

AGLOMERANTES DE ARCILLAS ACTIVADAS-CAL

Por F. ARREDONDO

Ingeniero de Caminos.

Da cuenta el autor de los ensayos llevados a cabo por él en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, sobre la activación de arcillas para constituir dichos aglomerantes, y sobre las resistencias, a tracción y compresión, de éstos, con distintos tipos de acelerantes. Hace al final un estudio comparativo de los morteros de este tipo y de los de cemento.

Sinopsis.

Desde la antigüedad se conoce el empleo de las puzolanas para la fabricación de aglomerantes.

Al hablar de puzolanas nos referimos a materiales de tipo silíceo que, finamente molidos y amasados con cal, presentan características hidráulicas.

Amplio ha sido el uso de este tipo de aglomerantes desde muy antiguo hasta la obtención de las primeras sales hidráulicas el siglo pasado.

Pero hay veces en que no se dispone con facilidad de puzolanas naturales y entonces hay que fabricarlas, hay que producir puzolanas artificiales que puedan sustituir a las naturales.

El material que tenemos, en general, más a mano para esta fabricación y en mayor cantidad, y por tanto el más económico, es la arcilla.

La arcilla, en su estado natural, no tiene propiedades puzolánicas, pero podemos hacer que las tenga mediante una activación durante un determinado tiempo a una temperatura dada, variables éstas, que cambiarán para cada arcilla.

Pero antes de comenzar un estudio tecnológico de estos aglomerantes a base de arcillas activadas-cal, es preciso activar la arcilla y previamente surgen varios problemas: habrá que determinar qué arcillas son aptas para la activación y cuándo una arcilla es más apta que otra. Al mismo tiempo habrá que determinar cuáles son las condiciones óptimas de activación.

Todos estos problemas han sido detenidamente estudiados por el Dr. López Ruiz y a sus conclusiones me remito.

López Ruiz ha trabajado sobre arcillas caoliníticas e ílticas, y ambas son adecuadas, si bien ha encontrado mayor actividad en las caoliníticas.

La activación consiste en una calcinación que destruye los minerales arcillosos por eliminación del agua reticular; se forma entonces una masa, probablemente amorfa, que parece estar integrada por sílice y alúmina activas en tanta mayor cantidad para cada tipo de arcilla, cuanto mayor sea la cantidad de agua reticular.

Por tanto, puede admitirse en principio que una arcilla de determinado tipo será tanto más adecuada para la activación, cuanto más agua reticular posea.

Ya tenemos, pues, un criterio para opinar sobre la aptitud comparativa de arcillas para la activación.

Llamamos características óptimas de activación a aquellas que producen un material que, reducido a polvo, mezclado con cal y manipulado en la forma usual de los aglomerantes, nos dé las mayores resistencias.

No cabe duda que este sistema de activar la arcilla a distintas temperaturas durante diversos tiempos, fabricar probetas y esperar veintiocho días es enojoso.

El investigador antes citado propone la determinación del calor de disolución de la arcilla activada en una mezcla de ácido nítrico y ácido fluorhídrico.

Se basa este método en la suposición de que dicho calor será tanto mayor cuanto más elevada haya sido la deshidratación y, por tanto, cuanto mayor sea la proporción y actividad de la sílice y alúmina libres en presencia.

El método es rápido—una hora aproximadamente—y su eficacia se ha comprobado experimentalmente.

Independientemente de esto, el factor económico tiene también su participación en las condiciones óptimas en escala industrial, pues según el horno que se posea, puede ser interesante modificar ligeramente las condiciones óptimas teóricas, para aumentar la rentabilidad del negocio sin perjudicar sensiblemente las características técnicas del producto.

El proceso industrial de la activación de arcillas será tanto más adecuado cuanto más se acerque a las condiciones óptimas de activación encontradas en los ensayos de laboratorio. En él, pues, se deben controlar, dentro de las tolerancias más estrechas posibles, las variables que intervienen en la activación.

Estas variables son: tiempo, temperatura y calor requerido. El calor vendrá definido por la naturaleza de la arcilla y no estará en nuestras manos el modificarlo. Con el tiempo y la temperatura de activación si podemos jugar a nuestro antojo, dentro de ciertos límites, y podremos entonces definir dos tipos de procesos de activación: un proceso empleando temperaturas de unos 800° con tiempos de activación de hora u hora y media, y otro proceso de temperatura de activación del orden de los 1 000° y tiempos

de activación de diez minutos o un cuarto de hora. En ambos se logran condiciones óptimas del material activado.

La elección de uno u otro proceso no puede decirse a primera vista, pues las ventajas de cada uno de ellos son considerables y solamente un estudio detallado puede darnos alguna luz para resolver el problema.

Esos 200° de diferencia que hemos señalado hacen variar las características de los hornos en cuanto a materiales para su construcción, conservación, previsión de posibles pérdidas, etc.

El control de tiempo debe ser rígido en el proceso rápido y solamente existe un mínimo de permanencia en el proceso lento. Si adoptamos el primero tenemos que desechar un buen número de tipos de hornos en los que es prácticamente imposible precisar velocidades del material en ellos y, por tanto, no se puede asegurar que una partícula permanezca bajo los efectos del calor un tiempo determinado, que admite nada más que unas tolerancias muy estrechas. Por otra parte, un tiempo de cocción corto trae consigo, para una misma producción, menores dimensiones del horno, con el consiguiente ahorro de superficie de radiación, cosa que puede influir de manera sensible en el balance térmico.

Las razones expuestas en líneas generales aconsejan hacer un estudio más detallado de los dos procedimientos, siendo probablemente la parte económica la que decida en fin de cuentas el procedimiento que se ha de emplear, ya que las condiciones técnicas de los dos procesos son igualmente aceptables.

Cualquiera que sea el procedimiento que empleemos, sin lugar a dudas podemos y debemos aprovechar las ventajas que ofrece la recuperación de calor por precalentamiento de la arcilla; pero si en este tratamiento sobrepasamos el tiempo o la temperatura, se puede originar una cristalización con la correspondiente pérdida de actividad.

Hay que disponer el proceso de forma que la arcilla activada se enfríe bruscamente, por lo menos hasta la temperatura de 100 ó 150° C. Que haya necesidad o no de un enfriador dependerá de la producción.

Para el proceso rápido probablemente el horno más conveniente es el horno túnel con bandejas deslizantes sobre rodillos. Para el proceso lento seguramente se obtendrán mejores resultados con un horno rotatorio.

En nuestros ensayos hemos activado varias arcillas en el horno rotatorio de nuestra planta piloto. Dicho horno tiene 12 m. de longitud y zona de clinkerización ensanchada. Como combustible, en estos casos, utilizamos gas-oil y la temperatura alcanzada en la arcilla que dió mejores resultados fué de 900° C.

Gracias a la posibilidad de variación de la inclinación y velocidad de giro del horno, pudimos con-

seguir que el material estuviese a la temperatura máxima durante media hora nada más.

La alimentación del horno se hacía con arcilla en grano, del tamaño de nuez, para abajo.

El enfriamiento era rápido para "congelar" la estructura producida durante el proceso de calcinación.

Después de activada la arcilla se tritura conjuntamente con cal viva en terrones y después se mezcla con agua o con agua y áridos para formar pasta pura o morteros.

Ambas cosas hemos ensayado, pasta pura y morteros.

La pasta pura constaba de tres partes de arcilla y una parte de cal en peso.

Para los morteros hemos ensayado áridos silíceos, calizos y de yeso crudo. Las proporciones han sido, para cada tipo de árido, 3:1, 1:1 y 1:3. El aglomerante para los morteros tenía la misma composición que la que hemos indicado para la pasta pura.

Para nuestros ensayos hemos utilizado el aglomerante con dos tipos de finura: la que hemos llamado gruesa, con residuo de un 28 por 100 sobre tamiz de 4900 mallas, y la que denominamos fina, con residuo del 4 por 100 sobre el mismo tamiz.

Tanto para un tipo de finura como para el otro, hemos conservado las probetas por dos procedimientos: al aire en el ambiente del laboratorio y en agua.

Para los ensayos de compresión hemos utilizado probetas cúbicas de 7 × 7 × 7 cm. y para los de tracción los ocho normales.

Es de todos conocido el hecho de que las resistencias de los aglomerantes de tipo puzolánico son adquiridas por éstos lentamente. Es, pues, interesante utilizar adiciones que aceleren estas resistencias. Entonces para cada tipo de finura y de conservación hemos roto probetas sin ninguna adición y con las tres adiciones siguientes: .5 por 100 de yeso crudo, 10 por 100 de cemento y 10 por 100 de cemento más 3 por 100 de cloruro cálcico. Estos tantos por ciento están tomados sobre el total de arcilla activada más cal.

En fin, hemos roto 160 series de probetas a tracción y otras tantas a compresión y cada serie era de doce probetas.

Todas las roturas se hicieron a veintiocho días. En los cuadros adjuntos se indican las medias de las doce probetas que constituyen cada serie.

Detalladamente examinados los resultados, con el correspondiente espíritu crítico, pueden deducirse las cinco conclusiones siguientes:

1.ª En tracción, lo mismo en pasta pura que en morteros, las probetas conservadas en agua dan más resistencia que las conservadas al aire, excepto para los morteros de yeso crudo.

2.ª En compresión y con árido de yeso crudo ocurre lo contrario. En pasta pura y en morteros con árido silíceo y calizo no hay diferencias apreciables.

TRACCION			Pasta pura	MORTERO									
Kg./cm. ²				ARIDO SILICEO			ARIDO CALIZO			ARIDO DE YESO CRUDO			
				1:3	1:1	3:1	1:3	1:1	3:1	1:3	1:1	3:1	
3 partes de arcilla + 1 de cal	Fino 4% s/4 900	Aire	Sin adición	5,0	4,90	8,99	2,95	1,33	3,15	4,15	3,76	6,13	6,40
			5% yeso crudo	5,73	5,80	6,52	4,60	4,66	6,13	4,70	3,35	5,80	5,27
			10% cemento	7,76	4,80	7,36	7,15	2,20	3,68	3,33	6,03	4,76	5,75
			10% + 3% Cl ₂ Ca	0,00	2,96	5,00	4,30	3,16	4,23	7,16	5,40	7,63	4,13
	Agua	Sin adición	21,40	13,36	23,0	18,0	0,93	0,00	3,16	1,76	3,20	3,66	
		5% yeso crudo	17,40	9,60	15,35	15,9	7,40	11,93	13,92	1,70	5,12	10,10	
		10% cemento	14,30	10,73	16,66	17,0	3,23	5,85	15,73	3,25	4,16	4,75	
		10% + 3% Cl ₂ Ca	12,12	7,76	11,04	11,05	1,70	3,80	8,24	4,10	8,26	11,73	
Grueso 28% s'4 900	Aire	Sin adición	6,73	5,10	4,88	4,88	4,15	2,53	2,75	2,43	5,27	6,33	
		5% yeso crudo	5,73	5,03	5,33	3,60	3,20	5,47	4,90	2,00	4,23	4,80	
		10% cemento	6,60	4,33	6,45	6,46	4,95	8,35	7,35	3,12	8,30	8,60	
		10% + 3% Cl ₂ Ca	5,92	3,06	4,70	5,10	2,32	5,63	7,40	2,40	4,10	7,00	
	Agua	Sin adición	14,32	7,10	11,2	11,90	10,90	7,72	8,70	0,8	1,44	2,20	
		5% yeso crudo	11,43	6,20	10,2	6,23	4,75	9,66	8,30	0,00	1,40	1,86	
		10% cemento	13,00	9,05	12,76	12,88	14,83	17,36	19,50	1,60	2,93	4,88	
		10% + 3% Cl ₂ Ca	12,27	4,14	9,20	11,16	4,88	7,90	20,53	1,52	3,50	6,00	

COMPRESION			Pasta pura	MORTERO									
Kg./cm. ²				ARIDO SILICEO			ARIDO CALIZO			ARIDO DE YESO CRUDO			
				1:3	1:1	3:1	1:3	1:1	3:1	1:3	1:1	3:1	
3 partes de arcilla + 1 parte de cal	Fino 4% s/4900	Aire	Sin adición	81,87	45,80	137,28	96,83	1,75	8,60	14,65	10,98	32,10	38,05
			5% yeso crudo	143,24	49,16	120,00	112,38	41,60	93,50	128,36	44,87	115,01	145,01
			10% cemento	115,50	61,32	115,28	127,98	10,80	27,12	100,86	74,25	41,30	34,12
			Id. + 3% Cl ₂ Ca	139,53	58,00	127,00	129,50	15,20	23,85	60,96	76,60	148,83	171,93
	Agua	Sin adición	115,80	67,62	139,45	103,36	1,00	1,30	2,00	0,83	8,32	9,88	
		5% yeso crudo	142,87	46,56	75,35	80,62	32,10	78,42	100,31	5,30	26,83	53,23	
		10% cemento	93,70	66,90	128,13	142,23	5,30	18,80	114,40	18,78	12,26	16,52	
		Id. + 3% Cl ₂ Ca	99,26	50,85	93,73	98,51	4,20	10,80	27,98	21,72	51,03	72,53	
Grueso 28% s/4900	Aire	Sin adición	70,8	25,70	29,16	41,94	29,60	23,37	29,47	13,22	46,17	62,21	
		5% yeso crudo	58,48	33,21	38,57	45,06	20,17	66,46	73,44	9,70	32,80	49,38	
		10% cemento	86,63	43,73	86,26	74,03	65,03	99,08	123,70	37,72	82,23	99,66	
		Id. + 3% Cl ₂ Ca	134,21	25,54	74,16	110,26	17,46	52,86	131,43	57,87	96,90	104,22	
	Agua	Sin adición	58,36	25,58	44,85	50,11	34,50	22,18	34,51	0,00	0,91	4,56	
		5% yeso crudo	59,65	23,65	35,43	40,34	8,60	43,22	40,71	0,00	0,80	2,00	
		10% cemento	79,48	42,40	77,45	66,76	57,63	92,00	115,18	2,00	8,60	17,81	
		Id. + 3% Cl ₂ Ca	101,16	23,10	57,81	71,03	13,73	36,80	113,68	2,60	13,91	20,02	

3.^a En general, los morteros con árido silíceo dan las mayores resistencias; después, los de árido calizo, y luego los morteros con árido de yeso crudo.

4.^a En pasta pura y en morteros con áridos silíceos dan más resistencias las probetas fabricadas con aglomerantes finos. En los demás casos no hay gran diferencia.

5.^a En morteros con árido calizo y de yeso crudo se nota el efecto de los acelerantes. En morteros de árido silíceo casi no se nota nada. En pasta pura se nota algo en compresión y poco en tracción.

Es evidente que este aglomerante no sustituye al cemento cuando se requieran resistencias elevadas, pero como aglomerante para albañilería indudablemente puede servir, y desde luego es más económico.

En la activación de arcillas llevada a cabo en nuestra planta piloto se consumieron 37 litros/hora de gas-oil, en tanto que en el mismo horno el consumo normal de combustible para la producción de cemento es del orden de 70 litros/hora.

Aunque no tenga datos concretos de molienda, puedo afirmar que, para llegar a las mismas finuras, se tardaba menos tiempo al moler este aglomerante que el clínker.

En cuanto a morteros para albañilería, todavía hemos hecho otro ensayo.

Hace años llevamos a cabo unos ensayos de muros de ladrillo, para estudiar la influencia en la resistencia de los distintos aparejos del espesor de la llaga, de la dosificación del mortero, de las juntas, etc.

Utilizamos entonces unos morteros de cemento

que, a veintiocho días, dieron resistencias a compresión de 116, 87, 59 y 44 Kg./cm.².

Evidentemente estas resistencias se alcanzan con los morteros de arcillas activadas-cal. Pero el ensayo a que me acabo de referir ha consistido en estudiar qué adición de cemento, a manera de acelerante, habría que hacer para que en un mortero 1 : 3 se alcanzaran estas mismas resistencias.

Pues bien; con árido silíceo hemos llegado a la conclusión de que las adiciones de cemento para llegar a los 116, 87, 59 y 44 Kg./cm.² son del 35, 22, 15 y 10, respectivamente. Es decir, para preparar 100 kilogramos de mortero en seco, en uno y otro caso se necesitan los materiales que se indican en el siguiente cuadro:

Tipo de aglomerante	Componentes	RESISTENCIA A LA COMPRESION			
		116 Kg./m. ²	87 Kg./m. ²	59 Kg./m. ²	44 Kg./m. ²
Cemento	Cemento	16,7	13,5	10,8	8,1
	Arena	83,3	86,5	89,2	91,9
Arcillas activadas	Arcilla	13,9	15,0	16,25	17,00
	Cal	4,6	5,0	5,50	5,70
	Cemento	6,5	5,0	3,25	2,30
	Arena	75,0	75,0	75,00	75,00