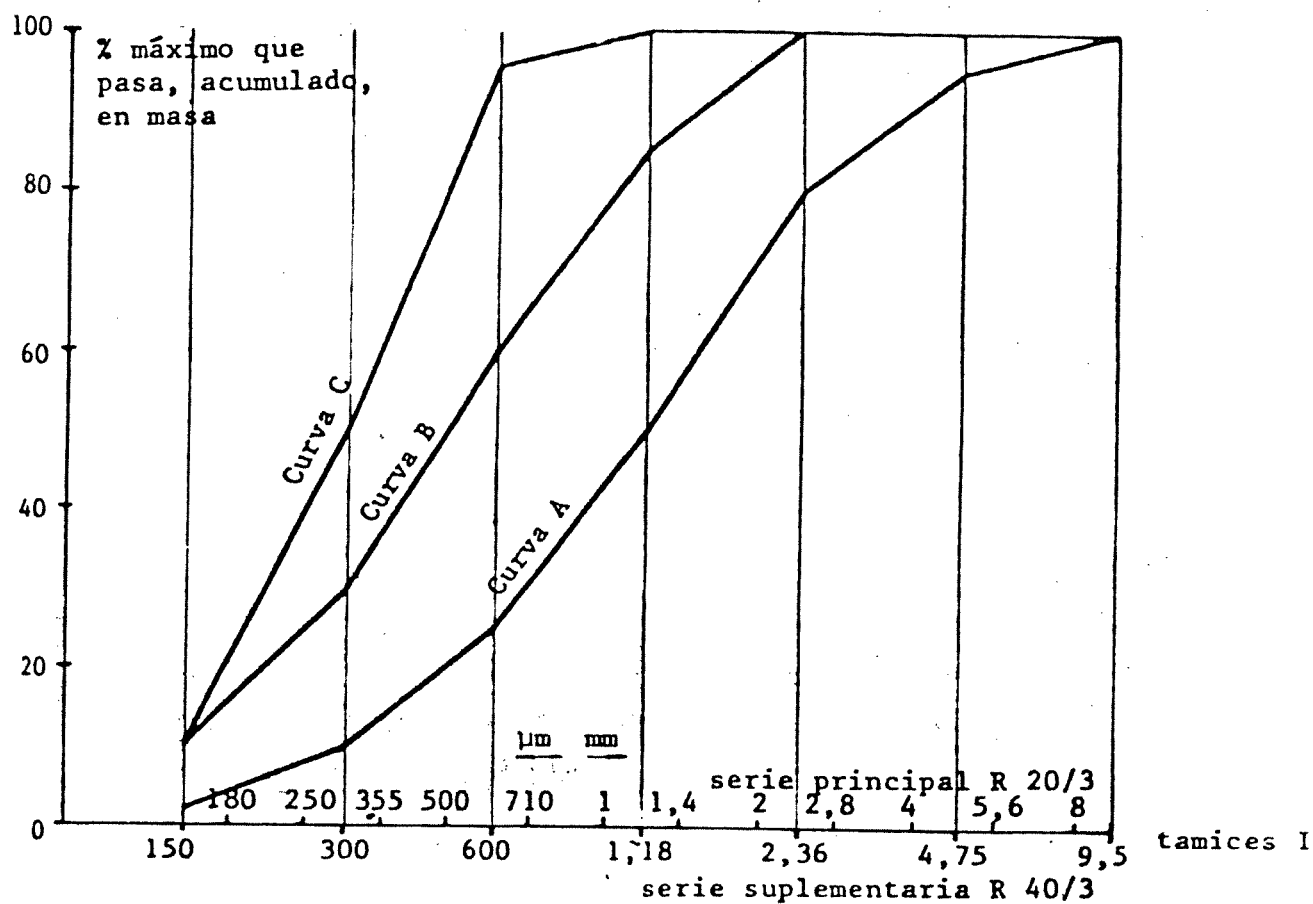
$$\text{Agua aportada por los agregados: } G_H - G = \frac{H (\%)}{100} G$$

2.3. Agregado fino

Normalmente se utilizarán arenas naturales de naturaleza silíceas. Arenas trituradas sólo pueden emplearse mezcladas con arenas naturales (módulo de finura entre 2,3 y 3,1 preferentemente).

LIMITE DE GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS NORMALES (S/NORMA IRAM 1627)

Diámetro máximo	Curvas de pesos acumulados que pasan (%)		
	A	B	C
9,50 (mm)	100	100	100
4,75	95	100	100
2,36	80	100	100
1,18	50	85	100
600 (µm)	25	60	95
300	10	30	50
150	2	10	10



SUSTANCIAS PERJUDICIALES (% MAXIMOS) (Ref. 5 y 7)

Partículas desmenuzables (Ref. 7)	1,0
Finos que pasan a través de tamiz IRAM	
75 µm (IRAM 1540)	
-- hormigones sometidos a desgaste superficial	3,0
-- otros hormigones	5,0
Materiales carbonosos:	
a) cuando interesa especialmente al aspecto superficial	0,5
b) otros casos	1,0

Total de otras sustancias perjudiciales

(sales solubles, mica)

1,0

Materia orgánica (IRAM 1512) índice colorimétrico < 500 p.p.m.

(< 500 mg/dm³)

Los agregados finos deben estar libres de sustancias que son reactivas con los álcalis del cemento.

La influencia del contenido de humedad en la densidad aparente de las arenas silíceas se muestra en la figura 6.

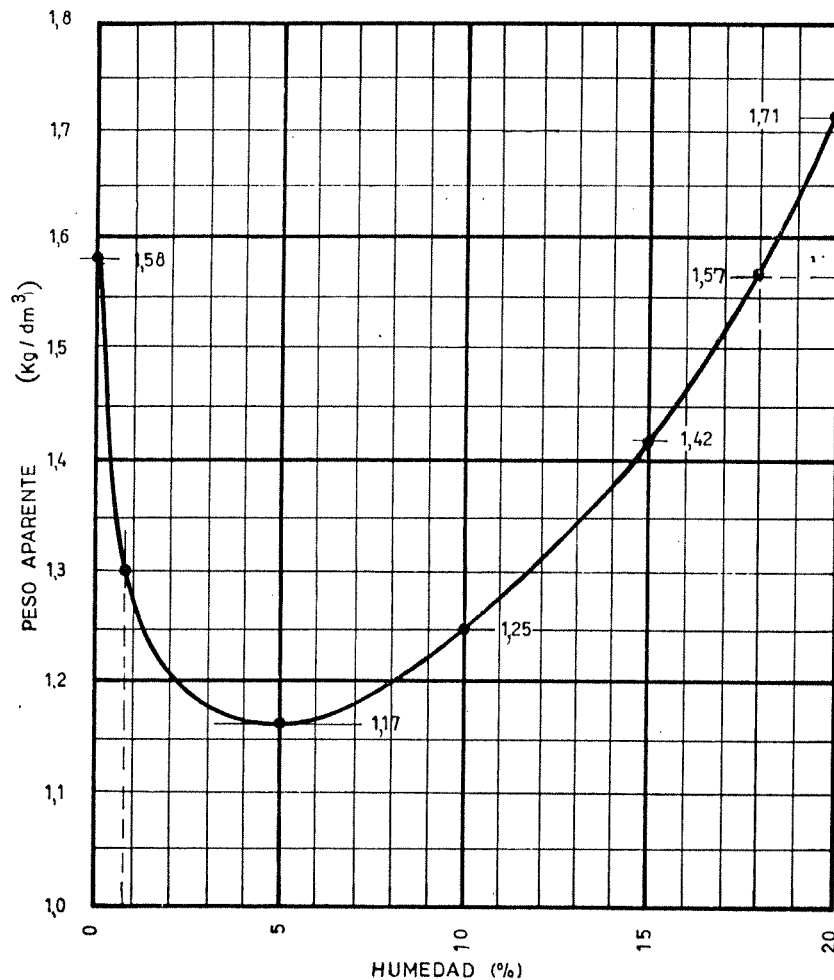


Figura 6. Masa aparente de arena en función de su humedad (Ref. 3).

HUMEDAD APROXIMADA DE AGREGADOS FINOS

Muy húmedo

$\geq 7,0 \%$

debe corregirse la cantidad de agua de amasado del hormigón

Poco húmedo

$\leq 2,0 \%$

2.4. Agregado grueso

El agregado grueso constituye la grava (canto rodado) y la piedra partida. Este debe estar bien graduado entre el tamiz IRAM 4,8 mm y el correspondiente a su tamaño máximo.

Límites de granulometría de los agregados gruesos normales (según norma IRAM 1627)

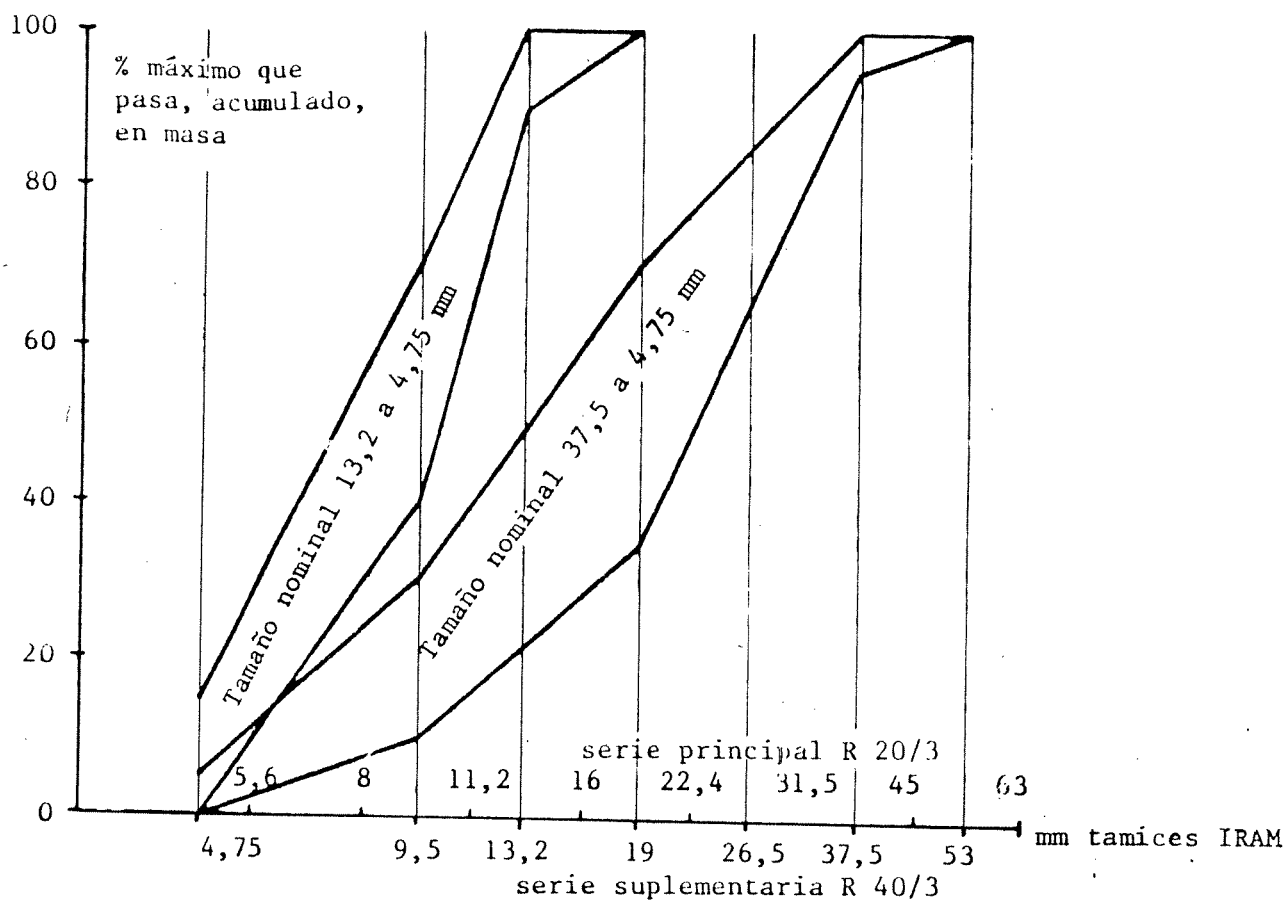
N°	Tamaño nominal	Curvas de pesos acumulados que pasan (%)							
		4,75	9,5	13,2	19	26,5	37,5	53	63
1	4,75/13,2	0-15	40-70	90-100	100				
2	4,75/19	0-10	20-55		90-100	100			
3	4,75/26,5	0-10		25-60		95-100	100		
4	4,75/37,5	0-5	10-30		35-70		95-100	100	
5	4,75/53	0-5		10-30		35-70		95-100	100
6	19/37,5		0-5		0-15	20-55	90-100	100	
7	26,5/53			0-5		0-15	35-70	90-100	100

En caso de tamaños nominales mayores o iguales a 37,5 mm el agregado grueso debe formarse por una mezcla de dos fracciones almacenadas separadamente. Si los ensayos lo comprueban pueden usarse en una sola fracción 4,75/37,5; si no deben usarse dos fracciones.

<u>Diámetro máximo nominal</u>	<u>Fracciones</u>
53 mm	4,75 a 26,5 mm y 26,5 a 53
37,5 mm	4,75 a 19 mm y 19 a 37,5

SUSTANCIAS PERJUDICIALES (% , límites máximos de masa de la muestra, Ref. 5 y 7)

Partículas desmenuzables (Ref. 7)	0,25
Partículas blandas (IRAM 1644)	5,0
Ftanita (chert) contenido como impureza (IRAM 1649)	5,0
Finos que pasan tamiz IRAM 75 μ m (IRAM 1540)	1,0



La suma de los porcentajes de sustancias perjudiciales no debe exceder de 5,0%. Los agregados gruesos deben estar libres de sustancias que sean reactivas con los álcalis del cemento. Otros requisitos son la estabilidad frente a una solución de sulfato de Sodio (IRAM 1525), la estabilidad de las rocas basálticas constatada por el ensayo de inmersión en etilén-glicol (Ref. 7), el desgaste Los Angeles (IRAM 1532) hasta un máximo de desgaste de 45% (Ref. 5) y el ensayo de durabilidad de los agregados por congelación y deshielo (IRAM 1526).

MASA APARENTE DE AGREGADOS GRUESOS (Kg/m^3)

Agregado grueso	canto rodado	piedra partida
hasta 9,5	1.540	1.250
hasta 12,5	1.560	1.270
hasta 19	1.600	1.310
hasta 25	1.630	1.350
hasta 38,5	1.680	1.400
hasta 50	1.710	1.450

2.5. Curvas límite de agregados totales (IRAM 1627)

En la figura 8 se ve el aspecto que presentan las granulometrías de acuerdo con las curvas límites A, B y C de los agregados totales representados en la figura 10. En las figuras 9, 10 y 11 se presentan las curvas granulométricas límite de los agregados totales con sus respectivos diámetros máximos nominales iguales a 19, 25,6 y 53 mm.

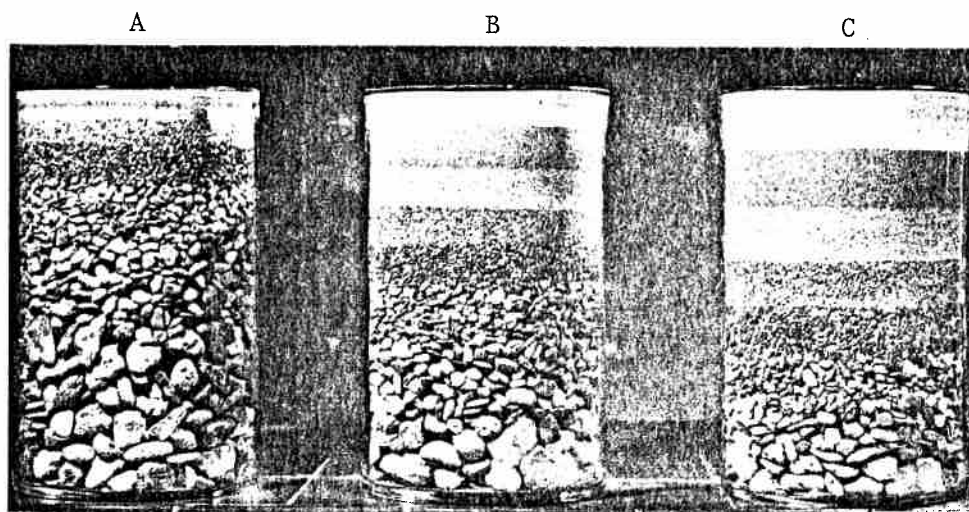


Figura 8. Granulometría de los agregados totales con diámetro máximo nominal de 26,5 mm de acuerdo con las curvas granulométricas integrales A, B y C (véase fig. 10).

2.6. Normas IRAM sobre agregados

- 1501 Tamices de ensayo.
- 1505 Agregados. Análisis granulométrico.
- 1509 Agregados para hormigones.
- 1512 Agregado fino natural para hormigón de Cemento Pórtland (materias orgánicas, carbonosas, terrones de arcilla).
- 1520 Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa, densidad relativa aparente y absorción de agua.
- 1525 Agregados. Método de ensayo de durabilidad por ataque con sulfato de sodio.
- 1526 Ensayo de durabilidad de los agregados por congelación y deshielo.
- 1531 Agregados gruesos para hormigones de cemento Pórtland.
- 1532 Método de ensayo de los agregados gruesos con la máquina "Los Angeles".
- 1533 Agregados gruesos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.

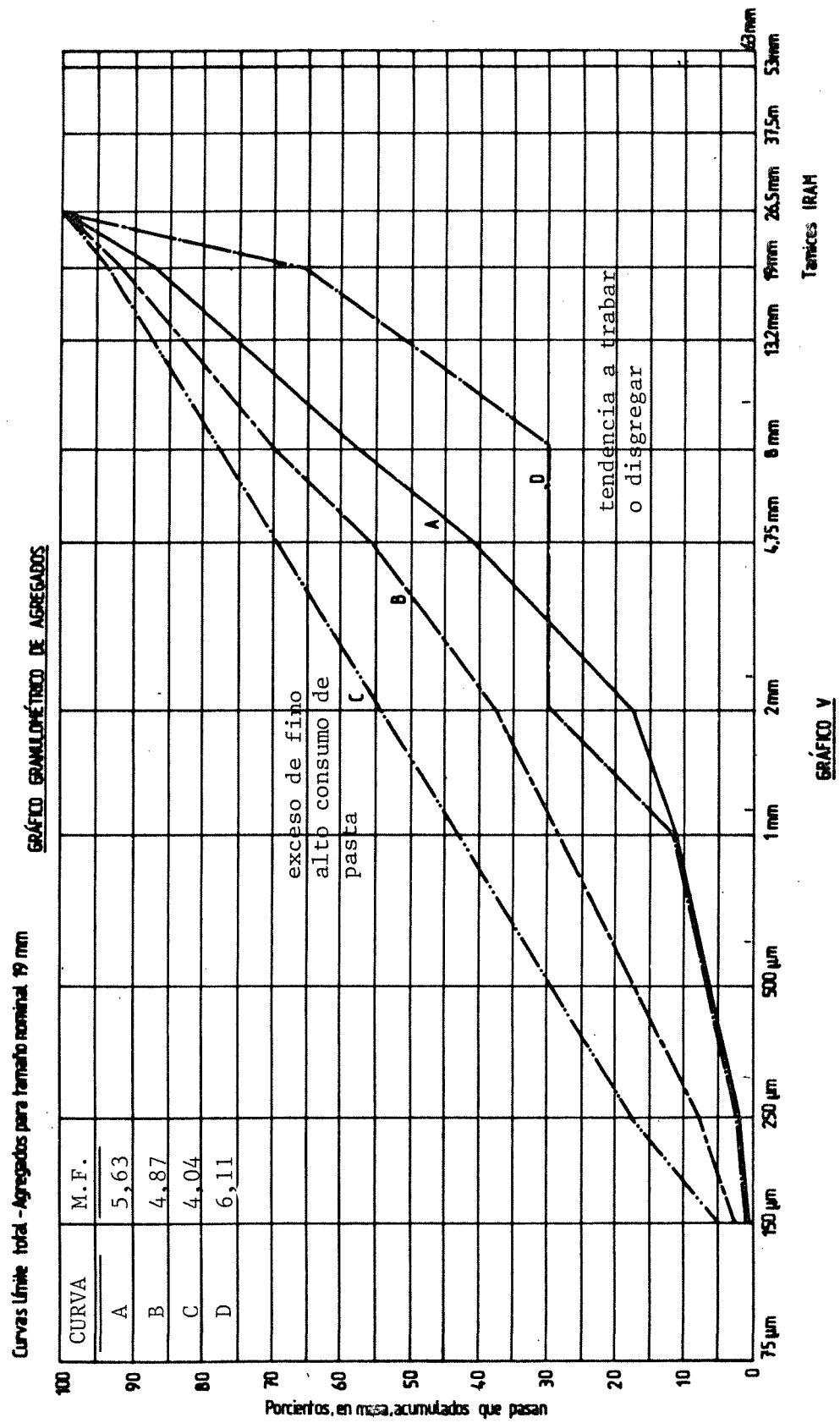


Figura 9. Granulometría total para diámetro nominal 19 mm.

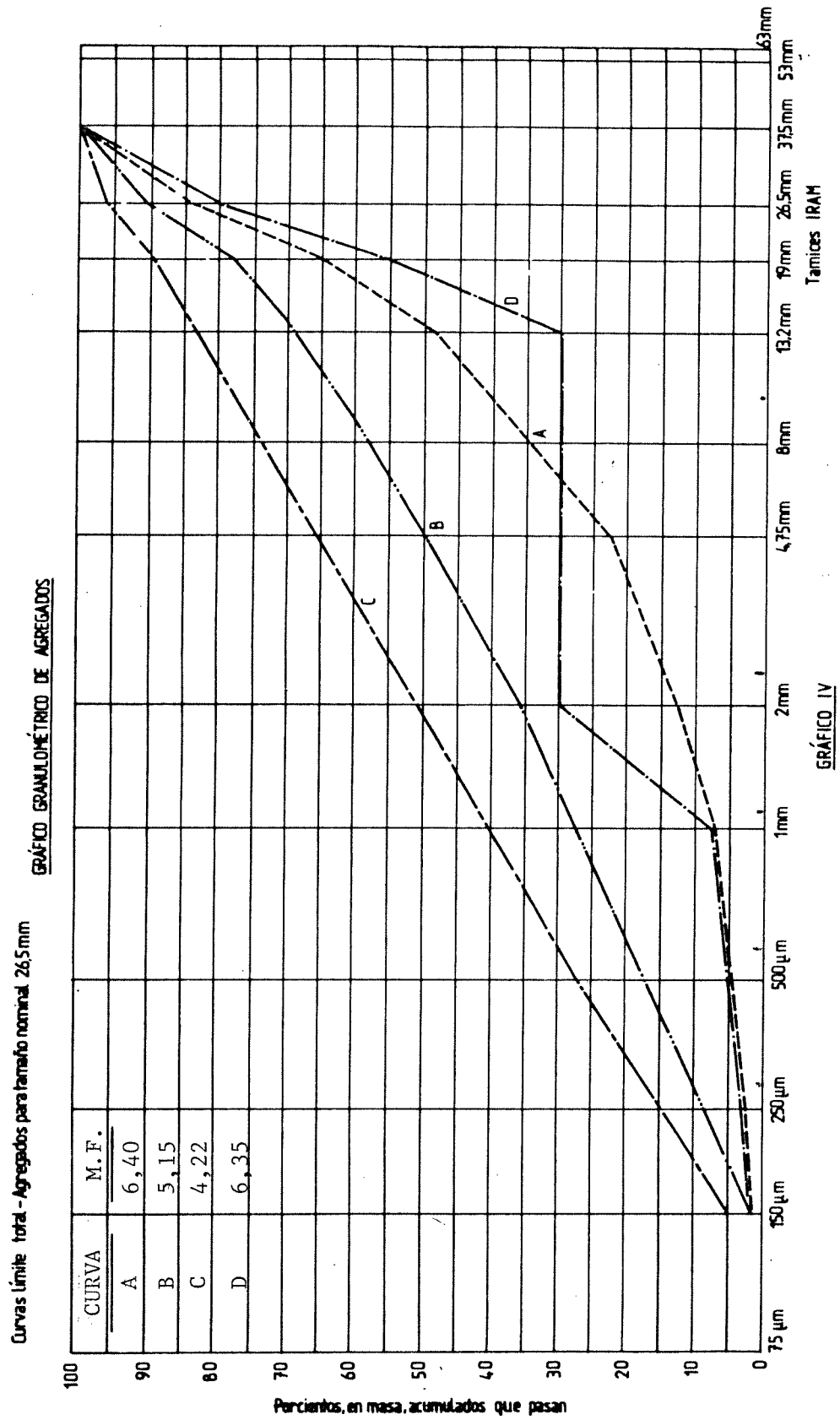


Figura 10. Granulometría total para diámetro nominal 26,5 mm.

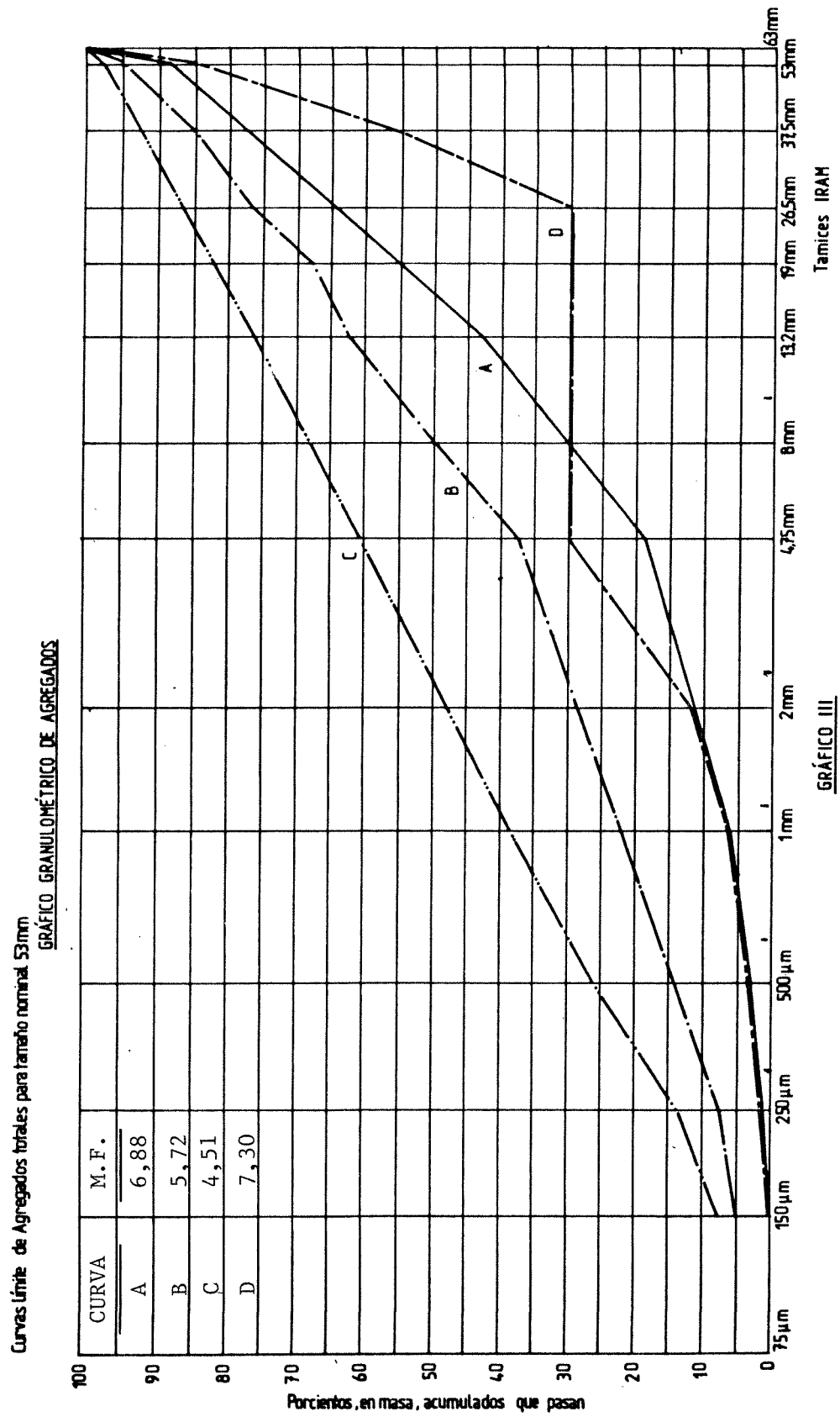


Figura 11. Granulometría total para diámetro nominal 53 mm.

- 1540 Agregados. Material que pasa a través del tamiz IRAM 75 μ m.
- 1627 Granulometría de agregados para hormigones.
- 1644 Agregados gruesos para hormigones. Método de ensayo de partículas blandas.
- 1649 Agregados para hormigones. Examen petrográfico.
- 1655 Escoria granulada de alto horno. Métodos de ensayos.
- 1657 Agregados finos para hormigones de cemento Pórtland. Método de ensayo de la resistencia estructural.
- 1667 Escoria granulada de alto horno. Características.
- 1682 Agregados finos. Método de determinación del equivalente arena.

3. AGUA

El agua para el amasado de morteros y de hormigones de cemento Pórtland, como asimismo para el curado del hormigón debe ser clara, libre de glúcidos (azúcares), aceites u otras sustancias que pueden producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia o la durabilidad del hormigón sobre las armaduras. En general, y sin que ello implique excluir la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, podrán considerarse usable las aguas potables.

3.1. <u>Componentes perjudiciales</u> (Ref. 2)	<u>Límites máximos</u>
Contenido máximo de material orgánico (expresado en oxígeno consumido)	3 mg/l
Residuos sólidos (la parte que se saca por filtración, previo secado a 120°/130°C)	5 g/l
Sulfatos (expresados en ión SO_4^{--})	< 0,6 g/l
Cloruros (expresados en ión Cl^-)	< 1 g/l
Hierro (expresado en ión férrico Fe^{+++})	1 ppm
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total expresada en CO_3 HNa)	< 1 g/l
pH	5,8 a 8,0

3.2. Relación Agua-Cemento (a/c):

La relación a/c debe fijarse o bien por el requerimiento de resistencia (ver la figura 15 y el artículo 7) o por razones de durabilidad (ver el artículo 3.4.).

Normalmente, la relación está comprendida entre los valores 0,4 y 0,7. La relación a/c influye en el secado (Figura 12), absorción de agua (Figura 13) por su efecto en la porosidad de la pasta de cemento. Esta porosidad (Figura 14) afecta tanto la resistencia como la permeabilidad del hormigón.

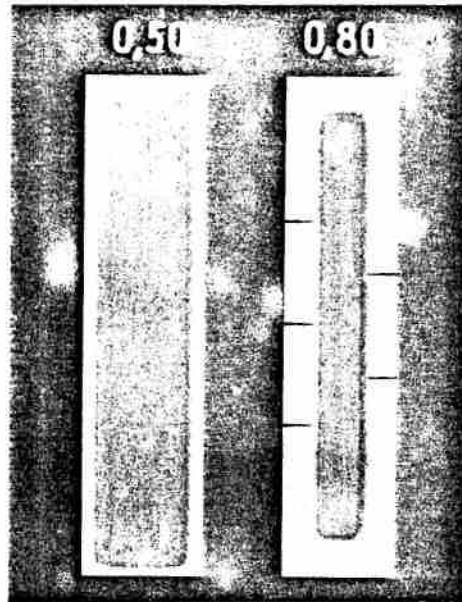


Figura 12. Influencia del coeficiente agua/cemento en el secado de prismas de pasta de cemento endurecido a tiempo constante.

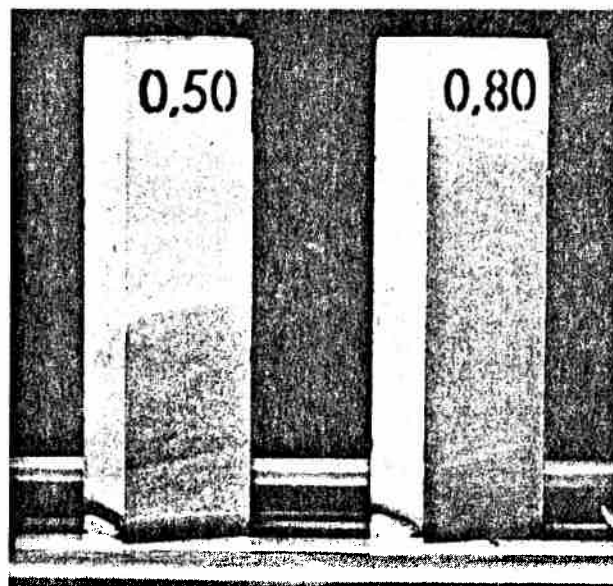


Figura 13. Absorción de agua de prismas de pasta de cemento endurecido en función del coeficiente de agua/cemento.

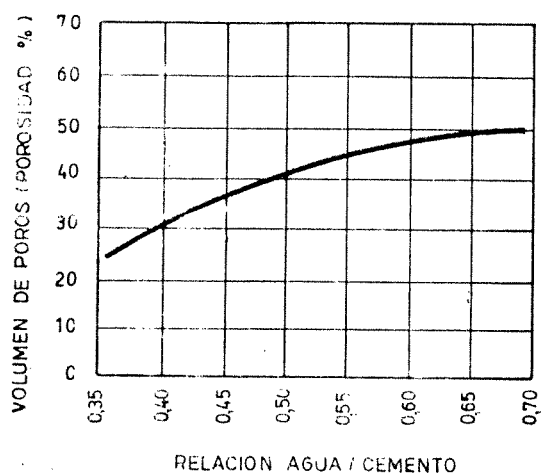


Figura 14. Volumen de poros en función del factor agua/cemento (Ref. 3).

3.3. Requerimientos aproximados de agua en litros/m³ de hormigón fresco para partículas angulosas (ver también Figura 15)

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Arena f-fina (MF < 2) m-mediana (2. < MF < 3)	Cantidad de agua (+ 5 litros)		
		Ambito de consistencia (Asentamiento)		
		A - 1 (1 a 4,5 cm)	A - 2 (5 a 9,5 cm)	A - 3 (10 a 15 cm)
9,5	f	205	215	225
	m	195	205	215
13,2	f	195	205	215
	m	185	195	205
19,0	f	185	195	205
	m	175	185	195
26,5	f	175	185	195
	m	165	175	185
37,5	m	155	165	175
53,0	m	145	155	165

Las cantidades de agua corresponden a agregados secos. De acuerdo con el tipo de agregado (partículas redondas, forma de la curva granulométrica) y su humedad, deben efectuarse los ajustes de la cantidad de agua en más o en menos.

3.4. Máximas razones agua/cemento especificadas por razones de durabilidad o por otros motivos (Tabla 7, CIRSOC 201)

Hormigones de densidad normal Condición de exposición	Máxima razón agua/cemento, en masa
1- Frecuente o continuamente humedecido y expuesto a los efectos de la congelación y deshielo	
- Secciones de espesor menor de 500 mm o con recubrimientos libres de las armaduras menores de 25 mm, y todo hormigón expuesto a la acción de sales descongelantes	0,45 (1)
- Todo otro tipo de estructuras	0,50 (2)
2- Estructuras expuestas al aire, a la intemperie. Clima lluvioso o semi-árido. Sólo por excepción temperaturas debajo de 0°C.	0,53
3- Cisternas y depósitos para agua, conductos, tuberías y toda estructura que deba resultar impermeable y esté destinada a contener agua o soluciones acuosas no agresivas:	
- espesores de 100 a 400 mm	0,48
- espesores mayores	0,53
4- Fundaciones de hormigón armado o pretensado y otras estructuras enterradas en contacto con:	
- aguas o suelos húmedos, no agresivos	0,50
- agua de mar	0,45 (3)
5- Estructuras en ambientes cerrados con frecuentes contactos con aire muy húmedo y fuertes condensaciones a temperatura ambiente (cocinas industriales, baños públicos, lavaderos, ambientes húmedos de natatorios y establos).	0,53

1	2
Hormigones de densidad normal	Máxima razón
Condición de exposición (cont.)	agua/cemento, en masa
6- En contacto con sulfatos solubles en agua:	
- ataque débil o moderado. Concentraciones de sulfatos (como $\text{SO}_4^{=}$), en muestras de suelos, comprendidas entre 0,10 y 0,20 % en masa (1 000 y 2 000 mg/kg), o entre 200 y 1 500 p.p.m. (mg/l).*	0,50 (3)
- Ataque fuerte, ídem, en muestras de suelos comprendidos entre 0,20 y 2,0 % en masa (2 000 y 20 000 mg/kg), o entre 1 500 y 10 000 p.p.m. (mg/l) en muestras de agua.	0,45 (4)
- Ataque muy fuerte. Idem, en muestras de suelos mayores de 2,00 % (20 000 mg/kg) o de 10 000 p.p.m. (mg/l) en muestras de agua.	0,45 (5)
7- En contacto con otras sustancias o líquidos químicamente agresivos (agresión ácida, etc.)	0,40 (6)
8- Hormigón colocado bajo agua mediante el método de tolva y tubería vertical.	0,45

- (1) y (2) Hormigón con aire intencionalmente incorporado en su masa.
- (3) Cemento pórtland. Contenido máximo de AC_3 menor del 8,0 %.
- (4) Cemento pórtland. Contenido máximo de AC_3 menor del 5,0 %.
- (5) Se empleará cemento pórtland de la característica indicada en (4) más una puzolana que, en ensayos antes realizados, haya demostrado que es capaz de mejorar la resistencia del hormigón que contiene el cemento indicado, frente al ataque de los sulfatos.
- (6) En general, el hormigón no tiene condiciones para resistir una agresión ácida. Si el ataque es débil o intermitente, un hormigón denso de máxima razón agua/cemento 0,40 estará en mejores condiciones para resistir la agresión. La estructura deberá ser protegida mediante una membrana, película o material impermeable, capaz de resistir la agresión.

* en muestras de agua

[edad 28 días]

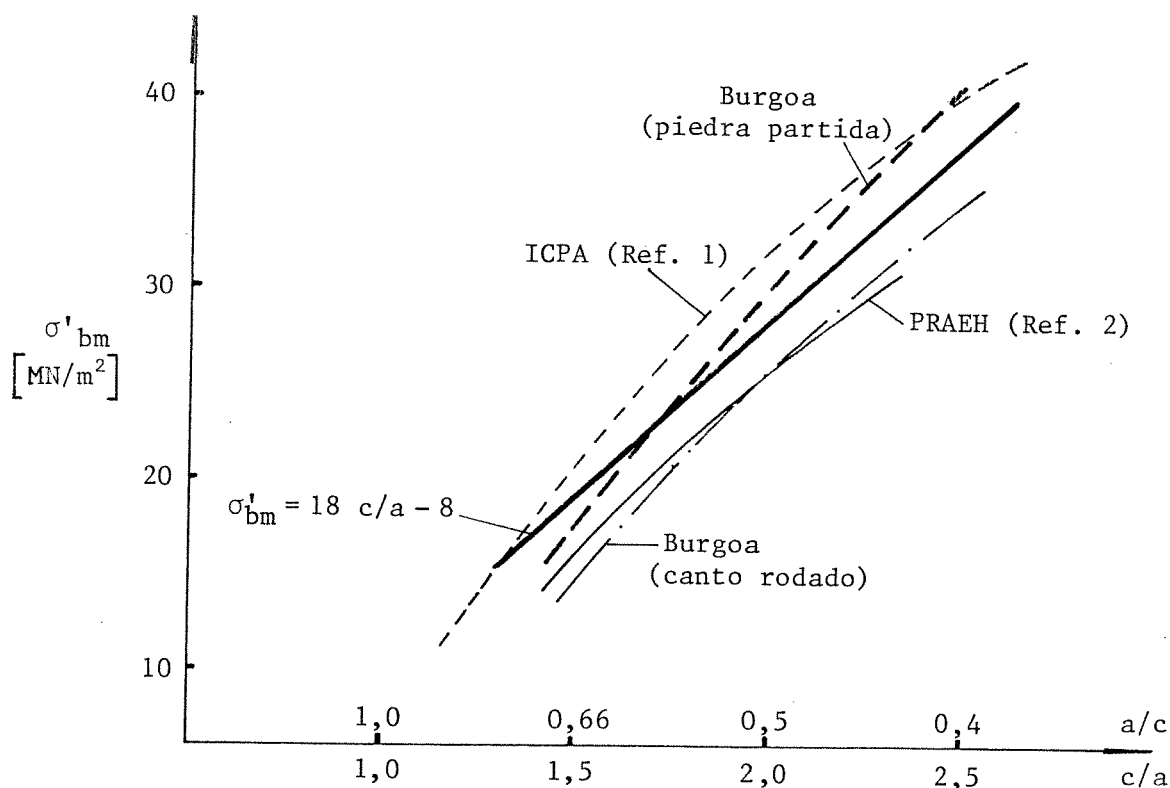


Figura 15. Relación entre la resistencia media y agua/cemento

Norma IRAM 1601: Agua para morteros y hormigones de cemento Pórtland.

4. ADICIONES

En determinados casos puede ser conveniente o necesaria la inclusión de materiales adicionales en forma pulverulenta, como materiales inertes, puzolánicos, cenizas volantes, pigmentos colorantes, etc. En todas las aplicaciones se deben asegurar un asesoramiento técnico competente y responsable sobre el uso del producto y es requisito controlar la calidad del hormigón elaborado. Siempre es conveniente realizar previamente a la aplicación ensayos de aptitud.

Cuando se emplean adiciones deben respetarse las siguientes recomendaciones para partículas superfinas. En éstas se considera incluido también el cemento. Las partículas superfinas no son consideradas como fracción del agregado total.

Recomendaciones límites para partículas superfinas (contenido que pasa tamiz 300 μm , Ref. 5)

<u>Agregado grueso</u> <u>Diámetro máximo</u>	<u>Cemento + partículas</u> <u>superfinas (Kg/m^3)</u>
13,2	480
19	440
26,5	410
37,5	380
53	350

Norma IRAM 1668. Puzolanas. Características y muestreo.

5. ADITIVOS

El empleo de aditivos puede ser necesario cuando el hormigón deba tener cualidades especiales. Los aditivos se deben agregar siempre en forma líquida al agua y deben medirse rigurosamente, ya que cantidades en menos no lograrán el efecto buscado y cantidades en más pueden resultar muy dañinas. Valen las mismas consideraciones sobre un asesoramiento técnico competente como en el caso de adiciones.

5.1. Incorporadores de aire (productos aireantes)

El contenido total de aire incorporado al hormigón de peso normal debe estar comprendido dentro de los siguientes límites (Ref. 5).

<u>Tamaño máximo del</u> <u>agregado grueso</u>	<u>13,2</u>	<u>19</u>	<u>26,5</u>	<u>37,5</u>	<u>53</u>
<u>aire incorporado:</u>					
- en %	$7 \pm 1,5$	$6 \pm 1,5$	5 ± 1	$4,5 \pm 1$	4 ± 1
- en volumen de hormigón (dm^3/m^3)	70	60	50	45	40

5.2. Aceleradores

Es aconsejable usar aceleradores de frague de reconocidas marcas, que preferentemente no contengan cloruros. El empleo de cloruro de calcio (máximo 1,5% del peso del cemento) como acelerador de la resistencia del hormigón de cemento Pórtland es permitido solamente en las estructuras de hormigón simple o de hormigón armado. Su uso está prohibido en las de hormigón pretensado. Además

deben cumplirse las siguientes condiciones: el conjunto cemento-áridos, no debe ser potencialmente reactivo; el hormigón no estará expuesto a la acción agresiva de sulfatos y en el hormigón no deben incluirse tuberías de acero para conducir fluidos u otro material que sea susceptible a la acción corrosiva de los cloruros.

5.3. Retardadores, Plastificantes, Fluidificantes y Superplastificantes

Sólo deben emplearse productos de reconocidas marcas. Se requiere asesoramiento técnico competente y responsable sobre el uso del producto y es requisito controlar la calidad del hormigón elaborado. Algunos productos actúan también como incorporadores de aire.

Norma IRAM 1663. Aditivos para hormigones.

6. HORMIGON

El hormigón de cemento Pórtland está formado por una mezcla homogénea de cemento Pórtland, agregados y agua. Puede contener también adiciones y aditivos para lograr determinadas propiedades, que deben ser empleadas con el debido asesoramiento técnico y con la adopción del máximo de precauciones.

6.1. Clasificación de hormigones (Ref. 5)

Tipo	Clase	Resistencia MN/m ²		para uso en
		Caract. σ'_{bk}	prom. de serie	
H I	H-4	4	7,0	Hormigón simple
	H-8	8	12,0	
	H-13	13	17,5	Hormigón simple y armado
	H-17	17	21,5	
H II	H-21	21	26,0	Hormigón armado y pretensado
	H-30	30	35,0	
	H-38	38	43,0	(pretesado mín. H-30)
	H-47	47	52,0	

6.2. Composición del hormigón

Estudios previos

- a) Materiales componentes: con suficiente anticipación a su uso se encaran los ensayos necesarios de los mismos. Estos deben repetirse cuando:
- llegan nuevas partidas a la obra
 - cambian las fuentes de abastecimiento
 - se observan anomalías en los resultados de ensayo de los materiales o del hormigón.
- b) Hormigón:
- dosificación por un método racional (ver el artículo 7)
 - confección de pastones de prueba
 - verificación de la fórmula tipo
 - preparación de pastones de prueba en escala de obra (fórmula de obra)

Puede prescindirse de los estudios y ensayos previos si se emplea hormigón elaborado (y el Productor dispone de los mismos) o si el Constructor dispone de los antecedentes de estudios realizados en las mismas condiciones (equipo, materiales, composición, etc.).

Contenido unitario de cemento

En general, la cantidad de cemento debe ser la necesaria para obtener mezclas compactas de resistencia, trabajabilidad y durabilidad adecuada. A continuación se indican valores recomendados de contenidos de cemento para hormigones normales (Ref. 2 y 5). Para hormigones de características y propiedades especiales se dan indicaciones en 6.5.

- | | |
|-----------------------|---|
| 250 Kg/m ³ | Estructuras de hormigón simple con agregados gruesos de tamaño nominal hasta 53. |
| 270 Kg/m ³ | Estructuras corrientes de hormigón armado no expuestas a la acción de la humedad, intemperie, ni de un medio agresivo. |
| 350 Kg/m ³ | Superestructuras de puentes y otras estructuras no protegidas contra la acción de la intemperie ni de la humedad. Depósitos para agua, cisternas, conductos, etc. |
| 500 Kg/m ³ | Contenido máximo de cemento, salvo en casos debidamente justificados y estructuras prefabricadas. |

Proporciones empíricas

Las proporciones empíricas no son recomendables ni económicas.

Contenido mínimo de cemento normal para proporciones empíricas (Ref. 5)

Mínimo contenido unitario (Kg/m³)

Tipo hormigón	A - 1	A - 2	A - 3
H-I	(1 - 4,5 cm)	(5 - 9,5 cm)	(10 - 15 cm)
H-4	180	200	—
H-8	230	250	290
H-13	290	320	360
H-17	310	340	380

Diámetro máximo de agregado 26,5

10% reducción para cemento de alta resistencia inicial

10% reducción si el diámetro máximo del agregado es 53 mm

10% aumento si el diámetro máximo del agregado es menor de 13,2 mm

10% aumento si la curva granulométrica de la arena está entre límites B y C

Agregados:

Diámetro máximo (mm)	Masa arena (% del agregado total)
13,2 a 26,5	50 a 40
26,5 a 53	42 a 34

Agua: el mínimo indispensable para obtener la consistencia necesaria (asentamiento máximo del cono 15 cm).

El contenido de cemento y la calidad de pasta de cemento influyen en la resistencia del hormigón (Figura 16).

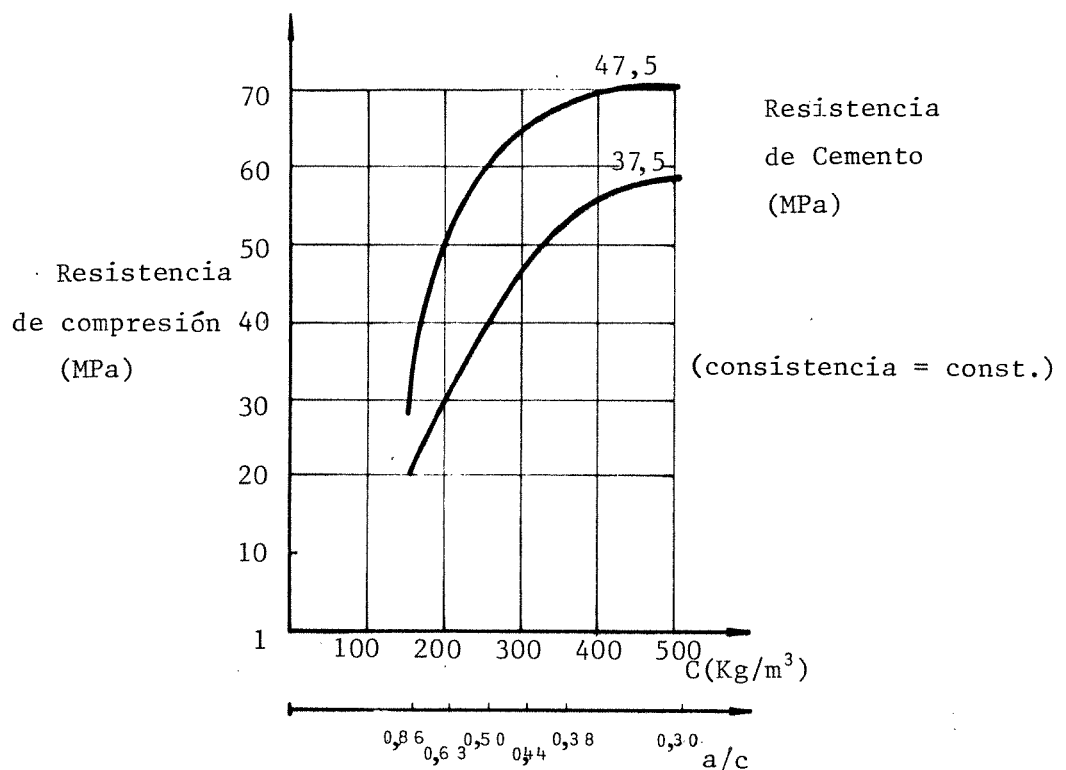


Figura 16. Resistencia a compresión del hormigón en función del contenido de cemento y de la resistencia del mismo.

Tamaño máximo del agregado

El hormigón se deberá poder colocar sin dificultades dentro de los encofrados sin que queden espacios vacíos.

Debe estar asegurada la máxima compacidad del hormigón y el recubrimiento completo de las armaduras.

Consecuentemente, el tamaño máximo debe ser menor que $3/4$ ($2/3$ en columnas) de la mínima separación horizontal o vertical libre entre barras o grupos de barras paralelas en contacto directo o del mínimo recubrimiento libre de las armaduras. Además debe ser menor que $1/5$ de la menor dimensión estructural.

En las aplicaciones corrientes resulta satisfactorio un tamaño máximo de 19 mm para los casos de más difícil colocación y 26,5 mm de fácil colocación.

Preparación del hormigón

Se recomienda la medición de todos los materiales componentes del hormigón en peso. Si esto no fuese factible, debe medirse indefectiblemente el cemento en peso y los otros componentes por volumen. Se llama la atención sobre el hecho de que la medición de los agregados, especialmente de los finos, realizados en volumen aparente de material suelto puede conducir a variaciones importantes debido a su contenido de humedad (Figura 6).

Mezclado:

Orden de introducción al tambor (referencia 9)

- 1° cemento y el agregado fino
- 2° parte del agua de mezclado
- 3° el grueso
- 4° el resto del agua de mezclado

En hormigoneras pequeñas (peritas) resulta mejor intercambiar el orden del 1° y 3° paso.

Si es necesario corregir la consistencia, de poco monto (< 5 cm) se debe efectuar simultáneamente la corrección de la cantidad de cemento y del agua para mantener el factor agua-cemento constante.

Duración del mezclado: mínimo 1 1/2 minutos (1 minuto, si los resultados justifican este valor) contados a partir del momento en que hayan ingresado todos los materiales sólidos.

Máximo intervalo de tiempo entre mezclado y colocación: 1/2 hora contada desde el momento en que el agua se puso en contacto con el cemento.

Temperatura del hormigón

Temperatura máxima de hormigón 30°C

Temperatura mínima del hormigón (°C)

Temperatura del aire °C	Dimensión mínima (cm)			
	<30	30 a 90	90 a 180	>180
- 1° a 7°	16°	13°	10°	7°
- 18° a - 1°	18°	16°	13°	10°
- 18°	21°	18°	16°	13°

6.3. Propiedades del hormigón frescoConsistencia

La consistencia a elegir depende fundamentalmente de la dificultad del hormigonado y de los medios de colocación y compactación disponibles. No se debería producir ni segregación de los agregados, ni acumulación de excesos de agua o lechada sobre la superficie libre del hormigón. La consistencia es una medida del grado de fluidez de la mezcla fresca.

La consistencia se mide corrientemente mediante el ensayo de asentamiento del tronco cono (norma IRAM 1 536) .

Dos mezclas de la misma consistencia no son necesariamente igualmente trabajables. Sin embargo la consistencia es una de las componentes más importantes que determina la trabajabilidad de una mezcla.

Asentamiento del tronco cono y métodos de compactación recomendados

Estas recomendaciones no son válidas para elementos inclinados de simple encofrado como rampas, bóvedas, losas inclinadas, etc.

<u>Ambito de consistencia</u>	<u>Aspecto del hormigón fresco</u>	<u>Gama de asentamiento (cm)</u>	<u>Método de compactación</u>
A - 1 Hormigón seco	todavía suelto y sin cohesión	1,0 a 4,5	Vibración potente, apisonado enérgico en capas delgadas
A - 2 Hormigón plástico	levemente cohesivo	5,0 a 9,5	Vibración normal, varillado y apisonado
A - 3 Hormigón blando	levemente fluido	10,0 a 15,0	vibración leve, varillado
A - 4* Hormigón superfluidificado	fluido	15,5 a 22,0	muy leve y cuidadosa vibración, varillado

* El ámbito de consistencia A - 4 es admisible solamente para los hormigones que contienen un aditivo superfluidificante.

Tolerancia en los asentamientos: hasta 7 cm: $\pm 1,5$ cm

mayor de 7 cm: $\pm 2,5$ cm

Resumen de la ejecución del ensayo con el tronco de cono

Equipo: Molde en forma de cono de chapa, varilla compactadora de 16 mm de diámetro de acero redondo liso, con punta redondeada y de 60 cm de longitud.

- Ensayo: 1) La muestra a controlar se remezcla en un canasto con cuchara.
- 2) Colocar el tronco de cono sobre una superficie lisa, plana y no absorbente y mantenerlo afirmado contra el piso.
- 3) Llenado del tronco de cono en tres capas iguales, compactado con la varilla mediante 25 golpes enérgicos para cada capa, que atraviesan la capa a compactar sin penetrar en la inferior.

- 4) Enrasar con cuchara, dejando la superficie del hormigón lisa.
- 5) Levantar cuidadosamente y en forma pareja el molde.
- 6) Medir el asentamiento con 1/2 cm de precisión por el descenso con referencia a la altura del molde.

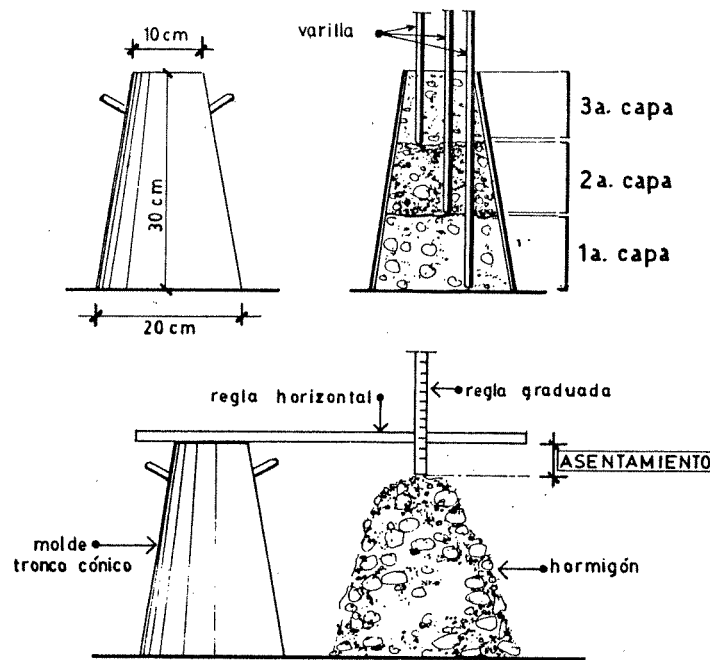


Figura 17. Ensayo de consistencia con tronco de cono (Ref. 4).

Apreciación de la trabajabilidad

Golpeando la masa de hormigón (después del ensayo con el tronco de cono) con la varilla lateralmente se observa el grado de cohesión. A mayor cohesión se tiene una menor probabilidad de segregación.

Aplicando la cuchara sobre la superficie se verifica si la mezcla contiene suficiente mortero como para permitir una terminación cerrada. La presencia de agua libre indica la insuficiencia de agregado fino que la retenga o mala graduación del mismo.

6.4. Propiedades del hormigón

La clasificación de los hormigones se realizó según determinadas resistencias características (ver 6.1.). La figura 18 muestra un corte de dos hormigones de igual contenido de cemento pero distintas granulometrías.

La resistencia del hormigón se determina mediante ensayos de probetas cilíndricas normales de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, moldeadas y curadas de acuerdo con la Norma IRAM 1524. El ensayo a compresión se realiza hasta la rotura según lo establecido por la Norma IRAM 1546.

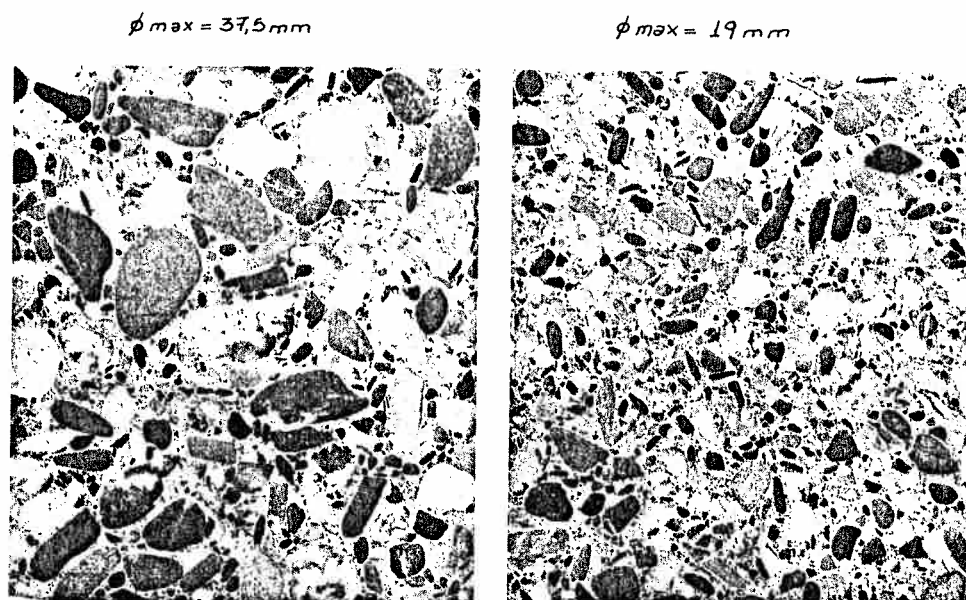


Figura 18. Corte del hormigón con 3.00 Kg/m^3 de cemento, granulometría de los agregados de acuerdo con las zonas óptimas de las curvas granulométricas integrales (véase 1.2.5.) y A/C = 0,55.

Desarrollo de la resistencia del hormigón

Las figuras 19, 20 y 21 muestran la influencia del curado, de la temperatura y la edad y tipo de cemento en el desarrollo de la resistencia a compresión del hormigón.

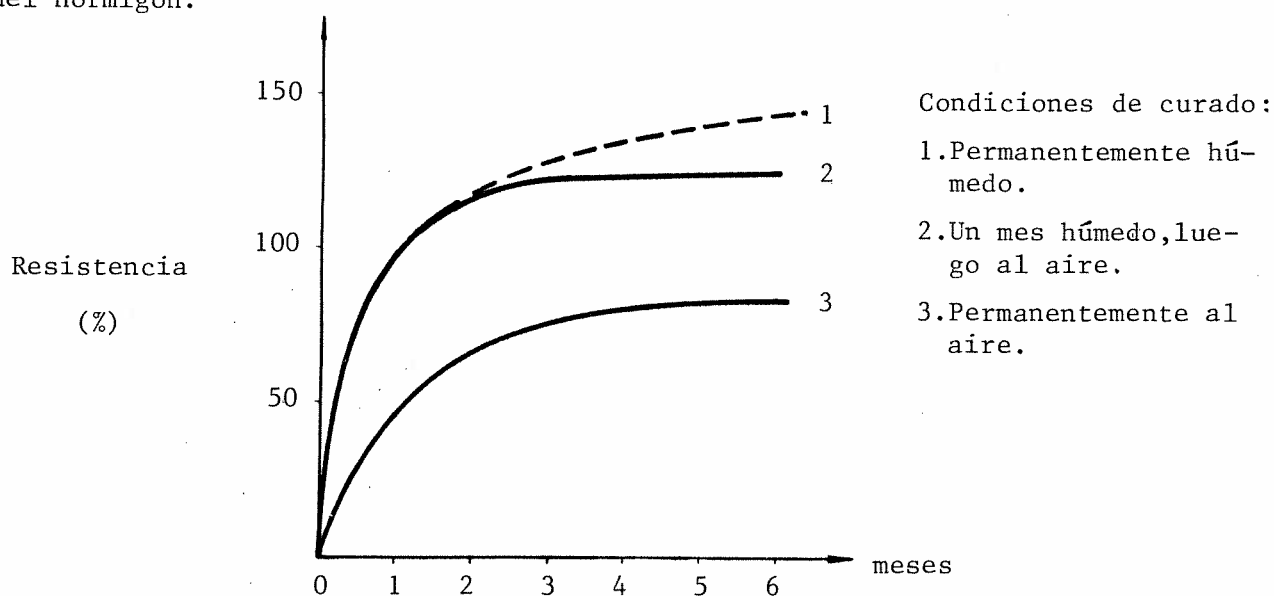


Figura 19. Influencia de las condiciones de curado.

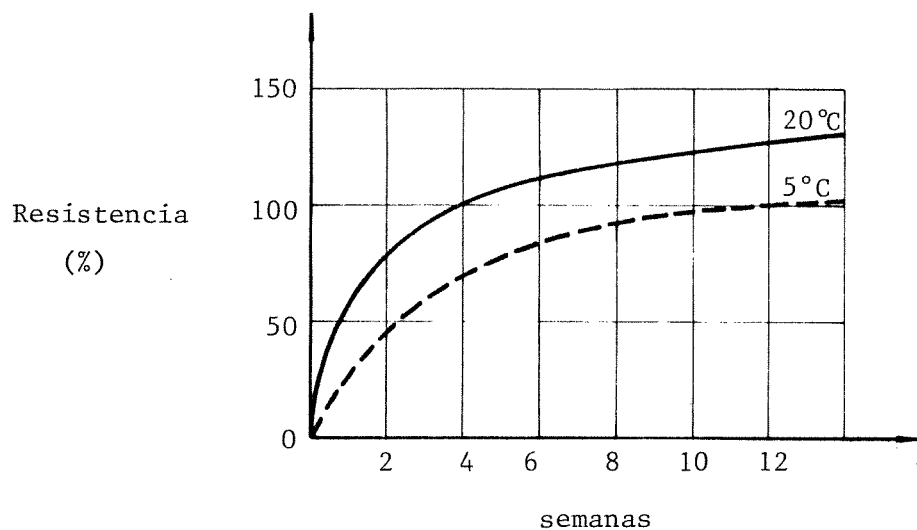
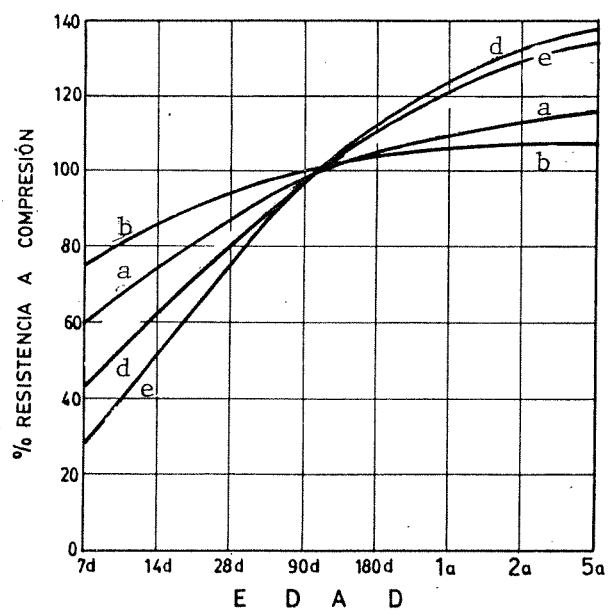


Figura 20. Influencia de la temperatura.



Tipos de cemento

normal (a)

alta resistencia inicial (b)

alta resistencia a los sulfatos (d)

bajo calor de hidratación (e)

Figura 21. Influencia de la edad y tipo de cemento.

Otras propiedades del hormigón

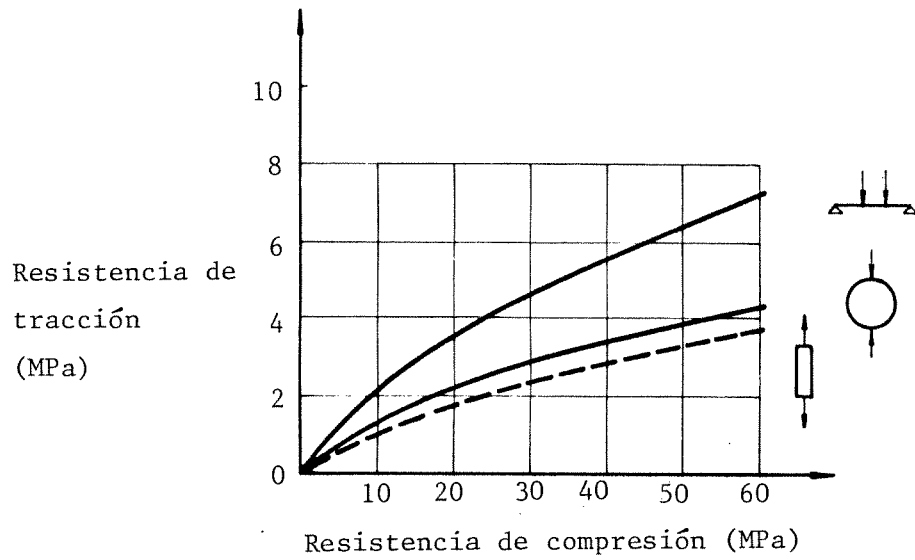


Figura 22. Relación de las resistencias a tracción y a compresión del hormigón.

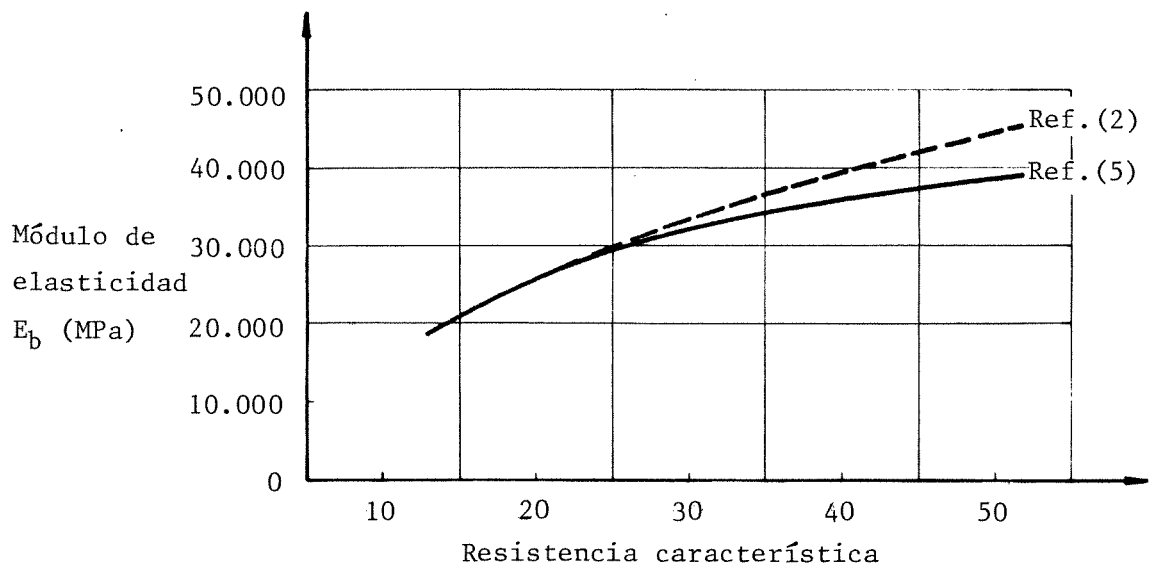


Figura 23. Módulo de elasticidad instantáneo en función de la resistencia.

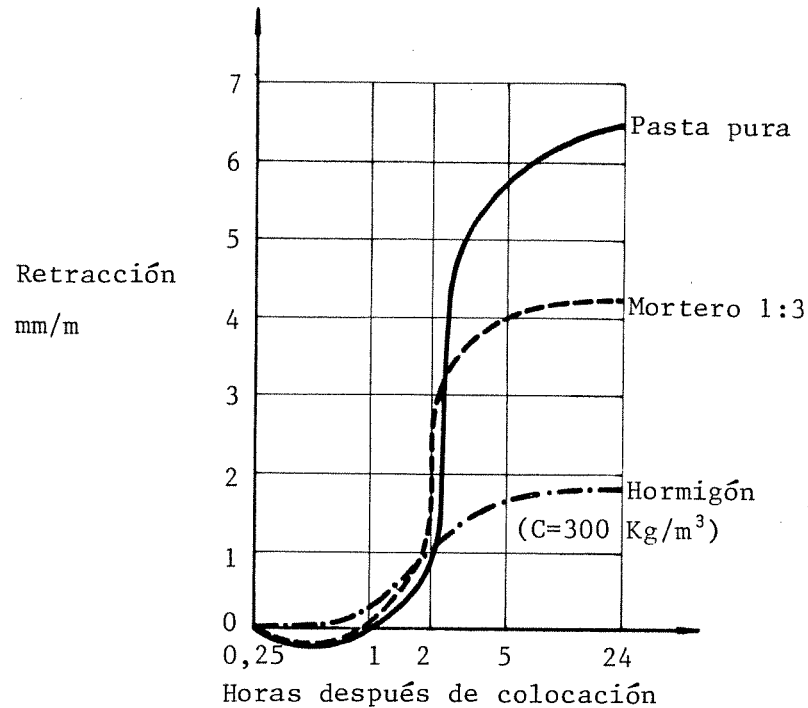


Figura 24. Retracción en función del tiempo (Ref. 3).

Fluencia lenta y retracción

Para cargas aplicadas al hormigón después de un mes de su colocación puede tomarse en forma aproximada para tiempo infinito (CIRSOC 201):

Al aire libre, ambientes húmedos (70% humedad relativa):	$\frac{\phi_{\infty}}{2,0}$	$\frac{\epsilon_{s\infty}}{-23 \cdot 10^{-5}}$
Interiores, ambientes secos (50% humedad relativa) :	$2,5$	$-32 \cdot 10^{-5}$

Donde ϕ_{∞} es el factor de fluencia lenta para el tiempo infinito (para tensión constante del hormigón la deformación específica debido a fluencia lenta se obtiene multiplicando la deformación específica elástica por ϕ_{∞}) y $\epsilon_{s\infty}$ es la deformación específica de retracción para el tiempo infinito (siempre negativo, por tratarse de un acortamiento).

6.5. Hormigones de características y propiedades especiales

Los controles de estos hormigones deben efectuarse de la misma manera como los exigidos para hormigones H-II. La granulometría del agregado fino debe caer entre las curvas límites A y B (ver 2.3.).

1) Hormigones de elevada impermeabilidad

Cantidad mínima de cemento: 320 kg/m^3 $A/C \leq 0,48$ para espesores $\leq 40 \text{ cm}$
 300 kg/m^3 $A/C \leq 0,53$ para espesores $> 40 \text{ cm}$
 $A/C \leq 0,45$ aguas de mar o agresivos

Ensayo de penetración: 50 mm (IRAM 1554)

Debe incorporarse aire (ver 5.1.)

2) Hormigones resistentes a bajas temperaturas

Cantidad de cemento mínima: 320 kg/m^3

$A/C \leq 0,50$

$A/C \leq 0,45$ si está expuesto a sales descongelantes

ensayo de penetración $\leq 50 \text{ mm}$ (IRAM 1554)

Debe incorporarse aire (ver 5.1.)

Agregados: . absorción de agua $< 3\%$ en 24 hs.

. densidad $> 2,5 \text{ kg/dm}^3$ (IRAM 1520 y 1533)

. durabilidad frente al ataque de sulfato de sodio (IRAM 1525)

. eventualmente: ensayo de resistencia a la congelación y deshielo (IRAM 1661).

3) Hormigones resistentes a la agresión química o físico-química

Es necesario un asesoramiento por un profesional experimentado. Debe seleccionarse el cemento más adecuado. El hormigón debe ser protegido mediante recubrimientos o membranas.

Cantidad mínima de cemento: 380 kg/m^3

Tiempo mínimo de mezclado: 2 minutos

Debe incorporarse aire (ver 5.1.)

$A/C \leq 0,50$ ataque débil, ensayo de penetración $\leq 50 \text{ mm}$ (IRAM 1554)

$A/C \leq 0,45$ ataque fuerte, ensayo de penetración $\leq 30 \text{ mm}$ (IRAM 1554)

$A/C \leq 0,45$ expuesto a agua del mar

$A/C \leq 0,40$ expuesto a ácidos

Asentamiento de cono: 4 a 8 cm

agregados: no deben ser potencialmente reactivos frente a los álcalis del cemento (IRAM 1671).

4) Hormigones expuestos a acciones mecánicas y a abrasión superficial

Cantidad máxima de cemento: 350 kg/m^3

Resistencia característica mayor de 30 MPa

Agregados gruesos: preferentemente de granito, basalto o diabasa

desgaste en máquina Los Angeles $\leq 25\%$

diámetro máximo $\leq 37,5$ mm (preferentemente 26,5 mm) pero no mayor de un tercio del espesor

asentamiento ≤ 7 cm

(en capas de desgaste diámetro máximo $\leq 13,2$ mm y asentamiento ≤ 3 cm)

5) Hormigones expuestos a la acción del calor ($> 70^{\circ}\text{C}$)

El hormigón debe protegerse por medio de un revestimiento (por ejemplo ladrillos refractarios) en combinación con materiales aislantes o espacios de aire si está expuesto a prolongadas exposiciones o frecuentes variaciones de temperatura.

Los agregados deben tener reducidos coeficientes de dilatación térmica.

Recomendables son en orden decreciente de preferencia:

agregados calcareos (caliza, dolomita)

agregados feldespáticos (basalto, diabasa)

granito, arenisca, cuarcita, gneis

agregados silíceos (cuarzo, chert)

6) Hormigones para su colado bajo agua

Para su colocación debe usarse un método comprobado (por ejemplo tolva y tubería sumergida)

- Cantidad de cemento

380 kg/m³, diámetro máximo de agregado 26,5 mm

350 kg/m³, diámetro máximo de agregado 37,5 mm

para grandes masas

Tiempo mínimo mezclado: 2 minutos

Resistencia característica ≥ 21 MPa

Asentamiento del cono: 15 a 18 cm

Debe incorporarse $4 \pm 1\%$ de aire y usar un aditivo fluidificante-retardador. Contenido máximo de material pulverulento (incluye cemento) que pasa el tamiz IRAM 300 μm debe limitarse según el artículo 4.

- Agregados: la cantidad total de agregado fino debe constituir entre el 42 y el 49% del agregado total. Las partículas de los agregados finos y gruesos deben ser de forma redondeada.

6.6. Normas IRAM sobre hormigones

- 1524 Hormigones. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
- 1534 Hormigones. Preparación y curado en laboratorio de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
- 1536 Determinación de la consistencia del hormigón de cemento Pórtland por el método del tronco cono.
- 1541 Hormigón fresco. Muestreo.
- 1546 Hormigones. Método de ensayo de compresión.
- 1551 Extracción, preparación y ensayo de probetas de hormigón endurecido.
- 1554 Hormigón de cemento Pórtland. Penetración de agua a presión en el hormigón endurecido.
- 1562 Peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón de cemento Pórtland.
- 1602 Hormigón. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas.
- 1661 Hormigones. Método de ensayo de resistencia a la congelación en el aire y deshielo en agua.
- 1662 Hormigones. Método de determinación del tiempo de fraguado por resistencia a la penetración.
- 1666 Hormigón elaborado.

7. DOSIFICACION DEL HORMIGON

El objeto de toda dosificación del hormigón es lograr una adecuada combinación de sus componentes, agregados finos y gruesos, cemento Pórtland y agua con adecuada trabajabilidad y consistencia en el estado fresco y de apropiadas resistencias mecánicas y químicas (durabilidad) en el estado endurecido. La durabilidad tiene cierta relación con la resistencia mecánica, si bien entran otros factores como por ejemplo, el aire intencionalmente incorporado. Cada proyecto tiene ciertos requerimientos, de los cuales se estipulan en los planos generalmente sólo la resistencia a compresión. El constructor debe considerar otras exigencias como el tipo de agregado grueso y su diámetro máximo en función de la densidad de armadura, recubrimiento y dimensiones mínimas de las secciones. También debe considerar una adecuada consistencia y trabajabilidad del hormigón fresco.

7.1. La resistencia media en función del factor agua/cemento

La resistencia mecánica de la pasta de cemento depende fundamentalmente de la

cantidad de poros dejados por el exceso de agua indispensable para poder trabajar cualquier hormigón (ver Figura 14). En consecuencia, ésta es esencialmente una función de la cantidad de agua y de cemento, convenientemente expresada por el factor agua/cemento. Para lograr una determinada resistencia característica del hormigón se debe adoptar un valor medio de resistencia de acuerdo con la posible dispersión de los resultados de los ensayos, o bien, en base a la desviación normal lograda por el constructor con hormigones y equipos similares. En estos casos se recomienda usar:

$$\sigma'_{bm} = \sigma'_{bk} + 2 \text{ s } \geq \sigma'_{bk} + 7 \text{ (MPa)}$$

A falta de otro antecedente y si se utiliza un control riguroso en todas las etapas de elaboración (todos los componentes pesados), compactación y curado del hormigón, se recomienda usar la siguiente expresión:

$$\sigma'_{bm} = 1,4 \sigma'_{bk}$$

Si se pesa solamente el agua y el cemento, se recomienda la siguiente expresión:

$$\sigma'_{bm} = 1,7 \sigma'_{bk}$$

La resistencia característica del hormigón σ'_{bk} es la interpretación estadística de los resultados de ensayos normalizados de probetas de hormigón y considera la dispersión de los mismos. Constituye un dato de control de calidad y su valor se ubica cerca del valor mínimo de la resistencia de la muestra total (ver CIRSOC 201, Capítulo 9).

La resistencia media a 28 días puede estimarse mediante una fórmula simple de carácter orientativo, válida para cemento normal a la edad de 28 días (ver la Figura 15):

$$\sigma'_{bm} = \frac{18}{a/c} - 8 = 18 \frac{c}{a} - 8 \text{ (MPa)}$$

7.2. Base del método de dosificación

La base del método es, como en todo método racional de dosificación, la conversión en volumen sólido de todos los componentes del hormigón, que puede expresarse por la siguiente ecuación correspondiente a 1 000 dm³ (1 m³) de hormigón

(ver el ejemplo de la Figura 26):

$$1\,000 = \frac{C}{\gamma_c} + \frac{A}{\gamma_a} + \frac{G}{\gamma_g} + \frac{S}{\gamma_s} + V_a \text{ (dm}^3\text{)}$$

donde el volumen sólido es expresado por la masa/densidad.

siendo:

C = cemento (kg)

A = agua (kg)

S = agregado grueso (kg)

V_a = volumen de aire (dm^3)

γ_c = densidad sólida del cemento ($\approx 3,13 \text{ kg/dm}^3$)

γ_a = densidad del agua ($= 1 \text{ kg/dm}^3$)

γ_g = densidad sólida del agregado grueso ($\approx 2,65 \text{ kg/dm}^3$)

γ_s = densidad sólida del agregado fino ($\approx 2,65 \text{ kg/dm}^3$)

El volumen sólido de agregados se obtiene partiendo de la ecuación anterior:

$$V = \frac{G}{\gamma_g} + \frac{S}{\gamma_s} = 1\,000 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{A}{\gamma_a} + V_a \right)$$

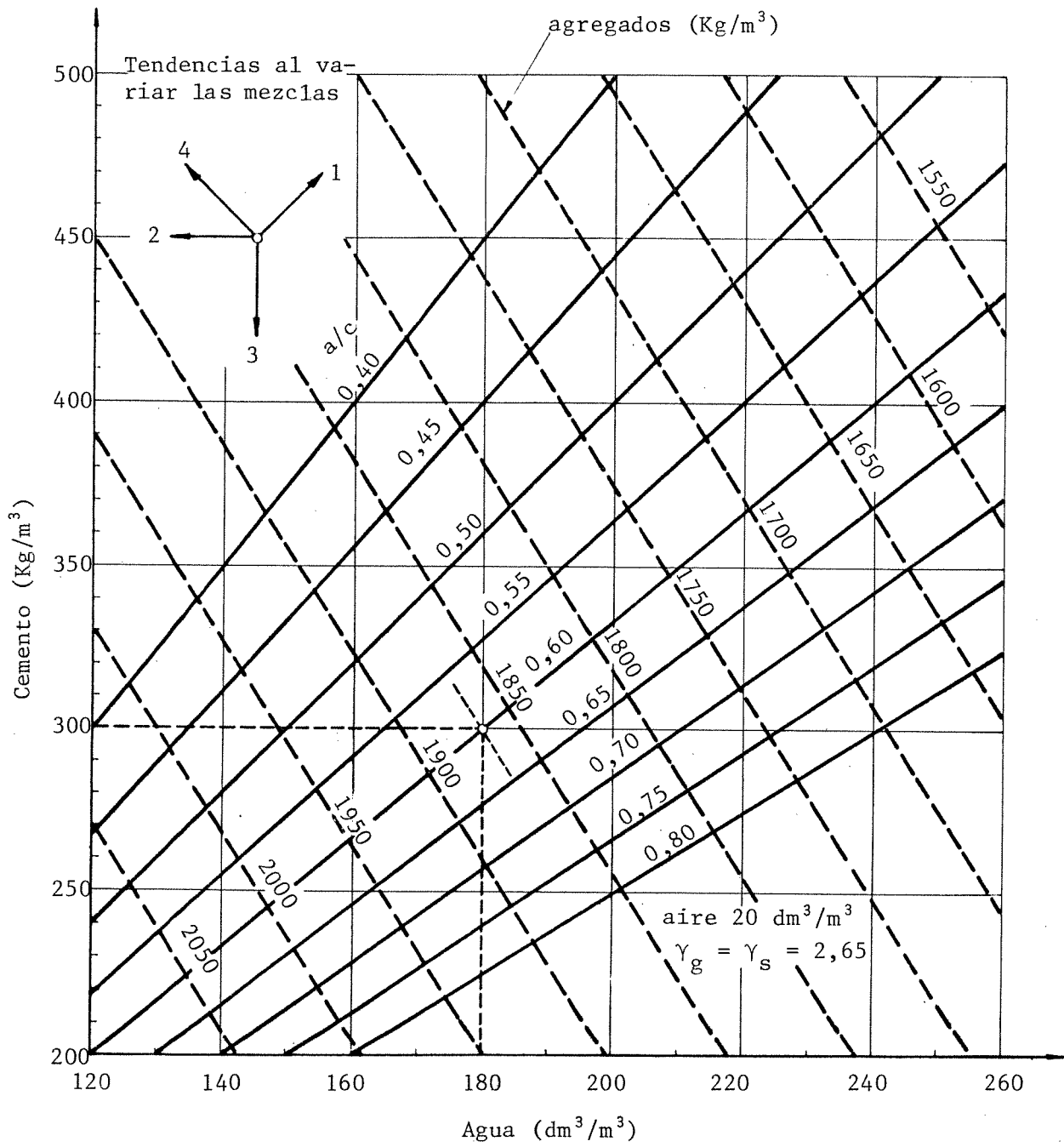
la que puede representarse gráficamente, por ejemplo como se indica en la Figura 25, para valores fijos de γ_c , γ_g , γ_s y V_a .

La forma más sencilla para obtener una predosificación de los componentes es partir de una estimación del agua requerida para 1 m^3 de hormigón fresco. Esta estimación puede realizarse en base a la Figura 27 en la que el requerimiento de agua se expresa en función de:

- el diámetro máximo del agregado grueso
- la consistencia (expresada por el ámbito de asentamiento del tronco cono, Norma IRAM 1536)
- el agregado fino.

Los datos para confeccionar la Figura 27 y la Tabla de la página 22 han sido extraídos de la bibliografía (1), (2) y (3) y ajustados por nuestra experiencia (ver la Figura 15). Es importante señalar que para lograr hormigones de distintas resistencias se puede partir de la misma cantidad de agua, utilizando distintas relaciones a/c (ver también las figuras 32 a, b, c y d).

Si suponemos que el factor agua-cemento (a/c) está dado por el requerimiento de una determinada resistencia media a alcanzar (ver el artículo 7.1.) o por el



- 1.aumento de trabajabilidad 2.disminución de la retracción
 3.disminución del calor de hidratación 4.aumentos de la resistencia e impermeabilidad

Figura 25. Materiales para 1 m^3 de hormigón fresco

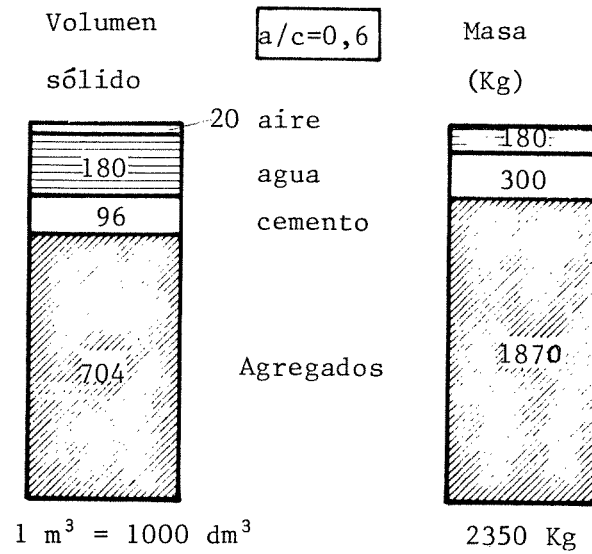


Figura 26. Composición de 1 m³ de hormigón fresco compactado

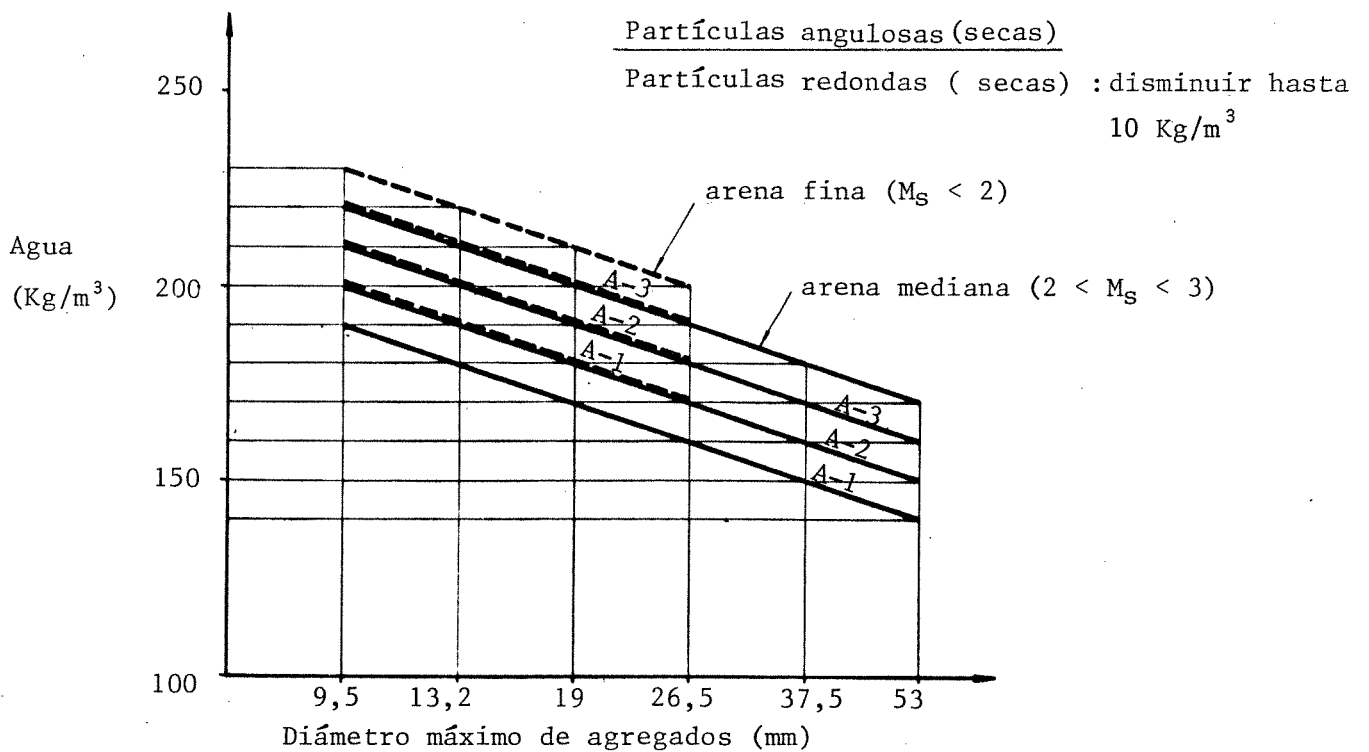


Figura 27. Cantidad aproximada de agua por m³ de hormigón fresco

requerimiento de cierta durabilidad, pueden obtenerse los restantes componentes del hormigón con facilidad:

- Cemento:
$$C = \frac{A}{a/c}$$

- Total de agregado: por medio de la Figura 25 o por cómputo

Quedan entonces por determinar las proporciones de agregados finos y gruesos, que dependerán de los datos disponibles.

El factor agua/cemento (a/c) puede expresarse de la siguiente forma (ver el artículo 3.2., Figura 15):

$$a/c = \frac{18}{\sigma'_{bm28} + 8}$$

7.2.4. Aplicación del método en obras pequeñas

En obras pequeñas generalmente no se conocen los datos de los materiales, en particular se desconocen las densidades y módulos granulométricos de los agregados. En este caso, se utiliza directamente la Figura 25 y las proporciones de agregados pueden determinarse de dos formas:

a) por los porcentajes de agregados finos fijados en la siguiente tabla:

Relación $\frac{S}{S + G}$ (%)							
Partículas	Diámetro máximo del agregado						
	arena	9,5	13,2	19	26,5	37,5	53
Redondas	mediana	48	45	43	41	38	37
	fina	43	41	38	37	--	--
Angulosas	mediana	55	50	45	42	39	36
	fina	48	44	41	38	--	--

b) por un simple ensayo de la densidad aparente del agregado grueso compacto:

Se llena un recipiente de un volumen y peso conocido con el agregado grueso, que se compacta de la misma manera que las probetas de hormigón y se determina su densidad aparente. Esta se multiplica por V_{cg} (volumen compacto de agregado grueso por m^3 de hormigón fresco) que se obtiene de la Figura 28.

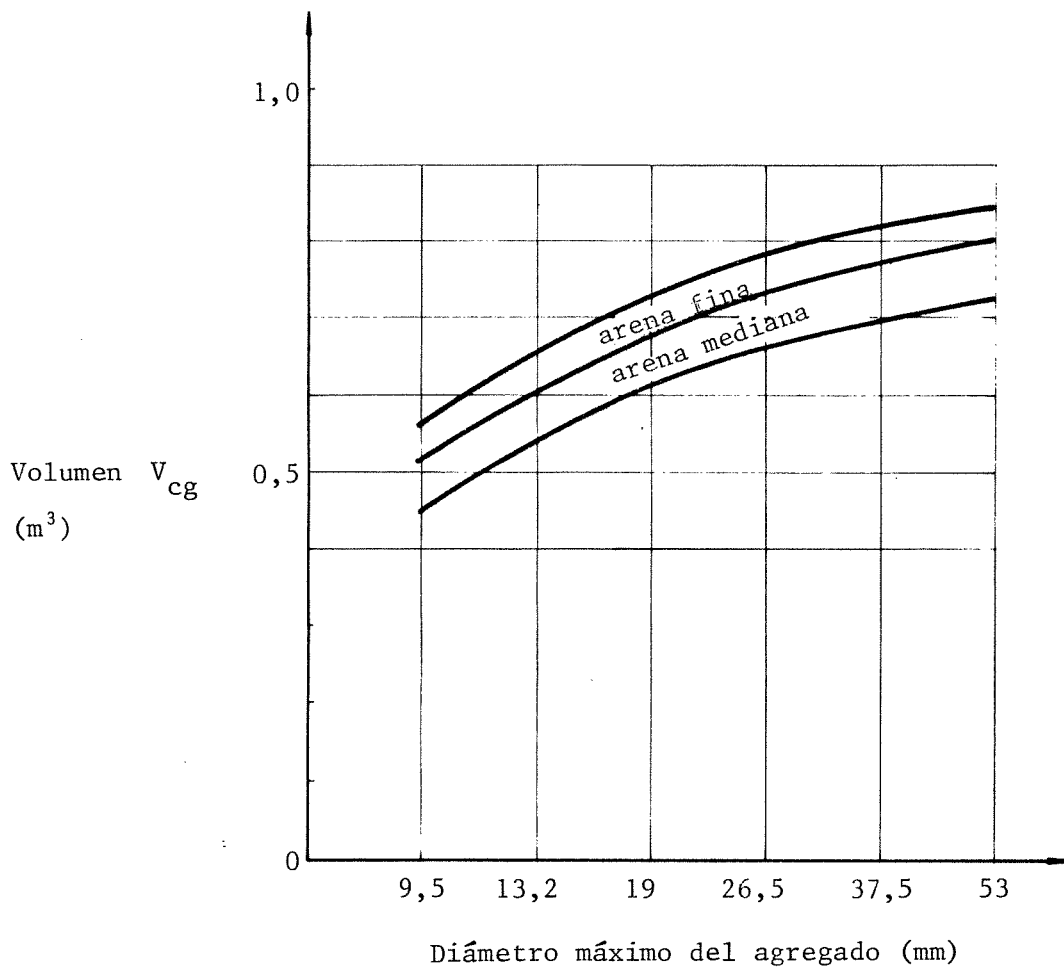


Figura 28. Volumen compacto de agregado grueso por m^3 de hormigón fresco (V_{cg}).

La figura 28 está basada en los valores que da ASTM (ver por ejemplo, la referencia (4)).

Determinada la cantidad de agregado grueso se obtiene el agregado fino por diferencia con el total de agregados obtenido de la Figura 25.

7.2.2. Aplicación rigurosa del método

En este caso, se suponen conocidos todos los datos de los materiales. La determinación de las proporciones de los agregados puede realizarse por distintos caminos que son más o menos equivalentes: a) por la ley de mezclas o b) por medio de curvas granulométricas para los agregados totales.

a) Ley de mezclas

Las proporciones de los agregados gruesos y finos deben cumplir la ley de mezclas para un volumen unitario:

$$1 \cdot M_a = g M_g + s M_s$$

$$1 = g + s$$

siendo:

M_a = módulo granulométrico del agregado total;

M_g = módulo de finura del agregado grueso;

M_s = módulo de finura del agregado fino;

g = volumen sólido del agregado grueso;

s = volumen sólido del agregado fino.

Resolviendo las ecuaciones anteriores resulta:

$$g = \frac{M_a - M_s}{M_g - M_s} \quad y \quad s = \frac{M_g - M_a}{M_g - M_s}$$

El módulo M_a se obtiene de la Figura 29 en función del diámetro máximo del agregado.

Las líneas A/B, B y B/C de la Figura 29 corresponden aproximadamente a curvas ubicadas entre los límites de la misma denominación de la Norma IRAM 1627.

Una vez determinadas las proporciones g y s y en función del volumen sólido de agregados (ver el artículo 7.2.), se obtienen las cantidades S y G :

$$S = \gamma_s \cdot s \cdot V$$

$$G = \gamma_s \cdot s \cdot V$$

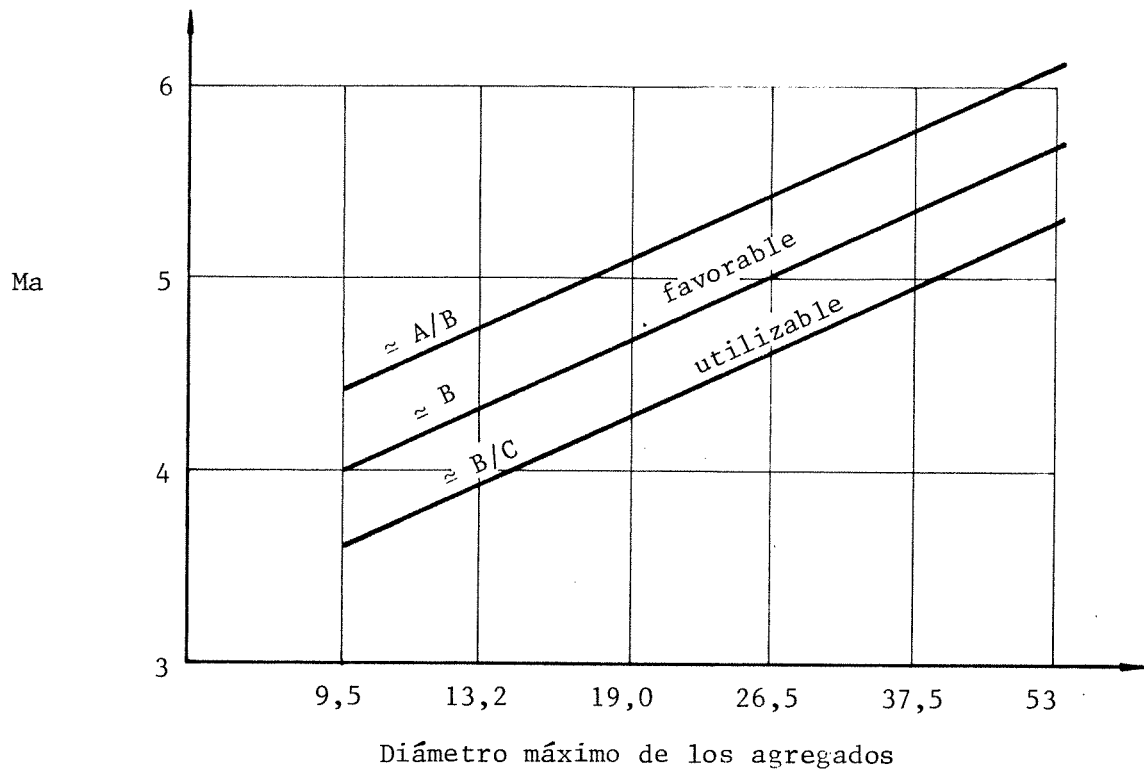


Figura 29 . Volumen compacto de agregado grueso por m³ de hormigón fresco (V_{cg})

b) Uso de curvas granulométricas para los agregados totales

El procedimiento anterior es cómodo en su aplicación si el agregado está formado por sólo dos fracciones. El procedimiento analizado puede extenderse a más de dos fracciones. Una alternativa simple para la composición de los agregados de dos o más fracciones es el cómputo de la curva granulométrica total en base a los porcentajes estimados de los componentes y comparar el resultado con la curva total deseada. Para evitar iteraciones excesivas y como una primera aproximación, se puede utilizar la construcción gráfica de la Figura 30.

En esta Figura se trata de obtener una curva entre los límites A y B de la curva granulométrica total. Las curvas granulométricas de los agregados finos (a y b) y grueso (c) también están trazadas. Con los porcentajes s_a , s_b y g se efectúa el cálculo y de acuerdo con el resultado se realiza una corrección de los porcentajes (ver el artículo 7.3.).

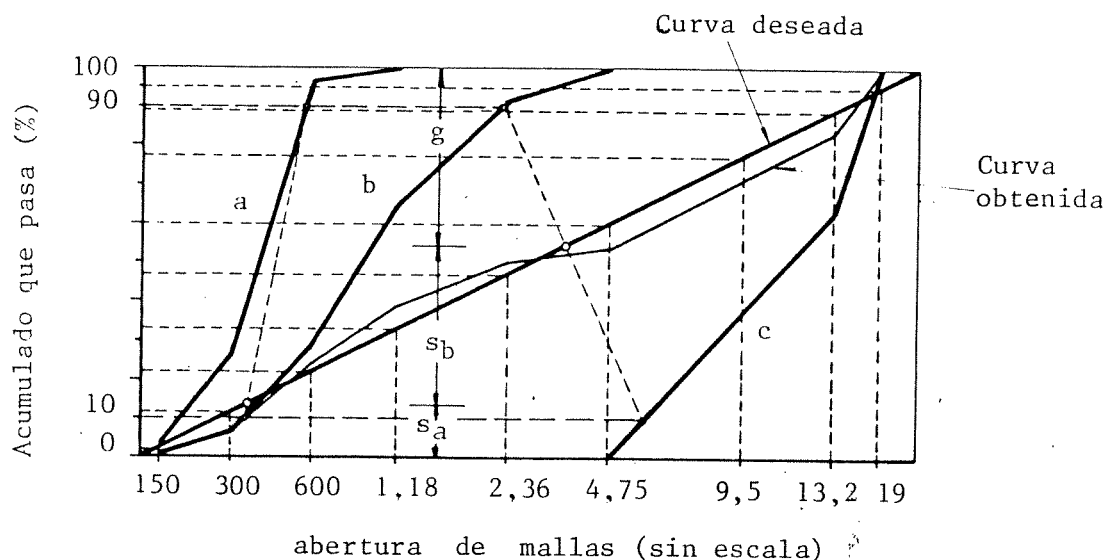


Figura 30. Método gráfico de componer los agregados.

7.3. Ejemplo de Aplicación

Estructura corriente de hormigón armado no expuesto a la acción de humedad, intemperie o medio agresivo.

Datos:

$\sigma'_{bk} = 17 \text{ MPa (170 Kg/cm}^2\text{)}$ a los 28 días

asentamiento: A - 3 (10 a 15 cm)

diámetro máximo del agregado grueso: 19 mm; partículas angulosas

control: riguroso (se pesan todos los componentes)

Materiales: agregado grueso $\gamma_g = 2,64 \text{ Kg/dm}^3$

$M_g = 6,64 \text{ Kg/dm}^3$

agregado fino $\gamma_s = 2,60 \text{ Kg/dm}^3$

$M_s = 2,22 \text{ Kg/dm}^3$

curva granulométrica total \approx "B" (ver la figura 9)

a) Cómputo riguroso

Resistencia media: $\sigma'_{bm} = \alpha \cdot \sigma'_{bk} = 1,4 \cdot 17 = 23,8 \text{ MPa (238 Kg/cm}^2\text{)}$

Factor agua-cemento: $a/c = \frac{18}{\sigma'_{bm} + 8} = \frac{18}{23,8 + 8} = 0,56$

Cantidad de agua: $A = 195 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ (de Figura 27 para diam. máx. de agregados = 19 mm, asentamiento A-3, arena mediana)

Cantidad de cemento: $C = \frac{A}{a/c} = \frac{195}{0,56} = 348 \text{ Kg/m}^3$

Volumen sólido de agregados: $V = 1\,000 - (C/\gamma_c + A + V_a) = 1\,000 - (348/3,13 + 195 + 20) = 674 \text{ dm}^3$

Módulo granulométrico del total de agregados: $M_a = 4,6$ (ver Figura 29)

Proporciones de sólidos: $s = \frac{M_g - M_a}{M_g - M_s} = \frac{6,64 - 4,6}{6,64 - 2,22} = 0,46$
 $g = 1 - 0,46 = 0,54$

Cantidades de agregados fino y grueso: $S = \gamma_s s \quad V = 2,60 \cdot 0,46 \cdot 674 = 806 \text{ Kg/m}^3$
 $G = \gamma_g g \quad V = 2,64 \cdot 0,54 \cdot 674 = 961 \text{ Kg/m}^3$

Esquema de cómputo:

Componente	Símbolo	Cantidad	Densidad Sólido	Volumen sólido (dm ³ /m ³)
Agua	A	195	1	= 195
Cemento	C	348	3,13	= 111
Aire	V _a			<u>20</u> 326
Agregado fino	S	806	= 0,46 · 2,60	-X 674
Agregado grueso	G	961	= 0,54 · 2,64	
		<u>2 310</u>		<u>1 000</u>

En obra resulta que los agregados finos tienen una humedad del 5%.

El pastón de prueba se corrige de la siguiente manera:

$$A = 195 - 0,05 \cdot 806 = 155 \text{ Kg}$$

$$S = 1,05 \cdot 806 = 846 \text{ Kg}$$

Comprobación: $195 + 806 = 1\,001 = 155 + 846$

Alternativa de composición de los agregados

En la figura 31 se representan las curvas granulométricas reales de los agregados fino (S) y grueso (G) y los límites A, B y C de las curvas granulométricas totales para agregados de un diámetro máximo de 19 mm

(ver la Figura 9). La interconexión entre las curvas S y G se realizó con los puntos de 90% ó 10% del acumulado, eligiéndose para la representación el mismo porcentaje de material fino que surgió del ejemplo de aplicación, o sea, $s = 46\%$, valor que se ubica aproximadamente en la intersección de la curva "B" deseada.

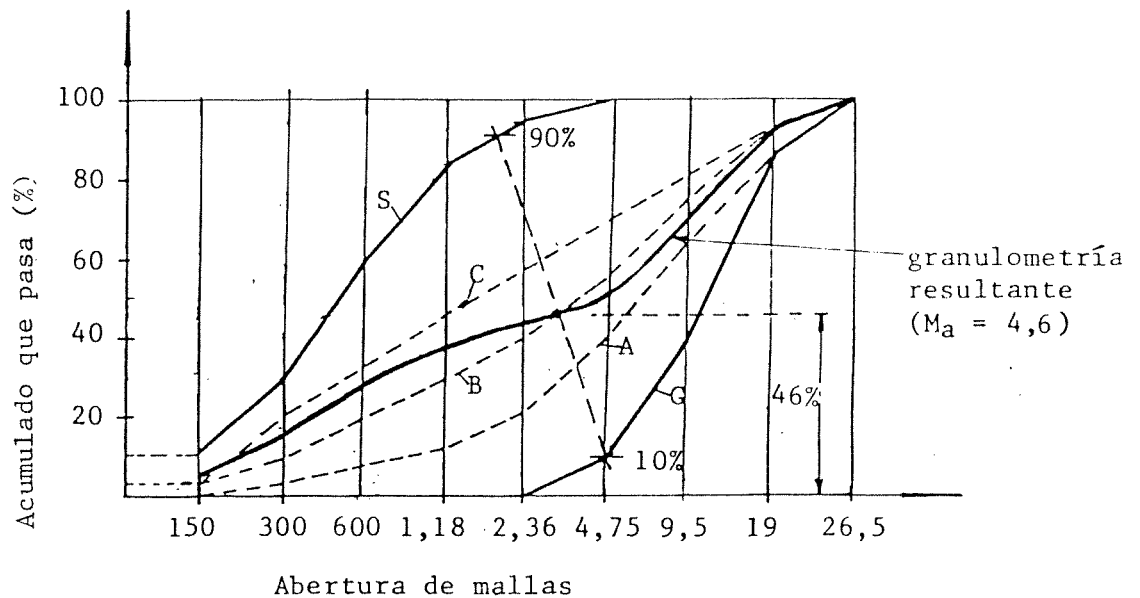


Figura 31. Alternativa de composición de los agregados.

En base a estos porcentajes se efectuó el cómputo que se registra en la tabla siguiente.

Porcientos acumulados que pasan las aberturas de mallas:

	150	300	600	1,18	2,36	4,75	9,5	19	26,5
S agregado fino	10	30	60	83	95	100	100	100	100
G agregado grueso	--	--	--	--	--	10	40	86	100
curva granulométrica (deseada)	3	10	20	30	40	50	75	90	100
46% S	4,6	13,8	27,6	38,2	43,7	46	46	46	46
54% G	--	--	--	--	--	5,4	21,6	46,4	54
Curva resultante	4,6	13,8	27,6	38,2	43,7	51,4	67,6	92,4	100

La curva granulométrica resultante está inducida en la Figura 31 por medio de la línea llena. Puede observarse que la solución obtenida es difícilmente mejorable.

b) Ensayo de densidad aparente

- Volumen del recipiente: $0,05 \text{ m}^3$
- Peso del recipiente: 4,1 Kg
- Peso del agregado compactado y recipiente: 82,5 Kg
- Densidad aparente: $78,4/0,05 = 1568 \text{ Kg/m}^3$

De acuerdo con la Figura 28 corresponde un volumen compacto del agregado grueso de $0,65 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de hormigón y $G = 0,65 \cdot 1568 = 1019 \text{ Kg}$. El agua y el cemento se suponen: $A = 195 \text{ Kg/m}^3$ y $C = 348 \text{ Kg/m}^3$.

Entrando en el gráfico de la Figura 25 se obtiene:

$$G + S = 1780 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{y luego}$$

$$S = 1780 - 1019 = 771 \text{ Kg/m}^3$$

c) Uso de porcentajes aproximados

De acuerdo con la tabla de la página 45 corresponde un 45% del agregado total para la arena:

$$S = 0,45 \cdot 1780 = 801 \text{ Kg/m}^3$$

y

$$G = 979 \text{ Kg/m}^3$$

Nota: Cuando los agregados se miden por volumen se obtiene una mayor dispersión de las resistencias y una reducción del valor característico.

7.4. Dosificaciones tipo (Figuras 32 a, b, c y d)

Para facilitar una rápida predosificación se han preparado para las condiciones corrientes, algunos gráficos en los cuales se representan las cantidades de los componentes (G, S, C, A) en Kg/m^3 de hormigón fresco en función del factor agua-cemento. Cada gráfico es válido para un determinado diámetro máximo del agregado grueso (19, 26,5 y 37,5 mm) y para los módulos granulométricos indicados en el mismo. Como parámetro se han utilizado las consistencias correspondientes a los ámbitos de asentamiento del tronco de cono: A-1 (1 a 4,5 cm); y A-3 (10 a 15 cm). En total hay 10 gráficos, 5 para partículas redondeadas y 5 para partículas angulosas. Se utilizaron dos tipos de arena: arena fina ($M_s = 1,8$) y arena mediana ($M_s = 2,4$).

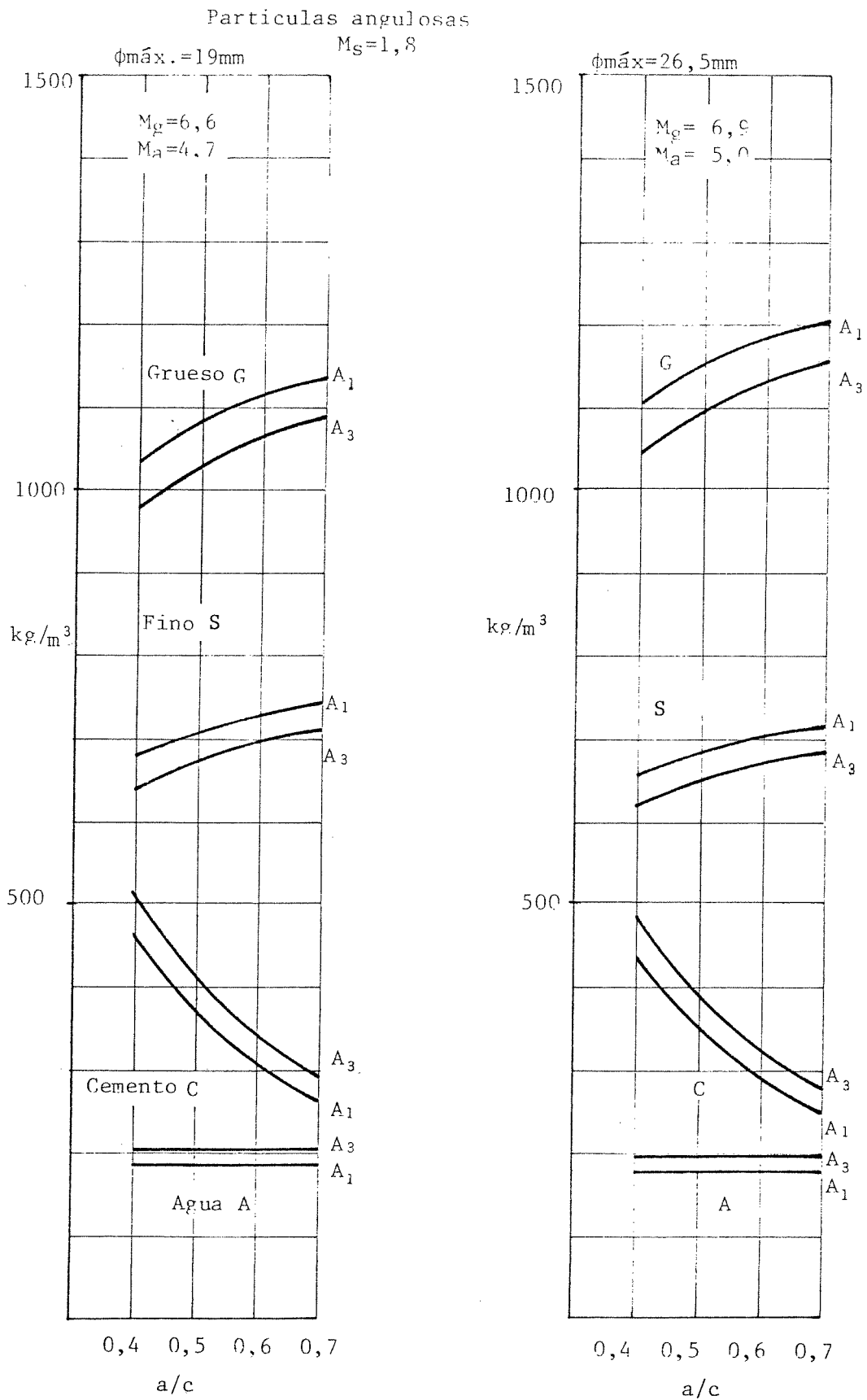


Figura 32 a. Dosificaciones para partículas angulosas y arena fina ($M_S = 1,80$)

Partículas angulosas

$$M_s = 2,40$$

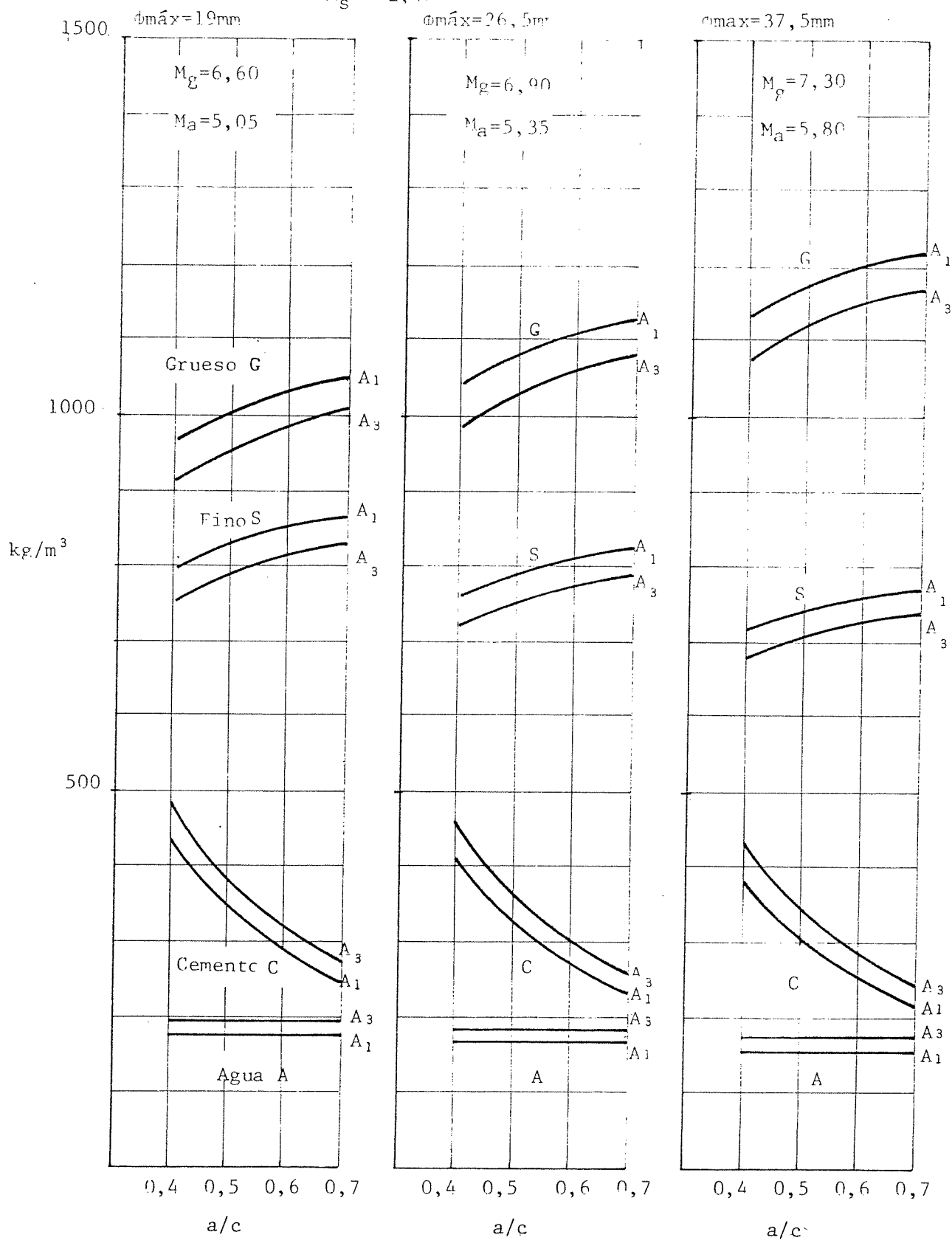


Figura 32 b. Dosificaciones para partículas angulosas y arena mediana ($M_s = 2,40$)

Partículas redondeadas
 $M_S = 1,80$

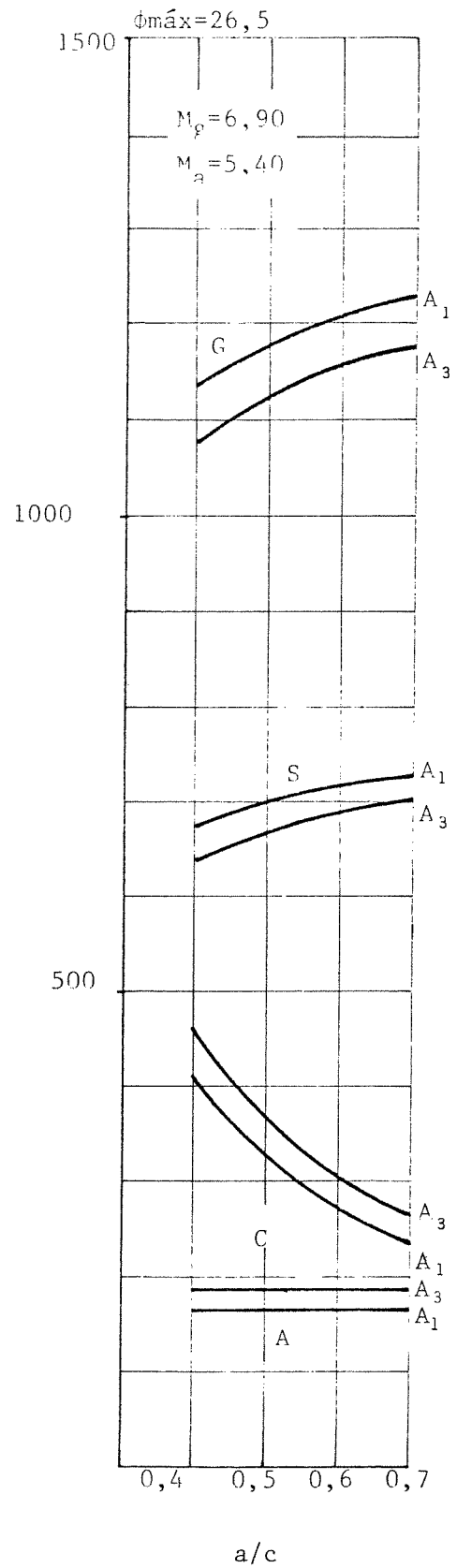
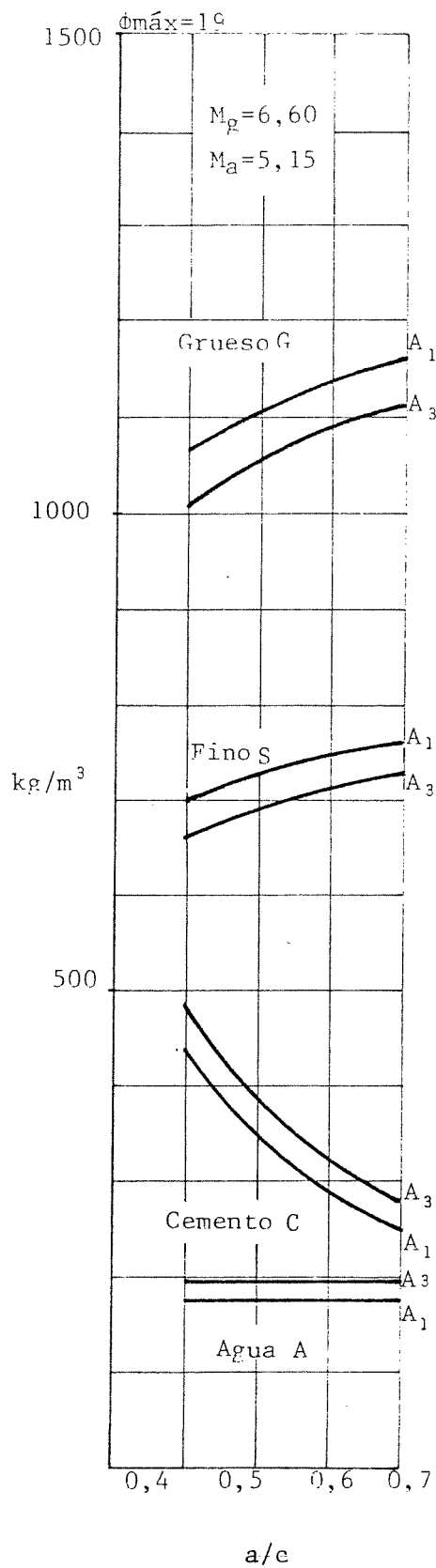


Figura 32 c. Dosificaciones para partículas redondeadas y arena fina ($M_S = 1,80$)

Partículas redondeadas
 $M_S = 2,40$

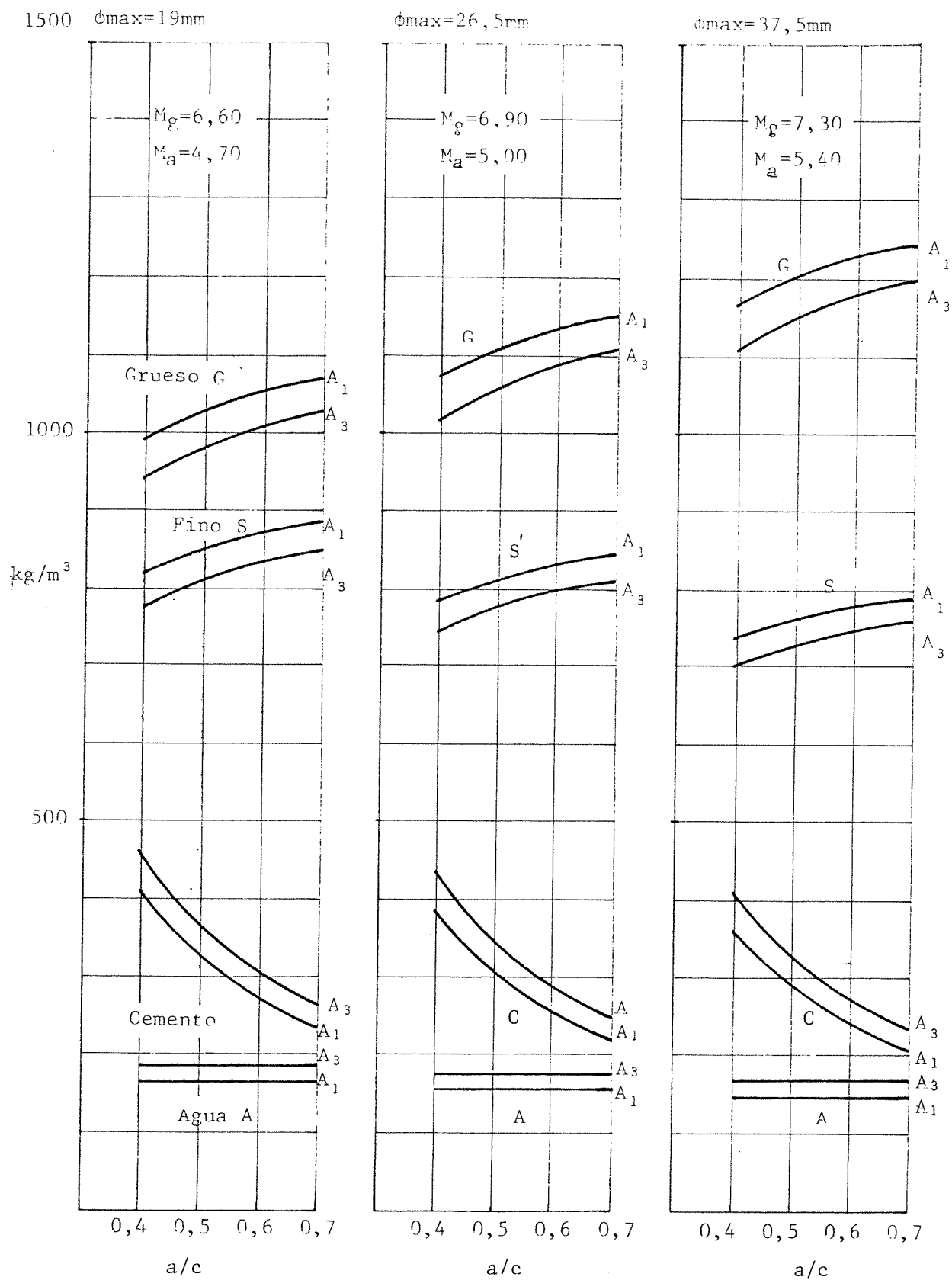


Figura 32 d. Dosificaciones para partículas redondeadas y arena mediana ($M_S = 2,40$)

8. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

8.1. Producción

- Medición del agua por volumen (equivalente a masa, error máx.: 2%)
- Medición del cemento por bolsa (error máx.: 3%) o por peso (error máx.: 3%)
- Medición de agregados preferentemente por peso (error máx.: 3%)
- Tiempo de mezclado recomendado: 90 segundos (60 segundos si se logra una uniformidad aceptable y los resultados de resistencia justifican este tiempo).

8.2. Transporte

- Evitar la segregación (evitar movimientos vibratorios)
- Temperatura del hormigón fresco al descargar: $< 30^{\circ}\text{C}$ (los hormigones de ámbito de asentamiento A - 1 (1 a 4,5 cm) pueden transportarse en vehículos provistos de caja metálica sin agitadores); tiempo máx. entre la finalización del mezclado y la descarga: 30 minutos.
- Motohormigoneras o vehículos equipados con agitadores (IRAM 1666): mezclado completo entre 70 y 100 revoluciones en un tiempo mínimo de 5 minutos. Todas las revoluciones después de las 100 vueltas se harán a la velocidad de agitación
- Remezclado al llegar a obra: mín 25 revoluciones
- Descarga: antes de 90 minutos o 300 revoluciones medidas a partir del contacto del agua con el cemento

8.3. Colocación

La colocación del hormigón en los encofrados requiere la autorización previa del Director de Obra.

Para las fundaciones se debe preparar una capa de limpieza de aproximadamente 5 cm de espesor y previamente al hormigonado se deben humedecer los encofrados de material absorbente (madera), siendo conveniente la aplicación previa de un agente antiadhesivo.

Tiempo máximo entre dos pastones para su colocación en los encofrados: 20 minutos.

8.4. Compactación

Se realizará por vibración preferentemente de alta frecuencia: 800 ciclos/min. La compactación manual es poco efectiva (si su aplicación es inevitable, usarla en el ámbito A - 3 del asentamiento).

Para las losas de espesor < 20 cm se recomiendan vibradores de superficie (3 000 a 4 500 ciclos/min).

Se debe evitar toda transmisión de vibraciones a los encofrados después de la iniciación del fraguado.

8.5. Curado del hormigón

Se debe proteger al hormigón contra un secado prematuro (viento, sol) y contra temperaturas bajas.

Iniciación del curado después del fraguado: aproximadamente después de 8 a 16 horas

Duración: 7 días para curado húmedo (4 días para cementos de alta resistencia inicial)

Medios: láminas de polietileno, membranas químicas, arpilleras húmedas, etc.

Normas IRAM sobre membranas para el curado:

1673 Compuestos líquidos para la formación de membranas para el curado del hormigón. Método de ensayo de retención del agua del cemento.

1675 Compuestos líquidos para la formación de membranas para el curado del hormigón. Características.

8.6. Remoción de encofrados (plazos mínimos salvo que se realicen ensayos)

	Cemento normal	Cemento AR inicial
- túneles y conductos circulares	3 días	1
- encofrados laterales de vigas, muros y columnas	3 días	1
- encofrados de losas (dejando puntales):	14 días	3
- fondos de vigas (dejando puntales):	14 días	3
- remoción de puntales de seguridad:	21 días	7

Estos tiempos deben aumentarse si en el período de endurecimiento la temperatura del hormigón alcanzó valores inferiores a 5°C.

9. CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS

Se distinguen dos tipos de control:

1. El control propio que es ejercido por el constructor para asegurar la obtención de la calidad especificada.

2. El control de aceptación que es responsabilidad del Director de Obra. Este control abarca los siguientes aspectos:

- materiales componentes del hormigón
- composición del hormigón
- asentamiento del tronco cono
- resistencia (generalmente a compresión)
- dimensiones (de los elementos constructivos, armaduras y recubrimientos)
- aspectos de terminación

En lo que sigue se limita el control a la resistencia a compresión y a las dimensiones.

9.1. Evaluación de la resistencia a compresión

La resistencia es satisfactoria si la resistencia media de rotura a compresión cumple para todas las series los valores estipulados (series de tres resultados de ensayos consecutivos, ver 6.1.) .

$$\frac{\sigma'_{b1} + \sigma'_{b2} + \sigma'_{b3}}{3}, \quad \frac{\sigma'_{b2} + \sigma'_{b3} + \sigma'_{b4}}{3}, \quad \frac{\sigma'_{b3} + \sigma'_{b4} + \sigma'_{b5}}{3}, \quad \frac{\sigma'_{b4} + \sigma'_{b5} + \sigma'_{b6}}{3}$$

Requerimientos para H - 13: resultado de cada serie mayor de 17,5 MPa
(175 Kg/cm²)

H - 17: resultado de cada serie mayor de 21,5 MPa
(215 Kg/cm²)

Además, ningún resultado de ensayo debe ser inferior a $0,85 \sigma'_{bk}$

para H - 13: $0,85 \cdot 13 = 11,1$ MPa (111 Kg/cm²)

para H - 17: $0,85 \cdot 17 = 14,5$ MPa (145 Kg/cm²)

Si sólo un ensayo de la serie de 3 no cumple esta resistencia mínima se considera que el correspondiente pastón no cumple la condición.

Si más de un ensayo de la serie de tres no cumple esta resistencia mínima o si el promedio de una serie cualquiera de 3 ensayos consecutivos no cumple el requerimiento se considera que todos los pastones de hormigón comprendidos entre aquellos de donde provienen las correspondientes probetas no lo cumplen.

En el caso que se empleen menos de 6 pastones, la evaluación de la resistencia se realizará por pastón. De cada pastón se sacarán dos muestras y con cada muestra se moldearán dos probetas.

Los dos ensayos por pastón (4 probetas) deben cumplir las siguientes condiciones para la aceptación del mismo:

$$H - I: \quad \sigma'_{bm} \geq 1,1 \sigma'_{bk}$$

$$H - II: \quad \sigma'_{bm} \geq \sigma'_{bk} + 2 \text{ MPa}$$

Número de muestras a extraer

La fijación del número de muestras a extraer para los ensayos de aceptación es responsabilidad del Director de Obra. Para los casos corrientes se recomienda lo siguiente (ver la referencia 5):

En edificios de varios pisos: mínimo 3 muestras por piso en elevación o de subsuelo (las fundaciones se consideran equivalentes a un piso).

Hormigón preparado en obra

Una muestra (elegida al azar) por cada:

TIPO DE HORMIGON	METROS CUBICOS	NUMERO DE PASTONES
Hormigón H-I	100	200
Hormigón masivo	200	400
Hormigón H-II o de propiedades especiales	75	150

Hormigón elaborado (IRAM 1666)

Número de pastones	Número de muestras
hasta 4	2
5 a 8	3
9 a 14*	4

*superando 14, 1 muestra adicional por cada 8 pastones.

Cuando la cantidad total de hormigón de una determinada clase sea menor de 60 m^3 , el Director de Obra podrá prescindir de la elaboración de muestras si dispone de elementos de juicio sobre la calidad del mismo.

Si el volumen del hormigón es suficientemente grande se recomienda la evaluación estadística de los ensayos de resistencia.

9.2. Control estadístico de Ensayos de resistencia

El hormigón no es un material homogéneo. Las inevitables variaciones en la composición, colocación, compactación y curado influyen en su resistencia, aún si el control es riguroso. La magnitud de la dispersión de las resistencias es una medida de la bondad del control y de la calidad del hormigón puesto en obra.

En general interesan los valores mínimos de resistencia. Sin embargo, en la elaboración del hormigón se parte de valores medios a lograr, por lo que resulta necesario conocer la relación entre valores medios y valores mínimos de resistencia.

Los métodos de evaluación estadística que en otros procesos se utilizan desde hace tiempo para el control de calidad, pueden ser aplicados ventajosamente también al problema de la dispersión de los valores de la resistencia del hormigón.

Resistencia característica a compresión σ'_{bk} : La resistencia característica es aquella resistencia que tiene la probabilidad de ser superada por el 95% de los hormigones de la misma clase (p.e. de 100 probetas ensayadas sólo 5 podrán tener una resistencia inferior a σ'_{bk})

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - ks = \sigma'_{bm} (1 - k\delta)$$

donde: $\delta = \frac{s}{\sigma'_{bm}}$ coeficiente de variación.

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^h \sigma_{bi}}{n} \quad \text{resistencia media y la desviación típica } s \text{ es}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\sigma'_{bm} - \sigma'_{bi})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{bi}^2 - n\sigma'_{bm}^2}{N}}$$

$$n \leq 30: N = n - 1$$

$$n > 30: N = n$$

k coeficiente numérico que depende del número de ensayos n

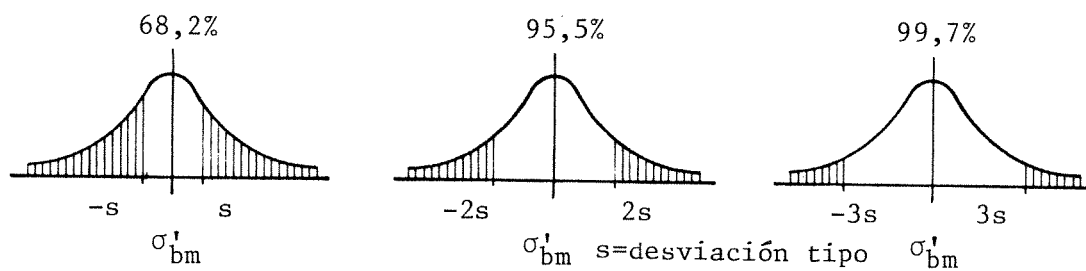


Figura 33. Distribución normal y fracciones del área total.

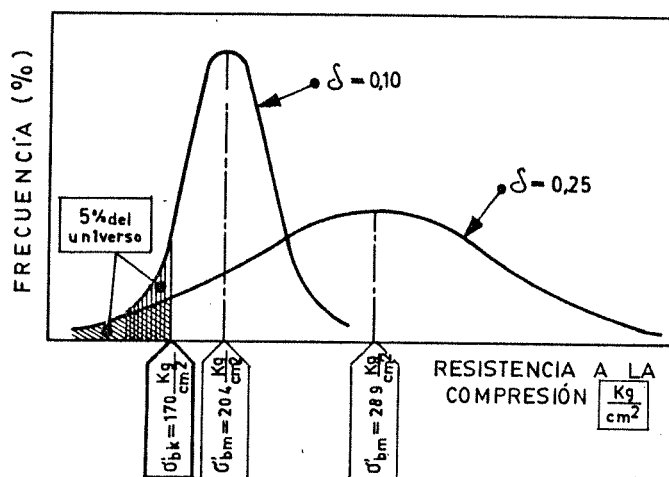


Figura 34. Dos hormigones de igual σ'_{bk} y distintos coeficientes de variación (Ref. 4).

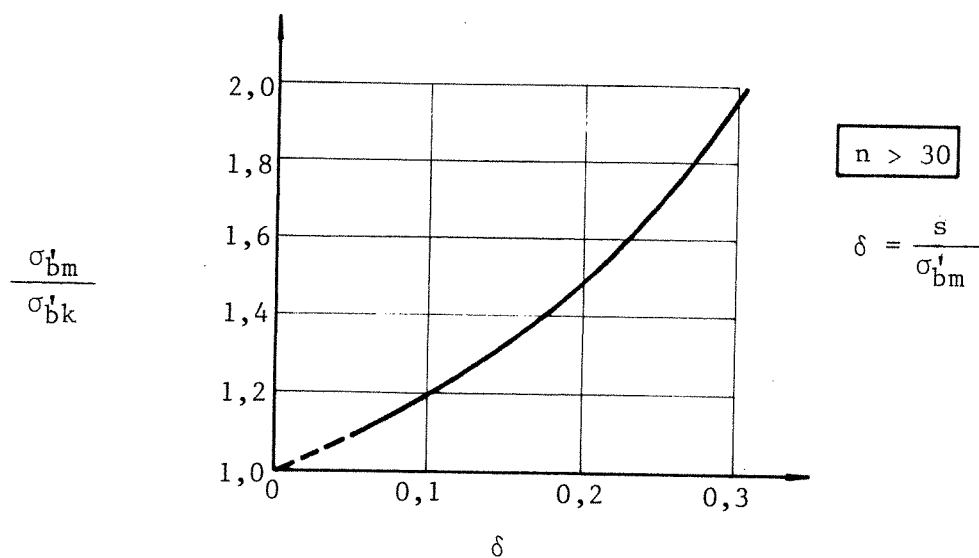


Figura 35. Relación de resistencias medias y características en función del coeficiente de variación δ .

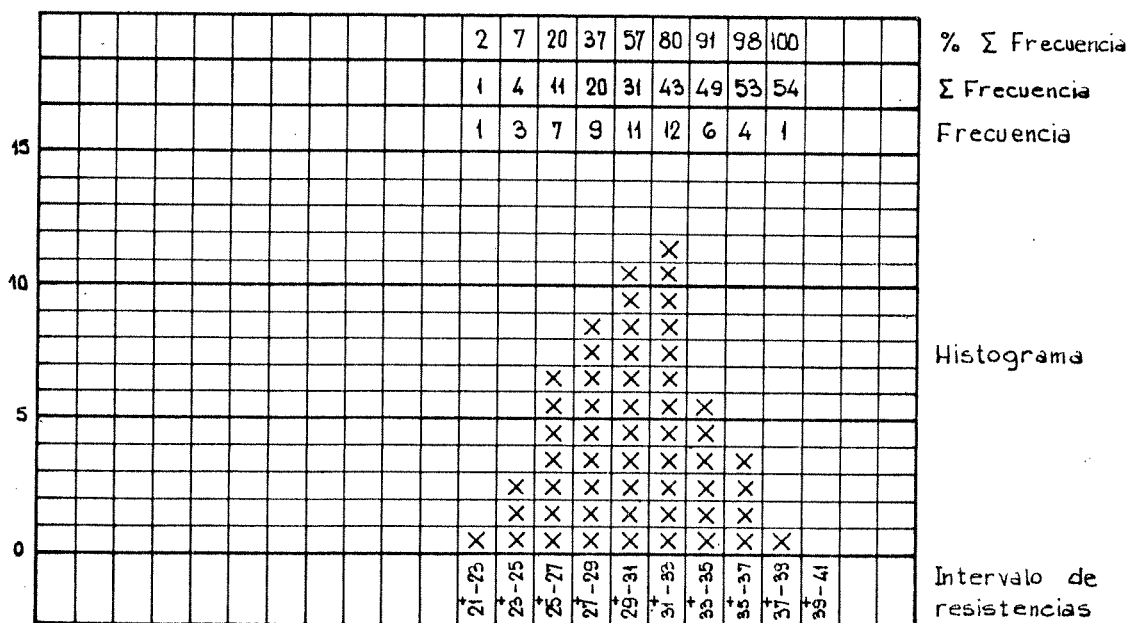
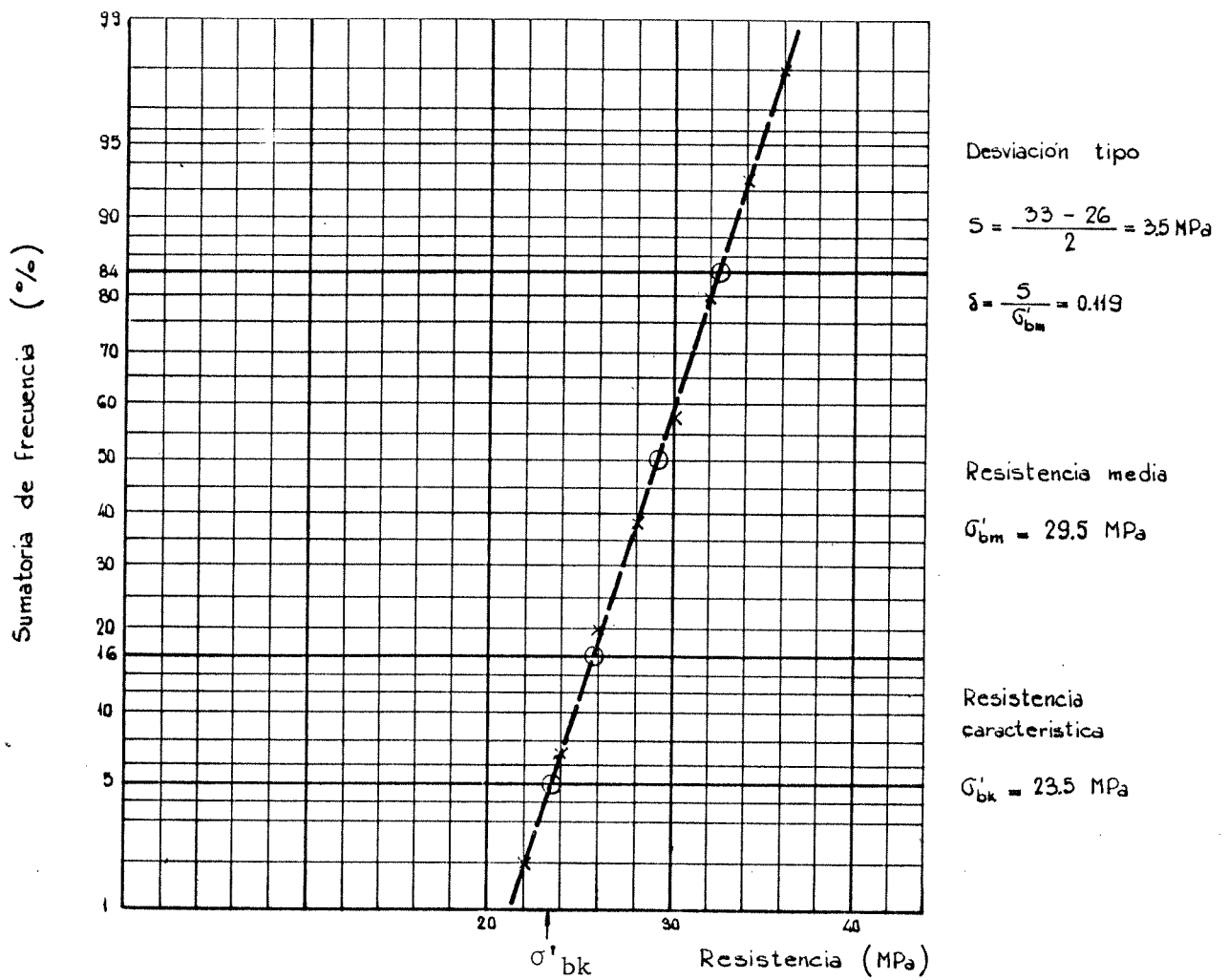


Figura 36. Histograma y método gráfico para determinar las resistencias media y característica.

Valores de k

n	15,16	17	18,19	20 a 22	23 a 26	27 a 30	>30
k	1,75	1,74	1,73	1,72	1,71	1,70	1,65

9.3. Ensayos de resistencia a compresión del hormigónPreparación de probetas:Moldeo de las probetas (IRAM 1524)

El moldeo se efectuará de la misma forma que el de tronco cono para el ensayo de asentamiento. Este procedimiento es válido sólo para hormigones de 3 cm ó más de asentamiento; para mezclas más secas la compactación deberá efectuarse por vibración.

Curado de las probetas (IRAM 1534)

Las probetas deben mantenerse en sus moldes durante un período mínimo de 24 horas. En este lapso no deberán sufrir sacudidas, golpes ni vibraciones. La cara superior se protegerá con arpillera húmeda o una película de polietileno y se mantendrá en ambiente protegido de inclemencias climáticas (calor, frío, lluvia, viento).

Después del desmoldeo se acondicionan las probetas inmediatamente para su mantenimiento en obra hasta el momento de ensayo en un ambiente húmedo y una temperatura entre 18°C y 24°C. Estas condiciones pueden lograrse colocando las probetas saturadas previamente en agua en el interior de bolsas de polietileno cerradas herméticamente y manteniéndolas en cajones con aislamiento térmica (telgopor u otro material aislante).

Encabezado:

Previo al ensayo de compresión se debe efectuar el encabezado de la probeta con una mezcla en base a azufre, grafito y arena fina, la que es calentada hasta la fusión y volcada en un plato de acero pulido provisto de guías para asegurar la verticalidad de la probeta. Inmediatamente se apoya la probeta sobre la mezcla fundida que se endurece casi al instante y queda firmemente adherida a la base de la misma, lo que permite de inmediato repetir la operación con el otro extremo de la probeta.

Ejecución del ensayo

El ensayo se realiza en una prensa (capacidad usual menor 100 t = 1000 kN,

división 1 kN = 100 Kg, error menor de 1%). La velocidad de aplicación de la carga tiene influencia importante en el resultado. Debe mantenerse entre 2,5 y 6 kN/s a partir del 50% de la carga de rotura (duración del ensayo alrededor de 2 minutos).

Variación de la resistencia con la esbeltez de la probeta y con su forma

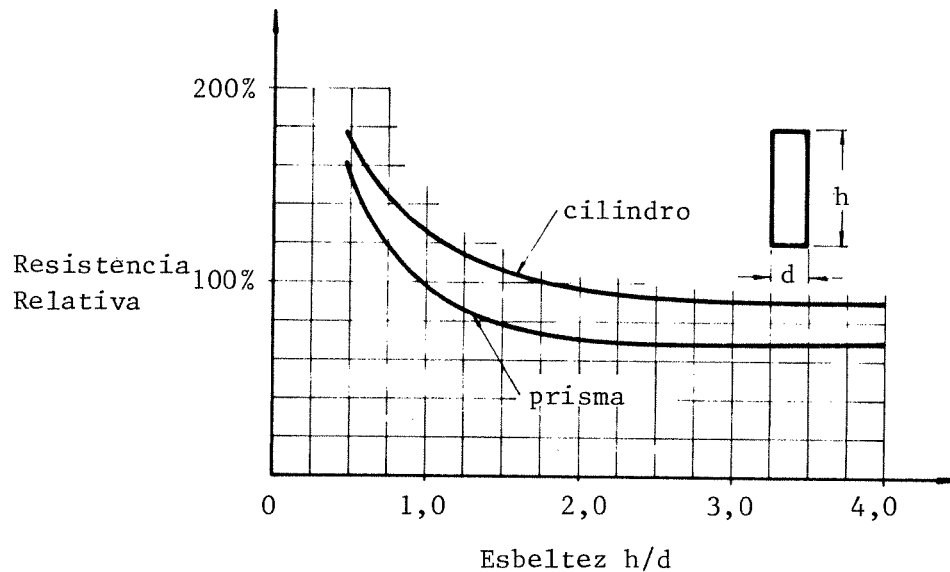


Figura 37. Variación de la resistencia con la esbeltez y forma.

Factor de corrección para probetas cilíndricas según norma IRAM 1551.

h/d	2	1,75	1,50	1,25	1,00
factor	1,0	0,98	0,96	0,93	0,87

9.4. Recubrimiento y separación libre entre barras para hormigón armado

Recubrimiento mínimo en general: diámetro de la barra más 5 mm, siempre que este valor sea mayor que los valores de la Tabla.

Aumento de los recubrimientos indicados en los siguientes casos:

- En 5 mm, si diámetro máximo del agregado supera 30 mm.
- En elementos cuya superficie está expuesta al desgaste mecánico.
- Como protección contra incendios; para cada 30 minutos de aumento de resistencia al fuego:

5 mm en losas

10 mm en tabiques, vigas y columnas

Recubrimiento mínimo (mm)

Condiciones ambientales	H-I*	H-II*	Premoldeado en Planta $\sigma'_{bk} \geq 30$ MPa
1 Ambiente protegido, permanentemente bajo agua	20	15	10
2 Intemperie	25	20	15
3 Ambiente húmedo	30	25	20
4 Ambiente agresivo	40	35	30

* en elementos de superficies como losas reducir los valores en 5 mm.

Hormigón armado en contacto con suelos: (p.e. fundaciones) capa de limpieza de hormigón u otro material no compresible ≥ 50 mm de espesor; esta capa no forma parte del recubrimiento.

Separación libre entre barras longitudinales: $\geq d_s$ y no menor de 20 mm.

9.5. Tolerancias dimensionales (redondear al mm)

- 1) Diferencias de nivel con respecto a niveles teóricos indicados en los planos: 2 mm/m \nlessgtr 20 mm
- 2) Alineación horizontal de columnas u otros elementos portantes:
1 mm/m \nlessgtr 25 mm
- 3) Alineación vertical de columnas y pilares superpuestos: 2 mm/m \nlessgtr 25 mm
- 4) Eje de columnas y arcos: $\frac{1}{5}$ distancia del centro al borde del núcleo central (sección rectangular: $d/30$)
- 5) Dimensiones de elementos de hormigón d_b : $\pm 2,5 \sqrt[3]{d_b/10}$ \nlessgtr 30 mm
- 6) Dimensiones lineales de armaduras y separaciones entre barras:
 $\pm 5 \cdot \sqrt[3]{l_a/10}$ \nlessgtr 60 mm
- 7) Terminación en superficies (en cualquier dirección)

Clase A: 3 mm en 3 m

Clase B: 6 mm en 3 m

Clase C: 6 mm en 0,6 m

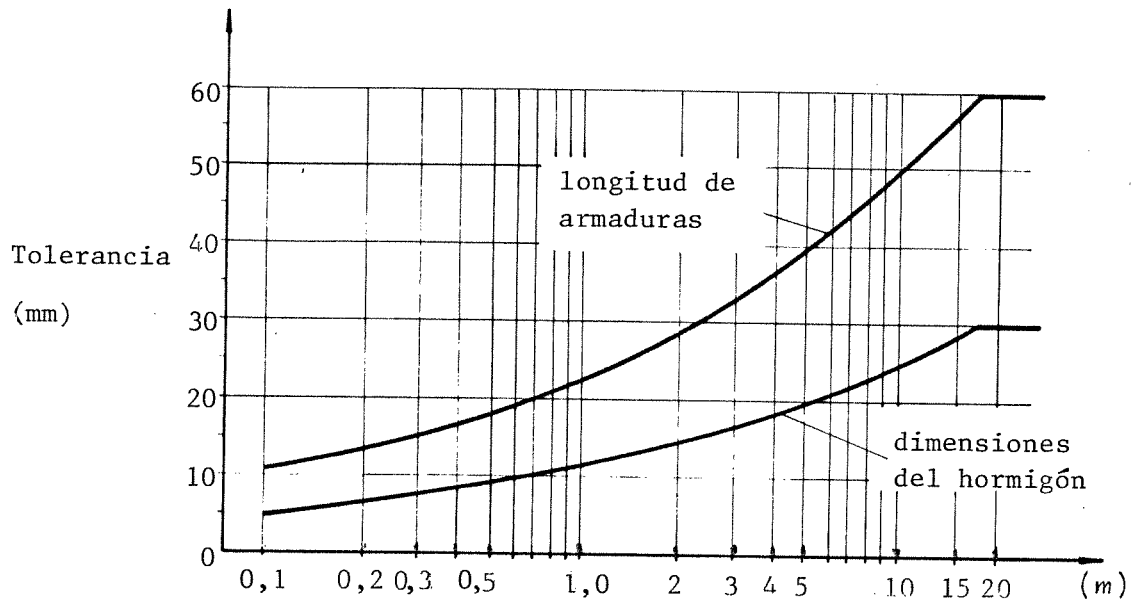


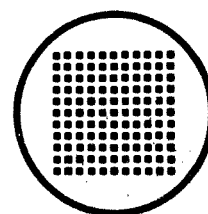
Figura 38. Tolerancia de dimensiones lineales.

9.6. Normas IRAM de ensayo y Normas IRAM-IAS para armaduras de hormigón armado

- 1524 Hormigones. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción para compresión diametral.
- 1534 Hormigones. Preparación y curado en laboratorio de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
- 1546 Hormigones. Método de ensayo de compresión.
- 1551 Extracción, preparación y ensayo de probetas de hormigón endurecido.
- U 500 - 06 Mallas de acero para hormigón armado.
- U 500 - 502 Barras de acero de sección circular, para hormigón armado.
- U 500 - 528 Barras de acero conformadas, de dureza natural, para hormigón armado.
- U 500 - 671 Barras de acero conformadas de dureza mecánica, para hormigón armado.
- U 500 - 26 Alambres de acero lisos o conformados para hormigón armado

10. BIBLIOGRAFIA

- (1) J.F. García Balado "Método para la Dosificación de Hormigones"
Instituto del Cemento Pórtland Argentino, Publicación Técnica N°42, 1964.
- (2) CINEH "Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (PRAEH)"
INTI, Buenos Aires, 1964.
- (3) M. Sabesinsky Felperin
"Proyecto de Hormigones de Cemento Pórtland con Agregados Normales"
Editorial Nigar S.R.L. Buenos Aires, 1973.
- (4) A.N. Castiarena "Curso de Tecnología del Hormigón"
Editorial Biblos, 1979.
- (5) Reglamento CIRSOC 201 "Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de Hormigón armado y pretensado"
INTI, Buenos Aires, 1982.
- (6) Disposición CIRSOC 251 "Aceros para Estructuras de Hormigón Armado - Métodos de ensayo y condiciones de aceptación"
INTI, Buenos Aires, 1982.
- (7) Disposición CIRSOC 252 "Agregados para Hormigones - Métodos de ensayo"
INTI, Buenos Aires, 1982.
- (8) Recomendación CIRSOC 201-1 "Acero para hormigón armado con $\beta_s = 500$ MPa y $\beta_s = 600$ MPa"
INTI, Buenos Aires, 1982.
- (9) A.S.C. Fava "Conocimientos y medios disponibles para incrementar la productividad en el campo de la tecnología del hormigón"
Construcciones Nros. 210, 211 y 212, Buenos Aires, 1968.



INTI

**Instituto Nacional
de Tecnología Industrial**

IR CIRSOC

**Centro de Investigación
de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles
del Sistema INTI**

ISBN 950 - 532 - 031 - 0