

OTROS CEMENTOS CON BASE PORTLAND: LOS TERNARIOS

Por MANUEL DE LUXAN BAQUERO

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El clinker de portland ha encontrado el camino para ampliar sus aplicaciones, al aceptar la ayuda que pueden prestarle las adiciones activas. Son conocidos, y están normalizados, los cementos mixtos o compuestos con adiciones simples de escoria o puzolana que han dado origen a los conglomerantes binarios, y se ha iniciado el estudio del comportamiento de la incorporación simultánea de ambas sustancias en los llamados ternarios.

Preámbulo.

Nosotros, los proyectistas, influimos con nuestras decisiones de manera acentuada en el funcionamiento de las fábricas de cemento, en el rendimiento de sus instalaciones y en sus capacidades de producción.

Aquella cualidad que resaltemos como de mayor estimación en un conglomerante será vigilada con preferencia por la industria y mejorada sistemáticamente.

Es notorio a este respecto el continuo incremento que han experimentado las resistencias mecánicas a corto plazo en los cementos nacionales, entre los que no es raro encontrar en el mercado los que nos ofrecen a los tres días la que habría que exigirle a los veintiocho. Por eso, salvo casos especiales, aunque deseemos altas resistencias iniciales, no prescribimos el P-450 con el fin de no encarecer la obra.

La preparación científica de los cuadros de mando de las sociedades cementeras y la noble competencia de las marcas, hacen que se superen de manera tan constante las Normas, que el usuario no duda en considerar como confiable el exceso de resistencia que se le entrega.

Parece, por tanto, que, con un instrumento tan dispuesto a servirnos, podemos diversificar nuestras exigencias con libertad, con la certeza de que serán evaluadas. En muchas obras serán más importantes para nosotros otras propiedades en el cemento que la de que alcance rápi-

damente resistencias muy poco diferentes a las finales que le son propias. Pueden ser, por ejemplo, menor calor de hidratación, mayor impermeabilidad o mayor garantía de durabilidad.

El pliego de condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos nos permite elegir entre una amplia gama de cementos cuyas resistencias mecánicas teóricas son idénticas, tales como los portland, siderúrgicos y puzolánicos de las categorías 250 y 350.

Por otra parte, la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de obras de Hormigón en masa o armado que, sin fuerza de obligar hasta su aprobación oficial, fue publicada en el B. O. E. en el año 1968, en su anejo 3, nos recomienda como utilizables los siguientes conglomerantes:

En obras de hormigón en masa.

En todas.—P-PAS-PS-PHA y PUZ de la categoría 250 y PS-PHA y PUZ de la categoría 350.

En todas, salvo las de grandes espesores.—P y PAS de la categoría 350.

Sólo en casos excepcionales. Nunca en obras de grandes espesores.—P-450.

En obras de hormigón armado.

En todas, salvo las que requieran alta resistencia.—P-PAS-PS-PHA y PUZ de la categoría 250.

En todas.—P-PAS-PS-PHA y PUZ de la categoría 350.

En todas, especialmente las que requieran altas resistencias.—P-450.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1973.

Cabe destacar que los únicos cementos de la categoría 350 que son susceptibles de uso sin temor, tanto en obras de hormigón en masa como armado, son los mixtos: de escoria o puzolana. La aceptación de los portland 350 en grandes espesores en masa ha de ir precedida de un estudio que la justifique.

Pero además, si tenemos en cuenta que estamos recibiendo sistemáticamente cementos que pueden encuadrarse en categorías superiores, es decir, que nuestros cementos portland 350 son, con mucha frecuencia de la categoría 450, habremos de atender no sólo a las ventajas que ello nos proporciona, sino a las limitaciones que este hecho comporta.

Debemos considerar como un avance que en los Pliegos de Conglomerantes artificiales existan, junto al portland, otros cementos que mejoran determinadas características de comportamiento.

Y tan erróneo es razonar contundentemente que cualquier adición controlada al clinker de portland es un índice de perfeccionamiento, como entender que la pureza del portland "puro" es sinónimo de más alta calidad. En éste, como en otros campos, manejamos conceptos relativos y es la facultad de decidir, apoyados en nuestros conocimientos, lo que engrandece nuestra misión.

Tenemos conglomerantes a nuestra disposición que, con fabricación regulada por los conocimientos aportados por científicos del mundo entero, han merecido sernos ofrecidos con plena garantía de calidad intrínseca. Los pliegos de condiciones son una invitación al usuario para encuadrar sus necesidades en la oferta, valorando en cada caso, no sólo cómo satisfacer mejor su problema técnico —que será siempre causa de atención preferente— sino cómo acomodar su exigencia en el contexto económico general del país, cuidando especialmente de no desperdiciar aquella ocasión en que puedan alcanzarse ambas metas simultáneamente.

Como el cemento ha de moverse en un entorno comercial de grandes competencias, en donde cada vez es más patente la necesidad de hacer intervenir mayor número de factores de corrección y buscar apoyo en los recursos naturales que faciliten el equilibrio, la investigación no cesa, orientada, como ha de ser, a dar un mejor servicio.

En nuestra mano está aprovechar el esfuerzo de los especialistas, cuyas conclusiones son ta-

mizadas en simposios internacionales de alto nivel antes de darles entrada en las prescripciones oficiales.

Reconocido como conveniente el trabajo en equipo, ampliemos este concepto y resaltemos la ventaja que representará la conjunción de varios de ellos.

Cementos ternarios.

Todas las normas en vigor para la clasificación de conglomerantes incluyen, junto al portland, un conjunto de cementos mixtos que, tomándolo como base, admiten la presencia adicionada de escorias y puzolanas. Las cualidades de todos ellos son conocidas y su durabilidad ha sido comprobada.

En general, se aceptan las citadas adiciones separadamente, dando lugar a los cementos de escorias o siderúrgicos —portland más escoria— (*) y a los puzolánicos —portland más puzolana—. Pero en algunos países, y nos referimos a lo que sucede en Francia, han sido incluidos también los cementos mixtos de tres componentes como es el caso de los CPA LC —portland, escorias y cenizas volantes— y los CPA LZ —portland, escorias y puzolanas naturales— (**) a los que se exigen iguales resistencias mecánicas que a los de adiciones simples. También existen en Francia otros dos cementos de tres componentes, como son los puzolánico-metalúrgicos de Fouilloux (PMF) y de la Société de Devroise (DE) que, a pesar de no estar normalizados, tienen un crecimiento de consumo muy acusado e incrementan todos los años su porcentaje de participación en el conjunto de las ventas. Por otra parte, en Alemania, la norma DIN 4.030 sobre "Hormigones en aguas y terrenos de naturaleza agresiva", en el párrafo 5.7 y al tratar de la elección de conglomerante, pone de manifiesto que una adición de puzolana aumentará la resistividad de los confeccionados con cemento de horno alto. Sin duda, este criterio deja abierto el camino hacia la acogida futura de los cementos de tres componentes.

Estos, en los que, además del portland, inter-

(*) Portland: equivale a clinker de portland más yeso regulador del fraguado.

(**) Símbolos: CPA, clinker de portland más yeso; L, escorias; C, cenizas volantes; Z, puzolanas naturales.

vienen otros dos productos, son los llamados *cementos ternarios*.

El campo de los conglomerantes, al que una apreciación simplista puede dar como plenamente evolucionado y con fronteras y conocimientos suficientemente rigurosos presenta, por el contrario, muchas zonas de investigación, en las que cabe que los estudiosos traten de profundizar haciendo uso de los nuevos métodos de ensayo que la tecnología de los laboratorios pone a su alcance.

Puede entenderse que en España también se han admitido los cementos ternarios, por cuanto en los definidos como de adición se tolera la incorporación de más de una sustancia. Pero se trata de conglomerantes poco apreciados en el mercado, al habérseles fijado una carga de rotura a compresión en mortero RILEM a los veintiocho días de tan sólo 150 Kp/cm².

Sabemos que los cementos mixtos, conseguidos por la incorporación de escorias básicas de alto horno a un portland, tienen aumentado tanto la plasticidad como el volumen por peso unitario y también la resistividad química; por otra parte es más bajo su calor de hidratación.

Alcanzan, en cambio, menores resistencias mecánicas a corto plazo que las que corresponden al portland con el que han sido fabricados y ofrecen menor garantía contra la agresión química que los puzolánicos.

El primer hecho es suficientemente conocido. En cuanto al segundo diremos que la propia escoria, aisladamente considerada, es un auténtico cemento puzolánico, pues a su potencial hidráulico que ha permitido incluir entre los cementos de fabricación autorizada a los sobresulfatados —95 por 100 de escoria y yeso y sólo 5 por 100 de clinker de portland—, añaden ciertas características puzolánicas. Pero como en general su parte activa sólo alcanza a neutralizar la escasa cal liberada por la propia escoria, la que entrega al medio la fracción de portland queda sin combinar y con su vulnerabilidad intacta.

Es de gran importancia, en consecuencia, tratar de ver cómo varía la resistencia mecánica con la sustitución de parte de escoria por puzolana, ya que si se aumenta o se conserva del mismo orden, habremos obtenido, al mismo tiempo, un cemento más cerrado y menos susceptible de destrucción en ambientes nocivos.

Con estos antecedentes nos ha parecido que

podía tener interés realizar algunos ensayos con las materias primas de un conglomerante de horno alto, a las que se añadieran distintas cantidades de puzolana natural para conocer su comportamiento mecánico-resistente a flexotracción y compresión, haciendo uso de los minerales activos de las reservas nacionales o lo que es lo mismo, hacer un ensayo de cementos ternarios.

Ha de entenderse, no obstante, que el trabajo que presentamos se refiere a tres sustancias concretas: portland, escoria y puzolana de determinada procedencia, cuyos análisis medios incluimos, y que no cabe generalizar los resultados.

Con otras materias primas las combinaciones óptimas pueden ser distintas de las que aquí se deducen.

Clinker		Escoria		Puzolana	
RFH	0	SiO ₂	38	P. F.	5
SiO ₂	20	Al ₂ O ₃	12	SiO ₂	38
Al ₂ O ₃	5	FeO	1	Al ₂ O ₃	15
Fe ₂ O ₃	3	CaO	36	Fe ₂ O ₃	12
CaO	68	MnO	2	CaO	15
MgO	2	MgO	10	MgO	12
SO ₃	1	S	1	SO ₃	—
P. fuego ...	1	Sumas	100	Na ₂ O	1
Sumas	100			K ₂ O	1
				S. D.	1
				Sumas	100

El cemento portland que hemos elegido como patrón se coloca, por sus resistencias, en la categoría 450 a todas las edades y tanto en los ensayos de rotura a flexotracción como en los de compresión.

La escoria empleada puede definirse como de un alto contenido de anhídrido silícico, medio de óxido aluminico, bajo de óxido cálcico y medio de magnésico. La abundancia de sílice debe hacernos pensar que su potencial puzolánico es elevado.

Su hidráulicidad F, fijada por la fórmula de Keil

$$F = \frac{\text{CaO} + \text{CaS} + 1/2 \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$$

tendrá, en nuestro caso, el valor

$$F = \frac{36 + 5 + 12}{38 + 2} = \frac{53}{40} = 1,325,$$

que por ser inferior a 1,5 nos indica que estamos en presencia de una escoria de eficacia moderada.

Recordemos que la escoria de horno alto, capaz de reproducir por sí sola el proceso de endurecimiento del portland, lo hace sin liberación apreciable de hidróxido cálcico. Este defecto de alcalinidad en el medio es bastante para que el gel de sílice no posea la porosidad necesaria para consentir una hidratación total de los gránulos. Por eso se hace precisa la incorporación de un activante alcalino.

El de uso común es la cal apagada, si bien pueden también adoptarse hidróxido de sodio o potasio. Pero el de mayor interés es el propio cemento portland no sólo porque al hidratarse pone en presencia de la escoria hidróxido cálcico naciente más enérgico que el añadido directamente, sino porque su contenido en yeso puede significar una incipiente activación sulfática como la que da origen a los conglomerantes sobresulfatados.

La puzolana tiene el análisis que corresponde a la piedra pómez —puzolana natural—, que se caracteriza por su bajo contenido en álcalis y actividad apoyada en la totalidad de los óxidos ácidos SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , al no destacarse la participación de la sílice.

La limitada presencia de álcalis — Na_2O , K_2O — es una garantía para el desarrollo completo del fenómeno puzolánico, por quedar más vulnerable y con mayor grado de combinabilidad el hidróxido cálcico liberado por los silicatos del portland.

Los resultados se detallan en los cuadros 1 y 2, de los que el segundo contiene todos los cementos ternarios que alcanzan la categoría 350.

Sobre dichos cuadros, y los valores que reúnen, cabe hacer las siguientes observaciones:

1. Nomenclatura: P = cemento portland, PHA = cemento portland con escoria, PUZ = cemento puzolánico, E = Escorias, Z = puzolanas.

(En la fracción de cemento portland se supone la adecuada proporción de yeso.)

2. En la columna de "Contenido en los ternarios" las mezclas PHA + PUZ contienen el 50 por 100 de cada uno de estos cementos. En cambio, las mezclas PHA + Z se han obtenido añadiendo al 100 por 100 de PHA una cantidad

de puzolana cuya adición porcentual es el número que se hace figurar.

3. Destacamos que todos los cementos ensayados superan las resistencias exigibles para la categoría 250.

4. Se han subrayado aquellos cementos que cumplen las condiciones de resistencias fijadas para los de categoría 350, que han sido, además, agrupados en un cuadro independiente, en el que:

4.1. El punto junto a la cifra corresponde a los mayores valores alcanzados para cada edad y sollicitación.

4.2. Los trazos verticales descuelan aquellas muestras, con igual contenido de portland, en las que las resistencias aumentan al incorporar puzolana y disminuir la escoria. La comparación se ha hecho en todas las edades y se ha dibujado el trazo, tan sólo cuando el hecho señalado se cumplía tanto en flexotracción como a compresión.

4.3. Hemos encerrado dentro de un círculo continuo el número de la muestra que estimamos compuesta con las proporciones óptimas de portland, escoria y puzolana. Y, en otro discontinuo, el de la que le sucede en méritos.

5. La sustitución de escoria por puzolana en los cementos con menos de 70 por 100 de portland aumenta, en todos los casos, las resistencias a los tres días, tanto a flexotracción como a compresión.

6. Los incrementos de resistencias a corto plazo conseguidos con la presencia de puzolana son mayores a medida que disminuye el contenido de portland. Lo que se explica, porque el tener la escoria en nuestro caso un alto porcentaje de anhídrido silícico —38 por 100— es necesario que aumente la proporción de activante —el portland— con relación a la propia escoria, a fin de lograr que desaparezca el obstáculo que para su hidratación total representa la estructura densa del gel de sílice. Ver tabla A.

La conocida evolución mecánico-resistente de los cementos mixtos binarios —tabla B, gráficos I y II— que los equipara a largo plazo a los portland puros del clinker base se aprecia también en los ternarios —tabla C y gráficos III y IV.

Muestra nº	3 días		7 días		28 días		90 días		180 días		Tipo de cemento	%			Contenido en los ternarios		
	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.		P	E	Z	PHA	PUZ	Z
1	65,4	377	76,9	439	84,0	534	89,4	574	87,1	591	P	100					
2	49,2	244	62,2	301	72,0	371	83,1	458	85,3	507	PUZ	65		35		65/35	
3	54,2	245	62,3	296	84,0	410	81,1	448	89,5	527	PUZ	70		30		70/30	
4	52,0	261	67,1	311	75,3	408	83,9	453	84,2	501	PUZ	75		25		75/25	
5	55,0	282	70,3	357	83,7	451	90,8	526	94,8	590	PUZ	80		20		80/20	
6	51,7	278	69,3	368	90,3	479	82,2	497	84,0	507	PHA	70	30		70/30		
7	36,8	169	55,8	265	86,1	477	90,6	508	91,6	539	PHA	50	50		50/50		
8	22,1	89	50,3	205	79,8	373	85,6	410	85,2	442	PHA	30	70		30/70		
9	43,3	192	55,3	253	75,0	373	85,1	446	86,7	526	PHA+Z	52	22	26	70/30		35
10	47,5	210	56,0	259	80,7	369	86,7	487	95,7	553	PHA+Z	54	23	23	70/30		30
11	44,5	210	59,3	283	83,0	413	83,8	464	93,5	555	PHA+Z	56	24	20	70/30		25
12	45,3	218	61,3	287	79,3	412	87,3	463	87,6	507	PHA+Z	58	25	17	70/30		20
13	36,0	155	50,8	239	74,3	336	87,8	451	90,8	536	PHA+Z	45	30	25	60/40		35
14	35,2	160	50,5	250	75,7	343	82,7	434	95,5	498	PHA+Z	46	31	23	60/40		30
15	35,3	161	58,7	257	83,7	402	86,8	467	94,8	524	PHA+Z	48	32	20	60/40		25
16	32,6	138	50,0	233	82,0	383	91,5	432	90,8	492	PHA+Z	50	33	17	60/40		20
17	27,2	110	45,0	200	70,3	314	91,2	427	90,0	461	PHA+Z	37	37	26	50/50		35
18	27,7	115	46,0	198	75,6	333	89,1	441	91,2	484	PHA+Z	38,5	38,5	23	50/50		30
19	30,0	128	47,7	206	83,2	379	89,2	448	92,7	492	PHA+Z	40	40	20	50/50		25
20	34,8	144	54,3	251	85,2	395	93,5	461	94,0	483	PHA+Z	41,5	41,5	17	50/50		20
21	25,3	96	46,5	201	75,7	313	84,7	388	89,3	453	PHA+Z	30	44	26	40/60		35
22	32,2	126	47,7	197	75,7	357	90,9	435	94,9	491	PHA+Z	31	46	23	40/60		30
23	34,0	135	43,2	186	72,5	348	77,2	421	90,5	478	PHA+Z	32	48	20	40/60		25
24	34,2	138	51,3	223	78,7	365	84,6	421	85,0	452	PHA+Z	33	50	17	40/60		20
9R	54,1	231	65,5	300	73,7	379	85,9	459	86,1	441	PHA+PUZ	67,5	15	17,5	70/30	65/35	
10R	49,0	237	65,8	314	82,5	430	82,5	461	89,7	511	PHA+PUZ	70	15	15	70/30	70/30	
11R	53,2	249	62,8	295	82,8	433	86,4	508	88,7	506	PHA+PUZ	72,5	15	12,5	70/30	75/25	
12R	54,2	252	66,4	333	82,6	422	79,7	484	87,8	506	PHA+PUZ	75	15	10	70/30	80/20	
13R	51,7	238	60,4	300	76,7	412	85,7	471	88,2	495	PHA+PUZ	62,5	20	17,5	60/40	65/35	
14R	51,2	246	65,9	318	80,2	404	84,8	467	92,2	481	PHA+PUZ	65	20	15	60/40	70/30	
15R	48,2	221	61,7	289	85,2	427	88,1	468	90,7	525	PHA+PUZ	67,5	20	12,5	60/40	75/25	
16R	50,8	254	64,6	325	83,7	435	88,4	477	86,9	514	PHA+PUZ	70	20	10	60/40	80/20	
17R	44,1	194	59,7	265	77,6	401	90,5	479	94,1	525	PHA+PUZ	57,5	25	17,5	50/50	65/35	
18R	47,4	223	59,9	269	80,3	417	88,8	501	94,7	588	PHA+PUZ	60	25	15	50/50	70/30	
19R	50,6	214	66,2	307	82,7	395	94,3	494	92,8	496	PHA+PUZ	62,5	25	12,5	50/50	75/25	
20R	44,2	205	58,7	276	83,7	423	90,5	501	95,6	502	PHA+PUZ	65	25	10	50/50	80/20	
21R	40,6	181	57,4	266	70,3	351	83,7	470	96,7	524	PHA+PUZ	52,5	30	17,5	40/60	65/35	
22R	40,8	182	59,7	268	75,9	468	86,9	490	101,0	517	PHA+PUZ	55	30	15	40/60	70/30	
23R	39,9	179	60,6	271	83,7	418	87,3	455	93,2	524	PHA+PUZ	57,5	30	12,5	40/60	75/25	
24R	45,3	191	56,9	271	77,5	393	83,1	468	91,3	502	PHA+PUZ	60	30	10	40/60	80/20	
25R	30,6	125	48,5	215	80,3	389	88,8	450	97,9	524	PHA+PUZ	47,5	35	17,5	30/70	65/35	
26R	35,5	142	50,3	223	77,9	398	84,8	444	87,4	468	PHA+PUZ	50	35	15	30/70	70/30	
27R	34,7	143	51,9	233	80,5	395	87,3	451	88,0	466	PHA+PUZ	52,5	35	12,5	30/70	75/25	
28R	38,2	159	50,6	223	78,4	371	89,2	457	87,7	456	PHA+PUZ	55	35	10	30/70	80/20	

Cuadro núm. 1.—Cuadro general de resistencias mecánicas de las 44 muestras ensayadas: portland, 1; binarias, 7, y ternarias, 36

Muestra nº	3 días		7 días		28 días		90 días		180 días		Tipo de cemento	%			Contenido en los ternarios		
	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.	Flex.	Comp.		P	E	Z	PHA	PUZ	Z
12 R	54,2	252	66,4	333	82,6	422	79,7	484	87,8	506	PHA+PUZ	75	15	10	70/30	80/20	
11 R	53,2	249	62,3	295	82,8	433	86,4	508	88,7	506	PHA+PUZ	72,5	15	12,5	70/30	75/25	
10 R	49,0	237	65,8	314	82,5	430	82,5	461	89,7	511	PHA+PUZ	70	15	15	70/30	70/30	
16 R	50,8	254	65,8	325	83,7	435	88,4	477	86,9	514	PHA+PUZ	70	20	10	60/40	80/20	
9 R	54,1	231	65,5	300	73,7	379	85,9	459	86,1	441	PHA+PUZ	67,5	15	17,5	70/30	65/35	
15 R	48,2	221	61,7	289	85,2	427	88,1	468	90,7	525	PHA+PUZ	67,5	20	12,5	60/40	75/25	
14 R	51,2	246	65,9	318	80,2	404	84,8	467	92,2	481	PHA+PUZ	65	20	15	60/40	70/30	
20 R	44,2	205	58,7	276	83,7	423	90,5	501	95,6	502	PHA+PUZ	65	25	10	50/50	80/20	
13 R	51,7	238	60,4	300	76,7	412	85,7	471	88,2	495	PHA+PUZ	62,5	20	17,5	60/40	65/35	
19 R	50,6	214	66,4	307	82,7	395	94,3	494	92,8	496	PHA+PUZ	62,5	25	12,5	50/50	75/25	
18 R	47,4	223	59,9	269	80,3	417	88,8	501	94,7	588	PHA+PUZ	60	25	15	50/50	70/30	
24 R	45,3	191	56,9	271	77,5	393	83,1	468	91,3	502	PHA+PUZ	60	30	10	40/60	80/20	
12	45,3	218	61,3	287	79,3	412	87,3	463	87,6	507	PHA+Z	58	25	17	70/30		20
17 R	44,1	194	59,7	265	77,6	401	90,5	479	94,1	525	PHA+PUZ	57,5	25	17,5	50/50	65/35	
23 R	39,9	176	60,6	271	83,7	418	87,3	455	93,2	524	PHA+PUZ	57,5	30	12,5	40/60	75/25	
11	44,5	210	59,3	283	83,0	413	83,8	464	93,5	555	PHA+Z	56	24	20	70/30		25
22 R	40,8	182	59,7	268	75,9	468	86,9	490	101,0	517	PHA+PUZ	55	30	15	40/60	70/30	
10	47,5	210	56,0	259	80,7	369	86,7	487	95,7	553	PHA+PUZ	54	23	23	70/30		30
21 R	40,6	181	57,4	266	70,3	351	83,7	470	96,7	524	PHA+PUZ	52,5	30	17,5	40/60	65/35	
9	43,3	192	55,3	253	75,0	373	85,1	446	86,7	526	PHA+Z	52	22	26	70/30		35

Cuadro núm. 2.—Resistencias mecánicas de los cementos ternarios que alcanzan la categoría 350

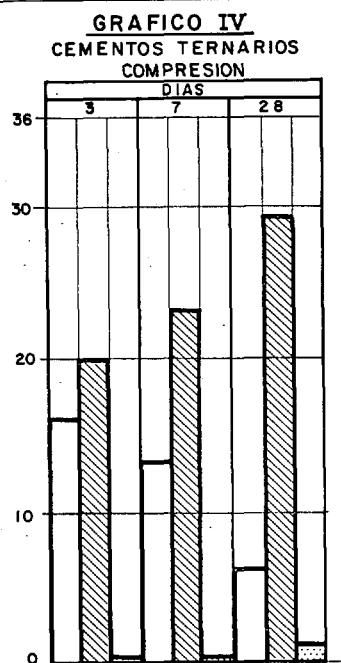
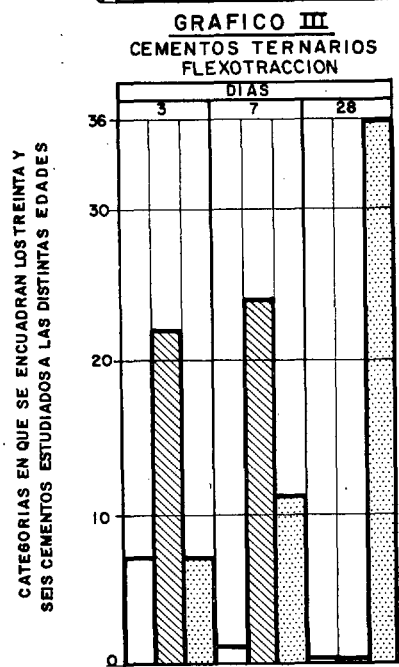
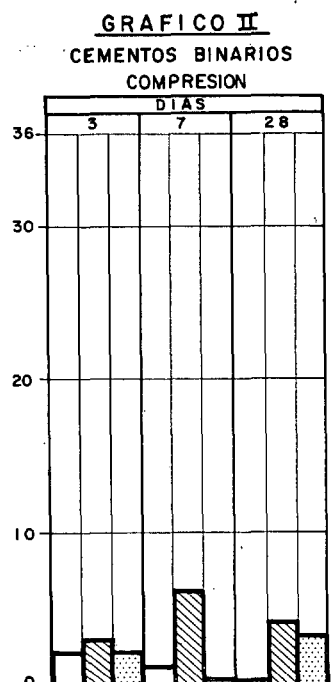
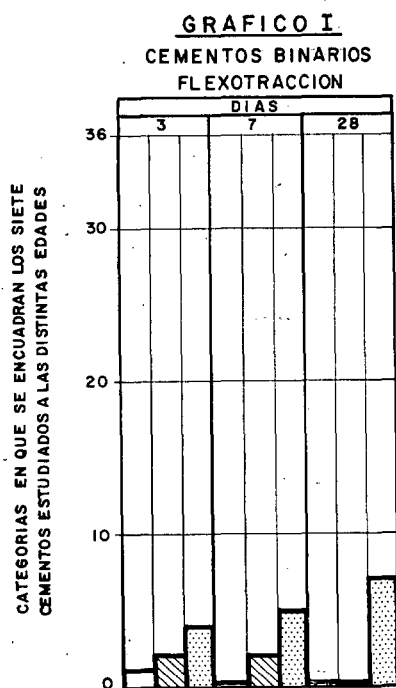
En efecto, si nos detenemos a los tres días en la flexotracción de los siete binarios incluidos —tabla B, gráficos I y II— encontramos 1 cemento 250, 2 de categoría 350 y 4 de 450, y si lo hacemos en la compresión hallamos 2 cementos 250, 3 que cumplen los valores mínimos señalados para el 350 y 2 los de la 450.

Los ternarios —tabla C, gráficos III y IV— se agrupan en la flexotracción en las siguientes categorías: 7 en la 250, 22 en la 350 y 7 en la 450; y cuando se trata de la compresión en: 16 en la 250 y 20 en la 350.

Pero lo más interesante es observar que la clasificación varía en el tiempo, pues si no se

TABLA A

Contenido en % de			Resistencias mecánicas a tres días					
P	E	Z	Flexotracción	Diferencia absoluta	Diferencia en %	Compresión	Diferencia absoluta	Diferencia en %
70	30	—	51,7			278		
72,5	15	12,5	53,2	+ 1,5	+ 2,9	249	— 29	— 10,4
50	50	—	36,8			169		
52	22	26	43,3	+ 6,5	+ 17,7	192	+ 23	+ 13,6
30	70	—	22,1			89		
32	48	20	24,0	+ 11,9	+ 53,8	135	+ 46	+ 51,7

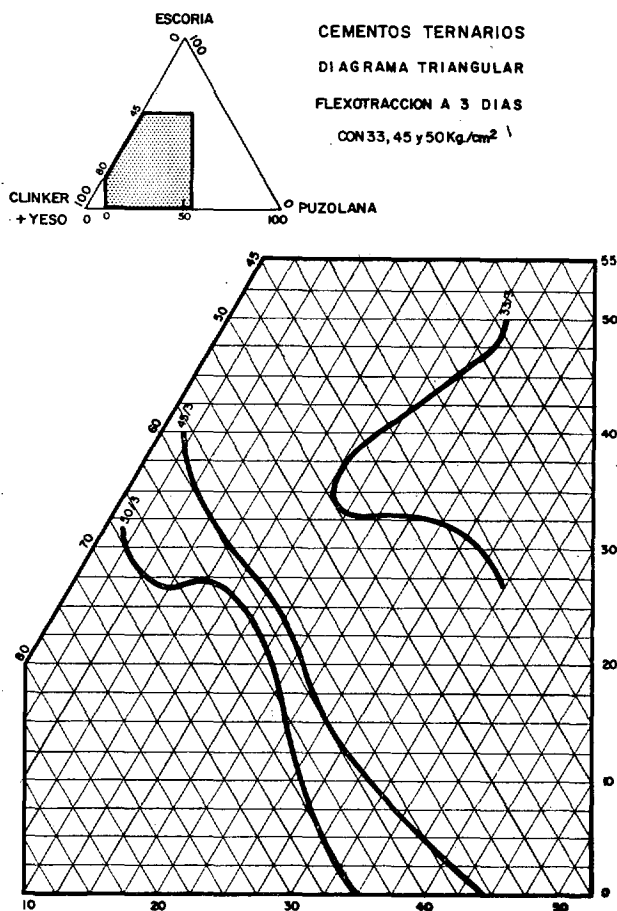


CATEGORIAS: 250 350 450

efectuara más ensayo que el de los veintiocho días, los 36 testigos ternarios considerados serían de la categoría 450 a flexotracción, y en la compresión sólo 6 permanecen en la 250, encuadrándose 29 en la 350 y 1 en la 450. En los binarios se observa un desplazamiento semejante.

Para una rápida visión de conjunto hemos confeccionado además cinco isogramas triangulares con curvas tipo, que nos permiten deducir las resistencias mecánicas que cabe esperar con combinaciones diferentes a las estudiadas.

Tres de ellos se refieren a solicitudes de flexotracción, y los otros dos a los de compresión. De su examen se deduce:



1.º Las curvas presentan inflexiones muy pronunciadas, y resulta difícil dejar establecida una ley apriorística de resistencias. Estas tendrán que ser siempre comprobadas en análisis experimental.

2.º Se observa una cierta correlación entre las sinuosidades de las curvas a una deter-

TABLA B

CEMENTOS BINARIOS	FLEXOTRACCION			COMPRESION		
	Días			Días		
	3	7	28	3	7	28
250	1	—	—	2	1	—
350	2	2	—	3	6	4
450	4	5	7	2	—	3
Suma	7	7	7	7	7	7

TABLA C

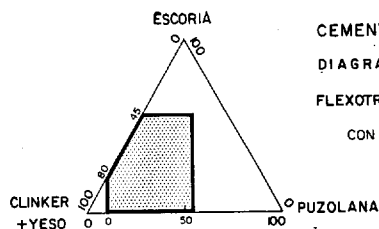
CEMENTOS TERNARIOS	FLEXOTRACCION			COMPRESION		
	Días			Días		
	3	7	28	3	7	28
250	7	1	—	16	13	6
350	22	24	—	20	23	29
450	7	11	36	—	—	1
Suma	36	36	36	36	36	36

minada edad y tanto a compresión como a flexotracción.

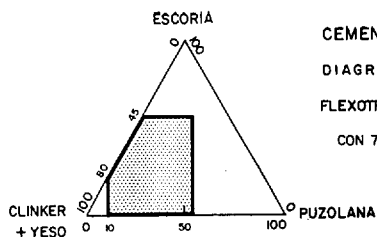
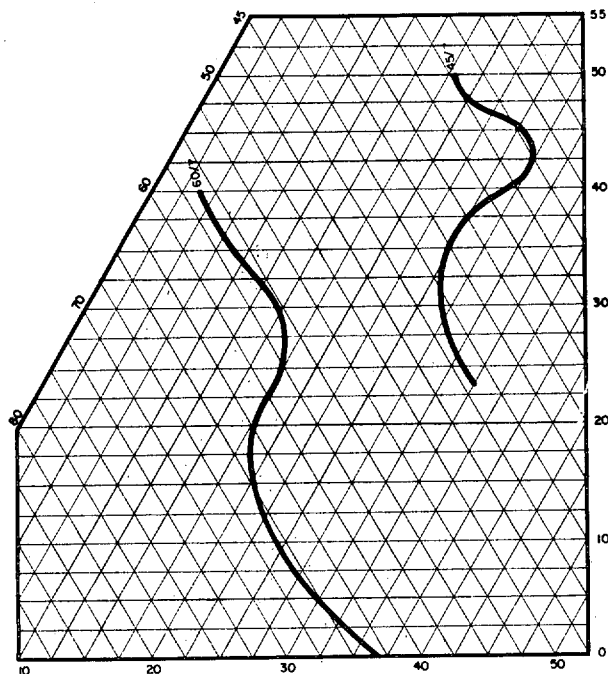
3.º La acción de la puzolana es favorable cuando las curvas se orientan paralelamente al lado escoria-puzolana del esquema triangular. Así sucede en los diagramas que corresponden a solicitudes de flexotracción y compresión a tres y siete días, en los que, para un mismo contenido de cemento, es posible ir aumentando la presencia de puzolana a costa de la escoria, conservando la resistencia.

4.º No lo es en cambio cuando se desarrollan en el sentido del lado (clinker + yeso)-escoria, tal y como se presentan en los diagramas de resistencia a veintiocho días. Al menos para porcentajes de escoria superiores al 15 por 100.

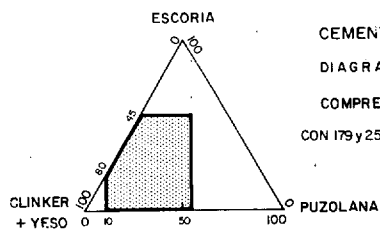
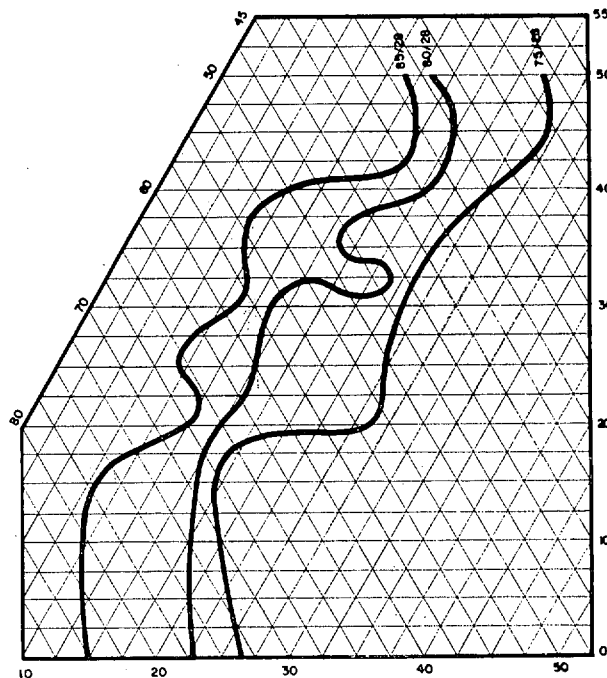
5.º La presencia de puntos singulares como el que representamos en el diagrama de compresión a los veintiocho días con resistencia alcanzada de 450 Kp/cm², en la combinación



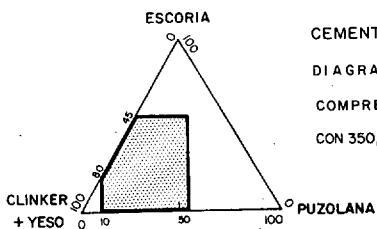
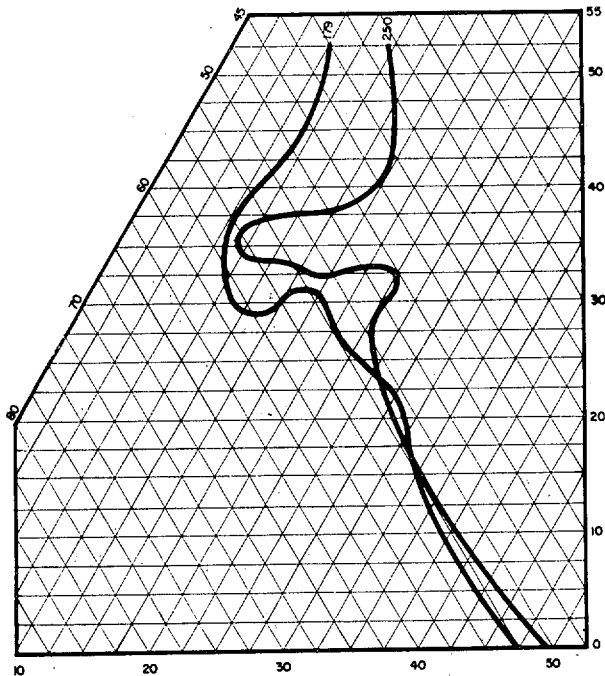
CEMENTOS TERNARIOS
DIAGRAMA TRIANGULAR
FLEXOTRACCION A 7 DIAS
CON 45 y 60 Kg/cm²



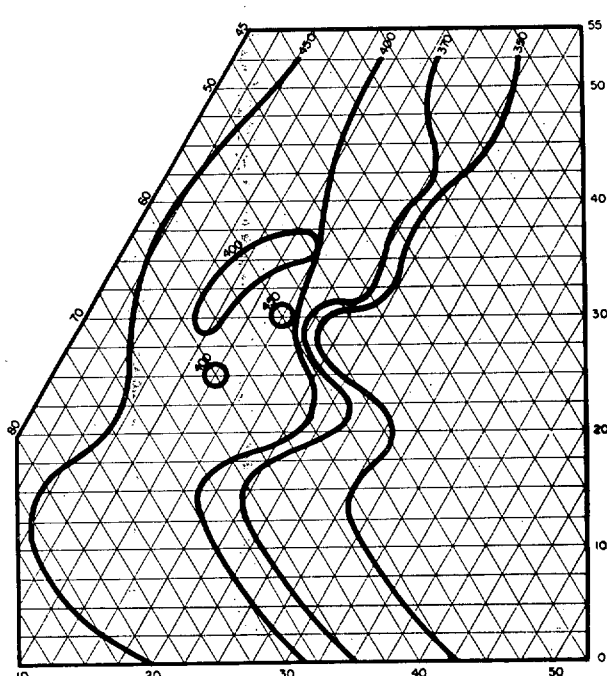
CEMENTOS TERNARIOS
DIAGRAMA TRIANGULAR
FLEXOTRACCION A 28 DIAS
CON 75, 80 y 85 Kg/cm²



CEMENTOS TERNARIOS
DIAGRAMA TRIANGULAR
COMPRESION A 3 Y 7 DIAS
CON 179 y 250 Kg/cm², RESPECTIVAMENTE



CEMENTOS TERNARIOS
DIAGRAMA TRIANGULAR
COMPRESION A 28 DIAS
CON 350, 370, 400 y 450 Kg/cm²



P = 55 por 100, E = 30 por 100 y Z = 15 por 100, confirma la necesidad de ensayar el cemento escogido y que la información que puede conseguirse con los diagramas es meramente orientativa.

CONCLUSION

Los cementos ternarios, aún no incorporados al Pliego español, podrán serlo en un período de tiempo más o menos largo, y cuando de su constancia de características y propiedades se hayan efectuado los rigurosos estudios que han

precedido a los binarios hoy presentes en él, y a los que sin duda corresponde una mayor difusión que la alcanzada hasta la fecha.

En un mortero u hormigón, el componente más trascendente es el cemento y también es el de mayor importancia de entre los artificiales que puede contener, tales como plastificantes, aireantes, modificadores de fraguado, etc.

Una acertada elección del tipo a emplear contribuirá a dar mayor durabilidad a nuestras construcciones. Exigencia cada vez más fácil de cumplir a medida que la oferta se hace más variada.