

Apostillas al trabajo de P. Dutron* titulado

"La respuesta de la industria cementera a los problemas económicos y técnicos actuales" (1)**

Prof. Dr. JOSÉ CALLEJA***
IETCC - Madrid - España

1. JUSTIFICACION

El trabajo apostillado contiene toda una serie de datos y consideraciones de la máxima importancia y actualidad, los cuales se juzgan del mayor interés para la industria cementera mundial, y en particular para la industria cementera europea.

Gran parte de dichas consideraciones afectan ya o van a afectar muy probablemente a España en un futuro más o menos próximo. Por otra parte, algunos de los datos consignados en el trabajo pueden y deben ser completados con otros relativos a nuestro país, que no en balde ocupa un lugar muy destacado en la producción de cemento de la Europa Occidental —y también del mundo—, así como en el comercio de exportación de dicho material, en el pasado y en el presente, debiéndose hacer lo preciso para que siga ocupándolo en el porvenir.

Todo ello ha sugerido al autor de esta comunicación la idea de contribuir a ampliar los mencionados datos con otros relativos a España, si que también a desarrollar algunas consideraciones propias, de carácter más o menos general o específico según los casos. Para ello nada mejor que utilizar el excelente marco ofrecido por el trabajo de P. DUTRON [1] —con la debida autorización—, y llevar a cabo el intento en forma de "apostillas", si bien en este caso no como acotaciones marginales —o de pie de página—, tal y como suele ser usual, sino reuniéndolas todas, ordenadamente, en la presente comunicación.

* Director del CEMBUREAU: Asociación Europea del Cemento. 2, rue Saint-Charles, 75740 PARIS CEDEX 15, Francia.

Presidente del Comité Técnico 51 (CT-51: CEMENTO) del CEN: Comité Europeo de Normalización, con sede en Bruselas.

** Conferencia Plenaria pronunciada en el COLOQUIO INTERNACIONAL SOBRE "ESCORIAS Y CEMENTOS CON ADICIONES", celebrado en Mons (Bélgica) del 7 al 11 de Septiembre de 1981. Véase traducción y publicación íntegra de la misma, con la autorización del autor, por el Prof. Dr. José CALLEJA, autor de estas "Apostillas", precediéndolas en este mismo número.

Las llamadas entre corchetes, como la precedente, remiten a las referencias dadas al final del trabajo.

*** Doctor en Ciencias Químicas. Profesor de Investigación de CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en el IETCC: Instituto "Eduardo Torroja" de la Construcción y del Cemento, Madrid, España.

Con este fin, y aprovechando la traducción al español del trabajo en francés de P. DUTRON, hecha por el autor, éste ha insertado llamadas numéricas en el texto español de dicho trabajo, a las cuales responden las correlativas marginales en lo que sigue.

(1)

Del centenar largo de elementos químicos que constituyen el mundo conocido, contenidos en el Sistema Periódico, sólo ocho integran prácticamente el 98 por ciento de dicho mundo, cinco forman el 90,5 por ciento del mismo, dos participan en el 74 por ciento, y únicamente uno forma por sí solo casi el 50 por ciento.

Estos elementos, por orden de abundancia, son: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio, los cuales constituyen la casi totalidad de la litosfera, es decir, de la parte de la corteza terrestre accesible al hombre. De ella se extraen todas las materias primas que utilizan las industrias del cemento y de los materiales de construcción, o las que en otros procesos industriales dan lugar a subproductos igualmente empleados en dichas industrias.

Los citados elementos, a partir del segundo, forman con el primero compuestos oxídicos, como la sílice (cuarzo), la alúmina (corindón), y los óxidos de hierro (oligisto, magnetita), de calcio (cal), de magnesio (magnesita) y de sodio y potasio (alcalinos), todos ellos compuestos binarios. Con el oxígeno y el hidrógeno o el carbono forman compuestos ternarios, como los oxo-hidróxidos de hierro (hematites parda, limonita), los carbonatos (cálcicos —calcita, aragonito, vaterita—, magnésico —magnesita—, o mixtos cálcico-magnésicos —dolomita—), dando lugar a las calizas, las margas y las dolomías. Compuestos más complejos silíceos o sílico-aluminosos forman las arcillas, los feldespatos, etc., en los cuales se incluyen álcalis.

Todos ellos, en una u otra forma y proporción, tienen que ver con las materias primas para la fabricación del clinker y de los cementos.

(2)

Informes sobre la capacidad de producción y la producción real españolas de clinker y de cemento entre 1940 y 1978, con datos históricos que se remontan al primer tercio del siglo pasado, se pueden encontrar en la referencia [2].

(3)

En la publicación citada en la referencia [2] de (2) se dan cifras relativas al desarrollo del consumo de cemento en España, global y per cápita, entre 1961 (6,182 millones de toneladas y 265 kilogramos por persona) y 1976 (21,300 millones de toneladas y 596 kilogramos por persona —más de 3,5 y 2,5 veces mayores, respectivamente—), así como datos sobre comercio exterior —exportación/importación— y precios.

(4)

Coloquios, Seminarios y Reuniones de diverso tipo sobre problemas análogos, relativos a la utilización y al consumo de escorias, cenizas volantes y adiciones en general para el clinker, se vienen celebrando con cierta frecuencia en diversos países, tales como Estados Unidos, Canadá, Japón, Alemania, etc., particularmente en los últimos tiempos. También existen datos estadísticos sobre el tema recopilados por el CEMBUREAU de sus países miembros a través de su Comité Técnico, y difundidos entre los mismos por medio de las comunicaciones de dicho Comité. Finalmente, los Congresos Internacionales sobre Química del Cemento se han ocupado y se seguirán ocupando también de estos asuntos [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12].

(5)

En este sentido la Unión Soviética constituye todavía una excepción, ya que predomina aún la vía húmeda, debido a la gran disponibilidad de gas natural y de energía eléctrica, y a la falta de competitividad en su mercado, puesto que el Estado es prácticamente el único fabricante y el único consumidor de cemento. Datos sobre características de la industria soviética del cemento se pueden encontrar en la referencia [13].

(6)

Camino mucho más largo aún es el que habría de recorrer la Unión Soviética, en virtud de lo expuesto en (5). En este sentido hay que tener presente que el parámetro de la relación entre producciones por vía seca y por vía húmeda, como otros parámetros —por ejemplo, el de la productividad (toneladas/hombre)—, no tienen la misma significación ni valor en los EE.UU. que en la URSS o en el Japón, como es fácilmente comprensible [13] [14].

(7)

Sin embargo, obsérvese el patente hecho sintomático, puesto de relieve por el gráfico de la figura 5 de [1], de que todas las curvas que indican la evolución con los años del consumo específico de energía en la clinkerización de distintas zonas y países, pero muy especialmente la curva correspondiente al Japón, muestran una tendencia muy marcada hacia un valor asintótico que, si no se ha alcanzado ya, debe estar muy a punto de alcanzarse con los métodos de producción tradicionales, si bien más o menos sofisticados.

(8)

El retorno del fuel-oil al carbón puede ser una solución más o menos transitoria, según los países de que se trate. Afectará más favorablemente y por más tiempo a aquellos países ricos en recursos carboníferos de buena calidad. Tal no es precisamente el caso de España, que a la escasez de carbones une la baja calidad de los mismos, viéndose tradicionalmente obligada a importar carbones de distintas procedencias y para diversos usos. Así sucede ahora por lo que a carbón para la industria del cemento se refiere, siendo los principales países de los que se importa, entre otros, Africa del Sur y Polonia.

Por otra parte, antaño se quemaba en los hornos de cemento el peor carbón nacional, con contenidos de ceniza superiores a veces al 50 por ciento, y con contenidos muy variables e inadecuados de volátiles. A la baja calidad había que sumar la gran variabilidad de la misma en los años 40 y 50.

El precio del carbón tenderá también al alza en función del aumento de su demanda, y seguirá en cierto modo las fluctuaciones del precio del petróleo.

Sin embargo, es aconsejable la sustitución del fuel-oil por el carbón, por varias razones. Una, porque España es aún mucho más deficitaria y dependiente del fuel-oil que del carbón; otra, porque el primero hay que pagarlo al exterior en petrodólares y para la adquisición del segundo se puede jugar con otras divisas; otra, porque el petróleo y sus derivados, en época de carestía o escasez de ellos, tienen un aprovechamiento mejor y más rentable en otras ramas de la industria química —como, por ejemplo, la de los plásticos—, que como combustibles para la industria del cemento o la termoeléctrica; etc.

(9)

Las técnicas de fabricación no tradicionales, tendentes a forzar el ahorro de energía situando el consumo de ésta por debajo del valor asintótico señalado en (7), afectan más —por lo menos algunos de ellos— a la naturaleza del clinker (mucho más belítico que

alítico, o distintamente alítico —“alinitico”— y mucho más activo), mientras que otros inciden en el propio proceso, bien recurriendo a la fusión en horno eléctrico, como se indica en [1], la cual se aplica ya desde antiguo en una de las modalidades de producción de cemento aluminoso (“fundido” o “electrofundido”), o bien echando mano de otros arbitrios como puede ser el recurso a medios de clinkerización distintos, entre ellos las sales fundidas —cloruro cálcico [15]—. A veces incluso se combinan algunos de estos arbitrios y recursos, tal y como sucede en la tecnología “salina” de fabricación de cemento “alinitico” a baja temperatura. De esta tecnología se ha descrito más lo referente al clínker resultante que lo relativo al proceso en sí [16], en el 7.º Congreso Internacional de la Química de los Cementos [9]. Tal vez en otra ocasión y lugar se dé cuenta de algunos detalles y particularidades de estos cementos y de estos procesos, los cuales, por ser objeto de patentes, es lógico que constituyan materia bastante reservada.

(10)

En el proceso siderúrgico, como en el proceso termoeléctrico, las escorias y las cenizas acumulan una cantidad de calor que, evidentemente, se pierde en su totalidad cuando se enfrían espontáneamente al aire en escombreras o pilas de desecho y no se utilizan después. Sin embargo, empleadas como sustitutivo del clínker producen ahorro por dos conceptos: primero, porque el mero hecho de su utilización supone una recuperación de *masa* —la suya propia—, y una economía de *masa* —la de las materias primas que serían necesarias para producir el clínker al que sustituyen; y segundo, porque esta economía de masa implica el correspondiente ahorro de *energía*, al no tener que ser extraídas, transportadas ni tratadas en molinos de crudo y hornos las materias primas correspondientes.

(11)

La eliminación siquiera parcial de escombreras y pilas de desecho de escorias, y la captación de cenizas volantes, mantienen la ecología y preservan al medio ambiente de alteraciones indeseables del paisaje, y de contaminaciones. En el caso de no ser utilizadas las escorias habría que eliminarlas por otros procedimientos, pues su almacenamiento y consiguiente acumulación localizada en la naturaleza tiene un límite prontamente alcanzable. Estos procedimientos de eliminación —por ejemplo, el transporte hasta mar abierta de las escorias de las siderúrgicas costeras para su vertido en la mar (caso más fácil), exigen gastos de energía adicionales, sin ninguna compensación. De aquí que la protección de la ecología y del medio ambiente sea en este caso, además, rentable en una cierta medida. Y de aquí, también, que se justifique —por lo que tiene parcialmente de compensado—, el costo de la granulación por templado de las escorias siderúrgicas, conveniente y necesaria para la mejor calidad hidráulica y la mayor actividad de las mismas al inducir así en ellas la formación de fase vítrea, potencialmente más activa que las correspondientes fases cristalinas.

(12)

Sería incomprensible, por ejemplo, que los italianos actuales no explotaran sus excelentes yacimientos de puzolanas naturales álcali-traquíticas de Nápoles, Segni, Baccoli, etc., cuando sus antepasados los Romanos las utilizaron con un éxito que ha pasado a la historia.

En la misma línea sería injustificable que los españoles no aprovechásemos nuestras puzolanas naturales insulares canarias, muy semejantes a las traquitas alcalinas italianas, o las pumitas peninsulares centrales y nororientales.

(13)

Téngase en cuenta que las escorias poseen por sí mismas propiedades hidráulicas latentes,

las cuales se ponen más rápidamente de manifiesto en presencia de “activadores” de naturaleza alcalina y/o sulfatada —recuérdense las propiedades de los cementos sulfosiderúrgicos o siderúrgicos sobresulfatados, o simplemente supersulfatados, a base de escoria, yeso y clínker portland (por este mismo orden de mayor a menor proporción en la mezcla)—.

Téngase asimismo presente que las puzolanas empezaron a emplearse con cal en la antigüedad, y que al ser utilizadas hoy con clínker, suman a la acción hidráulica actual y real de éste, la suya potencial, al reaccionar con la cal de hidrólisis del mismo.

Y, por otra parte, piénsese en las características favorables de todo tipo que, por constitución y comportamiento, pueden presentar los *cementos ternarios* a base de clínker, escoria y puzolana, de calidades idóneas, en las proporciones óptimas y molidos a la finura más adecuada para cada finalidad específica.

(14)

Los cementos compuestos, binarios o ternarios, no solamente no son —no tienen por qué ser— productos de “segunda clase”, sino que, *utilizados adecuadamente*, es decir, cuando, donde y como haga falta, lo son de primerísima, y sustitutivos con muchas ventajas del cemento portland ordinario, y sin los inconvenientes que éste puede presentar en muchos casos. Y sobre todo para *hormigones durables*, habida cuenta de que la durabilidad no depende sólo, ni muchas veces principalmente, de la resistencia mecánica. Muy al contrario, es la resistencia mecánica la que a menudo suele fallar, y con ella la estabilidad y la seguridad de las estructuras de hormigón, por falta de durabilidad de éste, si por tal falta se entiende la de su *resistencia química* o *físico-química* frente al medio ambiente, en las condiciones de servicio. Por ejemplo, el cemento portland ordinario es mucho más vulnerable frente a las aguas puras y carbónicas agresivas, o selenitosas, o de mar, que los cementos puzolánicos y/o siderúrgicos.

(15)

Es evidente que el nacimiento de estos cementos —no se hable ya de los “cementos romanos” de puzolana y cal, principalmente—, no obedeció, en principio, a razones económicas en el sentido actual de la expresión, sino técnicas —véase (14)—, si bien en los tiempos presentes las primeras han venido a sumarse a las segundas. Esto quiere decir que hay dos buenas razones imperativas; *calidad* —comportamiento, servicio, prestaciones, desempeños—, y *costo de producción* —ahorro de energía en el proceso de fabricación—, para aceptar, cuando menos en plano de igualdad, a los cementos con escorias o con puzolanas naturales y cenizas volantes, frente a los cementos portland ordinarios.

(16)

Es, cuando menos dudoso, poder hablar de materias *absolutamente inertes* desde el punto de vista químico, sobre todo cuando se trata de mezclas molidas a un alto grado de finura, en las que se crea una gran superficie específica activa en todos sus componentes y con ella la posibilidad de un contacto muy extenso y estrecho entre éstos. Ello contribuye a propiciar *interacciones epitáxicas*, de las que no es fácil excluir en algunos casos las auténticas reacciones químicas. Por ejemplo, ya están descritas en la bibliografía científico-técnica relativa al cemento interacciones y reacciones de este tipo entre carbonatos y aluminatos de calcio para dar lugar a carboaluminatos más complejos.

(17)

Los fillers en general, no sólo pueden mejorar la trabajabilidad de los hormigones frescos, tal como lo hacen ciertos aditivos para hormigón, de naturaleza sólida pulverulenta y

acción plastificante, ya comercializados desde hace mucho tiempo, sino que también pueden contribuir a mejorar, corrigiéndola, la granulometría de los hormigones en la parte de la curva granulométrica de éstos correspondiente a las fracciones más finas, cuando éstas escasean en los áridos naturales, lo cual no suele ser infrecuente.

(18)

Lo de “calmar” a los clínkeres muy activos “cargándolos” con fillers, hay que entenderlo así: cuando se quiere fabricar cementos de moderada resistencia, porque como tales figuran en las normas y son preferibles a otros para determinados usos y por sus especiales características, propiedades y comportamiento —reología, plasticidad, demanda y retención de agua, exudación y rezumado, calor de hidratación, retracción, fisuración, porosidad, permeabilidad, durabilidad, etc.—, la mayoría de las veces no es posible hacerlo sólo a base de clínker y yeso porque, dada la gran “actividad” del primero, aun con grados de finura inferiores a los mínimos normales en el cemento resultante, éste sería de categoría resistente muy superior a la del necesitado y deseado, con los inconvenientes correspondientes, relativos a las características, propiedades y comportamiento en los aspectos mencionados.

Entonces es preciso “atemperar” el clínker, siendo la adición de fillers un modo de hacerlo, cuando otros medios no son posibles o no interesan. No se olvide a este respecto que, de un tiempo a esta parte, se está imponiendo en algunas normas nacionales para cemento —primero en las alemanas y después en las francesas, con tendencia a extenderse a otras—, el criterio de fijar *límites superiores* a las resistencias de determinadas categorías de cemento. Pues bien, este es un medio de atenuar *en el papel* la excesiva actividad del clínker, que sin duda requiere adoptar las oportunas medidas para conseguirlo *en la práctica*. Ni que decir tiene que limitar la resistencia máxima de un cemento a 28 días implica también una limitación de las resistencias que este mismo cemento alcanzaría a edades más cortas, de no existir la primera limitación.

Un caso relacionado con lo que precede lo viene ofreciendo a lo largo del tiempo la evolución de las normas españolas para cemento: las de 1961 [17] incluían una categoría ínfima de cemento portland ordinario, con una resistencia mínima a compresión de 150 kg/cm² a 28 días en mortero ISO-RILEM-CEMBUREAU; las de 1964 [18] trasladaban dicha categoría ínfima a la inferior de 250 kg/cm², segunda en las normas de 1961; y las de 1975 [19] elevaban esta última a 350 kp/cm². Consecutivamente, las categorías máximas pasaron de ser, en las mencionadas normas, de 350 a 450 y a 550 kg (kp)/cm², respectivamente. Las restantes resistencias a compresión a otras edades, y las resistencias a flexotracción a todas ellas, experimentaron los cambios que correspondientemente cabe esperar.

Todo esto quiere decir que, a lo largo del tiempo, la fabricación fue consiguiendo producir clínker cada vez más “activo”, el cual, a su vez, permitió, por una parte, facilitar el logro de categorías resistentes cada vez más elevadas y, por otra parte, dificultar la fabricación de las categorías resistentes inferiores en cada caso —aunque siempre útiles y necesarias, y a veces insustituibles—, a base de clínker y yeso exclusivamente.

Por tal motivo —posiblemente entre otros—, las normas de 1961 y 1964 incluían la denominación comercial de cementos portland para aquellos cementos “que además de los componentes principales, clínker y piedra de yeso, contengan otras adiciones *no nocivas* en proporción inferior al diez por ciento (10 %), con objeto de mejorar algunas de las cualidades de los conglomerantes o de los morteros y hormigones con ellos fabricados, siempre que los cementos resultantes cumplan todas las condiciones químicas, físicas y mecánicas que se especifican para el Portland en el presente Pliego”.

No se puede dudar —¿quien dudaría de ello?— de que la inmensa mayoría (por no decir

la totalidad) de los *cementos portland* españoles en sus diferentes categorías, entre los años 1961 y 1976 —las normas de 1975 no entraron en vigor hasta esta última fecha—, es decir, durante 15 años, fueron cementos portland *comerciales*, esto es, conteniendo *hasta* un 10 por ciento de “adiciones no nocivas” —léase filler calizo—, sin que dieran lugar a la más ligera dificultad o queja *razonable, razonada y justificada* de su comportamiento, ni por parte del consumo interior nacional, ni por parte del exterior de exportación.

En tal sentido, el paso de la norma de 1964 a la norma de 1975 ha supuesto un retroceso, máxime a la luz de las justificadas tendencias actuales generalizadas.

(19)

Buena prueba de lo que precede es que en el proyecto de la Norma Europea (¿próxima?) futura del CEN se prevé la posibilidad de un contenido máximo de un 5 por ciento —cuadro 5 de [1]— de adiciones, incluidas en éstas los *fillers* (y, por supuesto, los de naturaleza *caliza*), no sólo en los cementos portland —sin apellido o con él: portland compuesto—, sino también en cementos de tipo distinto del portland, como es el de horno alto —sin la denominación de portland—.

Esta misma línea de actuación está siendo objeto de estudio y debate en el seno de la Comisión Técnica 80: CEMENTOS Y CALES del IRANOR: Instituto de Racionalización y Normalización (CT-80/IRANOR) y concretamente en el Grupo de Trabajo 3: CLASIFICACION, NOMENCLATURA, DEFINICIONES Y ESPECIFICACIONES DE LOS CEMENTOS, de la misma. El objeto es el de poder llegar a estar *en armonía* con los países de la CEE —y con todos aquéllos a los que en el futuro llegue a afectar la normalización del CEN (Comité Europeo de Normalización)—, en materia de definiciones, nomenclatura, clasificación y especificaciones relativas a los cementos.

Por otra parte, es natural que, antes de fijar un límite máximo de adiciones de uno u otro tipo para los cementos portland compuestos según el proyecto de propuesta de futura Norma CEN, en su día, se lleven a cabo entre tanto estudios experimentales en ese terreno, por parte de los países de la Comunidad Económica Europea. Tales son los que están en vías de realización, encabezados por la industria cementera de la República Federal de Alemania y secundados por las industrias de otros miembros de dicha Comunidad. Los resultados de estos trabajos son objeto de expectativa por parte del CEMBUREAU.

Por su lado, España no se queda atrás en esta línea de acción, prueba de lo cual ha sido el trabajo cooperativo hecho a gran escala por numerosas fábricas de cemento del país, en cinco zonas de producción del mismo, secundadas por sus respectivos laboratorios de control y bajo los auspicios del CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) del MIE (Ministerio de Industria y Energía), como consecuencia del “reto” de este último.

Los resultados —hasta el momento— de este trabajo han sido expuestos en el Coloquio Internacional sobre “Escorias y Cementos con Adiciones” celebrado recientemente en Bélgica [20], y publicados también en esta Revista [21].

Además de esto, la actual Comisión Permanente (interministerial) del Cemento, cuya misión ha sido y es, por ahora, la redacción y revisión del “Pliego” de Cementos, tiene el proyecto de llevar a cabo, a través de su Ponencia de Laboratorios, un estudio sobre el comportamiento a largo plazo de los cementos con adiciones en los hormigones, el cual podrá tal vez completar al anterior [20] [21], que fue llevado a cabo sobre morteros.

Sin embargo, por razones obvias cuyo desarrollo detallado no es de este lugar, aunque sí del caso, los trabajos efectuados con pastas puras de cemento, si bien pueden tener un

interés desde un punto de vista de laboratorio, se considera que difícilmente pueden tener una proyección inmediata de índole práctica; en cualquier caso sus resultados no son directamente —ni a veces indirectamente— extrapolables a lo que pueda suceder en la práctica del hormigón [22].

(20)

Esto es una confirmación real y actual de lo señalado en (14). Por lo que respecta a España, su situación futura dependerá de la experiencia del CEN, de su ingreso en la CEE, de los datos y orientaciones del CEMBUREAU y, por supuesto, de su propia experimentación nacional ya realizada, en curso de realización o en cuanto a proyectos que puedan surgir y desarrollarse.

(21)

Así debería de haber sucedido desde hace mucho tiempo. En buen número de obras, y sobre todo en las más destacadas e importantes, hay o puede haber partes de la estructura o elementos estructurales que por su función y/o entorno deban ser realizados con un determinado tipo de cemento —y aún de conglomerante, consideradas como tales también las cales—, no necesariamente portland, y no indispensablemente portland “puro”.* Por ejemplo, una viga pretensada, una cimentación —sin entrar en detalles aquí y ahora acerca del suelo y medio en que se haya de hacer ésta—, una pavimentación, unos tetrápodos o dolos de escollera, un mortero para junta de ladrillos en fábricas de este material, etc., requieren en buena práctica cementos —conglomerantes— diferentes, tanto por razones técnicas como económicas.

Pero sucede que es mucho más cómodo, entre otras cosas por razones de más fácil control —o de menor necesidad (supuesta, que no real) de control—, o de mayor alejamiento (imaginado) de la responsabilidad, la utilización de un sólo tipo, clase y hasta categoría de cemento en una obra, el cual suele ser un cemento portland ordinario “puro”* de categoría resistente intermedia, situado a ser posible en la “zona alta” de dicha categoría. Este es un punto en el que, por una parte, el aspecto económico, tan tenido en cuenta en otras facetas de la construcción, apenas si es tomado en consideración, y en ocasiones inadecuadamente interpretado; y, por otra parte, el aspecto técnico —estabilidad, durabilidad— suele ser prácticamente ignorado u olvidado.

(22)

Considerado el caso español en el aspecto de los intentos por parte de los sectores industriales para contribuir al máximo al ahorro de energía, con el fin de superar la crisis de ésta, no se puede dejar sin mencionar el meritorio y eficaz esfuerzo hecho por parte del CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGIA, de la Comisaría de la Energía y Recursos Minerales, perteneciente al Ministerio de Industria y Energía. Este Centro ha llevado a cabo un amplio estudio técnico realista de la “Situación Energética en la Industria”, extensivo a diez sectores industriales, entre ellos el del CEMENTO [23], con una Síntesis de conjunto, la cual “resume y complementa el panorama energético general de todos los sectores”.

* Sería clarificador el prescindir de la adjetivación de “puro”, referida al cemento portland constituido exclusivamente por clínker y yeso, a causa de los términos antitéticos “impuro”, “contaminado”, etc., los cuales no son en modo alguno aplicables a otros cementos portland o no portland incluidos en las normas, los cuales, junto al clínker y al yeso contienen adiciones de uno u otro tipo y en una u otra proporción. Hay que tener en cuenta que la denominación de “puro” responde a una forma de expresión muy breve que inadecuadamente se suele aplicar a algunos cementos portland para indicar lo ya dicho, pero que induce cuando menos a confusión al insinuar peyorativa e injustamente el supuesto carácter contrario de otros cementos, incluso de tipo portland, contenidos en las normas y sancionados como satisfactorios por la práctica de la gran mayoría de países, y dentro de ella los más avanzados científica y tecnológicamente en cuanto a conocimiento, fabricación y utilización racional de cementos se refiere.

Las consideraciones finales y las recomendaciones de este estudio en lo que concierne al cemento señalan el gran consumo energético ligado a la fabricación del mismo, y la importante repercusión que tanto en términos absolutos como relativos tiene el ahorro de energía en este sector. Ahorro que debe buscarse por los medios más a mano en cada caso. De tales medios se señala en primer lugar, de entre ocho proyectos de rango internacional, el del estudio e investigación de “propiedades y límites de utilización de los cementos que contienen componentes secundarios”.

Se indica y recomienda asimismo como muy conveniente “informar a los usuarios sobre el tipo de cemento a utilizar en cada caso particular”, a fin de emplear el de menor energía añadida, dentro de los que cumplan con las especificaciones requeridas.

Esto último, que viene a corroborar lo ya señalado en (21), conduce a una nueva consideración: la de que el usuario consciente y responsable debe de saber, ya que aparte de su propio conocimiento dispone de medios para ello —Normas, Pliegos, Instrucciones, Códigos de Buena Práctica, Códigos Modelo, etc.—, qué cemento debe utilizar en cada tipo de obra, estructura o elemento estructural para obtener el hormigón más durable en cada situación de servicio, que no siempre es el más caro en cemento, o el confeccionado con el cemento más caro.

Finalmente, el estudio sobre la coyuntura energética en la Industria del Cemento sugiere orientar a la Administración sobre “posibles innovaciones a introducir en la legislación, que permitan reducir las importaciones de combustible”. Referido esto al sector CEMENTO, como es aquí el caso, cabe interpretar que se trataría de estudiar las modificaciones necesarias de las Normas para Cemento, en el sentido de dar cabida en ellas, cuando sea preciso, a los cementos que, de acuerdo con el primer proyecto a escala internacional, y con el proyecto de normalización europea de cemento CEN, contuviesen constituyentes secundarios.

También cabría interpretar que se trataría, además, de recomendar el empleo de estos cementos compuestos, siempre que fuera aconsejable y aún posible, en hormigones estructurales, tal y como ya sucede en algunos países europeos de entre los más avanzados tecnológicamente.

(23)

Es muy natural y razonable que, puestos a utilizar al máximo las escorias siderúrgicas y las cenizas volantes, se exija a estos materiales —y eventualmente a otros, como por ejemplo las escorias del acero y las de otras metalurgias no férreas, como pudieran ser las del cinc, níquel, etc.—, condiciones de calidad, homogeneidad y regularidad que garanticen a su vez un mínimo de seguridad para las mismas condiciones de los cementos en cuya composición tomen parte —véase (29)—.

En este sentido, y en evitación de que se puedan repetir ciertas dificultades del pasado en España, o de que puedan aparecer otras nuevas, cabe decir con frase refranera que “no todo el campo es orégano”, es decir, que no todas las rocas volcánicas, por el simple hecho de serlo, son puzolanas, ni todas las cenizas son volantes e igualmente útiles, ni todas las escorias son válidas, mientras no se demuestre satisfactoriamente, mediante los resultados de los ensayos que se estime oportuno aplicar o establecer al respecto.

En esta faceta es evidente que las industrias siderúrgica y termoeléctrica pueden hacer algo para cooperar con la industria cementera. La industria siderúrgica, por ejemplo, podría influir en cierta medida en la composición de las escorias para hacer que cumplan con determinados índices químicos; pero, sobre todo, podrá actuar en la granulación de

éstas para que sea máximo su contenido de fase vítrea. En cuanto a la industria termoelectrónica, podrá captar y recoger por separado las cenizas correspondientes a distintas partidas o calidades de combustibles, con objeto de utilizarlas individualmente, o de efectuar mezclas adecuadas, si así conviniese, pues sabido es que no son iguales las cenizas de lignitos que las de semihullas y antracitas, por ejemplo; y que no todas tienen, tanto en origen como una vez molidas con el clínker, la misma cantidad de “cenosferas” véase (27), lo cual puede influir, entre otras cosas, en el distinto comportamiento reológico de las pastas, morteros y hormigones.

(24)

Es supérfluo argüir más razones o matizar las expuestas por P. DUTRON en su trabajo [1], para justificar la improcedencia de utilizar las adiciones *para cemento* fuera de las *fábricas clásicas y tradicionales del material*, como sería en las centrales hormigoneras, y no se diga en las obras. Pero es importante hacer hincapié en este punto, por lo que respecta a España, en varios aspectos, los cuales se glosan a continuación.

(25)

En primer lugar, y desde el punto de vista del control, la adición de las cenizas volantes —no se hable ya de las escorias o de las puzolanas, que tal no cabe— en la hormigonera de una obra, ¿a cargo de qué tipo de personal estaría? La respuesta sincera a esta pregunta zanja de forma definitiva la cuestión.

No ya con las adiciones, sino con los *aditivos* para hormigón, ha habido problemas que forman ya parte del anecdotario trágico de la construcción, y que no es del caso traer aquí a cuento, aunque, evidentemente, bien podría hacerse.

(26)

En segundo lugar, hay quienes creen que “fabricar” un cemento compuesto consiste simplemente en *mezclar* sus materiales componentes; que “fábrica” de cemento es cualquier sitio en que se proceda a efectuar la mezcla —por ejemplo, una obra—; y que “fabricante” es todo aquel que la realiza. A todo esto hay que decir lo siguiente:

Un cemento compuesto no es jamás una mezcla de un “cemento simple” con otros materiales de adición. Es el resultado de una *molturación conjunta* de clínker y otro u otros materiales, o una mezcla de cemento con dichos materiales *previamente tratados*, es decir, *molidos* a su vez (*molienda por separado*). Un cemento siderúrgico no se puede hacer en centrales hormigoneras ni en obras, porque en ellas no hay molinos adecuados —ni no adecuados— para tratar conjuntamente el clínker y la escoria, o cuando menos esta última, ni dosificadores, ni mezcladores-homogeneizadores, ni técnicos expertos y responsables de estas operaciones y de su control.

Se podrá decir que la ceniza volante no necesita molturación porque ya es de por sí suficientemente fina, y que basta con mezclarla con el cemento, y que eso al menos bien se puede hacer en las centrales hormigoneras. Pues no, y véase por qué (véase 27).

(27)

Las cenizas volantes no todas tienen la misma granulometría, ni mezcladas con cementos dan siempre conglomerantes de granulometrías próximas y adecuadas; ni todas tienen el mismo contenido de “cenosferas” (23). Esto puede influir directamente en la reología de las pastas de cemento; en la exigencia de agua de los morteros y hormigones para una plasticidad o asentamiento dados; en la retención de dicho agua; en la exudación, rezumado y segregación de las masas; en la retracción plástica; en la inclusión de aire,

espontánea o provocada, etc. Indirectamente puede influir en muchas más características del hormigón, entre ellas la trabajabilidad, la mayor o menor aptitud para la compactación con unos u otros medios determinados, la porosidad, la permeabilidad y la succión capilar (durabilidad), las resistencias mecánicas, etc.

Mientras que la molturación conjunta o por separado, la mezcla y la homogeneización de clínker y cenizas *en fábricas* dan lugar a cementos cuyas curvas granulométricas son controladas y, por lo tanto, mucho más normales y uniformes. Y, a consecuencia de ello, el comportamiento reológico de los cementos y todos los demás comportamientos citados, derivados de él, son mucho más normales y homogéneos.

(28)

Si bien es cierto que el mayor conocimiento de los cementos compuestos debe ir en paralelo con el desarrollo de sus empleos, la recíproca es aún más cierta, y más lógica desde el punto de vista de una relación de causa a efecto: del mayor y mejor conocimiento de las prestaciones y del comportamiento de los cementos compuestos se debe derivar un más amplio campo de utilización racional de los mismos. A esto se refiere parte de lo señalado en (21) y (22).

Pero es que, además, debe de existir una decidida buena voluntad de emplearlos; a este respecto cabe recordar otra parte de lo señalado asimismo en (22). Y no menos importante es tener en cuenta la necesidad, por un lado, del conocimiento al día, por parte del usuario, de las posibilidades —indicaciones y contraindicaciones— del uso de los cementos compuestos; y, por otro lado, de la conveniencia de recomendaciones por parte de la Administración para el empleo de los mismos, siempre que no sea absolutamente indispensable utilizar cementos portland ordinarios, todo ello según lo expuesto en (22).

(29)

Siempre que aparece la posibilidad de utilizar nuevos materiales o subproductos como adiciones para la fabricación de cementos con constituyentes secundarios se producen sucesivamente, diríase que de modo “instintivo”, dos movimientos: primero, uno de rechazo, previniendo sobre la improcedencia de emplear los nuevos materiales; después, otro de “puerta abierta” a la *posibilidad* de su empleo, siempre que una amplia investigación y experimentación la determinen, y una vez se establecen las condiciones que para ello deben de cumplir los materiales o subproductos nuevos.

Tal es lo que está sucediendo, no sólo con las escorias de acero resultantes del proceso LD, sino también con las escorias de las metalurgias del cinc y del níquel, entre otras, cuya utilización como adición para los cementos compuestos está siendo objeto de estudio en algunos países (23).

(30)

Es evidente que estas investigaciones y estudios deben recaer sobre hormigones, aparte de las que se puedan realizar sobre pastas y morteros. Y al decir sobre hormigones se quiere significar que sobre *todas* aquellas características del material con importancia tecnológica en la construcción y en las obras públicas, y no solamente sobre la resistencia mecánica; sobre las propiedades del hormigón fresco: exigencia y retención de agua, reología, plasticidad, segregación, exudación, retracción plástica ... (todas ellas más o menos estrechamente relacionadas), y sobre las propiedades del hormigón fraguado y endurecido: resistencia mecánica (a cualquier edad), adherencia —pasta o mortero/árido grueso y pasta o mortero/armadura—, compacidad —porosidad, permeabilidad—, estabilidad —retracción, fisuración, expansión—, protección o corrosión de las armaduras, etc., es decir, sobre todo aquello que de una u otra forma y en una u otra medida condiciona la *durabilidad* del material.

2. CONCLUSION

La exposición sobre el tema de los cementos compuestos como respuesta de la industria cementera mundial a los problemas económicos y técnicos de nuestros días, y más aún de los venideros, hecha por una personalidad como la de P. DUTRON, tiene un gran valor en general, y un particularísimo valor en el caso español. Las razones de esto último son, por una parte, nuestra dependencia de las importaciones de combustible, cualquiera que éste sea: fuel-oil o carbón, dada la carencia del primero y la escasez y mala calidad del segundo. Y, por otra parte, la abundancia de recursos naturales —puzolanas canarias y peninsulares— y de subproductos industriales —escorias siderúrgicas y cenizas volantes de centrales termoeléctricas—, cuya utilización permanece aún prácticamente inédita, salvo excepciones [24] [25], las cuales ofrecen un ejemplo digno de imitación.

Existe un creciente movimiento a escala mundial hacia la fabricación y la utilización de los cementos compuestos, incluso por parte de países que tradicionalmente eran reacios a ello, e incluso por parte de otros cuyo desahogo energético y en materia de combustibles es bien notorio. Es evidente que si por todos los medios —incluida la fabricación y utilización de cementos compuestos— ahorra energía el que la tiene, con mucha mayor razón debería ahorrarla el que apenas si dispone de ella.

No es cuestión de gustos o de preferencias, aunque unos y otras estuviesen justificados *en condiciones normales*, sino de sacrificio y cooperación cuando éstas no lo son y tienden a serlo aún menos. Es cuestión, en cambio, de querer ver y admitir que el ahorro que se consiga no es particular, sino nacional, y que, como bien señala P. DUTRON en su trabajo [1] —véase (22)—, “si todos los sectores industriales pudiesen conseguir un logro semejante (al conseguido por el sector cementero), la crisis de la energía estaría en vías de ser dominada”. Que así sea.

REFERENCIAS

- [1] P. DUTRON: “La respuesta de la Industria Cementera a los problemas económicos y técnicos actuales”.
Trabajo que precede al presente en esta Revista y Número.
- [2] J. CALLEJA: “Cincuenta años de desarrollo y evolución del cemento en España”.
Cemento-Hormigón L (546) 439-489 (1979).
- [3] 1.º Congreso (o Simposio) sobre el Fraguado de los Cementos y de los Yesos. Londres, 1918.
- [4] 2.º Congreso (o Simposio) sobre Química del Cemento. Estocolmo, 1938.
- [5] 3.º Congreso (o Simposio) Internacional sobre Química del Cemento. Londres, 1952.
- [6] 4.º Congreso (o Simposio) Internacional sobre Química del Cemento. Washington, 1960.
- [7] 5.º Congreso (o Simposio) Internacional sobre Química del Cemento. Tokyo, 1968.
- [8] 6.º Congreso (o Simposio) Internacional sobre Química del Cemento. Moscú, 1974.
- [9] 7.º Congreso (o Simposio) Internacional sobre Química del Cemento. Paris, 1980.
- [10] J. CALLEJA: “Los Simposios Internacionales sobre Química del Cemento”.
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 135, 45-57 (1969).

- [11] J. CALLEJA: "El Tercer Congreso Internacional de Química del Cemento".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 37, 38-45 (1953).
- [12] J. CALLEJA: "El Quinto Simposio Internacional de Química del Cemento".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 133, 31-41 (1969).
- [13] J. CALLEJA: "Impresiones acerca de los centros de investigación y de la industria de la Unión Soviética en el campo del cemento".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 158, 53-67 (1975).
- [14] J. CALLEJA: "La industria del cemento en el Japón 1968".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 133, 43-54, (1969).
- [15] B. NUDELMAN: "Clinkerización en cloruro cálcico fundido".
VI Congreso Internacional de Química del Cemento [8], Tomo I, 217-221 (1976).
- [16] B. NUDELMAN y otros: "Structure et propriétés de l'alynite et du ciment d'alynite".
7.º Congreso Internacional de Química del Cemento [9], Vol. III, Sec V, 169-174 (1980).
- [17] PCCH-61: Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos en Obras de Carácter Oficial.
Manuales y Normas del IETCC, Madrid, 1961
- [18] PCCH-64: Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos en Obras de Carácter Oficial.
Manuales y Normas del IETCC, 3.ª ed., Madrid, 1972.
- [19] RC-75: Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos. Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas, Servicio de Publicaciones, Madrid, 1975.
- [20] Coloquio Internacional sobre "Escorias y Cementos con Adiciones". Mons (Bélgica), 7-11 Septiembre 1981.
- [21] M. AGUANELL, J. BARAGAÑO, F. GOMA, V. GONZALEZ VILA, R. LOPEZ SOLER, J. PEREZ ALONSO, J. PUIG y J. REZOLA (Grupo de Trabajo OFICEMEN): "Industrial research on energy saving in the manufacture of new Spanish blended cements".
Coloquio Internacional sobre "Escorias y Cementos con Adiciones". Mons (Bélgica), 7-11 Septiembre 1981. En prensa de la Revista *Silicates Industriels* 1981-1982.
- [22] J. SORIANO: "Influencia de la naturaleza mineralógica de las adiciones en el comportamiento de la pasta endurecida de cemento portland".
Revista de Obras Públicas, núm. 3.186, 861-867 (1980).
- [23] Centro de Estudios de la Energía (Comisaría de la Energía y Recursos Industriales) del Ministerio de Industria y Energía: "Situación Energética de la Industria-Sector CEMENTO. Madrid, 1979.
- [24] M. J. SANTOS: "Cementos que contienen 20 y 30 por ciento de cenizas volantes de Puentes de García Rodríguez y de Ponferrada".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 179, 9-37 (1980).
- [25] L. ULLOA: "Utilización de las cenizas volantes en la fabricación de cementos".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 172, 23-54, (1978).