

## Normas y ensayos

### Datos preparados por la división de durabilidad del I. E. T. c. c.

PABLO GARCIA DE PAREDES, Lcdo. en Ciencias Químicas, Investigador Científico

#### GOSST - N 114-54 (Tabla I. Valores del coeficiente K)

*Agresividad del agua "ácida" y carbónica para los cementos portland normal y sulfato-resistentes y para los cementos puzolánicos con clínker sulfato resistente y los cementos portland siderúrgicos*

El agua deberá considerarse como agresiva cuando su contenido en CO<sub>2</sub> (mg/l) exceda al valor definido por la fórmula  $a \cdot Ca + b + K$ . Los coeficientes "a" y "b", están contenidos en la tabla II.

Ambiente en contacto con la estructura	Dimensión mínima de la sección (m)	Estructuras no expuestas a la presión del agua		Estructuras expuestas a la presión del agua	
		Cemento portland	Cemento sulfatorresistente	Cemento portland	Cemento sulfatorresistente
Suelo con una permeabilidad superior a 10 m/día.	de 0,5 entre 0,5 y 2,5 de 2,5	5 20 30	0 15 25	0 10 20	0 5 15
Suelo con una permeabilidad entre 10 y 0,1 m/día.	de 0,5 entre 0,5 y 2,5 de 2,5	40 80 no comprendido	30 60	25 50 80	20 40 70
Suelo con una permeabilidad menor de 0,1 m/día.	de 0,5 entre 0,5 y 2,5 de 2,5	no comprendido no comprendido no comprendido		80 no comprendido no comprendido	70 no comprendido no comprendido

**GOSST - N 114-54 (Tabla II) (Coeficientes a y b)**

*Agresividad del agua ácida y carbónica para los cementos del tipo portland, clases P y PAS y de los tipos PAS, PUZ y PS*

Máximo contenido permisible de CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> = a · Ca + b + K.

Dureza de carbonatos		Contenido de (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> + Cl <sup>-</sup> ) en mg/l											
		0-200		201-400		401-600		601-800		801-1.000		por encima de 1.000	
mg Ca/l	grados alemanes	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
28,6	4	0,01	16	0,01	17	0,01	17	0,00	17	0,00	17	0,00	17
35,7	5	0,04	17	0,04	18	0,03	17	0,02	18	0,02	18	0,02	18
42,8	6	0,07	19	0,08	19	0,05	18	0,04	18	0,04	18	0,04	18
50,0	7	0,10	21	0,08	20	0,07	19	0,06	18	0,06	18	0,05	18
57,1	8	0,13	23	0,11	21	0,09	19	0,08	18	0,07	18	0,07	18
64,3	9	0,16	25	0,14	22	0,11	20	0,10	19	0,09	18	0,08	18
71,4	10	0,20	27	0,17	23	0,14	21	0,12	19	0,11	18	0,10	18
78,5	11	0,24	29	0,20	24	0,16	22	0,15	20	0,13	19	0,12	19
85,7	12	0,28	32	0,24	26	0,19	23	0,17	21	0,16	20	0,14	20
92,8	13	0,32	34	0,28	27	0,22	24	0,20	22	0,19	21	0,17	21
100,0	14	0,36	36	0,32	29	0,25	26	0,23	23	0,22	22	0,19	22
107,1	15	0,40	38	0,36	30	0,29	27	0,26	24	0,24	23	0,22	23
114,2	16	0,44	41	0,40	32	0,32	28	0,29	25	0,27	24	0,25	24
121,4	17	0,48	43	0,44	34	0,36	30	0,33	26	0,30	25	0,28	25
128,6	18	0,54	46	0,47	37	0,40	32	0,36	28	0,33	27	0,31	27
135,7	19	0,61	48	0,51	39	0,44	33	0,40	30	0,37	29	0,34	28
142,8	20	0,67	51	0,55	41	0,48	35	0,44	31	0,41	30	0,38	29
150,0	21	0,74	53	0,60	43	0,53	37	0,48	33	0,45	31	0,41	31
157,0	22	0,81	55	0,65	45	0,58	38	0,53	34	0,49	33	0,44	32
164,2	23	0,88	58	0,76	47	0,63	40	0,58	35	0,53	34	0,48	33
171,3	24	0,96	60	0,76	49	0,68	42	0,63	37	0,57	36	0,52	35

**Norma GOSST - N 114-54 (Tabla adicional por V. V. Kind)**

*Agresividad de aguas naturales para un hormigón de densidad normal si el contenido de CO<sub>2</sub> libre es mayor que el fijado en la norma*

Mínima dimensión de la sección (m)	Gradiente hidráulico Presión/Sección recta	Agresividad del agua que fluye a la velocidad de				
		0,1 m/día a 10 m/día	10 m/día a 0,01 m/s	0,01 m/s a 0,2 m/s	0,2 m/s a 2 m/s	Superior a 2 m/s
Si el CO <sub>2</sub> libre contenido excede en menos de 50 mg/l al límite mencionado						
Menor de 0,5	5-25	ligera ligera media	ligera media media	media media pronunc.	pronunc. pronunc. fuerte	fuerte fuerte fuerte
Entre 0,5 y 2,5	5-25	ligera ligera ligera	ligera ligera media	ligera media media	media media pronunc.	pronunc. pronunc. fuerte
Mayor de 2,5	5-25	ligera ligera —	ligera ligera media	ligera ligera media	ligera media media	media media pronunc.
Si el CO <sub>2</sub> libre contenido excede en menos de 50 a 100 mg/l al límite mencionado						
Menor de 0,5	5-25	media media media	media media pronunc.	pronunc. pronunc. fuerte	fuerte fuerte muy fuerte	muy fuerte muy fuerte muy fuerte
Entre 0,5 y 2,5	5-25	ligera ligera media	ligera media media	media media pronunc.	pronunc. fuerte fuerte	fuerte fuerte muy fuerte
Mayor de 2,5	5-25	ligera ligera ligera	ligera ligera media	ligera media media	media media pronunc.	pronunc. pronunc. fuerte

Relación entre la dureza de carbonatos y el CO<sub>2</sub> equilibrante

(Cuadro según TILLMANS) I. Biczok, pág. 283. 5.<sup>a</sup> edición

Dureza de carbonatos en grados alemanes	mg CaO/l	mg Ca/l	CO <sub>2</sub> equilibrante mg/l
1,26	12,6	9,0	0,0
2,52	25,2	18,0	0,5
3,78	37,8	27,0	1,0
5,04	50,4	36,0	1,75
6,30	63,0	45,0	3,00
7,36	73,6	52,6	4,80
8,32	83,2	59,4	7,50
10,08	100,8	72,0	11,50
11,34	113,4	81,0	17,20
12,60	126,0	90,0	25,00
13,86	138,6	99,0	35,00
15,12	151,2	108,0	47,00
16,38	163,8	117,0	61,00
17,64	176,4	126,0	76,40
18,90	184,0	135,0	93,50
20,16	201,6	144,0	112,50
21,42	214,2	153,0	132,90
22,68	226,8	162,0	154,50
23,94	239,4	171,0	176,60
25,20	252,0	180,0	199,50

**AGUAS CARBONICAS**

Valores límites según la norma: DIN 4 030. Como carbónico agresivo

Cantidades	Calificaciones		
	Débil	Fuerte	Muy fuerte
CO <sub>2</sub> mg/l (Como CO <sub>2</sub> agresivo)	15 a 30	30 a 60	Más de 60

TGL 11 357

Agresividad	pH	CO <sub>2</sub> agresivo ml/l	Dureza 1° = 10 mg/l CaO
Nula	> 6	< 10	> 2,0
Débil	6,0 a 5,5	< 10	0,2 a 2,0
		10 a 40	> 2,0
Media	5,5 a 5,0	< 10	< 0,2
		10 a 40	0,2 a 2,0
		40 a 90	> 2,0
Fuerte	5,0 a 4,0	10 a 40	< 0,2
		40 a 90	< 2,0
		> 90	Cualquier grado
Muy fuerte	4,0 a 3,0	—	—

*Aguas agrupadas de acuerdo con el contenido de ácido carbónico*

Contenido de CO <sub>2</sub> agresivo (mg/l)	Dureza de carbonatos en grados alemanes	Agresividad
< 15	> 2° 0,2-2° < 0,2°	prácticamente no agresiva débil media
15 a 40	> 2° 0,2-2° < 0,2°	débil media fuerte
40 a 90	> 2° 2° y menor	media fuerte
90	a cualquier dureza	fuerte

Un grado de dureza alemán = 10 mg/ l CaO.

**AGUAS CON SULFATOS**

*Norma rusa aplicable a los cementos tipo PAS y PHA (GOSST-N 114-54)*

Permeabilidad (m/día)	Dimensión mínima (m)	PAS	PAS-PUZ y PHA	PAS	PAS-PUZ y PHA
		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l			
Agua o suelo con permeabilidad mayor de 10	< 0,5	3.000	4.000	2.500	3.500
	0,5 a 2,5	3.000	4.000	2.500	3.500
	> 2,5	3.500	4.500	3.000	4.000
Suelo con permeabilidad entre 10 y 0,1	< 0,5	3.000	4.000	2.500	3.500
	0,5 a 2,5	3.500	4.500	3.000	4.000
	> 2,5	4.000	5.000	3.500	4.500
Suelo con permeabilidad menor de 0,10	< 0,5	3.500	4.500	3.000	4.000
	0,5 a 2,5	4.000	5.000	3.500	4.500
	> 2,5	5.000	6.000	4.500	5.500
		Sin presión hidráulica		Bajo presión hidráulica	

Las concentraciones mayores que los valores consignados en este cuadro, son agresivas para los hormigones preparados con los tipos de conglomerantes indicados.

Hormigón sometido a presión hidráulica

mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /l	mg Cl <sup>-</sup> /l	Permeabilidad del suelo (m/día)	Mínima dimensión (m)	Agresividad			
				URSS N-114	TGL 11 357	DIN 4 030	BRS D-90
250	< 1.000	> 10	< 0,5	Débil	Débil	Débil	Débil
250	Cl > 1.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
250	Cl > 1.000	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
250	Cl > 1.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
250	Cl > 1.000	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
250	Cl > 1.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
250	Cl > 1.000	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
250	Cl > 1.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
300	Cl > 1.000	> 10	> 2,5	id.	id.	id.	id.
300	Cl > 1.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
300	< 1.000	0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
350	< 1.000	10 ≥ 0,1	> 2,5	id.	id.	id.	id.
350	Cl = 1.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
350	Cl < 1.000	0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
350	Cl = 1.000	0,1	id.	id.	id.	id.	id.
400	Cl > 1.000	0,1	< 0,5	Débil	Débil	Débil	Media
400	Cl > 1.000	0,1	> 2,5	id.	id.	id.	id.
400	Cl > 1.000	0,1	> 2,5	id.	id.	id.	id.
500	Cl > 1.000	10	< 0,5	Media	Media	id.	id.
500	Cl > 1.000	10	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
500	Cl > 1.000	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
500	Cl > 1.000	10 a 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
600	Cl > 1.000	10	> 2,5	id.	id.	Fuerte	id.
750	Cl > 1.000	10	< 0,5	Fuerte	Fuerte	id.	id.
750	Cl > 1.000	10	0,5 a 2,5	Media	Media	id.	id.
750	Cl > 1.000	10 a 0,1	> 0,5	id.	id.	id.	id.
700	Cl > 1.000	10 a 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
700	Cl > 1.000	0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
800	Cl > 1.000	0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
800	Cl > 1.000	0,1	> 2,5	Débil	Débil	id.	id.
900	Cl > 1.000	10	> 2,5	Media	Media	id.	Fuerte
1.000	Cl > 6.000	> 10	< 0,5	Media	Fuerte	Fuerte	Media
1.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
1.000	id.	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
1.000	id.	id.	0,5 a 2,5	Débil	Media	id.	id.
1.050	Cl = 1.000	10 a 0,1	> 2,5	Media	Fuerte	id.	id.
1.050	Cl = 6.000	0,1	< 0,5	Fuerte	id.	id.	id.
1.050	Cl > 6.000	10 a 0,1	id.	Débil	id.	id.	id.
1.050	Cl = 6.000	0,1	id.	id.	id.	id.	id.
1.100	id.	id.	0,5 a 2,5	Fuerte	id.	id.	id.
1.100	Cl > 6.000	id.	< 0,5	Débil	id.	id.	id.
1.100	id.	> 10	> 2,5	id.	id.	id.	id.
1.200	Cl = 1.000	0,1	< 0,5	Fuerte	id.	id.	id.
1.200	id.	id.	> 2,5	id.	id.	id.	id.
2.000	Cl = 6.000	> 10	< 0,5	Muy fuerte	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte
2.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
2.000	id.	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
2.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
2.100	id.	> 10	> 2,5	id.	id.	id.	id.
2.100	id.	0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
2.500	id.	10 a 0,1	> 2,5	id.	id.	id.	id.
3.000	Cl = 6.000	> 10	< 0,5	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte
3.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.000	id.	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
3.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.500	id.	0,1	> 2,5	id.	id.	id.	id.
3.750	id.	10 a 0,1	id.	id.	id.	id.	id.
4.000	> 6.000	10 a 0,1	> 2,5	Media	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte
6.000	id.	id.	id.	Fuerte	id.	id.	id.

AGRESIVIDAD DE AGUAS CON SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y Cl<sup>-</sup>.

Hormigón no sometido a presión hidráulica

mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /l	mg Cl <sup>-</sup> /l	Permeabilidad del suelo (m/día)	Mínima dimensión (m)	Agresividad			
				URSS N-114	TGL 11 357	DIN 4 030	BRS D-90
250	< 1.000	> 10	< 0,5	Débil	Débil	Débil	Débil
250	< 1.000	> 10	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
250	< 1.000	0,1 a 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
250	1.000	> 10	< 0,5				
300	< 1.000	0,1 a 10	0,5 a 2,5	Débil	Débil	Débil	Débil
300	id.	< 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
350	id.	0,1 a 10	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
350	1.000 < Cl < 6.000	> 10	> 2,5	id.	id.	id.	Media
400	< 1.000	0,1 a 10	> 2,5	Débil	Media	Débil	Media
400	id.	> 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
450	< 1.000	< 0,1	< 2,5	Débil	Media	Débil	Media
450	1.000 < Cl < 6.000	id.	id.	id.	id.	id.	id.
500	< 1.000	> 10	< 0,5	Débil	Media	Débil	Media
500	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
500	id.	0,1 a 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
500	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
500	1.000 < Cl < 6.000	> 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
600	1.000 < Cl < 6.000	< 0,1	id.	Media	id.	id.	id.
700	1.000 < Cl < 6.000	> 10	> 2,5	Media	Fuerte	Fuerte	Media
700	id.	0,1 a 10	id.	id.	id.	id.	id.
700	id.	< 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
750	id.	> 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
750	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
750	id.	0,1 a 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
750	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
900	1.000 = Cl < 6.000	< 0,1	> 2,5	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
900	id.	id.	< 2,5	id.	id.	id.	id.
1.000	1.000 < Cl = 6.000	> 10	< 0,5	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
1.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
1.000	id.	0,1 a 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
1.000	1.000 < Cl = 6.000	0,1 a 10	0,5 a 2,5	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
1.050	id.	< 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
1.100	id.	0,1 a 10	> 2,5	id.	id.	id.	id.
1.100	id.	< 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
1.200	Cl < 1.000	< 0,1	0,5 a 2,5	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Media
1.200	1.000 < Cl = 6.000	id.	> 2,5	id.	id.	id.	id.
1.200	Cl > 6.000	id.	0,5 a 2,5	Débil	id.	id.	id.
1.250	id.	id.	> 2,5	id.	id.	id.	id.
2.000	> 6.000	0,1 a 10	0,5 a 2,5	Débil	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte
2.000	id.	id.	> 2,5	id.	id.	id.	id.
2.000	1.000 ≤ Cl ≤ 6.000	10	< 0,5	Muy fuerte	id.	id.	id.
2.000	Cl ≤ 6.000	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
2.000	id.	0,1 a 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
2.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
2.100	id.	< 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
2.100	> 6.000	> 10	id.	Débil	id.	id.	id.
2.100	id.	0,1 a 10	id.	id.	id.	id.	id.
2.200	Cl ≤ 6.000	< 0,1	id.	Muy fuerte	id.	id.	id.
2.200	> 6.000	0,1 a 10	> 2,5	Débil	id.	id.	id.
2.200	id.	< 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
2.400	6.000	id.	id.	Muy fuerte	id.	id.	id.

Hormigón no sometido a presión hidráulica. (Continuación)

mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /l	mg Cl <sup>-</sup> /l	Permeabilidad del suelo	Mínima dimensión (m)	Agresividad			
				URSS N-114	TGL 11 357	DIN 4 030	BRS D-90
2.400	> 6.000	id.	id.	Débil	id.	id.	id.
2.500	> 6.000	id.	> 2,5	id.	id.	id.	id.
3.000	≅ 6.000	> 10	< 0,5	Muy fuerte	Muy fuerte	Fuerte	Fuerte
3.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.000	id.	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
3.000	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.000	> 6.000	id.	id.	Media	id.	Muy fuerte	Muy fuerte
3.150	> 6.000	> 10	< 0,5	id.	id.	id.	id.
3.150	id.	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.150	id.	10 a 0,1	< 0,5	id.	id.	id.	id.
3.300	> 6.000	< 0,1	< 0,5	Media	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte
3.300	≅ 6.000	> 10	> 2,5	id.	id.	id.	id.
3.300	id.	10 a 0,1	id.	id.	id.	id.	id.
3.300	id.	< 0,1	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.450	> 6.000	> 10	> 2,5	id.	id.	id.	id.
3.600	≅ 6.000	0,1	id.	id.	id.	id.	id.
3.600	> 6.000	id.	0,5 a 2,5	id.	id.	id.	id.
3.750	id.	id.	> 2,5	id.	id.	id.	id.

AGRESIVIDAD DE AGUAS CON SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y Cl<sup>-</sup>.

## RECOMENDACIONES DEL PROYECTO RILEM (Marzo 1972)

### 2. CONDICIONES GENERALES PARA OBTENER UN HORMIGON DURABLE

Las precauciones se refieren, principalmente, a los materiales constituyentes, la composición, la elaboración y la vigilancia.

#### 2.1. Componentes

Todos los cementos normalizados producen hormigón durable. En casos especiales (sulfatos) se emplearán cementos especiales; igualmente en las grandes masas, cemento de bajo calor; si los áridos son sospechosos, cementos pobres en álcalis.

Los cementos no contendrán más de 0,10 % de Cl<sup>-</sup> y aquellos que contengan aditivos clorurados no se utilizarán para hormigón pretensado.

##### 2.1.1. Áridos

Son sólidos y de estructura compacta. No deben contener cantidades perjudiciales de sustancias nocivas inorgánicas ni orgánicas que puedan reblandecer al hormigón sumergido, desintegrarlo bajo el peso o afectar adversamente la solidez o la durabilidad.

### 2.1.2. Adiciones

Se utilizan para mejorar ciertas características del hormigón; algunas pueden ser dañinas y, por ello, es necesario ensayar sus efectos en las mismas condiciones y trabajos reales. Si se emplean varias simultáneamente, el ensayo se hará sobre el conjunto. No deben incrementar la corrosión de las armaduras ni los "tendones" del pretensado; en ésta última técnica no se usarán adiciones que contengan halógenos ni azufre.

### 2.1.3. Dosificación del hormigón

Depende de las propiedades que se pretenda obtener. La *docilidad* es necesaria para asegurar la compactación y el total recubrimiento de las armaduras. Esto requiere determinada cantidad de pasta cementante (conglomerante + finos) para asegurar la suficiente docilidad mediante la compactación del hormigón y también la suficiente adherencia para prevenir la segregación; pero un exceso de pasta se deberá evitar para aminorar la retracción y el desprendimiento de calor. Los áridos finos requieren más pasta que los gruesos.

Las otras cualidades requeridas para la durabilidad del hormigón totalmente compactado son la resistencia (cohesión) y la impermeabilidad, en igualdad de condiciones. Dependen, primeramente, de la relación agua/cemento. En la tabla 1 se reúnen los valores máximos permisibles de las relaciones o coeficiente a/c. Las resistencias a la compresión serán mayores que los valores mínimos incluidos en la tabla 1.

TABLA 1

Protección		a/c máxima (2)	Mínima resistencia característica a compresión (kp/cm <sup>2</sup> )
De las armaduras (1)	Hormigón armado	0,70	200
	Hormigón pretensado	0,60	250
Contra la lixiviación o deslavado por agua	Pasta protectora } Delgada } Gruesa }	0,60	250
		0,70	200
Contra aguas y suelos agresivos	Ataque moderado	0,60	250
	Ataque fuerte	0,50	350
De la helada en ambientes húmedos	Sin portadores de aire	0,60	250
	Con portadores de aire	0,70	200
De la helada en ambiente húmedo y sales para deshielo	Con portadores de aire	0,60	250

(1) Contenido mínimo de cemento: hormigones armados: 250 kg/m<sup>3</sup>; pretensado: 300 kg/m<sup>3</sup>.

(2) Indicador para el cálculo de la dosificación de la mezcla.

Ejemplo de la relación entre a/c, cantidad de cemento y resistencia del hormigón.

Relación agua/cemento	Cemento contenido en kg/m <sup>3</sup> de hormigón compactado con un contenido de agua en l/m <sup>3</sup>			Resistencia, deseada a la compresión a 28 días (kp/cm <sup>2</sup> )
	160	180	200	
0,50	320	360	400	425
0,60	270	300	330	325
0,70		260	260	290

Se supone que el hormigón endurece a 10°-20°C, inicialmente en ambiente húmedo y está preparado con cemento que, de acuerdo con ISO n.º R679, alcance 450 kp/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Las condiciones para conseguir una durabilidad alta pueden muchas veces conducir a una resistencia a la compresión en el hormigón superior a la exigida por motivos estructurales.

Los áridos finos deben mezclarse por separado de los gruesos. El tamaño máximo del árido será el apropiado al empleo del hormigón; no deberá ser mayor que la cuarta parte de la más pequeña dimensión de la pieza estructural. En el hormigón armado los granos del árido deberán ser más pequeños que la distancia entre las armaduras y entre éstos y el encofrado.

Para conseguir suficiente docilidad y un hormigón denso es necesario el árido fino, pero la cantidad total de éste no debe sobrepasarse.

#### 2.1.4. Curado

El curado defectuoso afecta adversamente la durabilidad de la superficie del hormigón. Esta zona es crítica, siendo necesario impedir la pérdida de agua por evaporación pues limita la hidratación del cemento.

La hidratación del cemento produce desprendimiento de calor. Debe evitarse que la caída de temperatura del interior a la superficie sea excesiva para impedir la formación de grietas.

### 3.1. Ataque físico

#### 3.1.1. Helada y sales para deshielo

La helada daña al hormigón cuando éste se halla saturado de agua. El hormigón resiste si es muy denso, esto es, si ofrece poco lugar para absorber agua, o si tiene suficientes espacios de aire, bien distribuidos que, durante el enfriamiento, ofrecen lugar a la dilatación del agua, sin causar daños a la pasta. El hormigón húmedo expuesto a ciclos repetidos de helada y deshielo debe poseer alta resistencia a la helada. Es necesario que los áridos no sean heladizos y que el hormigón contenga aire ocluido.

La cantidad mínima de aire que debe contener el hormigón bien compactado, dependiente del tamaño de los áridos, se expresa en la tabla 3.

T A B L A 3

Tamaño máximo del árido (mm)	Mínimo contenido de aire. Volumen %, medido con manómetro	
	Helada	Helada y sales para deshielo
8 +	6,0	7,0
16	4,5	5,5
32	3,5	4,5
63	3,0	4,0

Son convenientes 1 % mayores que los dados. El uso de agentes aireantes es necesario si el hormigón entra en contacto frecuentemente con sales para el deshielo.

### 3.1.2. *Temperaturas altas y cambios bruscos*

Pueden formarse fisuras. Para hormigones expuestos a 250°C son necesarios áridos con pequeño coeficiente de dilatación térmica, como, por ejemplo, ciertas calizas, escorias siderúrgicas y áridos ligeros. Después de compactado el hormigón deberá permanecer 7 días en contacto con ambiente húmedo y, a continuación, secarse en obra muy lentamente antes de sufrir el primer calentamiento. Los cambios bruscos de temperatura se evitarán cubriendo y calentando si fuera necesario. Las piezas estructurales que soportan fuertes cargas no deben exponerse durante largo tiempo a temperaturas superiores a 250°C ambientales.

## **RECOMENDACIONES CONTENIDAS EN LAS NORMAS PARA LA PREPARACION DEL HORMIGON MAS RESISTENTE SEGUN EL GRADO DE AGRESIVIDAD SULFATICA**

### **AGRESIVIDAD MEDIA**

#### **Gosst-N 114**

Hormigón de alta densidad y compacidad. Relación agua/cemento lo más baja que permita la densidad requerida. Vibración, y si es necesario, vacío (GOSST 4795-53).

#### *Conglomerantes*

PUZ y PS (clínker con menos de 8 % de C<sub>3</sub>A).

#### **TGL 11 357**

Hormigón clase B 120 (DIN 1 045) para PAS exentos de C<sub>3</sub>A, o B 160 para P bajo de C<sub>3</sub>A. Mínimo contenido 300 kg/m<sup>3</sup>. Máxima relación agua/cemento = 0,65.

#### **DIN 4 030**

Hormigón tipo II (DIN 1 045). Máxima compacidad. Máxima relación agua/cemento = 0,60. Conglomerantes: PAS, PAS exento de C<sub>3</sub>A, PUZ y PHA con clínker que contenga menos del 4 % de C<sub>3</sub>A.

#### **BRS Digest 91**

Máxima compacidad. Reducción de la relación agua/cemento mínima que asegure la ductilidad necesaria para conseguir la máxima impermeabilidad.

#### *Conglomerantes*

- a) PS, BS 14G/1950, equivalente a PHA. Mínima cantidad: 330 kg/m<sup>3</sup>. Máxima relación agua/cemento = 0,50 ponderal.
- b) PAS. Mínima cantidad: 280 kg/m<sup>3</sup>. Máxima relación agua/cemento = 0,55 ponderal.

## **AGRESIVIDAD FUERTE**

### **Gosst-N 114**

Hormigón muy compacto. (Vibrado. Vacío). Mínimo valor de la relación agua/cemento. (GOSST 4795-53).

#### *Conglomerantes*

Portland puzolánico sulfatorresistente (clínker con menos de 8 % de  $C_3A$ ).

Portland siderúrgico sulfatorresistente (clínker con menos de 8 % de  $C_3A$ ).

PAS con menos de 5 % de  $C_3A$ .

Revestimientos o tratamientos protectores.

### **TGL 11 357**

Hormigón tipo B 300 (DIN 1 045). Máxima penetración del agua, a 90 días, bajo 7 kp/cm<sup>2</sup>.

#### *Conglomerantes*

Portland puzolánico sulfatorresistente (clínker con menos de 4 % de  $C_3A$ ).

Portland siderúrgico sulfatorresistente (clínker con menos de 4 % de  $C_3A$ ).

PAS, exento de  $C_3A$ .

Cantidad mínima de cemento: 350 a 450 kg/m<sup>3</sup>. Relación agua/cemento menor de 0,45. Aire ocluido menor de 1 %. Aridos: menor de 2,5 mm. Entre 2,5 y 5. Mayor de 5 mm. Granulometría: línea de cribado entre D y E.

### **DIN 4 030**

Hormigón tipo II (DIN 1 045). B 350 y B 450. Impermeabilidad según DIN 1 048; a 90 días, y 7 kp/cm<sup>2</sup>, máxima penetración: 3 a 5 cm.

#### *Conglomerantes*

PS-450 (mínimo contenido de escorias 70 %. Clínker con menos de 3 % de  $C_3A$ ). Máxima relación agua/cemento = 0,50.

### **BRS Digest 91**

Máxima compacidad. Mínimo valor de la relación agua/cemento. Docilidad que permita asegurar la mínima permeabilidad.

#### *Conglomerantes*

Portland siderúrgico BS 146. PHA. Mínima cantidad: 370 kg/m<sup>3</sup>. Relación agua/cemento máximo 0,50.

PAS. Mínima cantidad 280 kg/m<sup>3</sup>. Relación agua/cemento máximo 0,55.

## MUY FUERTE AGRESIVIDAD

### Gosst-N 114

Hormigón de las características recomendadas para "Fuerte agresividad", protegido superficialmente por aislantes.

### TGL 11 357

Hormigón con las características recomendadas para "Fuerte agresividad". Además: Máxima penetración de agua, a los 90 días y 7 kp/cm<sup>2</sup> según DIN 1 048: 40 mm.

Para asegurar esta condición debe agregarse, además del conglomerante, una fracción fina de áridos (0 a 0,2 mm) y en casos especiales piedra molida menor de 0,2 mm en las siguientes cantidades, medias, por m<sup>3</sup> de hormigón fresco:

<u>Con áridos hasta:</u>	<u>Kg.</u>
5 mm ... ..	500
12,5 mm ... ..	425
25 mm ... ..	350
35,5 mm ... ..	300
50 mm ... ..	275

El contenido de aire, en el hormigón reciente, compactado, no debe pasar del 1 %. Las armaduras deben poseer un recubrimiento de 50 milímetros. Adicionar, independientemente del tipo de conglomerante utilizado, puzolanas que no se tendrán en cuenta como conglomerante al calcular la relación agua/cemento.

### DIN 4 030

Hormigón del tipo II (DIN 1 045). Máxima penetración del agua, a 90 días y 7 kp/cm<sup>2</sup>, según DIN 1 048: 30 mm. Máximo valor de la relación agua/cemento = 0,50. Debe poseer, además, las características mencionadas para "Fuerte agresividad".

### BRS Digest 91

Hormigón de las características mencionadas en "Fuerte agresividad". Mínimo contenido de conglomerante: 370 kg/m<sup>3</sup>. Máximo valor de la relación agua/cemento = 0,40. Recubrimientos protectores y aislantes.

## CLASIFICACION DE LOS METODOS UTILIZABLES PARA EL DIAGNOSTICO DE LA DURABILIDAD

NADU MIHAI. Instituto de estudios y proyectos hidroeléctricos

II Coloquio Internacional «Durabilidad del Hormigón», 1969, RILEM, Praga

### 1. Métodos basados en el contacto de morteros y hormigones con disoluciones agresivas que difieran de las condiciones reales en:

- 1.1. Aumento de la concentración del ión SO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Koch A. y Steinegger H. Zement Kalk Gips 1960-VII-317 a 321. "Resistencias a flexotracción".

Lea F. M. The Chemistry of Cement and Concrete. "Análisis químico del agresivo".

Nadu M. Standardizarea. 1966-XII págs. 637/42. "Aumento de la concentración de  $\text{SO}_4^{=}$ ".

Norma rumana STAS E-2633-67. "Resistencias a tracción".

Thorwaldson T. IV Symposium on Chemistry of Cement. London 1952. "Aumento de la concentración de  $\text{SO}_4^{=}$ ".

- 1.2. Modificación de la composición del agente agresivo. Adición de iones  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Cl, y otros.

Bogue R. H.; Taylor W. Lerch W. Ind. Eng. Chem. 1934 pág. 1.048. "Análisis químico del agresivo".

Hägermann. Y. Zement 1957. N.º 14. "Análisis químico del agresivo".

- 1.3. Aumento de la temperatura.

Biczok. I. Concrete Corrosión, Concrete protection. 1964.

## **2. Métodos basados en el aumento de la superficie de contacto entre el conglomerante endurecido y el agente agresivo**

- 2.1. Por pulverización del conglomerante previamente endurecido.

- 2.1.1. Introducción en débil proporción, en el agente agresivo.

Steopoe A. Ciment si Beton. 1935. XI y XII. pág. 321 (Rumania). "Análisis de los cambios experimentados por la pasta endurecida".

- 2.1.2. Mezcla con sulfato cálcico pulverizado y preparación con esta mezcla, de probetas que se curan en cámara húmeda.

Le Chatelier Anstett. Rev. Mat. XI. N.º 314. Blondiau h. Rev. Mat. 1961. III. N.º 546. "Aspecto de las probetas. Cambios dimensionales".

Jasper. M. J. M. Rev. Mat. 1968. VI. N.º 633. "Aspectos de las probetas. Cambios dimensionales".

Norma holandesa NEN 1591. Norma rumana STAS-E 2633-67. "Cambios dimensionales".

Simpliceau V. Hidrotechnie. 1968. VIII. Rumania. "Cambios dimensionales".

- 2.1.3. Igual procedimiento que en 2.1.2., pero sustituyendo el  $\text{CaSO}_4$  parcial o totalmente por otros sulfatos (Mg, Na, K). Jasper. M. J. M. Rev. Mat. 1968. VI. N.º 633. "Cambios dimensionales".

- 2.2. Endurecimiento de un mortero normalizado a cuyo conglomerante se le ha incrementado la cantidad de yeso. Norma A.S.T.M. C 452-64 T. "Cambios de longitud".

- 2.3. Filtración, bajo presión, del agente agresivo a través de probetas de pasta, de mortero o de hormigón. Orth J. Bull. Rilem 1968. X. pág. 35. "Aspecto externo de la probeta".

2.4. Utilización de probetas de pequeñas dimensiones pero con gran superficie exterior. Koch A. y Steinegger H. loc. cit. "Resistencia a flexotracción".

Merriman. T. Fort-Peck Dam. Specifications 1933. García de Paredes Gaibrois P. RILEM. Symposium Durability of Concrete. 1969. Final report. A. 41.

Fernández-Peña Secades O. RILEM Symposium. Durability of Concrete. Final report. C-103.

Norma checoslovaca CSR. CSN 773-56. Norma rumana STAS E 2633-67. Norma rusa GOST 4798-49. "Cambios de longitud".

**3. Métodos físicos basados en la sustitución de los fenómenos específicos de expansión provocados por la corrosión, por la presión de cristalización de sales contenidas en los agresivos**

Norma Alemana DIN 52 111.

**4. Métodos químicos basados en la sustitución total de los complejos procesos químicos, físicos y mecánicos por reacciones químicas en sistema heterogéneo y sencillo**

4.1. Sedimentación, en copos, de los complejos sulfato aluminicos formados en dispersiones acuosas, diluidas, de conglomerantes. Paul I. Proc. Assos Highway Officials 1936. "Análisis químico del filtrado o del sólido".

4.2. Solubilización de los conglomerantes en disoluciones de azúcar. Merriman T. Fort-Peck Dam. Specifications 1933. "Análisis químico (Alcalimetría)".

4.3. Solubilización de los sulfatos contenidos en el conglomerante que no han reaccionado, mediante la dispersión en agua de cal. Bogue R. H. The Chemistry of Portland Cement. 1955. "Análisis químico del filtrado".