

7.1. Portland en general

JULIÁN REZOLA IZAGUIRRE

Diplomado I. Q. S.
Cementos Rezola, S. A.



Existe, a nuestro entender, una opinión bastante generalizada y un tanto equivocada acerca de la industria del cemento. Según la misma, en las fábricas de cemento, una vez logrado el planteamiento económico de su instalación, no existen posteriores dificultades ni problemas. Desgraciadamente, para nosotros, esto dista mucho de la realidad. Quien así opine ignora los ensayos, determinaciones e, incluso, investigaciones que deben realizarse «a priori» para la elección del proceso, maquinaria o emplazamiento; y no digamos nada cuando llega la hora de afrontar las dificultades que se presentan en el transcurso de la fabricación, hasta, durante y después de su puesta a punto.

Es evidente que en las circunstancias actuales, y enfrentados con el Plan de Desarrollo, el cemento es un producto básico e indispensable. Por lo tanto, es un producto de actualidad. Y se habla mucho del cemento y de sus aplicaciones, en muchos casos con bastante desconocimiento de nuestra industria, y de las posibilidades del mismo cemento.

Y existe, no cabe duda, una laguna entre fabricantes y usuarios, en cuanto a la ejecución y elaboración de los hormigones; de su adecuada aplicación. Por desconocimiento en los usuarios de características, de posibilidades. Y por parte de los fabricantes, en la propaganda eficaz de las características para la elección del tipo adecuado de cemento.

Por ello, consideramos interesante, hasta imprescindible, se establezca un diálogo constructivo entre ambos—fabricante y usuario—, ya que, como es lógico, de él se obtendrían muchas y valiosas conclusiones.

El tratar de todos los pormenores del cemento portland en relación con la construcción en general, sería un tema muy extenso. Por lo tanto, hemos preferido reducirlo y referirnos, exclusivamente, a los:

- 1.º Hormigones de altas resistencias mecánicas;
- 2.º Hormigones para la construcción de presas;
- 3.º Hormigones resistentes a los agentes agresivos.

Después de este preámbulo y planteamiento sólo nos queda entrar en materia, pero antes me permito indicarles que la enumeración o comentario de los pormenores de la fabricación del

cemento portland, no lo consideramos como una desconsideración a un preparado auditorio, pero lo que no podemos eludir, y por ello ruego nos disculpen, es el que hagamos, aunque no sea más que de una forma superficial, una exposición de los distintos componentes del portland.

Como ya se sabe, el cemento portland, por definición, es una mezcla de clínker con yeso. De una forma eventual adoptan esta denominación aquellos que, además de estos componentes, llevan adiciones de hasta 10 por 100 de elementos no nocivos, y condicionado a que presten alguna característica complementaria al hormigón: plasticidad, impermeabilidad, estabilidad, y cumplan además con las especificaciones, tanto físicas como químicas establecidas a los cementos de esta clase.

Tratando de simplificar, y con ello facilitar la exposición, nos referiremos, de momento, al clínker por considerarlo como componente esencial del cemento portland.

El clínker es un producto químico artificial obtenido mediante la combinación de elementos ácidos y básicos, previo tratamiento térmico. La combinación resultante de esta reacción es la formación del SC_3 , SC_2 , AFC_4 , AC_3 .

Referidos estos compuestos a los apartados anteriormente establecidos, consideramos como componentes esenciales para los cementos que se deben emplear:

AC_3 y SC_3 para los hormigones de altas resistencias mecánicas.

SC_2 y AFC_4 en hormigones para construcción de presas.

SC_2 y AFC_4 para hormigones resistentes a los agentes agresivos.

Después de este breve planteamiento, pasamos a considerar y estudiar cada uno de los casos en particular.

1.º Hormigones de altas resistencias mecánicas

Al referirnos únicamente a los hormigones de altas resistencias mecánicas, eliminamos aquellas que se caracterizan por sus bajas resistencias, ya que, a nuestro juicio, no creemos tenga demasiado interés hacer comentario alguno sobre dichos hormigones.

La fabricación de un cemento rico en SC_3 , y con ello no creemos revelar ningún secreto, se reduce a trabajar con un grado de saturación alto y a una temperatura de clinkerización elevada, además de otros factores como son las finuras y la homogeneización perfecta de los crudos. Pero, a pesar de todo esto, su preparación también depende de si la fábrica dispone o no de la maquinaria idónea.

En cuanto al contenido en AC_3 depende de la presencia de la alúmina en las primeras materias, en dosificación suficiente. No obstante, esa omisión puede soslayarse con la adición de un material rico en este óxido, por ejemplo, la bauxita.

Dadas las características de la mayoría de los cementos españoles, no creemos sea necesaria, en general, esta corrección, ya que las pizarras, arcillas o margas contienen este elemento en cantidad suficiente. Por lo tanto, y tal como hemos dicho antes, la fabricación de este tipo de cemento queda circunscrita más bien a la instalación que disponga la fábrica.

Bien pudiera ser que ahora surja una pregunta: ¿A qué viene este interés de fabricar cementos de altas resistencias cuando en el Pliego actual ya existe el P-450? ¿O es que, en realidad, debe especificarse otra calidad superior?

Quien así piense no se aparta de la realidad; pero conste que no existe en nosotros interés de lucimiento o afanes propagandísticos. Simplemente se trata de afrontar la situación que han creado los usuarios ante la necesidad, cada vez más imperiosa, de obtener hormigones de altas resistencias. Este es un hecho cierto que cada vez tocamos con más intensidad.

Por las impresiones recogidas en distintos talleres de prefabricados y de pretensados, ya es muy corriente, al menos en nuestra región, hablar de hormigones de 400 kg/cm² a los 7 días, así como de 500 a los 28 días. Caso anecdótico fue que hubo quien mostró interés por obtener hormigones de 1.000 kg/cm².

Con el ánimo, pues, de conocer las cifras que podríamos alcanzar con el empleo de un cemento con características similares al P-450 y mezclado con áridos calizos, previamente clasificados, y ajustándonos a una curva granulométrica estudiada, se prepararon distintos hormigones barajando su dosificación en cemento así como la relación agua : cemento.

De los resultados que figuran en el gráfico 1, destacamos las conclusiones siguientes:

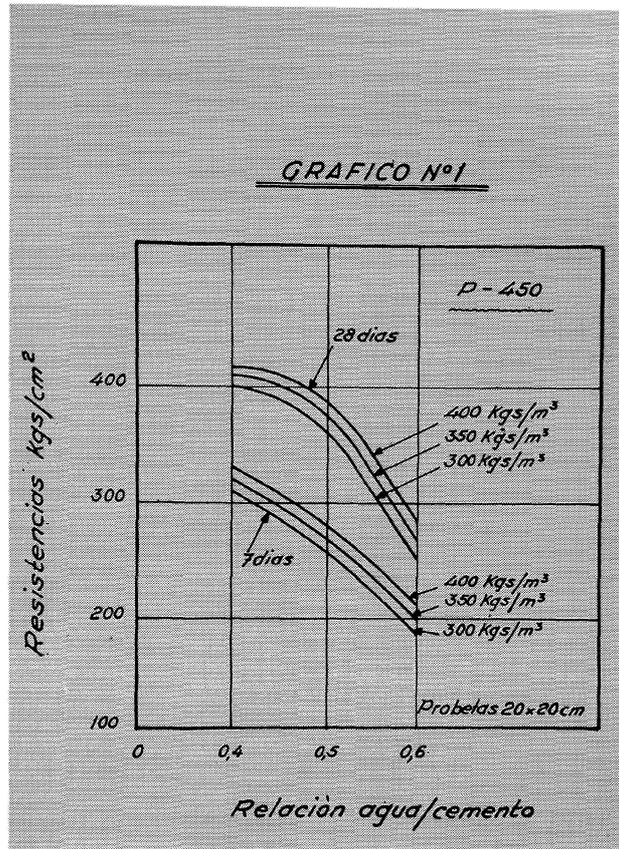
- 1.º La poca eficacia que vienen a tener en las resistencias resultantes los aumentos en la dosificación de cemento.
- 2.º La enorme influencia de la relación agua : cemento.
- 3.º La dificultad de obtener 400 kg/cm² con un cemento P-450.

En vista de ello, proseguimos nuestro intento y, ante el efecto tan evidente que tiene la relación agua : cemento, pusimos el máximo empeño en reducir la relación al mismo tiempo que sustituíamos el cemento por otro de mejor calidad, o sea, superior al tipo P-450.

La simple sustitución del cemento (cuadro 1) supuso el que obtuviéramos el hormigón deseado. Aprovechando esta circunstancia, hicimos nuevos ensayos, y como conclusiones obtenidas hacemos destacar:

- 1.º El efecto favorable logrado con la mezcla de arena caliza con arena de playa. Hormigón número 3.
- 2.º El resultado tan eficaz obtenido con el empleo de una curva granulométrica discontinua. Hormigón numero 4.

Con esto creemos haber expuesto la conveniencia de especificar una calidad superior al P-450, a todas luces necesaria para la obtención de hormigones de altas resistencias, y con ello tranquilizar a muchos que se asombran porque en el extranjero trabajan con hormigones de 400 y 500 kg/centímetro cuadrado.



CUADRO 1

Hormigón número	1	2	3	4
kg/m ³ de cemento > P-450	400	400	400	400
Relación agua/cemento	0,40	0,37	0,37	0,37
kg/cm ² 7 días	428	517	550	600
... .. 28 días	480	554	600	720

A nuestro entender, el establecer una calidad superior, además de favorecer al usuario, sirve de acicate para aquellos que no la fabrican, da prestigio a los que la hacen, y, en consecuencia, se revaloriza el Pliego y la industria española. Factores sumamente interesantes, y más ahora, que tanto se habla de nuestra integración en organismos internacionales.

Nuestra condición de fabricantes en el litoral nos ha permitido ensayar continuamente cemento de importación; y considerando sea interesante conocer sus características, además de permitirnos establecer comparaciones entre nuestros productos y los que se fabrican en el extranjero, voy a hacer algunos comentarios.

CUADRO 2

Cemento	Extranjero	Nacional
Muestras ensayadas	14	13
Procedencia	7 países	9 fábricas
Similares al P-250	0	7,6 %
Similares al P-350	28,5 %	7,6 %
Similares al P-450	50,0 %	53,8 %
Superiores al P-450	21,4 %	30,7 %

Como puede muy bien observarse en el cuadro 2, los resultados obtenidos son muy elocuentes.

Quizás las cifras de los cementos extranjeros resulten un tanto desmoralizadoras, pero, en honor a la verdad y si nos paramos a comparar el nivel industrial, maquinaria, de las fábricas españolas con las extranjeras, y en especial en las fábricas modernas e incluso en las antiguas, que han remozado su maquinaria, veremos que no existen diferencias notorias. Por ello, y al estar en igualdad de condiciones, no hay justificación alguna, salvo las características de las primeras materias, para que, disponiendo de los mismos medios, sea diferente el producto obtenido.

Como confirmación de lo que acabamos de comentar tenemos como fiel exponente los resultados de los cementos portland que concurrían en nuestro mercado antes de la publicación del Pliego del año 1964.

En líneas generales podemos decir que no existen muchas diferencias entre las calidades de los cementos importados y los españoles de nuestra región.

Pero como al hablar de calidades, automáticamente se asocia con la garantía de continuidad en las características del producto fabricado, y más ahora que tan candente está la «marca de calidad», debemos hacer constar que en los resultados que acabamos de ofrecer no se ha tenido presente esta particularidad. Es decir, que aquellos cementos que rebasaban bien en 1 kg, como en 50 kg/cm² las especificaciones del P-350, se les ha considerado iguales entre sí, y equivalentes al P-350.

Ahora bien, la práctica aconseja otras medidas y, sobre todo, cuando se trata de garantizar por encima de todo la limitación máxima o mínima impuesta.

De aquí que aquellos cementos que den justamente las características de un determinado tipo, por lógica prudencia deban ser catalogados como inmediatos inferiores.

Con esto, en las cifras anteriores (cuadro 2), tanto en las españolas como en las extranjeras, deberían introducirse algunas correcciones, si cabe, reduciendo el porcentaje del P-450 y aumentando el P-350. Pero este mismo criterio no es aplicable a los tipos de cementos superiores al P-450, ya que los mismos, por lo que hemos podido observar, rebasan con márgenes muy significativos, las resistencias especificadas al P-450.

Después de esto se comprenderá que el criterio que mantenemos no es una utopía, ni tampoco de que está circunscrito al interés de una sola fábrica, sino que el mismo viene a ser una consecuencia de lo que sucede en la región Norte, que por sus producciones y la calidad de sus cementos es bien representativa de la industria cementera española.

No se nos oculta que existirán detractores del criterio que mantenemos, pero debemos recordarles que están muy próximas las construcciones de nuevas autopistas, y si queremos ganar la partida a los hormigones asfálticos, no será precisamente con cementos P-250 y P-350.

2.º Hormigones para la construcción de presas

Aun cuando la construcción de presas data de mucho antes que los pretensados, existen problemas de actualidad, y que, debido a su importancia, merecen ser objeto de comentario e incluso de opinión.

Trataremos de ser objetivos en nuestras consideraciones, aunque por nuestra condición de fabricantes quizás se nos tache de parciales. De todas formas creemos que esto es perdonable, ya que es lógico que por inclinación natural defendamos nuestro producto, siempre dentro de la mayor ecuanimidad.

Comenzaremos por la elaboración del hormigón. Afortunadamente se ha dado un paso de gigantes en este sentido, tanto en lo que concierne a los áridos, granulometría, dosificaciones, etc., como por lo que se refiere a la maquinaria y medios modernísimos, así como en lo que respecta a las dosificaciones de agua/cemento empleadas.

Anteriormente, apenas se paraba uno a pensar en la temperatura de recepción del cemento, calores de hidratación del mismo, temperaturas del hormigón, etc. Pero lo que no cabe duda es que las técnicas evolucionan y, al compás de éstas, las exigencias.

Como tales, la primera que se ha suscitado ha sido la temperatura del cemento. En honor a la verdad, debemos reconocer su influencia a la hora de fabricar el hormigón. Ahora bien, a nuestro juicio, se está extremando un tanto esta circunstancia en el ánimo de hacer bien las cosas. El hormigón, como se sabe, es una mezcla de áridos, agua y cemento en proporciones determinadas. En este tipo de hormigones la relación que guardan, aproximadamente, es de: 8 : 0,5 : 1.

Ateniéndonos a las capacidades caloríficas de cada uno de los componentes, y a tenor de las proporciones que guardan, llegamos a la conclusión de que el efecto, en orden decreciente, viene a ser: áridos, agua y, por último, el cemento.

Por lo que afecta a los fabricantes, para reducir la temperatura del cemento tienen las siguientes posibilidades: trabajar con molinos en circuito cerrado, con separadores y circulación de aire. De esta forma puede reducirse la temperatura en relación a la obtenida con los compound en circuito abierto, en unos 20º C. También un factor de reducción es el de transportar el cemento en bolsas en lugar de a granel. Pero mucho nos tememos que no sea precisamente ésta la solución más viable para el constructor, por su indudable repercusión económica.

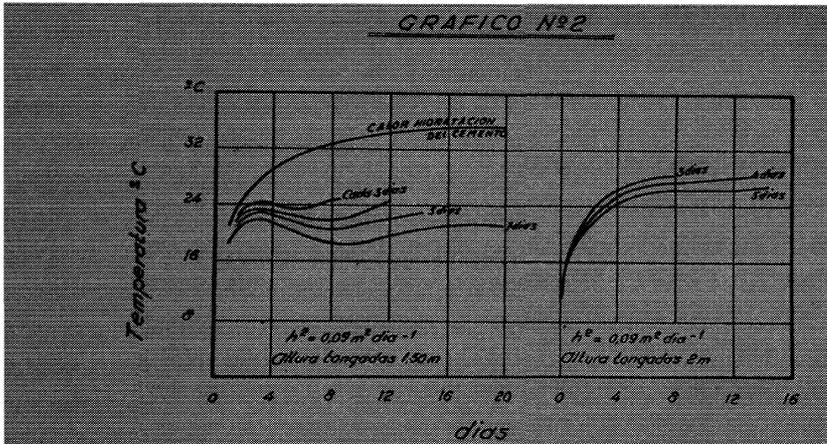
Una vez expuestos algunos de los factores influyentes, que afectan al fabricante, pasamos a comentar aquellos otros que dependen del constructor: regado e incluso enfriamiento, si fuera necesario, de los áridos y el agua, limitación en las alturas de las tongadas, intervalos máximos entre las mismas, encofrados metálicos, etc. Factores todos ellos de suma importancia a la hora de tratar de reducir la temperatura de puesta en obra del hormigón.

Quizás de todos ellos el principal sea el ritmo de hormigonado, es decir, las alturas de las tongadas, junto con los intervalos de tiempo entre ellas.

Supongamos un hormigón dosificado de la siguiente forma:

200 kg/m³ de cemento
100 kg/m³ de agua
2.140 kg/m³ de áridos

teniendo en cuenta los calores específicos de 0,2 para los áridos y el cemento, 0,8 para el agua, y un calor de hidratación del cemento de 80 cal/g a los 28 días, la elevación de temperatura en el hormigón vendría a ser de 29º C, aproximadamente.



En cuanto al efecto del espesor de las tongadas, es preferible sea el menor posible, por ejemplo: 2 tongadas de 1 m cada 2 días son preferibles a las de 2 m cada 4 días, aun cuando el volumen final sea el mismo. Y las tongadas de 0,5 m cada 2 días todavía son mejores a las de 1 m cada 4 días.

A título de información, en el gráfico núm. 2 figura el efecto de cada uno de estos factores en la elevación de la temperatura del hormigón.

Ateniéndonos a la información bibliográfica existente en cuanto al particular, el cemento deberá caracterizarse por su calor de hidratación moderado y por sus resistencias finales; es decir, un cemento con alto contenido en SC₂ y AFC₄.

La fabricación de este tipo de cemento, industrialmente, con materias primas idóneas, es de sumo interés, y para su obtención se requerirían crudos de bajo grado de saturación, lo cual representa que los mismos sean clinkerizados a bajas temperaturas, con la ventaja de aumentar la producción y mejorar el rendimiento térmico, siempre y cuando la extremada fusibilidad de los crudos no origine contratiempos, tales como la formación de anillos.

Pero mucho nos tememos, dado que la generalidad de los cementos españoles rebasan el 10 por 100 de AC₃, que el trabajar en estas condiciones, es decir, reduciendo simplemente el grado de saturación, no rebajaría en cuantía suficiente el contenido del AC₃.

Si por un momento nos fijamos en los calores de disolución de los compuestos puros no hidratados del cemento portland:

AC ₃	207 cal/g
SC ₃	120 cal/g
AFC ₄	100 cal/g
SC ₂	62 cal/g

vemos precisamente que el AC₃ es el componente que tiene más alto calor de hidratación, lo cual representa que a toda costa debe reducirse al máximo su contenido.

Para ello tenemos otra posibilidad, que es la de aumentar el módulo silíceo mediante la adición de un material rico en sílice. Pero si la corrección es a base de sílice cuarzosa, requerirá, además de una molienda extremadamente fina del crudo, una temperatura de clinkerización alta. En definitiva, solución no aconsejable.

Como último recurso tenemos el utilizar correctores tales como las cenizas de tostación de piritas, con los consabidos aumentos en sílice y cal para que el clínker no resulte excesivamente fusible. Entonces los cementos obtenidos se caracterizarían por su bajo contenido en AC₃, alto contenido en AFC₄ y un contenido en SC₃ superior al especificado por el Pliego a los cementos para presas.

Y ya que estamos hablando de contenidos en SC₃, debemos hacer constar que en cementos existentes en el mercado nacional, tales como los que figuran en el cuadro 3, vemos que el cemento número 1, con 33 por 100 de SC₃, está acorde en todo con el P-350, mientras que el cemento número 2, con 28,4 por 100 de SC₃, no cumple con el P-350 por tener resistencias inferiores a éste a los 3 y 7 días, mientras que a los 28 días llega a rebasarlo. Según esto, opinamos que los márgenes son un tanto limitados, y como medida de garantía se corre el riesgo de que para cumplir la limitación del SC₃ se reduzca dicho contenido y a resultados del mismo no se cumplan las resistencias, y viceversa. Además, somos opuestos a que a los cementos para presas se les especifiquen resistencias a 3 y 7 días, cuando en realidad las que deben figurar son solamente las de 28 días, que, en definitiva, son las que verdaderamente interesan.

CUADRO 3

Cemento número	1	Del Pliego Máx. 35 %	2
SC ₃	33,0 %		28,4 %
SC ₂	34,0 %		49,0 %
AC ₃	12,7 %		10,7 %
AFC ₄	9,9 %		7,6 %
3 días F. T.	37	33	33
C.	180	179	152
7 días F. T.	49	45	50
C.	263	250	238
28 días F. T.	64	64	74
C.	364	350	400

En realidad, el verdadero problema radica en impedir la elevación de la temperatura del hormigón. Según estudios realizados en cuanto al particular, su temperatura no debe rebasar de los 40° C, para evitar con ello la retracción que puede venir en su posterior enfriamiento. Este inconveniente puede soslayarse, bien instalando un equipo de refrigeración, o bien utilizando un cemento de bajo calor de hidratación.

Por su interés, merece la pena extendernos en algunas consideraciones de orden industrial. Normalmente, en las fábricas que se vean en la necesidad de suministrar cemento para las presas, automáticamente se originan desequilibrios en la marcha de la misma; tanto de orden técnico como comercial. Y ello todavía se acentúa más cuando el cemento a suministrar difiere de aquel que es objeto de la fabricación normal. Bien por el empleo de correctores o preparación de crudos especiales, o por marcha de los molinos, como por la de los hornos aplicados a la fabricación del cemento especial, o por tener que habilitar silos o espacios en silos-hangares, incremento de controles y un etcétera muy extenso. Si además de esto, la fábrica, por exigencias del mercado, se viera obligada a fabricar cementos de dos o más tipos, el problema en el orden práctico se complicaría más.

No obstante, y tratando de ofrecer una solución viable a este problema, supongamos que el fabricante, en un alarde de sus posibilidades, consigue, por ejemplo, un cemento con 0 por 100 de AC₃, 53 por 100 en SC₂, 29 por 100 en SC₃ y 13 por 100 en AFC₄ y un calor de hidratación de 60 cal/g a los 28 días. En definitiva, un cemento ideal para este tipo de hormigones. Con esto el problema del calor de hidratación prácticamente estaba solucionado, pero en contrapartida tendríamos que su fraguado sería un tanto lento y por ello nada recomendable para las épocas de frío, en las que también se hormigona, además de que no deben estar en olvido sus resistencias mecánicas, que también representarían más de un inconveniente.

Mediante un simple cálculo, si se quiere un tanto teórico, se llega a la conclusión de que para obtener hormigones de iguales resistencias con cementos de 60 y 80 cal/g el primero debería llevar una adición, como mínimo, superior a los 50 kg/m³, y supuesto de que se tratara de hormigones con dosificaciones de 250 y 200 kg/m³ de cemento, esta diferencia de dosificaciones representaría que la diferencia de temperaturas sería como máximo en un 10 por 100. De aquí nuestra pregunta: ¿Verdaderamente merece extremar tanto el problema para luego obtener solamente unas diferencias mínimas?

Para no poner sólo obstáculos a las posibilidades de fabricar cementos para presas, opinamos que a la hora de establecer las especificaciones, éstas deben ser un tanto genéricas y acordes con las posibilidades de la industria nacional y que las mismas se refieran a los componentes que afectan al hormigón: resistencias finales y calores de hidratación, así como de que se tengan bien presentes las ventajas que ofrece la refrigeración, que no todo hay que pedirlo al cemento. De lo contrario, mucho nos tememos que se diera el caso que fueran contadísimas las fábricas que estuvieran, por ejemplo, en condiciones de fabricar un cemento con 0,5 por 100 de cal libre, 8 por 100 de AC₃, 35 por 100 de SC₃, etc., y que por su distancia a las zonas de consumo, como por falta de material de producción, no pudieran satisfacer toda la demanda, dejando de ser rentable el consumo económicamente hablando, de ese cemento para el fabricante y también para el constructor. Es peligroso teorizar excesivamente.

3.º Hormigones resistentes a los agentes agresivos

No creemos sorprender a nadie al tratar de considerar a los cementos portland como cementos resistentes a los agentes agresivos. Bien es verdad que en España el empleo del cemento portland, en esos medios agresivos, es relativamente reciente, ya que normalmente se ha venido recurriendo a los cementos siderúrgicos, puzolánicos, aluminosos y mezclas de portland con Zumaya. Esta tendencia, a nuestro entender, además de otros factores, creemos que ha sido debido a que estas mezclas resultaban más factibles que las correcciones que se debían realizar en fábrica, en los crudos, por las características en general de nuestras primeras materias: alto contenido en alúmina.

El tratar de conseguir un portland resistente a los agentes agresivos, al igual que comentábamos al hablar de los cementos de bajo calor de hidratación, originaría en la fabricación algunos inconvenientes, y al considerar que los mismos han sido expuestos, nos alejamos de redundar en el comentario.

No obstante, en este caso debemos hacer una salvedad, dado que se trata de un cemento de reciente especificación en España y que, por sus características, merece sea considerado como un cemento idóneo para estos medios agresivos y por ello digno de que se le asigne un lugar, si no prominente, sí equiparable o semejante a los cementos puzolánicos y siderúrgicos.

Bajo el punto de vista del fabricante, su preparación ofrece todas aquellas ventajas que se derivan de disponer de todos los medios para poder garantizar el producto. Nos referimos al PAS y a su diferencia con los cementos fabricados de adiciones a base de subproductos de otras industrias, y que como tales no ofrecen todas las garantías que son de desear, ya que las características de estos cementos, sin llegar a descartar totalmente la influencia de la calidad del clínker, ésta queda muchas veces relegada a un segundo término.

Quizás, y refiriéndonos al caso concreto de reducir el AC_3 mediante la adición de cenizas de piritas tostadas, el cemento, además de su alto contenido en AFC_4 , tendría también un porcentaje elevado en SC_3 , por exigencias de fabricación. Esta circunstancia es probable que no sea del agrado de muchos, por la cal que pudiera liberar en su hidratación. Factor muy importante para más de un investigador, que llega incluso a limitar a 50 por 100 el SC_3 . En pura lógica llevan su razón. Pero en este caso la experiencia, ejecución y puesta del hormigón desempeña una función importantísima, ya que, como es conocido por todos, el éxito del comportamiento del hormigón, aparte de la bondad del cemento empleado, depende de sus resistencias e impermeabilidad.

Tanta importancia tienen los factores mecánicos, que en la actualidad se está llevando a efecto la construcción de muelles de muchos puertos con hormigones, cajones prefabricados preparados con cementos portland con 12 por 100 y más de AC_3 y contenidos en SC_3 superiores al 50 por 100, con unos resultados satisfactorios y sorprendentes, y ello en contraposición a las teorías sustentadas por distinguidos especialistas, que la práctica demuestra son, en ocasiones, demasiado cerradas.

A nuestro entender, el inconveniente de la cal liberada, si el cemento como tal contiene SC_3 en proporciones altas, le confiere tales resistencias iniciales al hormigón que a nada que se esmere en su elaboración: correcta dosificación de áridos, cantidad de cemento, relación agua/cemento, impermeabilidad, etc., esta circunstancia no debe ser considerada como gran inconveniente, sino todo lo contrario, ya que uno de los principales inconvenientes que suelen originarse en estos tipos de construcciones es precisamente a su endurecimiento lento.

Con esta breve exposición queremos hacer resaltar el campo tan amplio que tienen los cementos portland. Tanto es así, que a nada que se lograra una combinación apropiada de los porcentajes de los distintos componentes, y la misma no ocasionara ningún inconveniente de orden técnico ni económico de fabricación, se obtendría un clínker de tales condiciones que permitiría la obtención de un cemento de resistencias iniciales nada despreciables, con moderado calor de hidratación y resistente a los sulfatos. En definitiva, y perdonen por la definición, se podría decir que se había conseguido el clínker «universal».