

El binomio fabricante - usuario aporta próspera y refrendada experiencia en la problemática de la durabilidad

JULIAN REZOLA IZAGUIRRE, Ing. Químico Dipl. I.Q.S.

Remontándonos unos años atrás, parece ser que fueron los romanos los que de una forma más racional realizaron las primeras obras marítimas, ya que por vestigios existentes en Italia se ha comprobado la existencia de éstas en perfecto estado de conservación durante más de 2.000 años, dando prueba con ello de la resistencia de determinados *hormigones romanos* a la acción del agua de mar.

Según Vitruvio “En Baija, junto al Vesubio, existe un polvo que, mezclado con la cal y áridos, puede ser utilizado en las construcciones marítimas. Las construcciones, así, llegan a adquirir una duración tal bajo el agua que ni la fuerza de las olas, ni la presión del agua, pueden disgregar la mezcla”.

El polvo (puzolana) de Baija, molido groseramente, se mezclaba con la cal, a razón de dos partes de polvo por una de cal, con el árido conveniente. Con este material parece ser que se construyeron los puertos de Pozzuoli y posteriormente el de Bacoli, también en Italia.

Desde aquel entonces debieron de transcurrir varios siglos sin que en realidad se diera una explicación técnica, hasta que Vicat fue quien puso esto en claro diciendo: “La acción hidráulica se debe a las combinaciones entre la caliza y arcilla”, pero en realidad M. Henry Le Chatelier fue el que dio una teoría científica de los fenómenos del fraguado y endurecimiento, precisando la composición del clínker.

Como circunstancia anecdótica indicamos que allá en el año 1863 en la revista francesa “Technologie du Bâtiment”, I pág. 373, Monsieur Chateu escribía diciendo: “Cemento resistente al mar, de color pardo amarillento, en *San Sebastián*”. Se trataba de un cemento natural fabricado por nuestros antecesores.

M. Fèret indica cómo en el año 1892, cuando era como quien dice reciente la fabricación del cemento de *escorias*, en una construcción en Calais, fue donde se aplicó por primera vez este cemento, y es aquí donde tuvo la ocasión de comprobar precisamente una gran diferencia entre éste y el portland en favor del primero.

Tanto es así que, aprovechando en su posterior demolición, los trozos de hormigón se sumergieron en agua de mar en el Laboratorio de Boulogne para examinarlos periódicamente y en el año 1918 comprobaron que los bloques de hormigón hechos con cemento de escorias continuaban intactos, mientras que los bloques de portland ordinario habían comenzado a disgregarse.

En Alemania, asimismo, bajo la denominación de Schlakenzement y posteriormente sustituidos por los Hochofenzement en el año 1928 se aceptó oficialmente su empleo. En España en el año 1930 ya figuraban. En Italia el “Cementi d’alto forno” se definía por primera vez en el Boletín Oficial el 26 de septiembre de 1933, mientras que en Inglaterra lo hicieron en el año 1932.

Con arreglo a esto y pretendiendo establecer una clasificación cronológica de los cementos empleados en obras marítimas podemos decir que los primeros fueron los puzolánicos, posteriormente los naturales, seguidos de los de escoria y, por último, los cementos portland. Como es de suponer es de admitir que se habrán barajado soluciones intermedias, que consisten en el empleo de algunas mezclas condicionadas a lo que se dispusiera en cada época y nación.

* * *

En nuestra condición de fabricantes del litoral hemos tenido ocasión de intervenir más de una vez, y con más o menos acierto, en la problemática de la durabilidad en estas dos últimas décadas que es en la que hemos estado inmersos. Y, como consecuencia de ello, en la fabricación y aplicación de los cementos.

Esta circunstancia nos permite ahora opinar algo acerca de la durabilidad, y como tal, y como primera impresión, es la de que consideremos, a pesar del tiempo transcurrido, a la durabilidad como un tema vigente y, por lo tanto, de actualidad.

Prueba de ello, el gran número de investigadores y científicos, fabricantes y usuarios, que están interesados pretendiendo unos, lograr un método o *ensayo* científico que permita determinar previamente la aptitud y comportamiento, en definitiva la durabilidad de los cementos en medios agresivos con cierta anticipación; otros no cejan en su intento de introducir las modificaciones pertinentes en la *fabricación*, como en sus aplicaciones se refiere, amparados en las oportunidades que nos brindan los más recientes adelantos técnicos que en la actualidad ofrecen las modernas instalaciones fabriles, pretendiendo así poder satisfacer los avances y exigencias que en la actualidad requiere la construcción moderna.

El de que, hoy por hoy, no se haya dado todavía con un método que satisfaga a todos en la problemática de la durabilidad de un cemento, en cierto modo es lógico. Baste para ello que se contemple simplemente la extensa gama de cementos que se fabrican, y no digamos nada si dentro de los mismos nos interiorizamos en pormenores pretendiendo así determinar y particularizar en sus características y peculiaridades, y si esto no se considera como suficiente, aún resta la posibilidad de invitarles a que contemplen el amplio campo que, por supuesto, constituye el medio ambiente y no digamos nada si se tienen presentes los componentes que lo constituyen como la proporción en que entran. Después de esto es lógico suponer que se susciten, como ya vienen suscitándose, pareceres y opiniones dispares como un sin número de controversias a la hora de pretender especificar un método que tenga una proyección mundial. En este sentido opinamos que la pancea como tal, y concretamente en el sector del cemento, que es ahora del que se trata, no existe, y que, por lo tanto, lo de su durabilidad no podría ser una excepción.

En cierto modo esto deberíamos considerarlo como un mal menor y aceptarlo como tal. Pero este asentimiento, quizás, en un principio podía interpretarse alegando de que como tal problema careciera de interés por considerarlo a éste como un tanto alejado de nuestro cometido. Pero nada más apartado de la realidad y más aún cuando en el orden prác-

tico y por nuestra condición de fabricantes, eminentemente consecuentes y realistas, nos obliga a afrontar los problemas, sean o no de nuestro agrado, tratando de dar con la solución o soluciones como interpretación, si es posible, a medida que vayan presentándose.

Llevados pues de esta idea, iniciamos una exposición sucinta de cuanta experiencia disponemos al respecto. Experiencia que, por otra parte, abarca campos un tanto amplios al estar como están relacionados con temas de fabricación de cementos, comportamiento de los mismos, y, por último, métodos y ensayos experimentados.

Como justificación de la pretensión de abarcar esta temática tan amplia obedece principalmente, por una parte, a nuestra condición de ser del litoral, que automáticamente significa que nos veamos obligados a facilitar y satisfacer una constante solicitud de *información* requerida por los usuarios, y que, dicho sea de paso, lo hacemos muy gustosos, y por otra, la vasta información y documentación que disponemos, relacionada con el tema. Todo esto, junto con la inquietud que se nos ha suscitado al tratar de interiorizar en tan sugestivo tema, han sido los principales móviles para que nos dedicáramos al estudio e investigación de estos pormenores con el ánimo de ser portadores y a la vez contribuir con nuestras experiencias en la problemática de la durabilidad.

Y después de este preámbulo iniciamos nuestra exposición relatando pormenores relacionados con los cementos.

Podemos decir que existen dos marcadas y manifiestas tendencias en la fabricación de los cementos: la *americana*, un tanto restrictiva en cuanto a sus posibilidades, ya que la misma se refiere en mantener a ultranza la mezcla exclusiva de clínker y yeso; y la *européa*, con un criterio más amplio y práctico que conjuga aspectos de orden técnico y económico, autoriza la fabricación de cementos a base de tres y más componentes: clínker-yeso-puzolanas y/o escorias.

Acercas de la primera, y que la hayamos denominado americana, obedece a que éstos, como quien dice, fueron los primeros en fijar la limitación en AC_3 , y que por norma, y con una proyección general, impone la fabricación de un cemento con un contenido en AC_3 límite y del cual uno no puede rebasarlo. Dicho límite es del 8 % para un tipo determinado y otro más restrictivo del 5 %.

En cambio en la europea no existen tales limitaciones. Estas, simplemente quedan referidas al cumplimiento del índice de *puzolanidad* (en algunos países) para los cementos puzolánicos, mientras que para los de escorias no se les exige especificación especial alguna.

Salvado, como quien dice, este condicionamiento, la calidad o características de los cementos queda involucrada en la proporción de mezcla en que entran estas adiciones. Con un carácter eminentemente orientativo e informativo podemos indicar que la durabilidad, siempre que no se rebasen unos límites prudenciales, guarda una relación directa y estrecha con la proporción cuántica y calidad de la adición que se realiza. (Índice puzolánico para las puzolanas y basicidad, y granulación en agua para las escorias).

No obstante en estos últimos años y refiriéndonos a *España*, se observa cierto interés por el empleo y fabricación de cementos especiales similares a los americanos, para luego, incluso, mezclarlos con adiciones pertinentes y, preferentemente, con las *puzolanas*. Asimismo, y en el ánimo de mencionar otra tendencia es la suscitada últimamente en *Francia* y que consiste, fundamentalmente, en mezclar clínker-yeso-escoria-cenizas volantes.

Si nos paramos a considerar las tendencias mencionadas, tanto las que han subsistido como las recientemente creadas y todas ellas las contemplamos bajo un prisma eminentemente técnico, no creemos llevarnos a engaño si decimos que todas puedan admitirse como satisfactorias, y por lo tanto se acepten como válidas, aun cuando y si bien a la hora de pretender particularizar los mismos y en atención a su posterior aplicación, como es en la elaboración de hormigones, es justo reconocer que es entonces cuando unos respecto a otros presentan ciertas ventajas en orden a su plasticidad, retención de agua, manejabilidad se refiera, y que, si bien éstas peculiaridades que encuadran en el campo de las características físico mecánicas, no deberán ignorarse, porque, sin ningún género de dudas y a la hora de su aplicación y manipulación, como a posteriori, también colaboran y contribuyen de una forma eficiente y positiva en el mayor o menor grado de durabilidad de los hormigones.

Salvo de que al amparo de una normativa, a todas luces arbitraria y que amparada en la misma se permita establecer un orden preferencial de ambas tendencias en relación a su posterior aplicación, nos referimos claro está a su comportamiento práctico en las obras, nos permitimos opinar que tales preferencias estén más bien mediatizadas por aspectos de orden económico.

En otro orden de ideas, es digno de resaltar el *confusionismo* que existe entre los usuarios a la hora de hablar de cementos resistentes al agua de mar y a los sulfatos. Esto en cierto modo quizás obedezca, si se quiere, a la ambigua como genérica denominación de los mismos. Así resulta muy habitual y normal al requerir información como solicitantes de suministros, concretamente de cementos resistentes a los sulfatos, mencionen únicamente al PAS 250 ó 350 haciendo caso omiso de otros, tales como los *puzolánicos y de alto horno* y, a la vez, de manifestar el más amplio desconocimiento acerca de las posibilidades que ofrecen estos cementos.

Asimismo, aun cuando como tendencia totalmente conservadora también debemos de resaltar aquella otra que se aferra en emplear mezclas al 50 % de cementos, pero realizadas in situ ignorando los riesgos que se corre al trabajar en estas condiciones. Y por último y prosiguiendo en la línea de ir exponiendo tendencias o preferencias que nos presentan los usuarios nos resta por destacar otra, en su día totalmente vanguardista y sobre todo revolucionaria, consistente en emplear un cemento portland normal en piezas prefabricadas, si bien en un proceso avanzado de endurecimiento y que a pesar de ello se le exime de que sea considerado como un cemento portland, que es precisamente lo que pretendemos resaltar ya que para mayor cúmulo de circunstancias adversas para trabajar en un medio agresivo y si como tal es el agua de mar el cemento empleado se caracterizaba, principalmente, por tener un alto calor de hidratación, así como altos sus contenidos en silicato y aluminato tricálcico.

Como observarán, el tema es a la vez de sugestivo un tanto complejo y, sobre todo, amplio. Por ello y en el ánimo de encauzar mejor el mismo de una forma definitiva y así evitar posibles divagaciones y que muy bien podríamos incurrir, hemos considerado conveniente el centrarlo refiriéndonos a un caso práctico, y mejor para ello es partir desde un principio exponiendo las necesidades o *problemas* que se les suscitan a los usuarios con la iniciación de unas obras.

Supongamos que se pretenda realizar una obra marítima. Quizás ya ésta a priori significa, por tratarse de un medio muy conocido por todos los usuarios, la adopción de unas medidas preventivas iniciales, entre otras el empleo de un cemento especial. Por lo tanto,

y debido a esta circunstancia, permitásenos que eludamos este caso y pasemos a considerar, aquella otra obra y que si está un tanto alejada de la costa, también se deja sentir del influjo del agua de mar como otras de otra procedencia.

Imaginémonos que la iniciación de las perforaciones de las cimentaciones se encuentra uno con unas aguas de olor fétido, o que por su color, sabor, etc., suscitan la duda de que dicha agua o lodo sea o no idónea y que, por lo tanto, pueda afectarle al hormigón en el fraguado, período inicial del endurecimiento, incluso, en el transcurso del endurecimiento. Ante la situación suscitada no le queda más recurso que el de analizar el agua, o como muchas veces sucede, el de solicitar información a aquel constructor que anteriormente ya ha trabajado por aquellas inmediaciones. Esta última solución, a veces, ha dado resultado satisfactorio; pero no creemos sea verdaderamente positivo y menos definitivo, porque en este sentido disponemos de referencias con resultados totalmente desastrosos, ya que está visto y comprobado que estos medios no se rigen por reglas concretas y mucho menos de que estas sean satisfactorias y ajustadas a los deseos particulares de cada uno. Comprendemos que el que esto suceda supone un gran inconveniente, pero ante tal evidente realidad no queda más remedio que aceptarlo y afrontarlo como mejor proceda.

De aquí que como primera medida preventiva se aconseje la realización de un previo análisis químico, como otros geológicos, etc., que contribuyan en un mejor conocimiento de las características de los terrenos como medio ambiente de la zona donde se pretenda construir.

Comprendemos de que todas las empresas constructoras no disponen de los laboratorios requeridos para la realización de estos análisis; no obstante creemos que, a pesar de ello, si facilitamos un cuadro donde figuren algunos datos relativos acerca de las concentraciones de los componentes considerados como agresivos, signifique una ayuda inestimable a la hora de cotejarlos con los resultados que les haya facilitado el laboratorio, y a la vista de los mismos pueda establecerse su composición de lugar para luego adoptar las medidas pertinentes.

Pero antes, y con un criterio eminentemente práctico, eludimos de toda exposición minuciosa, y sobre todo exhaustiva, de todos aquellos elementos o compuestos que pueden considerarse como agresivos del hormigón. En dicho ánimo prescindimos de todo compuesto orgánico y ácidos minerales, para referiros únicamente a compuestos inorgánicos que son los que por norma general, tanto en orden a sus posibilidades como a su frecuencia, los que resultan ser más comunes.

Amparados en estos criterios, los medios agresivos que vamos a considerar son:

Gases

Los gases provenientes de la combustión de los combustibles, y que como más importantes son el CO₂ y compuestos de azufre en mayor o menor grado de oxidación.

Líquidos

Aguas puras de montaña y manantial.

Agua de mar.

Aguas que, independientemente de su localización superficiales, subterráneas, como en orden a su procedencia residual y a tenor de su discurrir corriente o estanca, lleven en disolución o en suspensión: humus, sustancias orgánicas oxidables, sales de magnesio y amonio, como sulfatos, o tengan un pH superior a 8 e inferior a 6.

Sólidos

Tierras que contengan sulfatos, sales de magnesio y amonio, substancias orgánicas que en su posterior contacto con el agua pueda producirse su disolución.

Bacterias

O seres vivientes que pueden integrarse en el hormigón por medio de las fisuras o grietas.

Y una vez expuestos los medios agresivos más normales con que uno puede encontrarse permitásenos que ahora invirtamos los términos y nos refiramos al ataque químico que ocasiona el agua del mar, entre otros motivos, por considerar a éste como el más complicado y amplio a la vez que, dentro de éste, también cabe la interpretación de lo que sucede en otros medios, y de una forma especial si a obras próximas al mar se refieren.

En la forma que se realiza el ataque, debemos distinguir varios efectos: uno físico o mecánico ocasionado por el choque de las olas, corrientes diversas, vientos, otro de orden químico y, por último, el biológico.

No creemos sea necesario hacer exposición alguna acerca de los efectos mecánicos de las olas; simplemente y para hacernos una idea de su alcance nos remitimos a los resultados obtenidos en el puerto de Biarritz en ocasión a las experiencias realizadas en el año 1935, al objeto de aprovechar la energía de las olas, mar de fondo, y resaca. Esta energía, sobre todo con mal tiempo, es verdaderamente impresionante, como lo testimonian bien elocuentemente los innumerables desperfectos en diques y malecones de costas y puertos del mundo entero en ocasión de los temporales. Se han podido medir en este sentido presiones del orden de 2 a 10 Mp/m² con buen tiempo y de 35 a 50 Mp/m² en los temporales.

Aportando más datos a este respecto, tenemos otro correspondiente al 28 de diciembre de 1951 y facilitado por el Observatorio de Igueldo que registró la velocidad del viento en 130 km/h. Esto como es de suponer muy bien pueden calificarse como vientos ciclónicos, pero que afortunadamente no se prodigan demasiado. Pero, en cambio, de los efectos químicos no podemos decir lo mismo, ya que éstos se dejan sentir día a día y hora tras hora.

Tratando de explicar el ataque químico, debemos decir antes y acerca de su composición química de que ésta difiere un poco según las regiones, pero desde el punto de vista de ataque químico se puede admitir como composición química media la siguiente:

ClNa	30 g/l
SO ₄ Mg cristalizado	5 "
Cl ₂ Mg cristalizado	6 "
SO ₄ Ca hidratado	1,5 "
CO ₃ HNa	0,2 "

aun cuando, también, y dentro de ésta se detecta la presencia de boro, nitrógeno, fósforo, silicio, potasio.

Las investigaciones oceanográficas y los progresos de la ciencia en estos últimos años parecen indicar que las grandes superficies de los mares ofrecen inagotables reservas para el futuro de la Humanidad: aprovechamiento de las algas marinas para la obtención del

yodo, alginatos, etc. Asimismo, el lógamo del mar produce plantas alimenticias y los hombres de ciencia confían en llegar a cultivar el mar, bombardeando las profundidades para favorecer la multiplicación de la pesca con los nuevos pastos. Es decir, que el mar, y para no extendernos más, ofrece un sin número de posibilidades e imprevisibles.

Los homigones sumergidos en el agua de mar ante la presencia de sulfatos y cloruros de magnesio pueden dar lugar a una acción química de destrucción ocasionada por transformación de las sales precedentes en sulfatos y cloruros de calcio, que son solubles, dando lugar a la precipitación de magnesia.

Pero en realidad la acción del cloruro magnésico no es el más nocivo, porque como se sabe no actúa sobre los silicatos. Más bien actúa sobre la cal liberada en el fraguado y endurecimiento del cemento ocasionando así, y poco a poco, un deslavado con la consiguiente eliminación de una cantidad más o menos importante de conglomerante.

En cambio, lo que sí es verdaderamente peligrosa es la cristalización del sulfato cálcico, y sobre todo si éste se forma por substitución de la cal por la magnesia en el sulfato.

Pero existe también otra posibilidad con carácter aún más destructivo, que es la formación de la sal de Candlot o "Bacilo del cemento", muy voluminoso y expansivo. Aun cuando parece ser que si ésta se forma en condiciones determinadas, no resulta nociva.

Independientemente de estas reacciones existe todavía otra consistente en la formación de carbonato cálcico insoluble, dando lugar con ello a la formación de una capa protectora, bajo forma de una costra sobre el hormigón que impide o retarda prosigan las reacciones químicas. No obstante, en nuestra opinión el ataque del agua de mar es mucho más complejo, porque, como muy bien se aprecia, existen unas zonas totalmente sumergidas, otras que emergen, y por último otras intermedias, que son las afectadas por los ciclos de las mareas y que, según observamos, éstas resultan ser la más vulnerables. Ante esta diversidad es lógico suponer que el ataque también difiera con arreglo a su ubicación.

Acerca de la corrosión o ataque biológico, y amparados en la poca información bibliográfica existente, parece necesario se diferencien las acciones con arreglo a su origen: vegetal y animal, aun cuando en ambas también deben presentarse asimismo efectos de orden mecánico y químico.

Sin preteder abarcar demasiado, vamos a referirnos únicamente al medio que nos ocupa y, por lo tanto, a aquéllos que se presenten en medio húmedo.

En este caso caben destacarse como más importantes y pertenecientes al reino vegetal: los musgos y las algas.

Existen un sin número de musgos capaces de adaptarse a los muros y juntas del hormigón (*Barbula muralis* Hedw.), pero dentro de las 300 especies que según parecen existir se destacan, como principales, la *Encalypta*, *Streptocarpa*, y la *Dimydon rubellus*.

Entre las algas que pueden encontrarse en los medios húmedos dando lugar a la formación de manchas verdes en la superficie deben citarse las bacterias, y que por cierto aprovechamos la ocasión para decir que en nada tiene que ver con el "Bacilo del cemento" mencionado por Michaelis, ya que éste se trata de un sulfoaluminato cálcico que no tiene semejanza alguna con los organismos vivientes.

También existen champignones cuya proliferación no es demasiado alarmante, y por último, los líquenes, que resultan de la simbiosis de un alga y champignon con unas facultades óptimas de adaptación.

La acción destructora de los líquenes fue ya detectada por E. Acharius allá por los años 1757-1819, en donde observó una corrosión seguida de una fisuración para terminar disgregando la pared.

Acerca de las de origen animal se consideran como más activas las de los moluscos denominados perforadores, que son los causantes de los deterioros o desperfectos más importantes como consecuencia de una acción química producida por unas secreciones propias del animal.

Acerca de la agresividad de los gases como la de los sólidos debemos de indicar que ésta depende, fundamentalmente, del grado de humedad y disolución, dado que en estado seco no presentan mayor síntoma de agresividad.

En este sentido, y previa recopilación de diferentes valores que han barajado algunos autores compenetrados con el problema a continuación exponemos un cuadro preparado al efecto:

C U A D R O 1

	Débil	Fuerte	Muy fuerte
pH	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
CO ₂ en mg/l	15-30	30-60	> 60
NH ₄ "	15-30	30-60	> 60
Mg ²⁺ "	100-300	300-1.500	> 1.500
SO ₃ ²⁺ "	160-500	500-2.000	> 2.000
Cl ⁻ "	1.000		
O ₂ consumido "	30		

Como puede observarse en el Cuadro 1 se establecen tres grados o intensidades de agresividad: débil, fuerte y muy fuerte, en función de la concentración en que se encuentran los diferentes componentes.

Y en el ánimo de evitarles sorpresas un tanto desagradables que pudieran ocasionarse como consecuencia de una interpretación indebida de los valores que figuran en el cuadro, es decir, si los análisis químicos arrojaran resultados que encuadraran con la columna correspondiente al medio considerado como débil; pues bien a pesar de ello, se aconseja no se dejen llevar de un excesivo optimismo si no que más bien se adopten las medidas preventivas correspondientes, y sin la menor duda, que como si se tratara de un medio agresivo fuerte.

De que nos pronunciemos de esta forma obedece a que muchas veces hemos comprobado, y en más de una ocasión se ha visto que la presencia de materia orgánica en el medio ambiente tiene mucha más importancia de lo que uno se supone. Ignoramos en realidad su proceso, si bien éstos suelen presentar dos mecanismos químicos inversos: uno la acción de las bacterias reductoras *Spirillus desulfuricans* que transforman los sulfatos en sulfuros, y otra por oxidación del azufre en sulfatos.

Todo esto, además de que existan otros elementos más concluyentes, nos induce a decir que siempre, y para trabajar con las máximas garantías, lo que verdaderamente procede es el de que al medio agresivo definido mediante análisis químico, automáticamente se le considere en un estadio o grado inmediato superior de agresividad. Es más, en nuestra opinión, somos aún más taxativos y hasta tal extremo llega a ser éste que, para nosotros, la clasificación anteriormente expuesta no tiene mayor representatividad, salvadas las de información, orientación, etc., ya que más bien somos partidarios y con una proyección amplia y llevados por un sentido eminentemente práctico de que cuando se suscite la más mínima duda, o simplemente se detecte la presencia de un medio agresivo, significa el que, inmediatamente, y sin más dilación, se adopten las medidas pertinentes para aplicarle las mismas consideraciones que si se tratara de un estado límite, es decir, el de máxima agresividad.

Una vez tenga definido e identificado el medio agresivo, al usuario se le suscita el dilema de cuál va a ser el cemento que deberá emplear. Para su solución dispone de varios conductos a seguir:

- 1.º El de acogerse a las especificaciones que figuran en el Pliego.
- 2.º Consultar cuanta documentación e información bibliográfica o experimental disponga relacionado con el tema.
- 3.º Asesorarse y, a la vez, formar el tándem fabricante-usuario.

No hace mucho, en este sentido, y con ocasión de un cambio de impresiones tratando diferentes pormenores relacionados con la aplicación de una novísima técnica de construcción se suscitaron varias dificultades acerca de su ejecución, amén de otras relacionadas con el cemento, dado que a éste se le exigía, entre otras, el cumplimiento de unos requisitos; como el que estuviera experimentado en prácticas similares, como otro totalmente inabordable, dado que requerían fuera amparado por un *ensayo* o prueba experimental de laboratorio.

Esto, trasladado al medio ambiente que actualmente venimos considerando, significa un serio handicap para el fabricante ante la imposibilidad de disponer de un método normalizado que le permita, basándose en él dictaminar, con anterioridad, el comportamiento del cemento.

El que existan estos ensayos es, en nuestra opinión, muy interesante para el fabricante. Entre otros motivos, porque basándose en los mismos le permite hacerse su composición de lugar, además de disponer de una posibilidad tangible a la vez de hacerle acreedor a que pueda opinar y, por lo tanto, indicar de que tal o cual clase o tipo de cemento, por él fabricado, es o no resistente a un ensayo determinado. Esto psicológicamente tiene un gran impacto ya que al disponer de un cemento resistente al método normalizado, que por norma general suele ser más severo de lo que en realidad sucede, no cabe duda de que es un argumento valioso que dispone a su alcance para que luego pueda enjuiciar y, por lo tanto, asesorar ante circunstancias de orden práctico que se le presente luego en la realidad y que es la meta que se persigue.

Además, y mediante esta fórmula, si en el transcurso del tiempo le permite cotejar y con ello establecer conclusiones entre los ensayos experimentales de laboratorio con realizaciones llevadas a la práctica por el usuario, todo esto significa que la información que se obtenga en estas condiciones se le dispense y se haga acreedora a la más absoluta y total confianza.

C U A D R O 2

Ensayo Merriman modificado G.^a de Paredes

n.º	Clase de cemento	Duración en 4 % SO ₃ Na ₂	Duración en agua de mar
1	Cemento portland	11 días	120 días s/novedad
2	Cemento siderúrgico	10 días	"
3	Cemento puzolánico N	20 días	"
4	Cemento puzolánico C	120 días s/novedad	"
5	Cemento puzolánico-escorias	120 días s/novedad	"
6	Cemento puzolánico CLA	120 días s/novedad	"
7	Cemento portland RSL	10 días	"
8	Cemento portland VSL	11 días	"
9	Cemento portland RSB	120 días s/novedad	"
10	Cemento portland VSB	120 días s/novedad	"
11	Cemento portland B	92 días	"
12	Cemento de alto horno	120 días s/novedad	"

Así, y como una aportación al tema, vamos a exponer unos ensayos experimentales realizados con arreglo al ensayo Merriman, modificado por García de Paredes. Dentro de éstos figuran una extensa gama de cementos, ya que vamos a tener ocasión de referirnos a cementos portland, puzolánico y de escorias.

Como consecuencia de los resultados obtenidos, en un primer golpe de vista debemos resaltar la diferencia sensible existente en el comportamiento de los cementos en los diferentes medios: agua de mar y disolución de sulfato sódico al 4 %. Prueba evidente es de que los cementos conservados en agua de mar todos ellos han cumplido; en cambio en la disolución de sulfato sódico nos vemos obligados a hacer una diferenciación ya que observamos que unos cumplen, cuando, por el contrario, otros no lo resisten.

Según esto podemos decir que la disolución de sulfato sódico empleada es mucho más agresiva que el agua de mar. No obstante, y a pesar de tan evidente realidad, proseguimos en nuestro intento de interiorizar más pormenores para así adentrar y profundizar más en el tema, procurando si es posible, interpretar a la vez de justificar a qué obedece este diferente comportamiento y el de emitir las conclusiones pertinentes.

Si iniciamos el mismo pretendiendo encuadrarlos en dos grandes grupos, tenemos, por un lado, todos aquellos que lo cumplen, y por otro, los que no lo resisten, pero tanto se trate de uno u otro grupo vemos que en ambos existen cementos puros como adicionales. Por lo tanto, y ante la imposibilidad de emitir una opinión rápida y de conjunto acerca del particular nos vemos obligados a particularizar sus pormenores, y nada mejor para ello que iniciemos refiriéndonos al cemento portland sin adiciones.

Como puede verse los cementos n.ºs 1-7-8-9-10-11 son cementos portland obtenidos a base de clinker y yeso exclusivamente, siendo el contenido en AC₃, según Bogue, de 13,8 % para el n.º 1 y de 13,2 % para los restantes.

Ateniéndonos exclusivamente al contenido en AC₃, en un principio, y basándonos en los trabajos experimentales existentes acerca del particular, cabía decir de que todos ellos no deberían considerarse como resistentes a los sulfatos dado que su contenido rebasa el 8 % de AC₃. En realidad algo de esto sucede cuando, efectivamente, el n.º 1 con 13,8 % de AC₃ no lo cumple, así como los n.ºs 7-8 con 13,2 % de AC₃. Pero por el contrario, y a constancia de AC₃ igual a 13,3 %, uno, como el n.º 11, alcanza los 92 días de duración y los n.ºs 9-10 llegan a los 120 días, edad máxima de observación, sin novedad.

Pero en honor a la verdad y conociendo el proceso de obtención y fabricación debemos de indicar que existe una diferencia substancial y que ésta estriba en la temperatura de clinkerización y que como muy bien se sabe afecta:

- a un mayor o menor grado de combinación, es decir, presencia o ausencia de cal libre;
- en la formación de los compuestos mineralógicos o composición potencial;
- fase líquida que en su posterior enfriamiento dé lugar a la formación de magmas vítreos o cristalizados y a la vez, bloquear la estructura mineralógica.

Según esto, como primicia e independientemente de lo que a continuación exponamos vemos que la determinación del AC_3 por simple cálculo no es una determinación excesivamente fiable como para que se establezcan conceptos concluyentes, y sobre todo, cuando se desconoce el proceso de obtención que es lo que por norma general sucede.

Y prosiguiendo con el estudio, a continuación pasamos a considerar los cementos adicionales que, al igual que en los anteriores cementos, vemos un diferente comportamiento entre sí. Pero antes, y con miras a lograr una exposición más clara, vamos a referirnos primero a los cementos puzolánicos.

Los cementos puzolánicos se fabrican a base de clínker-yeso-puzolana, pudiendo ser ésta última de origen natural o artificial. En este caso el clínker como el yeso ha sido el mismo que se ha empleado en la obtención del cemento n.º 1 y, por lo tanto, el AC_3 por cálculo sigue siendo de 13,8 %. Y ya refiriéndonos a los cementos puzolánicos n.ºs 3-4-6 la única diferencia existente estriba en la procedencia de las puzolanas, siendo de origen natural la empleada en el n.º 3, mientras que la n.º 4 y 6 son puzolanas artificiales. En las dosificaciones empleadas, por el contrario, se ha mantenido la proporción del 30 % para todas.

Una vez hecha esta aclaración y por su singular relieve debemos resaltar el poder influyente de las características de las puzolanas, ya que como se ve de éstas depende, fundamentalmente, que el cemento resulte resistente o no a este ensayo, independientemente de la mezcla base clínker-yeso, en definitiva del cemento portland empleado y, que como hemos comprobado anteriormente, no resistió a este ensayo.

La diferencia fundamental entre las puzolanas empleadas obedece, como hemos dicho ya anteriormente, a su procedencia, siendo una de ellas natural mientras que las dos restantes son artificiales. En este sentido, y con arreglo a este ensayo, el diferente comportamiento comprobado puede interpretarse argumentando que el magma silíceo difiera entre sí, siendo más vulnerable o menos resistente al sulfato sódico la de origen natural, cuando, por el contrario: las cenizas volantes y arcillas convenientemente tratadas resultan resistentes.

Ahora bien, y antes de proseguir, quizás convenga hacer una aclaración acerca de las puzolanas naturales, ya que con lo expuesto puede dar lugar a falsas interpretaciones. En nuestra opinión en los cementos puzolánicos deben de considerarse dos circunstancias:

- 1.^a De que el cemento portland base sea resistente al ensayo; entonces es presumible suponer que el cemento puzolánico correspondiente obtenido en estas condiciones también lo sea e independientemente sea natural o artificial la puzolana empleada.

2.^a Si el cemento portland, por el contrario, no fuera resistente, es entonces cuando significamos que el simple hecho de una adición de puzolana no implica se le considere, por este motivo, al cemento puzolánico como resistente, ya que para que esto suceda requiere fundamentalmente una calidad como adición idónea a la puzolana que vaya a emplearse. Y a nuestro juicio es algo de esto lo que nos ha sucedido en el ensayo experimental.

Acerca de los cementos siderúrgicos indicamos que aquellos cementos que llevan una adición de escoria del 30 % respecto a la mezcla de clínker-yeso no han soportado este ensayo, mientras en los de alto horno con una adición del 45 % sí lo han sido. Aquí como en los puzolánicos, el clínker empleado ha sido también el de 13,8 % en AC₃, y la única diferencia producida dentro de los mismos se refiere al porcentaje de adición.

En esta circunstancia, por lo tanto, cabe opinar que la mejor durabilidad, e independientemente de la calidad del clínker, radica en el porcentaje de escoria que se realice.

Y refiriéndonos a las mezclas de clínker-yeso-puzolanas-escorias que también se han ensayado y que corresponden a la muestra n.º 5, en definitiva la mezcla de los cementos n.º 4 y n.º 2 debemos decir que el cemento resultante ha resultado ser resistente al ensayo de Merriman, modificado por García de Paredes.

Pero presumiendo de que ante los resultados obtenidos se les tache de que adolezcan de no tener un apoyección comparable, y por lo tanto aplicable a la realidad, vamos a tratar de complementar los mismos facilitándoles resultados prácticos que se han obtenido en obras realizadas con cementos si no totalmente idénticos, sí similares a los que han figurado en los ensayos.

Así, y basándonos en obras referenciadas en el cuadro que facilitamos a continuación, por su interés y como por hechos más relevantes destacados en orden al medio ambiente que han soportado:

C U A D R O 3

Clase de cemento	Empleado en	Análisis del medio			Resultados
		SO ₃ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Materia orgánica O ₂	
Portland normal Alto horno Puzolánico	Muelles prefabricados Cimentaciones Diques secos	1.900	20.000		Sin novedad Sin novedad Sin novedad
Portland normal Puzolánico	Cimentaciones Cimentaciones	130-530	930-1.550	184-260	Reblandecimiento nivel freático Sin novedad
Alto horno	Cimentaciones	1.169	100	5,9	Sin novedad

1.º En agua de mar

En este sentido podemos decir que la construcción de determinadas obras marítimas y si se aplican técnicas de prefabricación se puede llegar, incluso, como se ha llegado, a emplear un cemento portland normal. Si bien esta tendencia la consideramos como un tanto vanguardista y como tal la mencionamos, a pesar de que los resultados son verdaderamente satisfactorios.

No obstante la tendencia clásica ha sido la de emplear cementos naturales, mezclas de éstos con el portland normal, puzolánicos y de escorias. Aun cuando no disponemos de referencias concretas hoy día existe la posibilidad de emplear cementos portland especiales.

2.º En marismas

En este caso, y como por norma general, el hormigón preparado in situ supone de que si el cemento portland empleado es un portland normal la obra se vaya al traste, detectándose un reblandecimiento de toda la masa en aquella zona que incide el nivel freático.

En cambio los cementos puzolánicos, como los de alto horno, lo resisten perfectamente.

3.º En terrenos y aguas selenitosas

El cemento de alto horno ha dado muy buen resultado al igual que los puzolánicos.

En la actualidad se empiezan a emplear cementos portland especiales.

4.º En aguas puras

El cemento puzolánico al igual que el cemento de alto horno empleado y concretamente en perforaciones subterráneas (túneles) se han comportado satisfactoriamente.

5.º Gases procedentes de la combustión

Tanto se traten de carbón o de fuel las conducciones hechas con portland ordinario acaban por destruirse.

A pesar de que los hechos expuestos son ya de por sí harto elocuentes, además de que pueda facilitar la labor para que cada uno pueda hacerse su composición de lugar, nos vamos a tomar la libertad, a pesar de ello, de hacer unas consideraciones más amplias, de algunos conceptos relativos a los cementos y enfocándolos éstos acerca de su durabilidad; en definitiva, a la posibilidad de obtener un cemento tipo, el cemento ideal.

No cabe duda de que el cemento ideal que reúna, y que por lo tanto cumpla con todos los requisitos que se le exigen a éste, raya con la pretensión de ser un tanto utópica.

Si iniciamos la enumeración de requisitos, con el que primero nos topamos, y que por cierto no se le da la importancia que tiene, es el de que su fraguado sea rápido en el ánimo de que éste endurezca en el tiempo hábil que se dispone entre mareas. Este ha sido quizás uno de los motivos de la buena acogida dispensada a los cementos naturales, como a sus mezclas con el portland, aun cuando ésta última más bien se haya suscitado por requisitos de resistencias mecánicas.

El cumplimiento de esta exigencia y refiriéndonos al cemento portland es posible su logro, a condición de que se adopten ciertas medidas relacionadas, con el contenido en SC_3 y AC_3 , se muele muy fino; en definitiva, que la obtención de un cemento con fraguado rápido nos lleva a un cemento considerado como de altas resistencias iniciales. Y en contrapartida estos requisitos son antagónicos en relación a los exigidos acerca de su composición química que comentaremos más adelante, así como también por los problemas que acarrearía en su posterior manipulación y transporte donde, ante los grandes volúmenes que hoy día median y al requerir estos elementos un tanto mecanizados, el trabajar en estas condiciones y con hormigones que fraguan y endurecen pronto no es nada fácil y menos, recomendable.

Pero consideremos que dicho requisito no sea estimado como imprescindible, en el ánimo de que así podamos referirnos únicamente a las resistencias tanto químicas como mecánicas.

Centrado el problema en estos pormenores y prosiguiendo en nuestro intento de obtener un cemento ideal para obras marítimas, es condición imprescindible atenernos a aquellos aspectos más vulnerables que presenta el cemento portland, y, que como ya hemos expuesto anteriormente, deberemos referirnos fundamentalmente y perseguir por todos los medios que el cemento libere poca cal y que su contenido en AC_3 sea lo más bajo posible.

No cabe duda de que aquel cemento que tenga menos cal en su composición, supone que automáticamente solubilice menos cantidad y, por lo tanto, se le considere como más resistente en relación a aquel otro que tenga más cal. Esto implica que el cemento tenga baja hidraulicidad o, si se quiere, bajo grado de saturación; en definitiva, bajo contenido en SC_3 además de que esté exento de cal libre. Con la adopción de todas estas medidas se halla a nuestro alcance la obtención de un cemento que liberara poca cal, aunque esto iría en detrimento de las resistencias iniciales que, asimismo, son muy importantes.

Respecto al AC_3 y en relación a su repercusión queda circunscrito a su cuantía, ya que éste influye sobremedida en la facilitación o impedimento de la formación en mayor o menor abundancia de la sal de Candlot sin que, por ello, se deban omitir aquellos otros componentes que también influyen en esta formación y que como tal es la basicidad del medio. Si ésta resulta baja al igual que el contenido en AC_3 , la posibilidad de que se forme la sal de Candlot disminuye considerablemente.

Como medidas que se deben adoptar para que resulte más baja la cal ya las hemos enumerado anteriormente, por lo que no viene al caso se abunde nuevamente a este respecto y, por tanto, sólo nos resta el referirnos a la forma y medios que disponemos para reducir el AC_3 . Entre los medios más usuales y habituales que dispone el fabricante para ello son: reducir el contenido en alúmina de las primeras materias, emplear adiciones de cenizas de piritas tostadas, como otras, si bien menos conocidas pero al fin y al cabo aplicables como son: empleo de mineralizadores, enfriamientos rápidos, etc.

Sin adentrarnos en cual es la solución óptima, ante las características medias de los cementos españoles, no cabe duda de que el recurso aplicable, si a cementos portland se refiere en términos generales, es el empleo de cenizas de piritas tostadas o el de que se realice una selección en canteras o, por último, se combinen ambas.

Como se habrá observado, el fabricante tiene a su alcance recursos como para que cumpla con estos requisitos y su mayor o menor dificultad depende de las disponibilidades y características de las primeras materias.

Anteriormente esta tendencia la habíamos denominado como americana, ahora quizás deberíamos cambiarla ya que según parece ante el éxito logrado, empieza a tener carta de residencia en España.

Y en este sentido permítasenos indicar que la reducción del contenido en AC_3 a expensas de realizar adiciones fuertes de cenizas tostadas de pirita, en definitiva a base de forzar el contenido en AFC_4 , su fabricación está un tanto condicionada a los porcentajes de sílice y grado de saturación. Además de que la afinidad de aquél con el SO_3 parece ser que si no tan manifiesta como con el AC_3 , es asimismo patente. Tanto es así que hay muchos autores que en la sal de Candlot llegan a sustituir la alúmina por el hierro. Con esto queremos indicar que la solución de una adición impune y masiva de cenizas de piritas tostadas no debe aceptarse como correcta, si no que la misma debe de atemperarse desde un principio a un contenido límite máximo de alúmina y que a partir de ésta no se considere como correcta la solución de adicionarle cenizas de piritas tostadas.

Y si nos pasamos al otro extremo, o sea, que las primeras materias tengan bajo contenido en alúmina, no vamos a decir nada al respecto y menos si están por debajo del 3 %. Esto nos invita a suscitar la conveniencia de que respecto al contenido en alúmina de las primeras materias deban considerarse un máximo y un mínimo. El máximo en atención a las características posteriores del cemento y un mínimo para evitar problemas de orden industrial.

En nuestra opinión no nos deberíamos dejar llevar y menos influenciar de inmediato por soluciones adoptadas en otros países y, que como es de suponer, estas obedecerán a circunstancias especiales, debidamente estudiadas como coordinadas con arreglo a las posibilidades y peculiaridades que presenta el país y que muy bien pueden diferir del nuestro.

Creemos que debemos sacar y explotar al máximo las características de nuestras primeras materias, como la de los materiales que disponemos en nuestro país y que están a nuestro alcance, entre otros motivos por el peso específico que va adquiriendo el capítulo económico. Prueba de ello es que por condicionamientos de óptimos económicos aconsejan se trabaje con grandes módulos de fabricación y poniendo así en evidencia toda aquella fabricación especial o tipo de artesanía.

Las directrices actuales están enfocadas en producciones únicas y masivas; y si por un casual se necesitara de la diversificación, ésta deberá lograrse barajando el menor número de variantes. Quiere esto decir que cuantos menos variedades y calidades de clínker se fabriquen, mejor.

Quizás con esto se nos tache de que todas nuestras preferencias parecen dirigirse en fomentar y cantar las excelencias del empleo de las adiciones. No lo negamos en un principio, y sobre todo si pensamos que en nuestra condición de fabricantes una de las metas que tenemos impuesta es la obtención de una calidad en condiciones más ventajosas posible, y esto nos lo brindan las escorias y las puzolanas.

Hecha esta aclaración y definida nuestra postura, existe una posibilidad muy digna a tenerse en cuenta por aquello de que el cemento tenga más bajo contenido o que libere menos cal. Para ello basta se recurran a adiciones hidráulicamente activas, como son: las escorias granuladas y puzolanas. Automáticamente, éstas por su bajo contenido en cal, siempre más bajas que el cemento o carentes de ésta como sucede en las puzolanas, a nada que se mezclen con el cemento de inmediato significa un descenso proporcional en los compuestos que liberan cal, como asimismo en AC_3 , con la particularidad de que como sucede en las puzolanas la cal liberada es absorbida por ésta y a su vez activa su hidraulicidad.

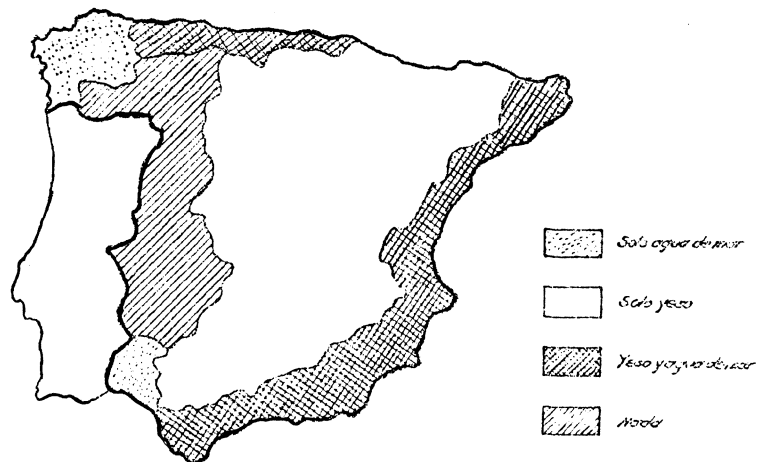
Como se comprenderá una solución más sencilla y práctica que ésta es difícil de encontrarla, además de que el cemento obtenido en estas condiciones ofrece la particularidad de disponer otras cualidades de orden físico-mecánico, plasticidad, retención, que el portland normal no las tiene. Con las escorias y en relación a su proceso físico-químico, la cal liberada cataliza las propiedades hidráulicas en estado latente de las escorias granuladas.

Y después de todo esto se halla como quien dice a nuestro alcance la posibilidad de obtener un cemento de bajo contenido en cal, así como en AC_3 y cal libre, bien fabricándolo o recurriendo a las adiciones.

Después de toda esta exposición, y como resumen de la misma, podíamos reflejar las posibilidades que contamos para fabricar un cemento óptimo para obras marítimas, de la siguiente forma:

- 1.^a *Con cemento portland especial.*—Cementos bajos en cal; cementos supersilícicos; cementos bajos en AC_3 : mediante adición de cenizas de piritas tostadas, mineralizadores, enfriamiento, etc.; cementos de bajo contenido en cal libre: doble clinkerización.
- 2.^a *A base de adiciones (puzolanas, escorias, cemento natural).*— A un cemento especial del apartado 1.º o a un cemento normal.

En otro orden de ideas, aun cuando también relacionados con el tema, hemos creído conveniente, a la vez de sugestivo, dispusieramos de una distribución de la península con arreglo a los medios agresivos dentro de la misma.



Huelga decir que su logro, como se comprenderá, requeriría un trabajo ímprobo, incluso, nos atrevemos a calificarlo de imposible. No obstante, y sacrificando la precisión en aras de disponer una estimación orientativa de lo que representa el medio agresivo en España, y sin que por ello represente descrédito, y menos desconsideración al mapa editado por el Servicio Geológico de Obras Publicas, ya que nos percatamos perfectamente del esfuerzo que habrá supuesto su elaboración, vamos a permitirnos que dentro del mismo consideremos conjuntamente las provincias afectadas por los yesos y agua de mar en su sentido más amplio. Es decir, que aquellas provincias en donde exista el menor indicio de yeso o contacto con el agua de mar, automáticamente a toda ella, e independientemente de su extensión, la consideremos como afectada.

Basándonos, pues, en este criterio vamos a permitirnos establecer una estimación de la extensión que supone con arreglo al medio agresivo que les afecta. (Gráfico).

De su observación, y ante los resultados que emanan del Cuadro 4 destacamos como más significativa la superficie correspondiente a la zona que afecta el yeso, y a continuación, como puede verse, es la correspondiente a aquellas provincias del litoral y donde también se detecta la presencia de yeso.

En cambio, desde el punto de vista de consumos de cemento, no inciden de la misma forma, ya que en este caso se deja sentir un orden de preferencias en favor de aquellas zonas del litoral, llegando a ser ésta del 48,5 % de consumo respecto a la totalidad, mientras que la correspondiente a terrenos selenitosos es del 37,9 %.

CUADRO 4

Medio agresivo que las afecta	Superficie de las provincias en km ²		Consumo de t cemento en 1970		Consumo t/km ² en 1970
Yeso	254.749	(51,7 %)	5.719.854	(37,9 %)	22,4
Agua de mar	32.363	(6,5 %)	951.408	(6,3 %)	29,3
Yeso y agua de mar	110.701	(22,4 %)	7.306.791	(48,5 %)	66,5
Ninguno	95.146	(19,2 %)	1.084.239	(7,1 %)	11,3
Total	492.858	(100, %)	15.062.292	(100, %)	

Y ya que en un principio hemos hablado de superficies es justo que en su consideración tratemos de facilitar una expresión relativa al consumo en t/km². Para ello, y valiéndonos de la última columna del Cuadro 4 (que es donde están reflejadas estas cifras) veremos que las provincias afectadas tanto por el yeso como por el agua de mar alcanzan la cifra de 66 t/km², seguida de aquellas otras que únicamente soportan los efectos del agua de mar, 29,3 t/km², seguida de otras en donde sólo existe yeso y que viene a representar el 22,4 t/km² y, por último, aquellas en donde no existen mayormente elementos agresivos y que viene a ser de 11,3 t/km².

Reconocemos que estas expresiones en su más estricto sentido de exactitud no deban de aceptarse como tales, pero tampoco creemos que por ello deban negárseles su valor significativo y, sobre todo, orientativo.

Amparados en estas cifras, y sin pretender establecer discusión alguna en orden preferencial, nos atrevemos indicar que si el problema de la existencia de yeso en la península por las dificultades que ocasiona en la construcción dentro de la misma, sigue siendo un tema de actualidad, no se quedan tampoco a la zaga aquellas otras provincias que, además de vivir problemas comunes a los yesos, se les complica aún más el problema, al tener la presencia del agua de mar, que es lo que sucede prácticamente en casi todo el litoral de la península.

No es nuestra intención dirimir esta cuestión, simplemente la mencionamos como un problema que existe y que nos afecta directamente a los que estamos ubicados en el litoral, a la vez que desde aquí nos permitamos el pulsar la señal de luz amarilla, de atención, para que se tenga presente a la hora de dictar normas y especificaciones relacionados con el tema.

Quizás más de uno se haya sorprendido de que ante el título del trabajo, no le hayamos dedicado la atención preferente que se merece, nos referimos al usuario. Si hemos dado lugar a ello vaya de inmediato nuestras disculpas; pero que conste de que si tal situación se ha producido, también vaya por delante que no ha sido por olvido, sino que

la misma más bien obedece a circunstancias propias de exposición que nos han aconsejado dejarlo hasta el momento oportuno, y que, a nuestro parecer, es ahora cuando debemos hacerlo.

En este sentido cuanto se diga de él es poco, y más si se trata de halagarlo, aun cuando, y desde un aspecto totalmente de pura ética, no procede seamos nosotros quienes lo digamos, por nuestra condición de fabricantes, y que muy bien podría dar lugar a falsas interpretaciones y que es precisamente lo que no queremos que suceda. Pero a pesar de ello no creemos nos impida, ya que será unánime y compartido por todos los aquí presentes, el de que se le considere a él como el único artífice y responsable de las obras realizadas. Verdaderamente es él quien ha acaparado, en el más amplio sentido, todas las consecuencias y responsabilidades, demostrando además en el transcurso del tiempo un sentido de adaptación, como muchas de improvisación, digno de elogio, ya que en todo momento ha sabido acoplarse a las oportunidades y posibilidades que le ha brindado la industria para llevar a buen puerto la obra emprendida.

Hasta hace relativamente poco tiempo no preguntaba ni requería demasiados pormenores al fabricante, relacionados con la calidad y características de los cementos. Hoy en cambio, y por circunstancias que no vienen al caso mencionarlas, manifiesta un verdadero y vivo interés, y hasta tal extremo llega a ser éste que podemos considerar como contados los casos en donde no exista un estrecho y perfecto entendimiento entre el fabricante-usuario y no cabe duda de que esta compenetración ha dado su fruto. Nada más elocuente y significativo que las obras realizadas, verdaderos símbolos de capacidad y nivel técnico que se ha alcanzado en España.

Como han podido Vds. comprobar en nuestro trabajo hemos abarcado un campo quizás excesivamente amplio, pero esto obedece a que el tema también lo es. Si no nos hubiéramos decidido a considerarlo en toda su extensión es muy probable que no hubiéramos tenido ocasión como ahora de tener conocimiento de causa y argumentos respaldados, bien por ensayos experimentales en unos o realizaciones prácticas en otras; en definitiva, elementos de juicio suficientes en que puedan sustentarse la plataforma desde donde nos permita emitir, a modo de lanzamiento, las conclusiones pertinentes con arreglo a los siguientes apartados:

1.º Métodos de ensayo

- 1.1. Los métodos de ensayo como las especificaciones deben referirse a productos terminados, es decir, al cemento y no a productos en fase intermedia de proceso como es el clínker.
- 1.2. Todo intento encaminado en tratar de dar con un procedimiento o método de laboratorio que permita determinar con cierta anticipación la aptitud del cemento a un medio agresivo, se impone. No obstante, y persuadidos de la dificultad que el mismo encierra, persiguiendo el que tuviera una proyección general, aun cuando menos ambiciosa, nos conformaríamos que tuviera una aplicación más específica y acorde con el medio agresivo. En este sentido propugnamos el Merriman modificado por García de Paredes con sulfato sódico, para los resistentes al agua de mar y el de Anstett para aguas selenitosas.
- 1.3. Deberá estudiarse la posibilidad de dar entrada a métodos científicos modernos para el cálculo de la composición mineralógica de los cementos, basados en el instrumental científico que actualmente se dispone y, más aún, cuando como ahora se es-

tablecen limitaciones en su composición mineralógica. Además de que es muy lamentable que ante deficiencias determinadas y reconocidas, se basen precisamente en éstas unas especificaciones que por su inexactitud y falsa interpretación puede significar la eliminación de cementos de calidad reconocida.

2.º Medio ambiente

- 2.1. Requiere se establezca una especificación concreta acerca del particular, procurando sean considerados todos los medios que con un carácter más práctico se prodigan más, indicando en cada uno de ellos, si es posible, el límite máximo a partir del cual no es recomendable el empleo del cemento.
- 2.2. Deberá eludirse de que aquélla abarque de una forma exhaustiva todos los productos de orden químico mineral y orgánico, por considerar harto suficiente que éstos queden referidos a: agua de mar, terrenos y aguas selenitosas, sulfatadas y puras.

3.º Cementos

- 3.1. Llevados de una mentalidad simplista, pero eminentemente práctica, se impone la facilitación, por parte del fabricante, de una información y documentación acorde y con arreglo a las posibilidades que ofrecen los cementos que actualmente se fabrican con relación a su posterior aplicación.
- 3.2. En este sentido deberán considerarse en su más amplio concepto a los cementos puzolánicos, y a los de escorias como verdaderos cementos resistentes a medios agresivos y, sobre todo, después de haber acreditado en más de una ocasión su resistencia al agua de mar y selenitosas, sin haber tenido que recurrir a la fabricación de clínkeres especiales.
- 3.3. Es fundamental que a los cementos portland, además de las limitaciones del AC_3 en 8 y 5 % y, en especial a éste último, se le fije un máximo de 40 % en SC_3 y en 20 % la suma de AC_3 y AFC_4 .
- 3.4. Independientemente de su resistencia química, que es su característica predominante, no deberán omitirse sus resistencias mecánicas, debiendo cumplir con un mínimo de 350 kp/cm² a los 28 días.

4.º Hormigones

Estando como estamos persuadidos de que gran parte de la durabilidad de un hormigón, e independientemente de la calidad del cemento, influye de una forma patente su edad, mejor dicho la impermeabilidad y resistencia mecánica en el momento que se produce la toma de contacto con el medio agresivo, como en el transcurso de su posterior convivencia, nos induce a que debamos considerar dos vertientes:

- 4.1. *Cuando el hormigón se realiza "in situ".*—En este caso como la toma de contacto es inmediato, requiere se adopten todas las medidas preventivas que están dictadas en cuanto al particular: encofrados estancos —independientemente de que éstos se consideren recuperables o perdidos—, empleo de un cemento especial e idóneo, se trabaje con una dosificación mínima de cemento de 400 kp/cm², los áridos tengan

una granulometría convenientemente estudiada, como todo lo relativo, y que figura, en el ABC del buen hormigón: relación agua/cemento inferior al 0,5, de que sea vibrado, así como que sea debidamente curado.

- 4.2. *Para aquel caso que se traten de prefabricados.*—Ante la diversidad existente aún dentro de las obras marítimas —escolleras, rompeolas, muelles de un puerto protegido, etc.— permite que en algunos casos pueda emplearse un portland normal, es decir, de que su calidad sea resistente al agua de mar, no es un requisito riguroso a cumplir; en cambio de lo que no se podrá eludir es de que se cumplan con todo lo relativo a la buena práctica y ejecución del hormigón y que ha sido expuesto en el apartado anterior.

Y no quisiéramos terminar sin antes expresar todo nuestro reconocimiento y agradecimiento a todas aquellas personas que nos han autorizado, como contribuido y colaborado en la ejecución de este trabajo que acabo de presentarles. Asimismo a todos los aquí reunidos nuestro agradecimiento por la atención dispensada. Muchas gracias.

BIBLIOGRAFIA

- GARCIA DE PAREDES.: Durabilidad del hormigón. Interpretaciones actuales de sus causas físico-químicas. Monografía n.º 232 del I.E.T.c.c.
- GARCIA DE PAREDES.: Inalterabilidad de los conglomerantes frente al ataque de los sulfatos. Comparación de métodos para apreciarla. Cuadernos de investigación I.E.T.c.c. n.ºs 12 y 13.
- CLERET DE LANGAVANT.: El cemento de escorias.
- J. GENONCEAUX.: Los cementos de escorias.
- P. DUMESNIL.: Estudio sobre los cementos portland metalúrgicos.
- P. DUMESNIL.: Los cementos a base de escorias granuladas de alto horno.
- CENTRO DE INFORMACION DE LA INDUSTRIA CEMENTERA BELGA.: Los cementos metalúrgicos.
- CILAM.: La resistencia de los cementos de escorias al agua de mar. Information, sem. 71.
- J. BROCARD.: Patología de la construcción. La acción de las aguas corrosivas sobre los hormigones.
- BONZEL.: Protección del hormigón en aguas agresivas. Principios y procedimientos. Rev. Mat. (1964).
- R. BERTRAND.: Bloques de la estación de Martigues: ejemplo de un ataque por el agua de mar de una obra de hormigón con fenómenos de expansión. Rev. Mat. (1964).
- H. KUHL.: Los cementos en el agua de mar (descomposición química de los hormigones). Rev. Mat. (1938).
- INEDITO.: Algunos aspectos de la corrosión biológica de los morteros y hormigones. Rev. Mat. (1956).
- L. BLONDIAU.: Los cementos destinados al mar deben satisfacer al ensayo de resistencia química al agua sulfatada siguiendo el proceso de Le Chatelier-Anstett?. Rev. Mat. (1935).
- P. DUMESNIL.: Nuevos ensayos sobre los cementos destinados a los trabajos del mar. Rev. Mat. (1937).
- M. NADU.: La influencia de la clase de catión de las sales contenidas en las aguas sulfatadas sobre la agresividad de estas aguas que rodean el hormigón.
- CEMBUREAU.: Cementos portland y derivados (1968).
- P. PALOMAR.: Aglomerados de hormigón hidráulico.
- EDICIONES GARRIGA.: Enciclopedia general del mar.
- J. CALLEJA y P. GARCIA DE PAREDES.: Sobre los métodos para el estudio de la durabilidad de los conglomerantes hidráulicos. Ult. Avances (1970).
- F. SORIA SANTAMARIA.: Contribución al estudio de los cementos portland resistentes a los sulfatos. Libro del I.E.T.c.c.