

Sobre un método para el estudio de la corrosión de los hormigones por los líquidos agresivos ¹

3. Plan de trabajo

Con objeto de probar el método anteriormente descrito vamos a aplicarlo a continuación al caso más sencillo que puede presentarse, o sea al estudio de la acción del agua destilada sobre un hormigón de cemento portland normal. Este problema lo consideramos, por otra parte, fundamental, y debe preceder a cualquier otro estudio que quiera hacerse sobre la acción de las aguas agresivas sobre los hormigones.

Basados en la experiencia que hemos adquirido al efectuar los ensayos preliminares, seguiremos en nuestra investigación el siguiente plan de trabajo.

Como ya hemos dicho, emplearemos el cemento de la fábrica "Adler", de Müdersdorf.

Aunque en un principio habíamos pensado estudiar la acción del agua destilada sobre hormigones preparados con arenas de diferente composición granulométrica, hemos desistido de ello a fin de no hacer este trabajo demasiado extenso. Por ello emplearemos solamente arena normal alemana, molida durante diez minutos, y cuya composición granulométrica queda expuesta más arriba.

Con estos elementos, y con los factores ya también mencionados, se prepararon los morteros con los que se obtuvieron los cuerpos de ensayo, empleando siempre una presión de 200 kg/cm².

Los cambios, tanto físicos como químicos, que tengan lugar durante las experiencias, se observarán siempre en series de siete cuerpos de ensayo, preparados exactamente en las mismas condiciones a fin de poder juzgar sobre el límite de error y tener una medida de la exactitud del método.

En las siguientes tablas se contienen las principales características de los 147 cuerpos de ensayo sometidos a la investigación.

Dividimos los ensayos en tres clases, en las que se varían los factores cemento/arena y agua/cemento, permaneciendo constantes las demás variables. Las clases se indican con un número que recuerda fácilmente el factor cemento / arena, así:

	Clase 13	Clase 15	Clase 18
Arena, tiempo de molido	10 min.	10 min.	10 min.
Presión de preparación,	200 kg/cm ²	200 kg/cm ²	200 kg/cm ²
Factor cemento/arena...	1 : 3	1 : 5	1 : 8
Factor agua/cemento....	0,4	0,6	0,9

De cada una de estas clases se prepararon 49 cuerpos de ensayo, que se dividieron en tres series, según la conservación a que se sometieron.

SERIE I.—Conservación en aire

Duración	Numeración de los cuerpos de ensayo
3 días.....	Núms. 1 - 7
7 días.....	" 8 - 14
28 días.....	" 15 - 21

¹ Véase el número anterior, página 301.

SERIE II.—Conservación en agua

Duración	Numeración de los cuerpos de ensayo
3 días.....	Núms. 22 - 28
7 días.....	" 29 - 35
28 días.....	" 36 - 42

SERIE III.—Conservación combinada

Duración	Numeración de los cuerpos de ensayo
7 días en agua y 21 en aire.	Núms. 43 - 49

La investigación se concretó, para cada cuerpo de ensayo, a los siguientes puntos:

1. Determinación del peso a las 24 horas de la preparación.
2. Determinación del peso al final de la conservación, o sea antes de empezar las medidas de la porosidad.
3. Determinación de la porosidad para el aire, que se efectúa a las 24 horas del final de la conservación.
4. Determinación de la cantidad de agua filtrada cada día.
5. Determinación de la resistencia a la presión en cuerpos de ensayo preparados exactamente igual que los sometidos a la filtración. Esta determinación se hará al empezar las experiencias de filtración.
6. Idem íd. al final de las experiencias de filtración.
7. Determinación de la resistencia a la presión en los cuerpos de ensayo, una vez terminadas las experiencias de filtración.
8. Análisis químico cuantitativo de las aguas filtradas, en espacios de tiempo convenientes. En este análisis se determinarán todos los componentes del cemento, incluso los álcalis.

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

1. Condiciones preliminares

Las investigaciones que se mencionan en el anterior plan de trabajo deberían prolongarse y no darse por terminadas hasta el momento en que el cuerpo sujeto a ensayo perdiese su estructura interior, debido a la acción del líquido que lo atraviesa, de manera que en los líquidos filtrantes no se encontrasen sustancias procedentes del cuerpo. Este momento, sin embargo, no puede llegarse a alcanzar hasta después de un espacio de tiempo bastante largo, y que naturalmente depende de multitud de factores, unos interiores, como la porosidad, etc., y otros exteriores al cuerpo, como la presión y la temperatura del líquido que actúa, etc.

Nuestras investigaciones se prolongaron durante más de cuatro meses, y aunque en ningún caso se llegó a una completa destrucción de los cuerpos de ensayo, vamos a tratar de resumir los resultados

obtenidos y las observaciones efectuadas durante la investigación, a fin de poder discutir luego las posibilidades de empleo que ofrece el nuevo método de investigación que hemos elaborado y que es el principal objeto de este trabajo.

Al mismo tiempo, y a pesar de que el proceso de la corrosión ha sido interrumpido antes de llegar a su término, las observaciones efectuadas nos permitirán fijar una serie de nuevos fenómenos; relacionados con el mecanismo de la corrosión de los hormigones, que seguramente ofrecen gran interés por la luz que proyectan sobre este complicado problema.

Con objeto de que la exposición de los resultados obtenidos sea lo más clara posible, la dividiremos en dos partes, separando los resultados físicos de los químicos. En ambas partes nos valdremos de tablas numéricas, en las que se contenga la totalidad de los resultados de las investigaciones, y que procuraremos explicar al mismo tiempo que las sometemos a un ligero estudio comparativo.

2. Resultado de las investigaciones físicas

a) Clase 13.

Los cuerpos de la clase 13, o sea con un factor cemento / arena 1:3 y un factor agua / cemento 0,4, son muy poco porosos, tanto para el aire como para el agua.

En las tablas 1, 2 y 3 se dan los pesos de cada uno de los cuerpos de ensayo, su porosidad para el aire y el agua filtrada en 24 horas, el agua filtrada en el total de la experiencia y la resistencia a la presión al final de la misma. Además se dan los valores medios correspondientes a los siete cuerpos de ensayo. Estos valores medios nos servirán para establecer las comparaciones y poder luego discutir los resultados obtenidos. En general, se calculan como se ha dicho; pero en el caso de que algún cuerpo presente valores anormales, que se desvíen marcadamente de los demás de la serie, no lo tomaremos en consideración para el cálculo del valor medio.

Los pesos de los cuerpos conservados en el aire (tablas 1 a, 2 a y 3 a), que dan, a las 24 horas, una media de 376,8 grs, pierden, a los 3 días, 1,8 grs, de-

bido a la evaporación; sin embargo, y por fijación del anhídrido carbónico del aire, aumentan luego rápidamente, y así vemos que a los siete días han aumentado en dos grs y a los 28 días, en 4,6 grs sobre los valores del primer día.

Esta fijación de CO_2 es un fenómeno general, y, como veremos más adelante, tiene una enorme importancia en el mecanismo de la corrosión de los cuerpos conservados en aire.

T A B L A 2

CLASE 13.—Cuerpos de 7 días de conservación

a) Conservación en aire:

	8	9	10	11	12	13	14	Medias
Peso 24 horas.	374,7	374,0	376,5	375,5	375,5	375,0	374,0	375,0
Peso fin. . . .	377,0	376,2	378,4	377,5	377,4	376,8	376,6	377,1
Porosidad. . .	7,0	6,4	5,0	6,0	7,1	5,2	4,1	5,8
Permeabilidad.	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
Agua total . .	0,8	0,9	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2
Resistencia . .	329	332	329	334	346	334	340	335

b) Conservación en agua:

	29	30	31	32	33	34	35	Medias
Peso 24 horas.	379,6	377,1	375,5	375,4	377,5	376,7	375,8	376,8
Peso fin. . . .	391,6	389,5	388,5	388,5	391,0	389,5	388,5	389,6
Porosidad. . .	6,6	1,1	1,4	4,0	0,2	0,5	0,4	2,0
Permeabilidad.	25,0	5,0	6,0	13,0	2,0	2,0	3,0	8,0
Agua total . .	"	23,5	23,8	50,0	7,0	7,0	12,0	20,5
Resistencia . .	"	307	342	298	412	382	376	368

A pesar de que los valores de las porosidades para el aire son relativamente elevados, estos cuerpos presentan una permeabilidad para el agua muy pequeña.

De los cuerpos conservados al aire, los de 3 días no dejan pasar ninguna agua (tablas 1 a y 4 a), y los de 7 días sólo llega a humedecerse la parte inferior del cuerpo (tablas 2 a y 5 a), mientras que los de 28 días de conservación empiezan a dejar pasar agua a los 60 días, aumentando después constantemente su permeabilidad durante la duración de la experiencia (tablas 3 a y 6 a). Este extraño comportamiento se repite, como veremos, para los cuerpos de las clases 15 y 18 con conservación análoga.

T A B L A 1

CLASE 13.—Cuerpos de 3 días de conservación

a) Conservación en aire:

	1	2	3	4	5	6	7	Medias
Peso 24 horas.	378,0	377,0	376,0	375,8	377,7	376,5	376,9	376,8
Peso fin. . . .	376,5	374,6	373,9	373,7	376,2	374,8	375,5	375,0
Porosidad. . .	1,3	5,3	5,1	7,0	5,0	2,0	6,5	4,6
Permeabilidad.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Agua total . .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Resistencia . .	313	370	325	407	334	329	329	344

b) Conservación en agua:

	22	23	24	25	26	27	28	Medias
Peso 24 horas.	376,7	378,2	376,7	376,4	377,5	376,3	376,7	376,9
Peso fin. . . .	385,0	386,0	384,0	383,2	384,2	384,6	384,9	384,5
Porosidad. . .	1,4	1,0	0,0	0,7	0,6	2,4	1,1	1,3
Permeabilidad.	2,2	2,0	0,1	0,8	2,0	3,0	1,5	1,6
Agua total . .	6,9	5,8	0,2	1,0	2,6	13,5	13,0	6,1
Resistencia . .	397	351	346	298	477	376	330	368

T A B L A 3

CLASE 13.—Cuerpos de 28 días de conservación

a) Conservación en aire:

	15	16	17	18	19	20	21	Medias
Peso 24 horas.	375,0	376,2	375,8	377,1	376,3	377,5	379,5	376,8
Peso fin. . . .	380,5	381,0	380,2	381,7	380,5	382,0	384,2	381,4
Porosidad. . .	5,0	4,5	4,5	1,8	4,5	2,7	8,3	4,5
Permeabilidad.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Agua total . .	102,2	17,0	19,0	13,5	11,0	3,0	12,0	25,3
Resistencia . .	355	334	346	355	346	340	325	343

b) Conservación en agua:

	36	37	38	39	40	41	42	Medias
Peso 24 horas.	377,5	376,0	373,3	373,5	375,0	376,3	377,0	375,5
Peso fin. . . .	391,7	391,0	389,6	390,2	390,7	392,0	391,0	390,8
Porosidad. . .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Permeabilidad.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Agua total . .	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Resistencia . .	361	346	313	292	329	329	340	344

	43	44	45	46	47	48	49	Medias
Peso 24 horas.	374,0	377,0	372,3	375,6	376,1	374,5	375,3	375,0
Peso fin.	384,6	388,2	383,4	385,9	386,5	384,5	385,5	385,5
Porosidad. . . .	1,7	2,2	3,1	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4
Permeabilidad.	0,2	1,0	2,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,7
Agua total . . .	0,5	7,0	24,0	0,0	0,0	2,5	0,0	4,8
Resistencia . . .	346	355	340	372	331	313	335	342

En las tablas 1 b, 2 b y 3 b se encuentran en primer lugar los pesos de los cuerpos conservados en agua. De su observación se deduce que son tanto más elevados cuanto mayor es el tiempo de permanencia en agua. Los aumentos son 7,6 grs a los 3 días, 12,8 a los 7 y 15,3 a los 28 días.

[illegible]

NIAS	22	23	24	25	26	27	28	MEDIAS
15.....	6,0	5,2	0,0	1,0	2,6	12,4	11,4	5,5
30.....	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	1,1	1,5	0,6
45.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
75.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
105.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
135.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Medias...</i>	6,0	5,8	0,0	1,0	2,6	13,5	12,0	6,1

La permeabilidad para el agua es análogamente muy pequeña. Para los cuerpos de 3 y 7 días de conservación tiene un valor medio de 1,6 y 8,0 cm³, respectivamente (tablas 1 b y 2 b), y el agua filtrada en el total de la investigación es 6,1 y 20,5 cm³, siendo ya alcanzados estos valores en los primeros días de filtración (tablas 4 b y 5 b), haciéndose después completamente impermeables. Para los cuerpos de 28 días el comportamiento es distinto; mientras que para los conservados en aire son, como hemos visto, algo impermeables, los conservados en agua son absolutamente impermeables (tablas 6 a y 6 b).

DÍAS	8	9	10	11	12	13	14	MEDIAS
15.....	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
30.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
75.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
105.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
135.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Medias...</i>	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2

DÍAS	29	30	31	32	33	34	35	MEDIAS
15.....	"	20,0	22,0	40,8	6,7	0,2	10,5	17,7
30.....	"	3,0	1,8	4,8	0,2	0,7	1,0	1,9
45.....	"	0,5	0,0	3,4	0,1	0,1	0,5	0,9
60.....	"	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1
75.....	"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90.....	"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
105.....	"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120.....	"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
135.....	"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Medias...</i>	"	23,5	23,8	50,0	7,0	7,0	12,0	20,5

DÍAS	15	16	17	18	19	20	21	MEDIAS
15.....	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,6
30.....	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3
45.....	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
60.....	8,0	1,0	3,5	2,0	0,2	0,1	2,3	2,3
75.....	12,0	4,0	3,5	2,0	1,3	0,9	1,0	3,5
90.....	20,0	4,5	6,0	3,5	3,0	1,0	3,0	5,9
105.....	22,0	5,0	4,0	2,5	3,5	0,5	1,0	5,5
120.....	30,0	2,5	3,0	3,5	3,0	0,5	2,0	6,3
<i>Medias...</i>	102,0	17,0	19,0	13,5	11,0	3,0	12,0	25,3

[illegible]

T A B L A 6 c)

CLASE 13.—Cuerpos de 28 días de conservación combinada

DÍAS	43	44	45	46	47	48	49	MFDÍAS
15.....	0,5	5,5	12,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,9
30.....	0,0	0,7	5,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,9
45.....	0,0	0,8	2,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5
60.....	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
75.....	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
90.....	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
105.....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120.....	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Medias...	0,5	7,0	24,0	0,0	0,0	2,3	0,0	4,8

b) Clase 15.

Los resultados de las investigaciones de la clase 15 son, en general, muy diferentes de los que acabamos de considerar. Corresponde la clase 15, como ya se indicó, a un factor cemento/arena 1:5 y a un factor agua / cemento de 0,6. En las tablas 7 a 9 se exponen las propiedades generales, y en las 10, 11 y 12, las cantidades, expresadas en centímetros cúbicos, de agua filtradas de 5 en 5 días.

T A B L A 7

CLASE 15.—Cuerpos de 3 días de conservación

a) Conservación en aire:

	1	2	3	4	5	6	7	Medias
Peso 24 horas. .	361,5	364,5	362,0	364,5	360,5	361,5	362,5	362,4
Peso fin.	358,5	361,8	360,0	361,0	357,8	358,5	359,0	359,5
Porosidad. . . .	24,7	23,8	35,7	28,5	52,6	33,3	29,4	32,6
Permeabilidad. .	15,5	13,0	27,0	22,0	64,0	34,0	25,0	28,6
Agua total. . . .	176,5	"	411,0	258,5	783,5	508,0	342,5	413,3
Resistencia. . . .	166	"	166	160	147	160	147	158

b) Conservación en agua:

	22	23	24	25	26	27	28	Medias
Peso 24 h. . . .	362,0	364,5	363,0	363,0	365,0	365,0	365,0	363,9
Peso fin.	371,5	372,3	372,7	371,1	373,7	372,0	371,8	372,1
Porosidad. . . .	12,2	11,3	21,7	12,0	7,7	10,0	8,6	11,9
Permeabilidad. .	17,0	46,0	77,0	33,0	16,0	17,0	15,0	31,5
Agua total. . . .	830,3,0	17518,0	20483,5	11230,5	1310,0	4197,0	1374,5	9202,0
Resistencia. . . .	132	105	92	113	149	122	164	125

Consideremos, en primer lugar, los valores medios de los pesos de los cuerpos de ensayo conservados en aire (tablas 7 a, 8 a y 9 a), determinados 24 horas después de su preparación, y los determinados al final del período de conservación, y veremos también aquí, aunque no de manera tan marcada como en la clase 13, las variaciones debidas a la desecación y a la carbonatación, pues aunque los pesos de 24 horas sean siempre superiores a los del final de la conser-

T A B L A 8

CLASE 15.—Cuerpos de 7 días de conservación

a) Conservación en aire:

	8	9	10	11	12	13	14	Medias
Peso 24 horas. .	363,0	364,0	361,0	362,5	362,5	365,0	363,7	363,1
Peso fin.	359,5	360,6	357,4	359,4	360,3	361,5	359,6	360,0
Porosidad. . . .	26,3	25,0	33,3	30,3	31,2	25,6	14,0	27,7
Permeabilidad. .	17,0	17,0	18,0	19,0	21,0	16,0	14,0	18,8
Agua total. . . .	334,0	348,0	359,0	350,0	389,0	1848,0	482,0	377,0
Resistencia. . . .	176	160	176	170	153	157	178	167

b) Conservación en agua:

	29	30	31	32	33	34	35	Medias
Peso 24 horas. .	364,5	361,5	365,5	363,8	366,0	364,0	363,0	364,0
Peso fin.	374,5	372,8	376,5	375,5	376,0	374,7	374,0	374,9
Porosidad. . . .	2,2	0,0	1,0	1,7	2,4	1,3	4,0	1,8
Permeabilidad. .	1,5	0,0	9,5	2,5	3,0	1,0	4,5	3,1
Agua total. . . .	"	1,0	232,0	45,0	76,0	25,3	67,5	53,4
Resistencia. . . .	"	157	178	172	178	172	164	170

vación, la diferencia se hace menor al aumentar ésta, llegando casi a igualarse a los 28 días, lo que denota una clara carbonatación.

Estos cuerpos son bastante más porosos para el aire que los de la clase 13. El valor máximo corresponde a la serie de conservación de 3 días, con un valor medio de 32,6 cm³ de aire por minuto. Al aumentar el tiempo de la conservación disminuye la porosidad; así, en los cuerpos de 7 días adquiere un valor de 27,7 cm³ por minuto, llegando a los 28 días a 21,5 cm³ por minuto.

T A B L A 9

CLASE 15.—Cuerpos de 28 días de conservación

a) Conservación en aire:

	15	16	17	18	19	20	21	Medias
Peso 24 horas. .	364,0	366,3	367,0	367,5	366,5	366,3	364,4	366,0
Peso fin.	364,5	365,5	366,0	366,5	366,0	366,0	364,0	365,5
Porosidad. . . .	22,2	28,5	16,1	4,7	24,3	24,1	30,3	21,5
Permeabilidad. .	17,0	16,0	11,0	6,0	13,5	17,0	21,5	14,6
Agua total. . . .	555,0	613,0	493,0	516,0	489,0	733,0	748,5	592,5
Resistencia. . . .	189	172	185	178	185	185	178	182

b) Conservación en agua:

	36	37	38	39	40	41	42	Medias
Peso 24 horas. .	366,5	365,8	364,5	365,7	361,5	362,5	361,8	364,0
Peso fin.	382,0	379,5	378,5	380,0	378,5	380,5	380,0	380,0
Porosidad. . . .	1,4	0,0	1,8	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
Permeabilidad. .	3,5	2,0	2,5	1,0	8,5	0,2	0,2	2,6
Agua total. . . .	203,5	63,5	70,0	1,5	169,5	1,0	30,0	77,0
Resistencia. . . .	166	172	178	172	185	200	178	179

c) Conservación combinada:

	43	44	45	46	47	48	49	Medias
Peso 24 horas. .	363,0	363,5	359,5	365,2	357,5	366,3	362,3	362,2
Peso fin.	366,0	369,0	364,5	369,0	362,0	370,0	368,5	367,8
Porosidad. . . .	10,0	3,7	8,3	4,1	22,2	3,5	7,7	8,5
Permeabilidad. .	2,0	0,1	3,5	0,5	14,0	0,5	0,5	1,2
Agua total. . . .	27,5	4,5	25,0	10,5	214,0	8,0	3,5	13,1
Resistencia. . . .	193	215	200	193	200	172	208	197

Las cantidades de agua filtradas en el primer día son, análogamente, tanto mayores cuanto menor es el tiempo de conservación, y sus valores varían, por lo tanto, paralelamente a los de la porosidad para el aire. Muy diferentes son estas relaciones si se consideran las cantidades de agua filtradas en el total de la investigación. Sus valores medios, para las series de 3, 7 y 28 días, son, respectivamente, 413,3, 377,0 y 592,5 cm³, o sea, que los cuerpos de 28 días resultan, inesperadamente, los que más agua dejan pasar en el total de la experiencia.

Para poder interpretar con más conocimiento de causa este hecho se reproduce, en las tablas 10 a, 11 a y 12 a, la marcha de la filtración con mayor detalle. En ellas se dan las cantidades de agua filtradas de 5

T A B L A 10 a)

CLASE 15.—Cuerpos de 3 días de conservación en aire

DÍAS	1	2	3	4	5	6	7	MEDIAS
5.....	42,5	40,0	79,0	66,0	196,5	107,0	82,0	95,5
10.....	17,5	19,0	42,0	33,0	93,5	55,5	44,0	47,6
15.....	17,5	18,5	41,0	30,5	75,0	48,5	35,0	41,3
20.....	14,0	13,5	30,0	21,0	58,5	38,0	28,0	31,6
25.....	8,0	7,5	24,0	15,5	40,5	27,0	18,0	22,2
30.....	11,0	9,5	20,5	16,5	41,0	29,5	20,5	24,2
35.....	8,0	"	18,5	11,0	33,0	23,5	16,5	18,4
40.....	6,8	"	18,0	10,0	28,0	20,5	13,0	16,1
45.....	6,2	"	15,5	8,0	25,0	19,5	12,0	14,4
50.....	5,0	"	12,5	7,0	22,0	16,0	10,0	12,1
55.....	5,5	"	13,0	5,0	19,0	14,0	8,0	10,7
60.....	5,0	"	11,0	5,0	18,0	13,5	8,5	10,2
65.....	5,0	"	10,0	4,5	17,0	13,0	7,5	9,5
70.....	3,5	"	9,5	3,5	15,0	11,5	7,0	8,3
75.....	3,0	"	7,5	3,5	13,0	10,0	5,0	7,0
80.....	2,0	"	7,0	3,0	11,5	8,0	4,0	6,0
85.....	2,0	"	7,5	2,5	11,5	9,0	4,0	6,1
90.....	3,0	"	7,0	3,0	12,5	9,0	5,0	6,5
95.....	2,0	"	6,5	2,5	10,0	8,0	4,0	5,5
100.....	1,5	"	6,0	2,0	9,5	7,0	3,0	4,8
105.....	2,0	"	4,5	1,0	9,0	5,0	2,0	3,9
110.....	1,5	"	4,5	1,5	8,0	5,0	2,0	3,7
115.....	2,0	"	4,0	1,0	6,5	4,0	1,5	3,2
120.....	1,0	"	4,0	1,0	5,5	4,0	1,5	2,8
125.....	1,0	"	2,0	0,5	4,5	2,0	0,5	1,7
Medias...	176,5	"	411,0	258,5	787,5	508,0	342,5	413,3

T A B L A 10 b)

CLASE 15.—Cuerpos de 3 días de conservación en agua

DÍAS	22	23	24	25	26	27	28
5...	73,5	179,5	252,5	126,5	56,0	70,0	61,5
10...	68,5	157,5	200,0	109,0	37,0	61,0	64,5
15...	88,0	211,0	252,0	147,5	45,0	80,0	71,0
20...	75,0	183,0	226,0	131,5	38,0	63,0	57,0
25...	72,0	213,5	221,0	144,0	33,5	63,0	43,5
30...	92,0	508,0	295,0	192,0	41,5	82,0	56,5
35...	86,0	619,0	285,0	121,0	28,0	47,0	41,0
40...	80,0	1064,0	445,0	162,0	29,0	56,0	37,0
45...	109,0	1509,0	815,0	203,0	33,0	71,0	46,0
50...	131,0	1075,0	1045,0	237,0	32,5	75,0	50,0
55...	154,0	474,0	836,0	276,0	31,0	83,0	48,0
60...	196,0	378,0	684,0	309,0	30,0	89,0	47,0
65...	199,0	326,0	592,0	309,0	24,5	66,0	38,5
70...	243,0	391,0	717,0	404,0	23,5	60,0	36,5
75...	308,0	457,0	755,0	500,0	22,5	85,0	35,5
80...	397,0	532,0	821,0	592,0	26,0	125,0	41,0
85...	485,0	703,0	909,0	772,0	38,0	170,0	56,0
90...	504,0	835,0	958,0	758,0	50,0	170,0	52,0
95...	540,0	845,0	962,0	717,0	54,0	185,0	48,0
100...	625,0	900,0	1164,0	750,0	65,0	251,0	53,5
105...	685,0	915,0	1266,0	755,0	75,0	396,0	56,5
110...	797,0	1220,0	1685,0	837,0	97,5	455,0	69,0
115...	672,0	1106,0	1398,0	761,0	104,5	411,0	71,0
120...	768,0	1152,0	1520,0	812,0	143,0	562,0	93,0
125...	855,0	1505,0	2180,0	1115,0	162,0	521,0	111,0
Medias.	8303,0	17518,5	20483,5	11230,5	1310,0	4197,0	1374,5

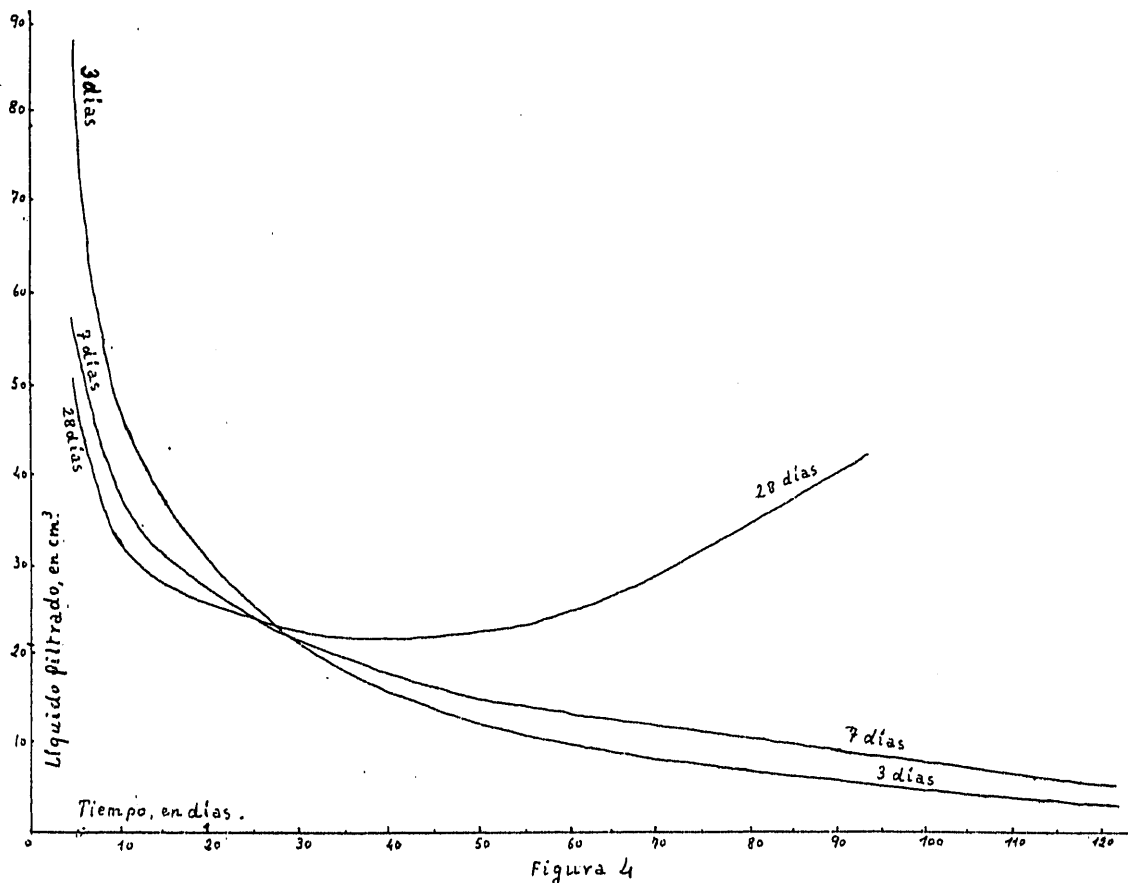


Figura 4

en 5 días durante el total de la experiencia, así como los valores medios correspondientes. Para mayor claridad en la interpretación de estas tablas, y por considerarlas interesantes, reproducimos sus resultados, de una manera gráfica, en las curvas de la figura 4. De esta manera vemos claramente que la serie de cuerpos conservados tres días en aire, que al principio presentan la máxima permeabilidad para el agua,

son, al final de la experiencia, los menos permeables, y, por el contrario, en los cuerpos de 28 días de conservación, que son los que dejan pasar al principio menos agua, vemos que la permeabilidad va decreciendo cada vez más lentamente, hasta adquirir, al cabo de 25 días, el mismo valor que la serie de 3 días, para luego sobrepasarla y aumentar cada vez con más rapidez.

La curva correspondiente a los cuerpos de 7 días de conservación permanece entre las anteriores, acercándose sin embargo, y como es de esperar, a la de 3 días. Aunque las permeabilidades de los diferentes cuerpos de ensayo de cada serie varían bastante, puede decirse que los valores medios calculados representan bien el proceso, pues las variaciones que existen son siempre aproximadamente paralelas. La úni-

T A B L A 11 a)

CLASE 15.—Cuerpos de 7 días de conservación en aire

DÍAS	8	9	10	11	12	13	14	MEDIAS
5.....	55,0	57,0	57,0	61,0	68,0	52,0	44,0	57,0
10.....	34,0	35,0	35,0	38,0	46,0	37,0	29,0	36,2
15.....	26,5	29,5	29,5	32,0	35,0	32,5	25,0	29,6
20.....	17,5	18,5	18,5	21,0	25,0	21,5	18,5	19,9
25.....	19,5	21,0	22,5	23,0	27,0	27,5	23,5	22,7
30.....	17,5	19,0	19,5	20,0	23,0	23,5	21,5	20,1
35.....	16,0	17,0	17,0	17,0	19,0	21,0	21,0	17,9
40.....	15,5	16,0	16,5	16,0	17,5	19,5	21,5	17,2
45.....	13,0	13,0	14,0	13,0	14,0	16,5	20,0	14,5
50.....	12,5	13,0	13,0	12,0	14,5	17,0	19,0	14,0
55.....	11,5	12,0	13,0	11,0	13,0	15,0	19,0	13,2
60.....	12,0	12,0	13,0	11,0	11,0	15,0	19,0	13,0
65.....	10,0	10,0	12,0	9,5	10,0	15,5	18,0	11,7
70.....	11,0	11,0	11,5	8,5	9,0	17,5	10,0	11,7
75.....	8,5	9,0	9,0	8,0	8,0	16,0	18,5	10,2
80.....	8,5	8,0	9,0	8,0	7,5	18,0	17,0	9,7
85.....	8,5	8,5	9,0	8,0	8,0	23,5	17,5	9,9
90.....	7,0	7,0	7,0	6,5	6,5	106,0	17,0	8,5
95.....	5,5	7,0	6,5	6,5	5,0	174,0	18,0	8,1
100.....	6,0	6,5	7,7	5,5	5,5	197,0	19,0	8,2
105.....	5,0	5,0	5,5	4,5	4,0	189,0	15,0	6,5
110.....	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	189,0	13,5	5,7
115.....	4,0	3,5	3,5	2,5	3,5	194,4	9,5	4,4
120.....	3,0	2,0	2,5	2,0	2,5	180,0	10,0	3,6
125.....	2,5	3,0	2,5	2,0	2,0	230,0	9,0	3,5
Medias...	334,0	348,0	350,0	350,0	389,0	1848,0	482,0	377,0

T A B L A 11 b)

CLASE 15.—Cuerpos de 7 días de conservación en agua

DÍAS	29	30	31	32	33	34	35	MEDIAS
5.....	7,5	0,2	26,0	10,0	9,0	4,0	11,5	8,6
10.....	7,0	0,3	23,0	8,5	8,0	4,5	10,0	7,8
15.....	6,5	0,5	19,5	5,5	10,5	4,0	8,0	7,0
20.....	3,0	0,0	8,5	2,0	4,0	2,0	4,0	3,0
25.....	"	0,0	14,0	5,0	8,0	2,0	7,0	5,5
30.....	"	0,0	10,5	4,0	5,5	2,0	4,5	4,0
35.....	"	0,0	10,5	1,0	4,5	1,0	3,5	2,5
40.....	"	0,0	12,0	2,0	5,5	1,5	4,0	3,2
45.....	"	0,0	10,0	1,0	4,0	0,5	1,5	1,8
50.....	"	0,0	9,0	1,5	4,0	1,0	2,5	2,2
55.....	"	0,0	10,0	1,5	4,0	1,0	2,0	2,1
60.....	"	0,0	9,0	1,0	3,5	0,5	2,0	1,8
65.....	"	0,0	7,0	1,3	1,0	0,7	1,0	1,0
70.....	"	0,0	7,0	0,3	2,0	0,3	1,5	1,0
75.....	"	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
80.....	"	0,0	8,5	0,2	0,5	0,0	0,5	0,3
85.....	"	0,0	8,0	0,0	1,5	0,0	1,5	0,8
90.....	"	0,0	6,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4
95.....	"	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100.....	"	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
105.....	"	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
110.....	"	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
115.....	"	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120.....	"	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
125.....	"	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Medias...	"	1,0	232,0	45,0	76,0	25,3	67,5	53,4

ca excepción es la del cuerpo número 13 de la tabla 11 a, y, naturalmente, sus valores han sido excluidos al hacer el cálculo de los valores medios.

Para la futura interpretación de estas curvas es interesante recordar que presentan un proceso sumamente análogo al de las series correspondientes de la clase 13; parece ser, pues, que se trata de un fenómeno completamente general. También aquí vemos, como en la clase 13, que los cuerpos con 28 días de conservación en aire presentan, al cabo de cierto tiempo, un aumento cada vez mayor en su permeabilidad, contrariamente a lo que sucede a los cuerpos de 3 y 7 días de conservación.

Los pesos de los cuerpos conservados en agua, pertenecientes a la clase 15, y que se encuentran en las tablas 7 b, 8 b y 9 b, son mucho mayores que los pesos de los mismos cuerpos a las 24 horas de preparación. Las diferencias de los valores medios son: 8,2 grs para los cuerpos de 3 días de conservación, 10,9 grs para los de 7 días y 16 grs para los de 28 días. O sea, análogamente a lo que vimos para la clase 13.

T A B L A 12 a)

CLASE 15.—Cuerpos de 28 días de conservación en aire

DÍAS	15	16	17	18	19	20	21	MEDIAS
5.....	51,5	55,0	40,0	23,5	51,0	60,5	73,0	50,6
10.....	29,5	37,0	25,5	19,5	33,0	41,5	35,0	31,5
15.....	24,0	32,0	21,5	18,0	26,0	34,0	35,0	27,2
20.....	35,0	29,0	19,0	18,5	23,0	30,0	31,5	26,5
25.....	22,0	25,5	17,5	17,5	20,5	29,0	29,5	23,0
30.....	19,5	22,5	15,5	16,0	17,5	25,5	27,0	20,5
35.....	20,5	22,0	16,0	17,0	17,0	25,5	28,0	20,8
40.....	20,0	23,0	17,0	19,0	17,0	25,0	27,5	21,2
45.....	21,0	22,0	13,5	20,0	17,5	25,0	27,5	21,6
50.....	20,5	22,5	19,5	22,5	16,5	25,5	28,5	22,2
55.....	21,5	24,5	21,0	25,0	19,5	27,5	29,0	23,0
60.....	23,0	26,0	22,5	27,5	21,5	29,0	29,5	25,5
65.....	20,5	25,0	20,5	26,5	20,0	29,0	27,5	24,1
70.....	24,5	29,0	24,0	30,5	24,0	36,0	31,5	28,5
75.....	28,0	35,0	28,0	35,0	26,5	42,0	33,5	32,5
80.....	29,0	34,0	29,0	37,0	25,5	45,0	38,5	34,0
85.....	33,0	33,0	32,0	37,0	25,5	49,0	53,5	37,8
90.....	35,0	39,0	31,0	38,0	26,5	50,0	53,0	38,9
95.....	38,5	39,0	35,0	32,0	31,0	52,5	55,0	40,4
100.....	38,5	36,0	40,0	36,0	30,0	52,5	55,0	41,1
Medias...	550,0	613,0	493,0	516,0	489,0	733,0	748,5	592,5

Las porosidades para el aire de los cuerpos conservados en agua son mucho menores que la de los correspondientes cuerpos conservados en aire. Los máximos valores corresponden a los cuerpos de 3 días, y los menores, a los de 28 días. Análogas consideraciones pueden hacerse para la permeabilidad durante el primer día.

Las cantidades totales de agua filtradas durante la duración de los ensayos son muy diferentes. Los cuerpos de las tres series presentan una enorme variación de unos a otros, careciendo, pues, de valor el cálculo del valor medio, que, sin embargo, damos. En las tablas 10 b, 11 b y 12 b se dan las cantidades filtradas cada 5 días durante la total duración de la investigación.

Consideraremos, en primer lugar, la tabla 10 b. Durante los 25 primeros días los valores de las permeabilidades son, en cierto grado, paralelos en todos los cuerpos de la serie. Desde este momento la permeabilidad del cuerpo número 23 aumenta rápidamente muy por encima de todas las demás, sin que, al parecer, exista una causa que lo justifique, alcanzando su máximo a los 50 días; luego vuelve a decrecer, llegando a su mínimo valor a los 65 días, y

desde este momento aumenta de una manera lenta, pero continua, hasta el final de la experiencia. Una marcha análoga en el proceso de la filtración, aunque no es tan pronunciado el primer ascenso, se observa en el cuerpo número 24. Los demás cuerpos conservan, en cierto modo, su paralelismo, mostrando, a la larga, una constante tendencia al aumento, cada vez más marcado, de la permeabilidad. Nos in-

T A B L A 12 b)

CLASE 15.—Cuerpos de 28 días de conservación en agua

DÍAS	36	37	38	39	40	41	42	MEDIAS
5.....	11,0	7,0	9,0	1,0	25,0	0,5	4,0	8,2
10.....	11,5	3,5	6,0	0,0	13,0	0,0	3,5	5,4
15.....	12,0	3,5	6,0	0,0	12,5	0,0	3,5	5,4
20.....	9,5	4,5	6,0	0,0	11,5	0,0	4,0	5,1
25.....	12,0	4,0	5,0	0,0	11,0	0,0	3,5	5,1
30.....	9,5	3,5	6,5	0,0	9,0	0,0	2,5	4,4
35.....	10,0	3,0	5,5	0,0	9,5	0,0	2,5	4,3
40.....	10,0	2,5	5,0	0,5	7,5	0,5	2,3	4,0
45.....	11,0	2,5	4,0	0,0	7,5	0,0	1,2	3,7
50.....	11,0	3,5	3,5	0,0	6,7	0,0	1,0	3,7
55.....	11,0	3,0	3,5	0,0	7,3	0,0	1,0	3,7
60.....	10,5	3,0	3,0	0,0	7,5	0,0	1,0	3,6
65.....	11,0	2,8	2,0	0,0	6,0	0,0	0,0	3,1
70.....	11,0	2,7	1,8	0,0	6,0	0,0	0,0	3,1
75.....	11,5	3,0	1,2	0,0	6,5	0,0	0,0	3,1
80.....	10,0	3,0	0,5	0,0	5,0	0,0	0,0	2,6
85.....	9,0	2,5	0,5	0,0	5,0	0,0	0,0	2,5
90.....	7,0	2,0	0,5	0,0	4,0	0,0	0,0	1,9
95.....	8,5	2,0	0,5	0,0	5,0	0,0	0,0	2,3
100.....	6,5	2,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	1,8
Medias...	203,5	63,5	70,0	1,5	169,5	1,0	30,0	77,0

T A B L A 12 c)

CLASE 15.—Cuerpos de 28 días de conservación combinada

DÍAS	43	44	45	46	47	48	49	MEDIAS
5.....	7,0	0,5	8,2	3,0	34,5	2,3	1,5	3,7
10.....	2,5	2,5	2,3	2,0	15,5	1,2	0,5	1,8
15.....	2,0	0,0	1,5	0,5	13,0	0,5	0,8	0,9
20.....	2,5	0,6	2,5	0,6	12,0	0,7	0,2	1,2
25.....	1,5	0,9	1,3	0,4	11,0	0,3	0,0	0,7
30.....	1,5	0,0	1,2	0,5	12,0	0,5	0,0	0,6
35.....	1,5	0,0	1,0	0,5	10,5	0,5	0,3	0,5
40.....	1,5	0,0	0,5	0,5	9,5	0,0	0,2	0,5
45.....	0,8	0,0	1,0	0,5	9,5	0,5	0,0	0,5
50.....	0,7	0,0	0,7	0,0	8,0	0,0	0,0	0,2
55.....	0,5	0,0	0,4	0,3	9,0	0,0	0,0	0,2
60.....	1,0	0,0	0,6	0,5	9,0	0,0	0,0	0,4
65.....	1,0	0,0	0,8	0,7	8,0	0,5	0,0	0,5
70.....	0,5	0,0	1,0	0,5	8,0	0,5	0,0	0,4
75.....	0,5	0,0	0,5	0,0	9,0	0,0	0,0	0,2
80.....	0,5	0,0	0,5	0,0	7,5	0,5	0,0	0,2
85.....	0,5	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,1
90.....	0,5	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,1
95.....	0,5	0,0	0,5	0,0	7,5	0,0	0,0	0,2
100.....	0,5	0,0	0,5	0,0	6,5	0,0	0,0	0,2
Medias...	27,5	4,5	25,5	10,0	214,0	8,0	3,5	13,1

clinamos a considerar el comportamiento de los cuerpos números 23 y 24 como anomalías, siendo la tendencia de esta serie de cuerpos la manifestada por los restantes, o sea hacerse cada vez más permeables, sin que existan recurrencias en la permeabilidad. En lugar de calcular un valor medio, preferimos tomar el número 22 como representante de esta serie.

Según puede verse en la tabla 11 b, los cuerpos de 7 días de conservación en agua presentan, contrariamente a los que acabamos de estudiar, una constante disminución en su permeabilidad. A los tres me-

ses de empezado el ensayo puede decirse que, prácticamente, estos cuerpos son completamente impermeables, excepción hecha del número 31, que, por lo demás, marcha paralelamente a los restantes.

Lo que hemos dicho para estos cuerpos podemos repetirlo para la serie de cuerpos de 28 días de conservación en agua, cuya marcha puede verse en la tabla 12 b.

En la tabla 9 c se contienen las observaciones hechas con los cuerpos conservados combinadamente; sus propiedades se acercan más a las series últimamente discutidas. El aumento medio del peso durante la conservación es de 5,6 grs. La porosidad media para el aire es intermedia entre la de los cuerpos de 28 días conservados en aire y en agua. La permeabilidad para el agua, que ya en el primer día es relativamente pequeña, disminuye durante el curso de la investigación, acercándose al valor cero, como puede verse en la tabla 12 c. Las diferencias que se observan entre los distintos cuerpos de la serie no son muy importantes, excepción hecha del número 47, que, por lo tanto, no se tuvo en cuenta para el cálculo de los valores medios.

c) Clase 18.

Esta clase está caracterizada, como se sabe, por un factor cemento/arena 1:8 y un factor agua/cemento 0,9, siendo, por lo tanto, la más pobre en cemento de todas las ensayadas. Los resultados de nuestra investigación se encuentran resumidos en la tabla 13. Como ya hemos dicho, de esta clase sólo se llevaron a término las investigaciones con los cuerpos de 28 días de conservación.

Los pesos medios de los cuerpos conservados en aire varían, de 356,6 grs a las 24 horas, a 352,7 grs después de la conservación; o sea, que actúa más activamente la desecación que el aumento de peso

T A B L A 13

CLASE 18.—Cuerpos de 28 días de conservación

a) Conservación en aire:

	15	16	17	18	19	20	21	MEDIAS
Peso 24 h. ...	351,5	358,5	354,2	356,0	358,3	360,5	357,5	356,6
Peso 28 días ...	347,7	354,7	351,0	354,0	354,3	352,3	351,7	352,7
Porosidad ...	50,0	37,6	55,5	40,0	29,4	33,3	38,4	40,6
Permeabilidad ...	55,0	36,0	73,0	42,0	30,0	28,0	35,5	42,8
Agua total ...	42678,0	17015,0	57129,0	17176,0	5235,0	12561,0	24000,0	25113,0
Resistencia ...	61	84	42	84	80	82	84	74

por absorción de CO₂. Las porosidades para el aire son muy grandes para todos los cuerpos de esta serie, y análogamente ocurre con la filtración durante el primer día, siendo la marcha de ambos valores, en cierto modo, paralelos (tabla 13 a).

En la tabla 14 a se consignan los datos relativos a la permeabilidad de estos cuerpos conservados en aire, medida, como en anteriores tablas, de 5 en 5 días. Los valores obtenidos siguen los primeros días cierto paralelismo; pero, a partir del día 35, se producen en distintos momentos aumentos bruscos en la cantidad de agua filtrada, para luego seguir aumentando más lentamente, o, en algún caso, presentar débil recurrencia. Una excepción entre todos los cuerpos es el comportamiento del número 17, en el cual se presenta, indudablemente, una marcha ondulada

de la permeabilidad. Este fenómeno es, en cierto modo, análogo al que ya hemos visto detalladamente para el cuerpo número 23 de la clase 15, con 3 días de conservación al agua. Este cuerpo dejó pasar a su través más de 57 litros de agua en 120 días, y es, por lo tanto, el que ocupa el primer lugar, en este sentido, entre todos los sometidos a esta investigación.

b) Conservación en agua:

	36	37	38	39	40	41	42	Medias
Peso 24 horas . . .	358,0	361,0	350,0	351,3	361,6	362,8	355,0	357,1
Peso fin	370,2	370,5	363,5	362,8	372,7	371,7	370,2	368,8
Porosidad	27,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Permeabilidad . . .	132,0	0,0	0,5	17,0	0,5	0,0	1,0	0,5
Agua total	"	0,5	116,5	1864,0	42,5	17,5	103,5	70,0
Resistencia	"	96	92	5	99	111	73	99

c) Conservación combinada:

	43	44	45	46	47	48	49	Medias
Peso 24 horas . . .	359,3	360,0	360,0	359,5	361,2	359,7	360,1	360,0
Peso fin	354,6	353,4	355,2	354,8	356,7	355,5	355,5	355,1
Porosidad	8,0	20,0	5,8	5,8	6,0	5,8	4,9	5,7
Permeabilidad . . .	2,5	12,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,2	0,5
Agua total	214,5	573,5	86,5	96,0	74,0	122,0	36,0	82,5
Resistencia	109	95	116	116	109	95	92	105

Verdaderamente inesperada es la gran compacidad que presentan los cuerpos conservados en agua y combinadamente. En las tablas 13 b y 13 c se consiguan los resultados de la investigación de estas series de cuerpos. Los conservados en agua son absolutamente compactos para el aire, y lo mismo puede decirse para el agua durante el primer día, con excepción de los números 36 y 39, que, sin duda, son defectuosos en su construcción.

Los de conservación combinada poseen una porosidad de 1/8 con relación a los correspondientes conservados en aire, mostrando también una pequeña permeabilidad en el primer día.

T A B L A 14 a)

CLASE 18.—Cuerpos de 28 días de conservación en aire

DÍAS	15	16	17	18	19	20	21
5.....	182,0	121,5	228,0	132,0	100,0	96,0	121,5
10.....	147,0	103,5	203,0	105,0	86,0	84,0	104,5
15.....	118,0	86,0	174,0	88,0	71,0	69,0	88,0
20.....	115,5	89,0	184,0	86,0	71,0	70,5	91,0
25.....	116,0	94,0	193,0	92,0	69,0	70,5	91,0
30.....	113,5	96,0	190,0	94,0	75,0	75,0	95,0
35.....	112,0	95,0	190,0	89,0	73,0	74,0	96,0
40.....	115,0	96,0	348,0	94,0	77,0	77,0	99,0
45.....	119,0	90,0	2126,0	89,0	73,0	74,0	95,0
50.....	498,0	83,0	3801,0	84,0	65,0	69,0	89,0
55.....	1551,0	96,0	4241,0	91,0	75,0	131,0	100,0
60.....	1762,0	80,0	3107,0	74,0	64,0	210,0	85,0
65.....	1767,0	92,0	3243,0	86,0	71,0	278,0	95,0
70.....	2202,0	96,0	3155,0	88,0	74,0	411,0	160,0
75.....	2105,0	105,0	2733,0	81,0	68,0	492,0	232,0
80.....	2495,0	332,0	2767,0	96,0	78,0	540,0	509,0
85.....	2579,0	288,0	2875,0	113,0	76,0	520,0	939,0
90.....	3491,0	362,0	3561,0	183,0	84,0	645,0	1810,0
95.....	4600,0	641,0	4180,0	1226,0	140,0	763,0	2883,0
100.....	4385,0	1259,0	4320,0	1904,0	310,0	702,0	3097,0
105.....	4375,0	2205,0	4350,0	2630,0	515,0	1155,0	3740,0
110.....	3355,0	2765,0	3315,0	2830,0	627,0	1250,0	3115,0
115.....	3200,0	3500,0	3695,0	3310,0	903,0	2175,0	3100,0
120.....	3175,0	4240,0	3950,0	3575,0	1390,0	2440,0	3165,0
Medias...	42678,0	17015,0	57129,0	17176,0	5235,0	12561,0	24000,0

T A B L A 14 b)

CLASE 18.—Cuerpos de 28 días de conservación en agua

DÍAS	36	37	38	39	40	41	42	MEDIAS
5.....	450,0	0,1	6,0	95,0	2,0	0,1	7,0	3,8
10.....	427,0	0,4	8,5	114,0	3,5	0,9	8,0	5,2
15.....	405,0	0,0	8,5	101,0	3,5	1,5	6,5	5,0
20.....	450,0	0,0	5,2	87,5	2,7	0,6	5,5	3,5
25.....	"	0,0	8,8	93,5	2,8	1,4	6,0	4,7
30.....	"	0,0	9,0	95,0	3,0	1,5	6,0	4,9
35.....	"	0,0	7,0	86,0	2,2	1,0	6,0	4,1
40.....	"	0,0	7,0	82,0	3,3	1,5	6,0	4,4
45.....	"	0,0	6,0	86,0	2,5	1,5	4,5	3,6
50.....	"	0,0	5,0	72,0	1,5	0,5	4,5	2,9
55.....	"	0,0	5,0	77,0	1,5	1,0	4,0	2,9
60.....	"	0,0	5,5	66,0	2,2	1,0	3,0	2,9
65.....	"	0,0	4,5	73,0	1,8	0,5	4,0	2,7
70.....	"	0,0	5,0	70,0	1,0	0,5	3,5	2,5
75.....	"	0,0	2,5	64,0	1,0	0,5	3,0	1,8
80.....	"	0,0	3,5	75,0	1,0	0,0	3,0	1,9
85.....	"	0,0	4,5	72,0	2,5	1,0	3,5	2,9
90.....	"	0,0	3,5	62,0	1,0	1,0	3,5	2,3
95.....	"	0,0	2,0	70,0	1,0	0,5	3,0	1,6
100.....	"	0,0	3,0	67,0	0,5	0,0	2,5	1,5
105.....	"	0,0	2,0	71,0	0,5	0,5	2,5	1,4
110.....	"	0,0	2,0	62,0	0,5	0,0	2,5	1,2
115.....	"	0,0	1,5	67,0	0,5	0,0	2,5	1,1
120.....	"	0,0	1,0	56,0	0,5	0,5	3,0	1,2
Medias...	"	0,5	116,5	1864,0	42,5	17,5	103,5	70,0

T A B L A 14 c)

CLASE 18.—Cuerpos de 28 días de conservación combinada

DÍAS	43	44	45	46	47	48	49	MEDIAS
5.....	13,0	39,0	7,0	7,0	5,5	8,0	3,0	6,1
10.....	12,0	32,0	6,5	0,5	5,0	8,0	3,3	5,9
15.....	11,0	27,5	6,0	5,5	4,5	5,5	2,0	4,7
20.....	10,0	24,0	3,0	5,5	3,0	6,0	1,2	3,7
25.....	10,0	27,5	5,5	4,5	4,5	5,5	1,5	4,3
30.....	10,0	27,5	4,5	4,0	4,0	6,0	2,0	4,1
35.....	10,0	26,0	4,5	5,0	3,5	5,0	1,5	3,9
40.....	11,0	28,0	5,0	5,0	4,0	6,5	2,0	4,5
45.....	10,0	26,0	4,0	4,0	3,0	5,0	1,5	3,5
50.....	8,0	22,0	2,5	2,5	2,5	5,0	1,0	2,7
55.....	8,0	26,0	4,0	3,0	3,0	5,0	1,0	3,2
60.....	9,0	20,0	4,0	3,5	3,5	5,0	1,5	3,5
65.....	8,0	22,0	3,5	3,0	3,0	4,0	1,0	2,9
70.....	8,0	21,0	4,0	4,0	2,5	5,0	1,5	3,4
75.....	6,5	18,0	2,0	3,0	2,5	4,5	1,0	2,6
80.....	8,5	23,0	3,0	3,5	3,0	5,0	1,0	3,1
85.....	9,0	21,0	3,5	3,0	3,5	4,0	2,0	3,2
90.....	8,5	20,0	3,0	3,5	3,5	5,0	1,0	3,2
95.....	8,0	21,0	1,0	3,0	2,0	4,0	2,0	2,4
100.....	7,0	18,0	1,5	3,0	1,5	4,0	0,5	2,1
105.....	7,0	19,0	2,5	3,0	2,0	4,0	1,5	2,6
110.....	7,0	17,0	2,0	3,5	1,0	4,0	0,5	2,2
115.....	7,0	18,0	2,0	3,5	1,5	4,0	1,5	2,5
120.....	8,0	21,0	2,0	4,0	2,0	4,0	1,0	2,6
Medias...	214,5	573,5	86,5	96,0	74,0	122,0	36,0	82,9

En las tablas 14 b y 14 c se detalla la marcha de la filtración midiéndola de 5 en 5 días, y en ambas se observa la tendencia a hacerse cada vez más compactos, contrariamente a lo que ocurre con los cuerpos conservados en aire.

Los pesos de los cuerpos sufren un aumento de 11,7 grs en los conservados en agua, y una disminución de 4,9 los de conservación combinada.

d) Resumen.

En la tabla 15 se contienen todos los valores medios referentes a las propiedades físicas de los cuer-

pos de ensayo estudiados anteriormente, a fin de poder estudiar comparativamente las variaciones que experimentan estas propiedades, al variar las condiciones de preparación de los cuerpos.

Las variaciones en el peso de los cuerpos, expresadas en la tabla por la diferencia entre los pesos determinados a las 24 horas y al final de la conservación, están en íntima relación con los factores de arena y agua del mortero correspondiente. El aumento de peso observado en general es debido, en los cuerpos conservados al aire, a una carbonatación del hormigón, y en los conservados en agua, a una hidratación del cemento. En los cuerpos conservados en aire, de las tres clases, tiene lugar, al mismo tiempo, una disminución de peso por desecación y un aumento por carbonatación, y, por lo tanto, en estos casos habrá aumento o pérdida de peso, según sea el proceso que predomine. La carbonatación será tanto mayor cuanto más rico en cemento sea el hormigón, mientras que, por el contrario, la desecación será menor por aumentar la compacidad. Por estas razones se comprende muy bien que en los cuerpos de 7 y 28 días de conservación al aire de la clase 13 exista un aumento de peso, y en los demás cuerpos de conservación al aire exista una pérdida.

T A B L A 15

Resumen de las propiedades físicas observadas en los cuerpos estudiados

Clase	Conservación	Peso 24 hor.	Peso fin	Diferencias	Porosidad	Permeabilidad	Agua total
12	Aire { 3 días.	376,8	375,0	— 1,8	4,6	0,0	0,0
	7 días.	375,0	377,1	+ 2,1	5,8	0,1	0,2
	28 días.	376,8	381,4	+ 4,6	4,5	0,0	12,6
	Agua { 3 días.	376,9	384,5	+ 7,6	1,3	1,6	6,1
	7 días.	376,8	389,6	+ 12,8	2,0	8,0	20,5
	28 días.	375,5	390,8	+ 15,3	0,0	0,0	0,0
15	Combinada.....	375,0	385,5	+ 10,5	1,4	0,7	4,8
	Aire { 3 días.	362,4	359,5	— 2,9	32,6	28,6	413,3
	7 días.	363,1	360,0	— 3,1	27,7	18,8	377,0
	28 días.	366,0	365,5	— 0,5	21,5	14,6	592,5
	Agua { 3 días.	363,9	372,1	+ 8,2	11,9	31,5	9202,0
	7 días.	364,0	374,9	+ 10,9	1,8	3,1	53,4
18	28 días.	364,0	378,0	+ 14,0	0,0	2,6	77,0
	Combinada.....	362,0	367,8	+ 5,8	8,5	1,2	13,1
	Aire: 28 días.	356,6	352,7	— 3,9	40,6	42,3	25113,0
	Agua: 28 días.	357,1	368,8	+ 11,7	0,0	0,5	70,0
18	Combinada.....	360,0	355,1	+ 4,9	5,7	0,5	82,5

En los cuerpos conservados en agua el aumento de peso es mayor al aumentar la riqueza en cemento; así estos aumentos son mayores en la clase 13, sigue luego la 15 y luego la 18. (Una excepción son los cuerpos de 3 días de conservación en agua.)

Los valores de las porosidades para el aire y de las permeabilidades para el agua disminuyen al aumentar la proporción de cemento del mortero empleado y al aumentar el tiempo de la conservación. (Son excepciones los cuerpos de 3 días de la clase 13, cuyos valores son demasiado bajos, y el de los cuerpos de conservación combinada de la clase 18, que parece ser algo bajo.)

Las cantidades de agua filtradas durante la duración total de las investigaciones son, para los cuerpos de igual conservación, pero de distinta clase, tanto mayores cuanto menor es la proporción de cemento empleada. Una comparación, en este sentido, de los cuerpos de igual clase, pero con diferentes duraciones en la conservación, no se puede intentar con

los datos de la tabla 15, pues sus resultados dependen de la tendencia que durante la filtración manifiestan los cuerpos a hacerse más permeables o más compactos.

T A B L A 16

Valores medios del agua filtrada cada 5 días por los cuerpos de la clase 15

Días	3 DÍAS		7 DÍAS		28 DÍAS		
	Aire	Agua	Aire	Agua	Aire	Agua	Comb.
5.....	95,5	73,5	57,0	8,6	50,6	8,2	3,7
10.....	47,6	68,5	36,2	7,8	31,5	5,4	1,8
15.....	41,3	86,0	29,6	7,0	27,2	5,4	0,9
20.....	31,6	75,0	19,9	3,0	26,5	5,1	1,2
25.....	22,2	72,0	22,7	5,5	23,0	5,1	0,7
30.....	24,2	92,0	20,1	4,0	20,5	4,4	0,6
35.....	18,4	86,0	17,9	2,5	20,8	4,3	0,5
40.....	16,1	80,0	17,2	3,2	21,2	4,0	0,5
45.....	14,4	109,0	14,5	1,8	21,6	3,7	0,5
50.....	12,1	131,0	14,0	2,2	22,2	3,7	0,5
55.....	10,7	151,0	13,2	2,1	23,0	3,7	0,2
60.....	10,2	196,0	13,0	1,8	25,5	3,6	0,2
65.....	9,5	199,0	11,7	1,0	24,1	3,1	0,4
70.....	8,3	243,0	11,7	1,0	28,5	3,1	0,5
75.....	7,0	308,0	10,2	0,1	32,5	3,1	0,4
80.....	6,0	397,0	9,7	0,3	34,0	2,6	0,2
85.....	6,1	485,0	9,9	0,8	37,8	2,5	0,2
90.....	6,5	504,0	8,5	0,4	38,9	1,9	0,1
95.....	5,5	540,0	8,1	0,0	40,4	2,3	0,1
100.....	4,8	625,0	8,2	0,1	41,1	1,8	0,2
105.....	3,9	685,0	6,5	0,1	"	"	"
110.....	3,7	797,0	5,7	0,1	"	"	"
115.....	3,2	672,0	4,4	0,0	"	"	"
120.....	2,8	768,0	3,6	0,0	"	"	"
125.....	1,7	855,0	3,5	0,0	"	"	"

Este estudio comparativo de la permeabilidad total puede, en cambio, intentarse comparando la marcha de la filtración para los cuerpos de una clase. Los cuerpos de la clase 13 son muy poco permeables para que podamos deducir conclusiones en el poco tiempo que duró la investigación; sin embargo, ya hemos hecho notar el aumento en la permeabilidad de los cuerpos de 28 días conservados en aire. Más apropiadas para este objeto son las permeabilidades de los cuerpos de la clase 15. En la tabla 16 se resumen los valores medios del agua filtrada cada 5 días por los cuerpos de la clase 15. Los números correspondientes a las series conservadas en aire se encuentran gráficamente representados en la figura 4. Como hemos visto, estos cuerpos conservados en aire experimentan al pasar el agua una disminución en su permeabilidad, que indudablemente es producida por un hinchamiento de las partículas del cemento al ponerse en contacto del agua. El diferente comportamiento de los cuerpos de 3 y 7 días, con relación a los de 28, puede explicarse por la mayor carbonatación que indudablemente se produce en una más prolongada conservación en aire. También podría admitirse que los cuerpos de 3 y 7 días pudiesen, en caso de proseguirse las experiencias, mostrar con el tiempo un comportamiento análogo a los de 28 días; pero nos inclinamos más a la primera explicación y, por lo tanto, creemos que los cuerpos de 3 y 7 días no aumentarán su permeabilidad, aun en el caso de que se prosiguiesen las experiencias, y que tenderán siempre a hacerse más compactos por efecto del hinchamiento de las partículas de cemento, fenómeno en el que juega importante papel la naturaleza coloidal de los productos de hidratación del cemento.

Las permeabilidades de los cuerpos conservados tres días en agua varían, como hemos visto, entre amplios límites. Sin embargo, se observa, para todos los cuerpos de esta serie, un aumento de la permeabilidad al aumentar el tiempo de la experiencia. En la tabla 16 se da el comportamiento del número 22 de la serie, por considerarlo como el que mejor la representa.

Contrariamente a este comportamiento, los cuerpos de las series de 7 y 28 días, conservados en agua, se hacen continua, pero lentamente, cada vez más compactos, y lo mismo ocurre con los cuerpos de conservación combinada.

Las series de la clase 18, con 28 días de conservación, presentan un comportamiento completamente análogo, pero ampliado, al que hemos visto para la clase 15. Los cuerpos de conservación en aire experimentan igualmente una disminución de la permeabilidad en los primeros días, para luego aumentar enormemente las cantidades de agua filtrada. Y los cuerpos conservados en agua y combinadamente poseen muy escasa permeabilidad, tendiendo, como los de la clase 15, a hacerse impermeables, sin llegar a serlo completamente, por lo menos durante la duración de las experiencias.

Isidro PARGA-PONDAL
y Siegfried BAENTSCH

Presa de bóvedas múltiples

Del Sindicato de Riegos de Castrogeriz (Burgos) recibimos el encargo de estudiar un proyecto de pantano, al que hemos llamado del Piscárdanos.

Es su finalidad primordial la regularización del río Odra, que en sus frecuentes avenidas destruye las cosechas de las ricas vegas de su valle inferior, y se trata también de aprovechar las aguas embalsadas para la puesta en riego de estas vegas.

Una vez limitado ya el problema al de la elección de presa, hemos optado por el tipo de bóvedas múltiples; y nos parece interesante publicar una nota, a continuación del completo e interesantísimo estudio de nuestro compañero Martín Alonso, que quizá con otro estudio posterior sobre una presa-bóveda, ofrecerá tres soluciones distintas del tipo clásico de gravedad, rompiendo con ello una lanza en contra de la cómoda y socorrida solución de Lévy.

Dividiremos el trabajo en dos partes: una, destinada a justificar la elección hecha, para lo que seguiremos la parte correspondiente de la Memoria del proyecto, que completaremos con una breve reseña descriptiva, y una segunda parte, sobre el desarrollo del cálculo seguido, que ilustraremos con los ábacos de Goodall y Nelidov.

JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE BÓVEDAS MÚLTIPLES

Como existe un buen terreno de cimentación, la solución indicada es la presa de fábrica; queda ver, entre los diversos tipos, cuál es el más adecuado.

Por tradición, por rutina y por comodidad, la solución indicada era la del perfil de gravedad, con talud aguas arriba de 0,05 y aguas abajo de 0,75, o bien con talud vertical aguas arriba y de 0,80 aguas abajo. Con esto resolvíamos el problema, podríamos dormir tranquilos, y hasta conseguiríamos una gran economía... en papel al justificar el perfil adoptado, pues, como ya decía Resal, no se conciben los voluminosos proyectos de presas de gravedad y creía que deberían caber en un librito de papel de fumar.

Hemos descartado en seguida el tipo de gravedad, no sin encajarlo y valorarlo para que nos sirviera de referencia y tope en el estudio económico y en el tanteo preliminar para elegir solución.

Desechado el perfil de gravedad, y por tratarse de un valle ancho —unos 200 m, para 35 m de al-

tura máxima—, cabía optar entre dos soluciones: la del tipo del Burguillo, La Maya y Don Martín, de contrafuertes, y la de bóvedas múltiples.

Hemos tanteado dos soluciones en el tipo de contrafuertes: una con cabezas en talla de diamante (como la proyectada para La Maya) y otra con pantalla plana (semejante a la del Burguillo); pero la economía obtenida con ellas sobre las presas de gravedad no era grande, quizá por haber partido de unas bases demasiado conservadoras, pues temíamos el informe de la Superioridad.

Decididos ya por el tipo de bóvedas múltiples, cabía colocar la pantalla vertical o inclinada. La primera solución fué tanteada; pero la hubimos de abandonar, pues la excesiva importancia de los contrafuertes absorbía la economía encontrada en las bóvedas.

Una vez decididos a utilizar el factor estabilizador del agua, se tantearon dos soluciones con distinta inclinación del paramento de aguas arriba, desechándose la de 45° para adoptar una inclinación mayor.

Creemos que la presa de Coolidge señala la mejor orientación para las presas de bóvedas múltiples con vanos amplios, contrafuertes robustos con estabilidad propia y sin arriostrado, y fuertes espesores de pantalla. No importa que después la línea de apoyo de los arcos sea recta, según el tipo clásico, o sea curva y surja la cúpula, que, según la visión intuitiva de los proyectistas de la de Coolidge, mejora la estabilidad, mejoramiento que ellos no estudiaron.

Estudio de la pantalla

Es lógico huir del espesor sutil en la pantalla y descartar la que se pudiera llamar tipo Considère, realizado en las presas francesas de Selune y Belle-Isle en Terre¹, conocidos los efectos de descomposición por imbibición y congelación posterior ocurridos en las presas del lago de Gem, Mountain Delle, y recientemente, al parecer, en otras presas suecas. A esta conclusión llega además Hoffman² en su estudio sobre el espesor sutil. Por otro lado, también está

¹ *Génie Civil*, 12 mayo 1917; *Houille Blanche*, marzo 1924; Gómez Navarro, t. II, tabla de presas.

² "Permeazione d'acqua e loro effetti nei muri di ritenuta".