

Aportación al estudio comparativo de resistencia a compresión entre cementos P-350 y PA-350

J. ENRIQUE MORALES JIMENEZ
Ingeniero Técnico
I.E.T.c.c.

1. INTRODUCCION

Los cementos PA (portland con adiciones activas) empezaron a comercializarse en nuestro país a partir de la puesta en vigor del RC-75.

Su aparición se justificó por el ahorro energético que suponía su fabricación respecto a la del portland puro.

En la citada norma se contempla pues la posibilidad de añadir al clínker hasta un 20 % de adición activa (escorias, puzolanas o cenizas volantes), sin necesidad de especificar en el envase su naturaleza, obteniéndose así un cemento que, teóricamente, debe diferir muy poco en las propiedades de los cementos portland puros.

El interés de este estudio surge a consecuencia de haber aparecido ciertas dificultades y determinados problemas, cuando dichos cementos se han utilizado exactamente igual a como se venían usando los cementos portland P del antiguo Pliego (PCCH-64).

Con el presente trabajo se pretende poner a disposición de los interesados unas breves conclusiones extraídas de un análisis estadístico, realizado sobre las resistencias mecánicas de 100 muestras de cemento portland puro y otras 100 muestras de cemento PA.

2. TECNICA EXPERIMENTAL

Se confeccionaron probetas de mortero normalizado de $4 \times 4 \times 16$ cm, siguiendo los métodos descritos en el Pliego RC-75, y se rompieron, en una misma máquina de ensayo, a las edades de 3, 7 y 28 días.

Los valores experimentales han sido obtenidos con muestras correspondientes a partidas procedentes de distintas fábricas de cemento de los tipos y categorías P-350 y PA-350.

En el cemento PA no se ha tenido en cuenta, por no estar especificado por los fabricantes, ni la proporción ni la naturaleza de la adición.

A los resultados obtenidos les ha sido aplicado el cálculo estadístico del test Student-Fisher para N-1 grados de libertad y grado de probabilidad del 95 %.

TABLA I

CEMENTO P-350

Muestra n.º	R ₃	R ₇	R ₂₈	Muestra n.º	R ₃	R ₇	R ₂₈
1	256	331	386	51	304	366	487
2	320	373	552	52	316	362	447
3	313	406	469	53	314	352	480
4	258	401	443	54	336	392	457
5	370	416	577	55	257	378	461
6	300	345	472	56	294	403	480
7	289	392	495	57	251	344	431
8	335	376	548	58	315	414	539
9	301	365	417	59	334	430	520
10	325	416	485	60	318	435	541
11	391	455	512	61	353	427	539
12	334	408	465	62	307	437	486
13	354	459	556	63	323	396	519
14	352	444	523	64	313	403	508
15	274	350	438	65	362	451	529
16	318	398	465	66	321	435	507
17	385	466	578	67	324	369	461
18	382	440	611	68	263	347	422
19	382	438	504	69	246	341	390
20	420	462	559	70	301	388	433
21	326	418	482	71	308	389	454
22	325	436	482	72	277	292	407
23	328	462	495	73	299	347	445
24	318	412	532	74	275	403	446
25	386	445	529	75	284	312	420
26	331	428	486	76	325	339	459
27	342	400	487	77	370	451	528
28	345	382	526	78	400	454	515
29	305	411	606	79	396	447	521
30	278	355	451	80	349	406	472
31	352	466	454	81	400	458	505
32	303	368	503	82	318	356	438
33	290	365	498	83	299	392	493
34	274	354	444	84	323	379	481
35	380	433	498	85	312	388	477
36	333	414	524	86	289	363	463
37	325	373	550	87	323	338	483
38	290	378	494	88	315	369	498
39	339	401	490	89	327	417	504
40	417	433	520	90	295	414	461
41	326	396	536	91	345	429	470
42	344	437	520	92	280	324	438
43	347	437	516	93	258	369	485
44	366	415	507	94	294	378	501
45	319	396	482	95	347	375	413
46	350	388	520	96	297	369	473
47	393	457	529	97	410	463	516
48	241	332	461	98	317	403	459
49	314	400	510	99	365	449	506
50	342	397	490	100	306	409	539

3. RESULTADOS

Tanto para los cementos P como para los PA, se dispuso de un total de 100 muestras (como se indicó anteriormente), cuyos valores reales obtenidos de resistencia a compresión en kp/cm^2 a las distintas edades están representados en las tablas I y III.

En la tabla I por aplicación del cálculo estadístico, se obtuvieron las siguientes medias aritméticas a las distintas edades:

$$\bar{x}_3 = 324; \quad \bar{x}_7 = 398,8 \quad \text{y} \quad \bar{x}_{28} = 490,8$$

Con unas desviaciones típicas de:

$$s_3 = 39,63; \quad s_7 = 39,45 \quad \text{y} \quad s_{28} = 43,30$$

Aplicando el test de Student-Fisher para 99 grados de libertad y grado de probabilidad del 95 %, resulta un valor para t de 1,96, y por lo tanto cualquiera de los resultados debe estar comprendido entre $\bar{x} - ts$ y $\bar{x} + ts$ para no ser rechazado. Como tales extremos resultan ser:

- 246 y 402 para la edad de 3 días,
- 321 y 476 para la edad de 7 días y
- 406 y 576 para la edad de 28 días.

Observamos en la tabla anterior (tabla I) que hay:

- cuatro valores rechazables a la edad de 3 días (corresponden a los números de muestra 20, 40, 48 y 97).
- dos valores rechazables a la edad de 7 días (corresponden a los números de muestra 72 y 75);
- seis valores rechazables a la edad de 28 días (corresponden a los números de muestra 1, 5, 17, 18, 29 y 69).

Todos los demás resultados han de ser aceptados.

La tabla II muestra los resultados obtenidos del cálculo estadístico así como los de los nuevos valores aceptados.

En la tabla III al igual que en el cemento P-350, por aplicación del cálculo estadístico, se obtuvieron las siguientes medias aritméticas a las distintas edades:

$$\bar{x}_3 = 301,3; \quad \bar{x}_7 = 381 \quad \text{y} \quad \bar{x}_{28} = 487,7$$

Con unas desviaciones típicas de:

$$s_3 = 30,6; \quad s_7 = 30,84 \quad \text{y} \quad s_{28} = 40,27$$

Aplicando, igualmente, el test de Student-Fisher para 99 grados de libertad y grado de probabilidad del 95 %, resulta un valor para t de 1,96, y por lo tanto cualquiera de los

resultados debe estar comprendido entre $\bar{x} - ts$ y $\bar{x} + ts$ para no ser rechazado. Como tales valores extremos resultan ser:

- 242 y 360 para la edad de 3 días
- 321 y 441 para la edad de 7 días y
- 409 y 567 para la edad de 28 días.

Observamos en la tabla III que hay:

- cinco valores rechazables a la edad de 3 días (corresponden a los números de muestra 5, 16, 64, 84 y 86).
- cuatro valores rechazables a la edad de 7 días (corresponden a los números de muestra 15, 78, 84 y 86).
- siete valores rechazables a la edad de 28 días (corresponden a los números de muestra 2, 3, 5, 29, 34, 42 y 86).

TABLA II

ANÁLISIS ESTADÍSTICO			
Cemento P-350	Resultados obtenidos a las edades de:		
	3 días	7 días	28 días
N (n.º de resultados o valores)	100,—	100,—	100,—
\bar{x} (Media aritmética) kp/cm^2	324,—	398,80	490,80
s (Desviación típica)	39,63	39,45	43,30
ϵ (Precisión de la medida)	7,93	7,77	8,53
V (Coeficiente de variación) %	12,20	9,90	8,80
mín. (Valor más bajo) kp/cm^2	241	292	386
máx. (Valor más alto) kp/cm^2	420	466	611
L_m (Valor límite inferior de los conservados) kp/cm^2	246	321	406
L_M (Valor límite superior de los conservados) kp/cm^2	402	476	576
n inf. (n.º valores bajos eliminados)	1	2	2
n sup. (n.º valores altos eliminados)	3	0	4
N' (n.º de resultados o valores aceptados)	96,—	98,—	94,—
\bar{x}' (Media aritmética) kp/cm^2	322,40	400,80	488,70
s' (Desviación típica)	36,00	37,27	36,11
ϵ' (Precisión de la medida)	7,24	7,42	7,34
V' (Coeficiente de variación) %	11,20	9,30	7,40

TABLA III

CEMENTO PA-350

Muestra n.º	R ₃	R ₇	R ₂₈
1	276	351	457
2	335	421	588
3	338	414	578
4	320	393	523
5	363	370	575
6	304	359	428
7	349	399	501
8	293	431	516
9	309	426	500
10	299	384	481
11	337	379	483
12	290	358	486
13	335	416	500
14	307	385	469
15	349	442	532
16	369	420	510
17	320	418	500
18	350	412	499
19	321	384	473
20	332	415	503
21	299	380	495
22	340	413	490
23	306	380	509
24	309	370	483
25	300	371	466
26	314	357	488
27	338	404	555
28	348	429	551
29	320	424	581
30	322	372	554
31	299	380	495
32	300	371	466
33	309	370	483
34	320	424	581
35	322	372	554
36	303	404	503
37	295	394	538
38	300	382	467
39	311	410	555
40	343	425	525
41	337	405	470
42	279	358	395
43	290	418	466
44	318	391	483
45	310	381	468
46	304	394	496
47	280	363	463
48	262	331	437
49	265	349	441
50	265	359	477

Muestra n.º	R ₃	R ₇	R ₂₈
51	300	386	499
52	312	397	520
53	249	421	520
54	279	380	495
55	316	381	523
56	314	387	501
57	293	395	506
58	299	363	516
59	308	333	525
60	260	356	476
61	281	400	530
62	281	375	490
63	292	366	471
64	237	342	426
65	338	386	456
66	341	367	468
67	276	362	487
68	259	339	450
69	261	359	466
70	279	351	456
71	277	376	472
72	271	354	475
73	300	411	509
74	332	405	505
75	277	356	465
76	249	338	473
77	303	376	468
78	296	458	488
79	330	374	487
80	270	356	443
81	268	323	466
82	288	430	456
83	274	346	421
84	226	301	420
85	328	368	430
86	238	309	403
87	252	336	423
88	278	386	485
89	249	326	437
90	265	345	456
91	328	422	499
92	337	385	485
93	314	349	426
94	283	402	466
95	336	408	482
96	312	383	467
97	279	351	431
98	288	338	458
99	281	372	556
100	326	408	500

Todos los demás resultados han de ser aceptados.

La tabla IV, que se expone a continuación, muestra los resultados obtenidos del cálculo estadístico así como los de los nuevos valores aceptados.

TABLA IV

ANÁLISIS ESTADÍSTICO			
Cemento PA-350	Resultados obtenidos a las edades de:		
	3 días	7 días	28 días
N (n.º de resultados o valores)	100	100	100
\bar{x} (Media aritmética) kp/cm^2	301,30	381	487,70
s (Desviación típica)	30,06	30,84	40,27
ϵ (Precisión de la medida)	5,92	6,07	7,93
V (Coeficiente de variación) %	10,00	8,10	8,30
mín. (Valor más bajo) kp/cm^2	226	301	395
máx. (Valor más alto) kp/cm^2	369	458	588
L_m (Valor límite inferior de los conservados) kp/cm^2	242	321	409
L_M (Valor límite superior de los conservados) kp/cm^2	360	441	567
n inf. (n.º valores bajos eliminados)	3	2	2
n sup. (n.º valores altos eliminados)	2	2	5
N' (n.º de resultados o valores aceptados)	95,—	96,—	93,—
\bar{x}' (Media aritmética) kp/cm^2	302,10	381,10	484,60
s' (Desviación típica)	26,74	27,70	33,08
ϵ' (Precisión de la medida)	5,40	5,60	6,73
V' (Coeficiente de variación) %	8,90	7,30	6,83

Comparando los cementos P-350 y PA-350 anteriores, observamos lo siguiente en cuanto a la relación entre sí de sus resistencias a compresión:

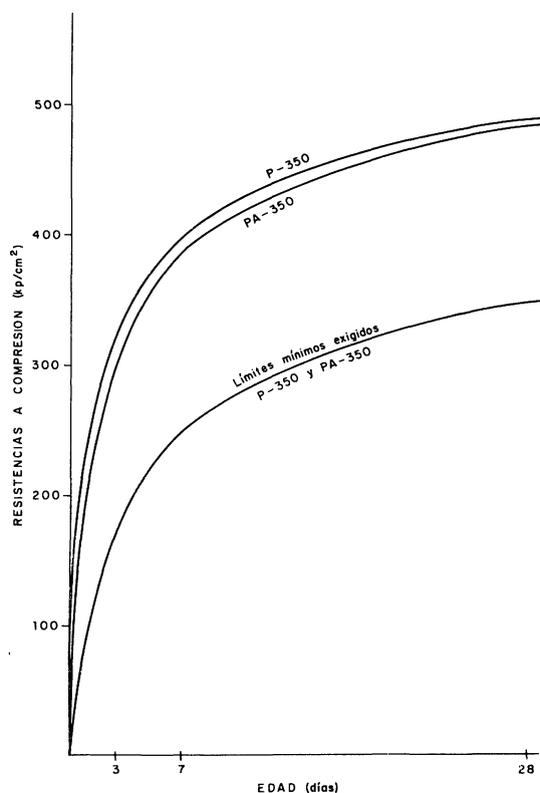
	R_3 kp/cm^2	R_7 kp/cm^2	R_{28} kp/cm^2
Resistencias límite mínimas exigidas en el Pliego RC-75 de los cementos P-350 y PA-350	175,—	250,—	350,—
Resistencias medias del P-350	322,4	400,8	488,7
Resistencias medias del PA-350	302,1	381,1	484,6

	R_3 %	R_7 %	R_{28} %
Porcentaje de aumento del P-350, respecto a las resistencias mínimas exigidas	84,2	60,3	39,6
Porcentaje de aumento del PA-350, respecto a las resistencias mínimas exigidas	72,6	52,4	38,5
Porcentaje de aumento del P-350, respecto del PA-350	6,7	4,9	0,8

En el gráfico 1, se expone la representación de las tres curvas:

- Curva del límite mínimo exigido del Pliego RC-75 correspondiente a los cementos P y PA.
- Curva obtenida por la media aritmética de valores experimentales correspondiente al cemento P-350.
- Curva obtenida por la media aritmética de valores experimentales correspondiente al cemento PA-350.

Gráfico 1



4. COMENTARIOS

Si se observan los anteriores valores porcentuales de ambos cementos, P y PA, se puede comprobar la poca diferencia que existe entre ellos a cada una de las edades ensayadas.

La mayor de las citadas diferencias (6,7 para la edad de 3 días) es menor que el porcen-

taje máximo de dispersión permitido ($\pm 15 \%$) para el ensayo a compresión, que contempla el Pliego RC-75.

Por otro lado, los valores de resistencia de ambos cementos son muy superiores a los mínimos exigidos en el Pliego, tanto que se podría pensar que los cementos P-350 y PA-350 pueden pertenecer a la categoría inmediata superior, o sea, al P-450 y PA-450, ya que a 28 días sobrepasan estas últimas resistencias mínimas exigidas en dicha categoría.

Resultados de resistencias a edades superiores a 28 días se publicarán en el futuro.

publicación del i.e.t.c.c.

hormigón pretensado proyecto y construcción

Fritz Leonhardt
Dr. Ingeniero

El libro del profesor Leonhardt, sobre hormigón pretensado, puede considerarse ya como un tratado clásico de esta técnica.

En esta obra se presentan con detalle los materiales acero y hormigón, sobre todo en lo que se refiere a las propiedades más importantes a efectos de su utilización en hormigón pretensado.

Las cuestiones prácticas y de aplicación directa han sido abordadas con mayor detalle que los problemas teóricos, los cuales se exponen con la mayor sencillez posible, haciéndolos accesibles también al ingeniero medio, ya que el libro está destinado a la utilización práctica.

No se han expuesto las posibilidades de realizar el pretensado basándose en los sistemas actualmente en uso, sino que se han intentado describir las soluciones fundamentales y aclararlas presentando dichos sistemas.

Se ha estudiado con detalle el problema de la introducción de las fuerzas de pretensado. La disposición constructiva de la estructura pretensada se ha antepuesto, intencionadamente, al cálculo estático.

En principio no se efectúa descripción de aplicaciones prácticas, haciéndose una excepción con los depósitos, tubos, firmes y traviesas pretensadas.

En la página IX de este libro figuran 10 recomendaciones básicas para el ingeniero que se ocupe en esta disciplina, con las particularidades más importantes que deberá tener en cuenta el ingeniero especialista en hormigón armado, independientemente de las recomendaciones aplicadas hasta el momento.

Un volumen encuadernado en tela, brillantemente presentado, de 19 x 26,5 cm, compuesto de 780 páginas, numerosas figuras, abundantes tablas, ábacos y una extraordinaria bibliografía.

Precios: España, 2.000 ptas.; extranjero, \$40.