

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

610 - 16 EL EMPLEO DE MEZCLAS DE AGLOMERANTES HIDRAULICOS: VENTAJAS E INCOMPATIBILIDADES

(Mélanges et contacts entre ciments différents - Note sur les incompatibilités)

Autor: Duriez

De: "ANNALES DES PONTS ET CHAUSSEES", nº 2 Marzo-Abril 1953, pág. 149

- - - - -

Los diferentes aglomerantes hidráulicos pueden reaccionar de un modo muy distinto, según su naturaleza, cuando se encuentran mezclados en morteros y hormigones puestos en obra. Igualmente, pueden tener lugar reacciones muy diversas cuando se encuentran en contacto morteros u hormigones preparados con aglomerantes de distinta clase. El autor estudia en el presente trabajo algunos de estos casos.

Puede tomarse como principio general que los cementos portland artificiales y los que de éstos derivan (de alta resistencia inicial y supercementos), los cementos de escorias y metalúrgicos, los cementos puzolánicos y, finalmente, las cales grasas, magras e hidráulicas, pueden mezclarse, en general, en todas proporciones, sin que resulte inconveniente alguno, dado que cada aglomerante evoluciona de acuerdo con sus características propias, sin alterar ni modificar las de los restantes aglomerantes con que se encuentre mezclado. Las propiedades de las distintas mezclas resultan ser intermedias entre las de los aglomerantes mezclados y dependientes de los respectivos contenidos.

Un segundo principio es que los cementos aluminosos, -

sulfometalúrgicos o especiales (cementos expansivos o de retracción compensada), no pueden mezclarse con los anteriores sin que se modifiquen esencialmente las propiedades de los distintos aglomerantes en presencia; resulta este hecho de que los diversos constituyentes no evolucionan por yuxtaposición, sino que existe una interacción química muy marcada.

Esto no quiere decir en modo alguno que haya de evitarse absolutamente el empleo de mezclas de cementos del segundo grupo con aglomerantes del primero; por el contrario, pueden mezclarse - y esto es corriente en la práctica para algunos de ellos - en determinadas proporciones dos o más de estos cementos con el fin de obtener productos de características especiales.

Pero téngase bien en cuenta que es esencial respetar - las proporciones adecuadas y seguir rigurosamente determinadas - maneras de proceder bien definidas. Pero, aun ateniéndose a estas consideraciones de orden general, pueden surgir dificultades en ciertos casos, como especificaremos más adelante.

En efecto, en la práctica la cuestión es más compleja de lo que parece en principio, debido a que a las incompatibilidades generales hay que añadir otras de tipo accidental, es decir, que aparecen en determinados medios y, especialmente, en el seno del agua del mar o de aguas muy ricas en sulfatos.

Vamos a examinar primeramente las ventajas que ofrece el empleo de mezclas de aglomerantes hidráulicos.

#### Mezclas de aglomerantes compatibles

Se entienden por éstas aquellas mezclas de aglomerantes que evolucionan por separado y que no presentan entre sí una interreacción marcada.

Es preciso tener bien presente que un cemento en particular constituye también una mezcla de distintos productos hidráulicos, cada uno de los cuales posee características propias en lo que concierne a tiempo de fraguado y desarrollo del endurecimiento, tanto desde el punto de vista de la rapidez como de las resistencias adquiridas en un tiempo dado y de las resistencias finales.

Entre los productos hidráulicos fundamentales que integran los cementos figuran: el aluminato tricálcico, que es el elemento de fraguado muy rápido, el silicato tricálcico, o elemento de endurecimiento bastante rápido y el silicato bicálcico, o elemento de endurecimiento lento, para no mencionar más que los más importantes.

Cuando se mezclan aglomerantes del primer grupo antes mencionado, los diferentes elementos hidráulicos actúan por separado o sin interacción notable, de donde resulta un conjunto de características que corresponde aproximadamente a los valores medios obtenidos a partir de las proporciones respectivas.

A continuación se indican las mezclas más importantes que pueden prepararse para fines particulares.

- a) Mezclas de cementos portland artificiales y cementos naturales.

Un cemento portland ordinario puede mezclarse, por ejemplo, con un cemento rápido natural, o con un supercemento, o un cemento de alta resistencia inicial, etc.

Si se añade un poco de cemento rápido a un portland, - se acelera el fraguado de este último.

Si, por el contrario, se añade un poco de portland a un cemento rápido, se aumenta la resistencia final de éste. Estos

resultados se deben a que el cemento rápido contiene casi exclusivamente aluminato tricálcico, elemento de fraguado muy rápido, - pero de resistencia final moderada, en tanto que el cemento portland contiene fundamentalmente silicato tricálcico y un poco de silicato bicálcico, que son elementos hidráulicos que producen - resistencias finales notables.

Desde este momento, debe tenerse en cuenta que, por - una parte, el cemento rápido no deja cal en libertad en el curso de su hidratación, mientras que el portland es un cemento básico que libera cal en cantidades importantes al comenzar su endurecimiento; esta liberación de cal continúa durante años, como consecuencia de la presencia de silicato bicálcico en todos los cementos portland.

Esta observación nos será útil más adelante para comprender casos de incompatibilidad accidental o circunstancial entre dos cementos.

b) Mezclas de cemento portland y cal.

Estas mezclas poseen un gran interés. Por adición de - cal al portland, se obtienen cementos de fraguado y, sobre todo, de endurecimiento más lentos, pero, por otra parte, la mezcla da lugar a morteros y hormigones de una gran plasticidad. Estas mezclas pueden resultar de una gran utilidad en aquellas regiones - en que los cementos resulten a un precio elevado y sea posible - montar hornos de cal.

En Alemania se utilizan mucho los morteros denominados "bastardos", en los que el aglomerante está constituido en parte por portland y en parte por cal; por otra parte, cal y portland pueden mezclarse en proporciones absolutamente cualesquiera. Se

puede utilizar cal de cualquier tipo, grasa, magra o hidráulica.

c) Mezclas de cemento portland y escorias.

No es menester insistir sobre estas mezclas, entre las cuales pueden incluirse los distintos tipos de cementos metalúrgicos.

Lo más sencillo es realizar la mezcla a partir de portland puro y escorias puras, en las proporciones precisas. Sin embargo, si es preciso, puede mezclarse un portland con un cemento de escorias en cualquier proporción sin inconveniente alguno.

d) Mezclas de cal y cemento de escorias.

Estos aglomerantes pueden mezclarse en todas proporciones; en este caso nos hallamos en presencia de una mezcla ternaria que comprende portland, escorias y cal.

Téngase en cuenta que la mezcla binaria de cal y escorias puede constituir una cal con escorias (análoga a una cal hidráulica), si predomina la cal, o, por el contrario, un cemento de escorias con cal, si son éstas las más abundantes.

e) Mezclas de portland y cementos puzolánicos.

Estas mezclas son igualmente posibles en todas proporciones; las propiedades del aglomerante mixto resultante serán, conviene repetirlo, intermedias entre las de los cementos mezclados. De este modo, mezclando un portland con un cemento puzolánico, se aumentará la velocidad de endurecimiento de éste, pero - disminuirá progresivamente su resistencia al agua del mar.

f) Mezclas de cementos rápidos y cementos de escorias.

No son corrientes estas mezclas; sin embargo, son posibles sin inconveniente alguno y pueden presentar ciertas venta -

jas. La adición de una pequeña cantidad de cemento rápido al cemento de escorias aumenta la velocidad de fraguado de éste y, por otra parte, el cemento de escorias, añadido en proporción media o incluso considerable al cemento rápido, incrementa las resistencias finales del mismo. Debe tenerse presente, además, que, ni el cemento rápido, ni los cementos con un elevado contenido de escorias de alto horno, dejan cal en libertad; esto es de la mayor importancia desde el punto de vista de la resistencia a las aguas selenitosas y de mar.

g) Mezclas de cementos rápidos y de cementos puzolánicos.

Presentan las mismas características que las del grupo anterior: su realización da lugar a una aceleración del fraguado del cemento puzolánico y a un incremento en las resistencias finales del cemento rápido.

Podrían enumerarse otras combinaciones, pero basta con las indicadas. El conocimiento de las propiedades de los cementos que integran una mezcla es suficiente para conocer con precisión las propiedades de la misma.

De las mezclas mencionadas, las más corrientemente usadas son, por una parte, las de cementos rápidos y portland artificiales y, por otra, las mezclas de portland y cales hidráulicas.

Mezclas de aglomerantes incompatibles

Aunque estas mezclas son peligrosas en general, se recurre a ellas con frecuencia para ciertos fines, pero hay que tener presente que los componentes deben mezclarse en proporciones definidas y ha de seguirse una determinada técnica.

Como se ha indicado, pertenecen a este grupo de mezclas las que pueden prepararse con cementos aluminosos, sulfometalúrgicos o expansivos, por una parte, y cementos portland artificiales, rápidos, de escorias y metalúrgicos, e incluso puzolánicos, por otra.

En lo que sigue se indican las propiedades y particularidades de algunas de las mezclas de este tipo más empleadas o más características.

a) Mezclas de cementos aluminosos y portland.

Constituye la mezcla más corriente y, al mismo tiempo, la más característica.

En efecto, el portland es un cemento de fraguado lento y endurecimiento lento o medio, según su mayor o menor riqueza en silicato bicálcico o en silicato tricálcico.

Por otra parte, el cemento aluminoso es igualmente de fraguado lento, pero presenta un endurecimiento ultrarrápido.

Las mezclas de estos dos cementos de fraguado lento dan lugar a un producto de fraguado rápido y, a veces, casi instantáneo, según las proporciones respectivas y el grado de homogeneización de ambos aglomerantes.

Sin embargo, el cemento de fraguado rápido obtenido de este modo está lejos de alcanzar las resistencias finales, no ya del aluminoso, sino ni siquiera del portland; las mezclas en determinadas proporciones dan resistencias finales sumamente bajas, del orden de la cuarta o quinta parte de las correspondientes a los cementos componentes.

Lo más corriente es mezclar un tercio o dos quintos de

cemento aluminoso con dos tercios o tres quintos de portland.

Las proporciones inversas dan lugar a cementos rápidos de resistencias muy bajas y, por esta razón, no se utilizan.

Además, estas mezclas deben ensayarse siempre previamente, porque la velocidad de fraguado y las resistencias finales alcanzadas dependen, no solamente de las proporciones en que se emplean los dos cementos, sino también de la naturaleza particular de éstos; dos muestras diferentes de los mismos cementos, mezcladas en las mismas proporciones, ya no dan los mismos resultados y, a veces, estos son muy distintos. Así, pues, es preciso hacer un estudio particular para cada remesa.

b) Mezclas de cementos aluminosos y cales grasas o hidráulicas.

Por estas mezclas, se obtiene, como en el caso del portland, un cemento rápido.

Predomina siempre el cemento aluminoso y, para obtener un aglomerante de fraguado muy rápido, basta con añadir un contenido de cal del 1 al 2%. Se comprende que, dadas estas circunstancias, deba homogeneizarse perfectamente la mezcla en seco antes de utilizarla; por consiguiente, se trata de una mezcla de realización correcta más difícil que la de cemento aluminoso y portland y, por esta razón, se utiliza con mucho menos frecuencia.

c) Mezclas de portland y cementos sulfometalúrgicos.

Se obtiene un producto que puede tener propiedades análogas a las de los cementos expansivos; en otras proporciones se puede conseguir un aglomerante con las propiedades correspondien



tes a los cementos sin retracción. No obstante, no conviene proceder a estas mezclas para obtener cementos de retracción compensada o cementos que se dilaten más o menos según avanza el proceso de fraguado; es mejor recurrir a cementos especiales que presenten esta propiedad y cuya expansión haya sido regulada correctamente siguiendo una técnica bien estudiada.

- d) Mezclas de portland u otros cementos con cementos sin retracción.

Estas mezclas no son recomendables en general en razón de la incompatibilidad existente entre los elementos que constituyen los cementos de retracción compensada o los cementos expansivos y los cementos tales como el portland.

- - -

A continuación se estudian en sí las incompatibilidades entre los diferentes aglomerantes, que, como se ha indicado, pueden ser de dos tipos: por naturaleza o absolutas y circunstanciales o accidentales.

#### 1.- Incompatibilidades absolutas

Se trata de incompatibilidades del orden de las estudiadas en el anterior apartado y que se utilizan a veces para obtener ciertos resultados, realizando mezclas en proporciones bien predeterminadas. Conviene mencionar a este respecto:

- a) Cementos sulfometalúrgicos o sobresulfatados y cementos portland (o cal).

Estas mezclas son peligrosas; se obtiene, como se ha indicado, productos expansivos que pueden alterar la estructura del mortero o del hormigón. Así, pues, no se puede inyectar cemento -

sulfometalúrgico en una masa de mortero de cal o de hormigón de portland, que haya sido afectada por el ataque de aguas demasiado puras o cargadas de anhídrido carbónico. En efecto, se corre el riesgo de dislocar la estructura de un modo irremediable.

b) Mezclas de cementos aluminosos y portland o cal.

Ya hemos visto que estas mezclas dan lugar, en determinadas condiciones, a cementos de fraguado extraordinariamente rápido y, en condiciones parecidas, se originan mezclas poco resistentes desde los puntos de vista mecánico y químico.

c) Mezclas de cementos expansivos o cementos sin retracción con portland o cal.

Deben evitarse estas mezclas, pues se obtiene igualmente, aunque en menor grado, productos expansivos.

## 2.- Incompatibilidades circunstanciales

Ciertas mezclas de cementos, que son compatibles en condiciones normales, pueden dar lugar a graves dificultades cuando se encuentran en determinados medios, como son el agua de mar, - las aguas cargadas de sulfato magnésico, etc.

A este efecto se estudian únicamente los morteros y - hormigones que se encuentran en contacto o sumergidos en el agua del mar; nuestro razonamiento en el caso de las aguas selenitosas o sulfatadas en general sería idéntico.

a) Mezclas de cementos de escorias o metalúrgicos con portland.

El autor comenta un caso particular, recientemente comprobado por él. Se trata de las obras marítimas constituidas por

bloques prefabricados de hormigón de portland admitido para dicho género de construcciones, con juntas de mortero a base de cemento metalúrgico mixto, igualmente apto para trabajos marítimos.

El agua del mar impregna los bloques de hormigón e, - igualmente, las juntas de mortero, y tanto más cuanto mayor sea su porosidad. En consecuencia, el cemento metalúrgico mixto se encontrará en contacto con la cal procedente del portland que penetra por difusión en la junta y ésta es atacada por formarse la sal de Candlot que, como es sabido, es fuertemente expansiva. Este es el primer caso, y quizá el más importante, en que vemos - que, en el mar, la mezcla o el contacto de dos cementos, admitidos por separado para obras marítimas, dan lugar a productos uno de los cuales, por lo menos, pierde sus características de resistencia a la corrosión por el agua del mar.

b) Cementos rápidos y cementos portland.

El cemento rápido, muy rico en aluminato tricálcico, - no libera cal al fraguar. Si se mezcla éste con portland que, - por el contrario, libera grandes proporciones de cal, se originan destrucciones muy rápidas en el seno del agua del mar o de - aguas seleníticas por formación de cal de Candlot en forma pulverulenta. Lo mismo sucede si se recubren con cemento rápido las - construcciones de hormigón de portland.

c) Cementos metalúrgicos y cal.

Los cementos metalúrgicos ricos en escorias, así como los cementos de escorias con clinker, que normalmente resisten - la acción del agua del mar y de las aguas seleníticas, corren el peligro de ser atacados si se les añade cal en cantidad superior a la que puede ser fijada por las escorias contenidas en el ce -

mento.

d) Cementos rápidos y cal.

Los cementos rápidos mezclados con cal se alterarían rápidamente en contacto con el agua del mar, ya que en este caso se cumplen unas condiciones eminentemente favorables para la formación de la sal de Candlot: una gran proporción de aluminato tricálcico, y de sulfatos procedentes del agua del mar, en presencia de agua saturada de cal.

Recordemos, finalmente, que las cales marítimas cuya hidraulicidad se incrementa de un modo excesivo, pero sin constituir todavía un cemento, se convierten en un producto peligroso.

- - -

De lo que antecede, se desprende hasta qué punto debe procederse con circunspección al realizar mezclas de aglomerantes. Normalmente, se pueden mezclar entre sí los cementos portland, los de escorias, los puzolánicos, las cales hidráulicas y los cementos de "grappiers", así como los cementos rápidos.

Por el contrario, siempre que se trata de cementos aluminosos, sulfometalúrgicos o expansivos, habrá que abstenerse de mezclarlos sin precauciones especiales, y solamente para fines específicos, con los aglomerantes mencionados anteriormente.

Un tercer punto a considerar, de gran importancia, es, como hemos visto, que cementos compatibles en condiciones normales, pueden no serlo en determinados medios.

No siempre se podrá conocer a priori las reacciones que van a tener lugar en una determinada mezcla, dada la comple-

jidad de composición de los diferentes cementos. Así, pues, resulta preciso realizar experiencias previas para saber si dos cementos que, separadamente, serían estables en el medio en cuestión, no van a perder su resistencia, por el hecho de encontrarse en contacto.

Pero debe destacarse un hecho esencial y es que, si bien las reacciones nocivas que tienen lugar en un caso de incompatibilidad son siempre las mismas, las velocidades de reacción difieren enormemente según la compacidad y la riqueza en aglomerante de los morteros y hormigones. Así, una reacción perjudicial que puede dar lugar a la destrucción de una estructura en 6 meses, cuando ésta está realizada con hormigón poroso, puede ser apenas perceptible al cabo de 20 años si se pone en obra un hormigón rico en aglomerante y, sobre todo, muy compacto (ni permeable, ni higroscópico). L. S. C.