

La respuesta de la industria cementera a los problemas económicos y técnicos actuales*

PIERRE-LOUIS LAFITE
 Director de la Industria del Cemento
 (Asociación Europea de Industrias del Cemento)

Señor Presidente, Excelencia, Señores Ministros, Señoras y Señores:

Al comienzo de esta conferencia que tengo el honor de pronunciar ante ustedes, quisiera que valorasen la importancia que adquiere este Coloquio en las circunstancias actuales.

Ante todo conviene recordar, aunque ello sea bien sabido, que el cemento en forma de mortero y de hormigón se ha impuesto en el transcurso del siglo XX como primer material de construcción, por la sencilla razón de que recurre para su fabricación a materias primas abundantes y relativamente baratas, tanto si se trata de productos naturales que afloran a la superficie terrestre (1)**** como de subproductos industriales resultantes de la fabricación de otros materiales.

Para ilustrar lo dicho, véase cómo han evolucionado la producción y el consumo del cemento: la figura 1 muestra el desarrollo de la producción de cemento entre 1913 y 1979 en cada continente y en la Unión Económica Belgo-Luxemburguesa (UEBL).

* 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.

Traducción y comentarios, con la autorización del autor, por el Prof. Dr. José CALLEJA, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Instituto "Eduardo Torroja" de la Construcción y del Cemento), Madrid, España: Véase el trabajo "Apostillas..." a continuación de éste en este mismo número.

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

*** Adviértase que, en su condición de tal, el autor se refiere en este trabajo a puntos de vista de toda la Industria Europea (Occidental) del Cemento, representada en el CEMBUREAU a través de todas y cada una de las industrias cementeras nacionales de los países miembros, entre las cuales ocupa un lugar muy destacado —el cuarto en orden de capacidad de producción— la Industria Española del Cemento.

Los subrayados del texto son del traductor.

**** Las sucesivas llamadas como la precedente se refieren a los correspondientes puntos del trabajo de J. CALLEJA "Apostillas..." que se publica a continuación del presente en este mismo número.

En dicho trabajo se amplían, matizan y comentan por parte de su autor aspectos que se consideran de interés para las Industrias del Cemento y de la Construcción, así como también para la Administración españolas.

Se aprecia, sobre todo a escala mundial, cuán prodigioso ha sido el desarrollo y cómo continúa según una progresión geométrica, ya que la producción de 1913 se vio multiplicada por 3,4 en 1950, por 14,9 en 1970 y por 21,4 en 1979 (2). Si se da crédito a la estimación adelantada en el reciente Congreso Internacional de la Química del Cemento, de 1.500 millones de toneladas en el año 2000, el factor de multiplicación llegaría a ser de 40 en ese momento.

No obstante, hay que tener en cuenta el crecimiento simultáneo de la población mundial, la cual ha pasado de 1,6 miles de millones en 1913 a 4,4 mil millones en 1979, y que llegará a ser de 6,3 miles de millones en el año 2000. En otros términos, el consumo por habitante no se habría multiplicado más que por 10 entre los años 1913 y 2000 (3).

Evidentemente no todos los continentes han conocido el mismo ritmo de expansión de la producción de cemento, tal como indica la figura 2, la cual muestra la parte porcentual de cada continente a lo largo de los años. Como cabría esperar, la importancia relativa de los continentes más avanzados en desarrollo, como Europa Occidental y Norteamérica, ha disminuido a favor de África y, sobre todo, de Asia.

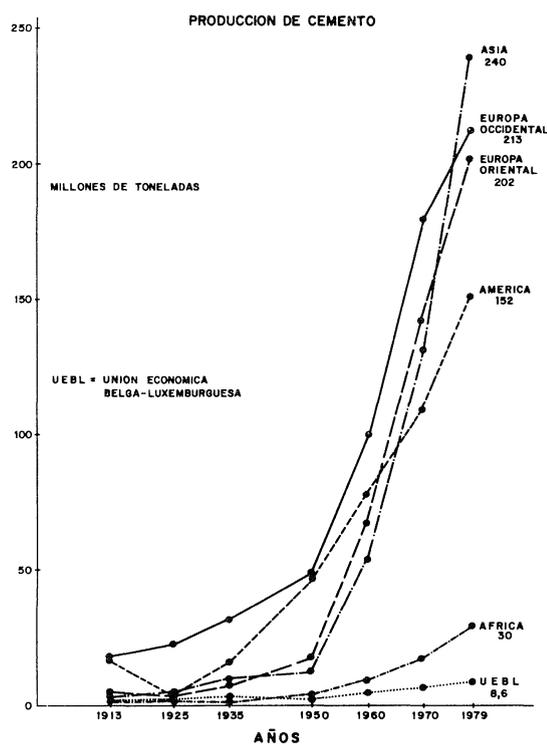


Fig. 1

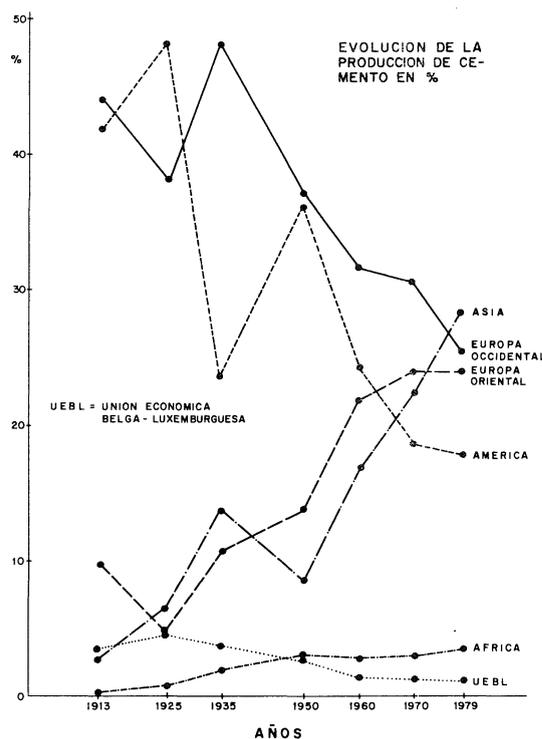


Fig. 2

En términos del consumo expresado en kilogramos por habitante es interesante seguir su evolución desde 1973, esto es, desde el comienzo de la crisis de la energía (3). Del resultado de tal seguimiento para cada continente o parte característica de un continente se deduce:

- i) por un lado, que el nivel de consumo en 1979 manifiesta diferencias que van de 1 (50 kg) a 10 (500 kg) por habitante;
- ii) y, por otro lado, que la relación de los consumos en 1979 y 1973 lógicamente presenta un retroceso que apenas rebasa el 10 por ciento en las regiones más industrializadas, y un avance espectacular en otras regiones, el cual llega al 250 por ciento en los países árabes productores de petróleo.

La importancia de este Coloquio no va solamente unida al desarrollo del consumo de cemento en el mundo, sino también y sobre todo al hecho de que dicho Coloquio concierne a uno de los mayores problemas con los que debe enfrentarse la industria del cemento hoy (4).

Veamos cuáles son estos problemas y qué lugar ocupa en ellos el Coloquio de Mons.

Desde hace algunos años hay dos palabras que aparecen sin cesar y que condicionan cada vez más la política de la industria en general: se trata de la *energía* y de la *ecología*, ligadas con una tercera palabra fonéticamente próxima a ellas, a saber, la *economía*.

Sin embargo, hay que señalar que la industria cementera no ha esperado a la crisis de la energía ni a la crisis económica general que conocemos, para racionalizar sus equipos de producción y reducir al máximo sus costos de fabricación. Ello se ha traducido en todos los países, sobre todo al cabo de un cuarto de siglo, en un esfuerzo notable de concentración industrial caracterizada por una reducción del número de centros de producción.

Y es así como en Bélgica el número de fábricas productoras de cemento portland ha pasado de 28 en 1925 a 21 en 1955 y a 8 en la actualidad. Cítese a título de otro ejemplo que la capacidad de producción de una fábrica de cemento ha aumentado en los Estados Unidos de 165.000 toneladas en 1910 a 335.000 toneladas en 1950 y a 563.000 toneladas en 1975 (figura 3).

Examinemos ahora más de cerca las evoluciones más recientes, a las cuales la industria cementera ha debido adaptarse, particularmente después de la crisis de la energía. Este examen se hará primero dentro del marco de la fabricación del cemento portland clásico, o mejor, del clínker, y después en el cuadro de los otros tipos de cemento.

Clínker y cemento portland

Es sabido que en la fabricación de cemento cerca de la mitad del costo de producción es debida al consumo de energía, como muestra el cuadro 1. Por ello se ha tomado ya, o está en vías de ser tomado, un cierto número de medidas que tienen por objeto, bien sea reducir el consumo de energía necesaria para la cocción del clínker, o bien utilizar combustibles más ventajosos, cuyas condiciones de abastecimiento sean menos aleatorias.

La primera de estas medidas consiste en modificar el proceso de cocción pasando, siempre que sea posible, de la vía húmeda a la vía seca, sensiblemente menos ávida de energía. Esta conversión se halla en curso de realización en todos los países, si bien en proporciones variables, según la naturaleza de las materias primas disponibles, por una parte, y por otra según las condiciones de suministro de energía (5). A título de ejemplo, Alemania y Japón casi han dado fin a esta conversión, como atestigua el cuadro 2, el cual indica los porcentajes de clínker fabricado por uno y otro proceso. Por el contrario, se aprecia que los Estados Unidos tienen aún un largo camino que recorrer (6).

EVOLUCION DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LAS FABRICAS EN LOS ESTADOS UNIDOS

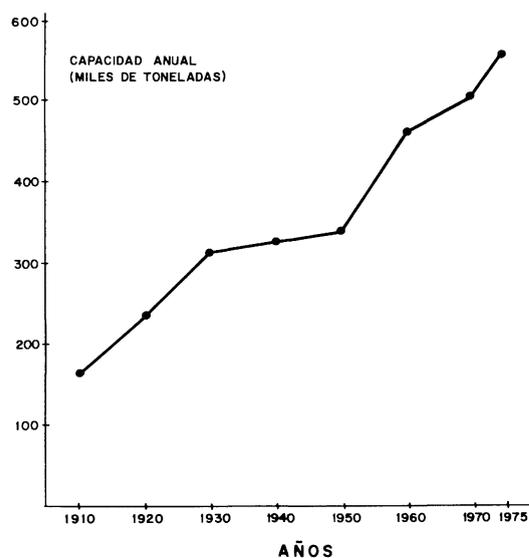


Fig. 3

No obstante, cuando la vía húmeda es el único procedimiento aplicable, aún es posible un ahorro de energía reduciendo el contenido de agua de la pasta cruda, bien sea por vía química incorporando aditivos adecuados, o bien por vía física, extrayendo el exceso de agua.

Por otra parte, en el proceso de vía seca se han hecho grandes progresos instalando delante del horno equipos complementarios, cada vez más perfeccionados, los cuales están destinados a recuperar el máximo de calorías disponibles para precalentar o incluso para descarboxar el polvo crudo, cuya cocción se lleva a cabo en un horno de menor longitud. A este respecto el Japón es uno de los países que más ha entrado por este camino, como lo pone de manifiesto el cuadro 3 (7).

C U A D R O 1

*Costos de Producción de Cemento
en los Países del CEMBUREAU
en tantos por ciento*

Energía para el horno	34
Electricidad	10
Energía total	44
Salarios	19
Costos del capital	18
Materias primas	19
TOTAL GENERAL	100

C U A D R O 2

*Fabricación de clínker por vía húmeda
y seca
en tanto por ciento*

Países	% de cocción por vía		
	Años	seca	húmeda
Alemania	1972	6	90
	1978	3	95
Japón	1963	33,2	66,8
	1972	19,5	80,5
Estados Unidos	1979	1,4	98,6
	1979	52,9	40,6

C U A D R O 3

*Proporción de hornos japoneses,
en %, equipados con*

Año	Precalentador	Precalentador con calcinador
1963	2,9	—
1973	40,3	9,5
1979	20,5	62,9

Otra consecuencia de la crisis de la energía, y más concretamente de la de los combustibles, es el paso o retorno progresivo al carbón para la alimentación de los hornos. Esta solución marcha bien ahora y se va a acelerar en los años próximos.

El diagrama de la figura 4, extraído de un estudio hecho para la OCDE, ilustra de una forma impresionante esta evolución entre 1973, hoy y el final del siglo (8).

Todo este esfuerzo realizado por la industria del cemento se ha traducido evidentemente en una reducción ya apreciable de la cantidad de energía consumida en la cocción del clínker, tal como se puede apreciar en la figura 5, extraída del ya citado estudio para la OCDE (7).

**% DE CONSUMO
EN HORNOS DE CLINKERIZACION**

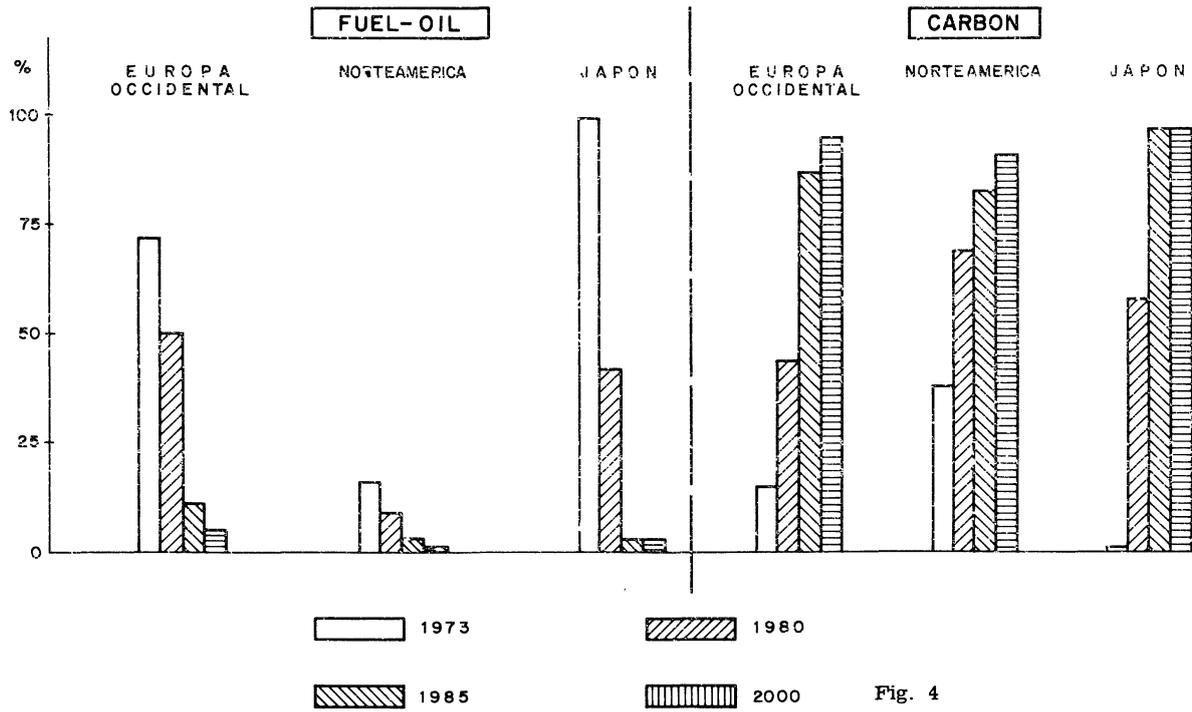


Fig. 4

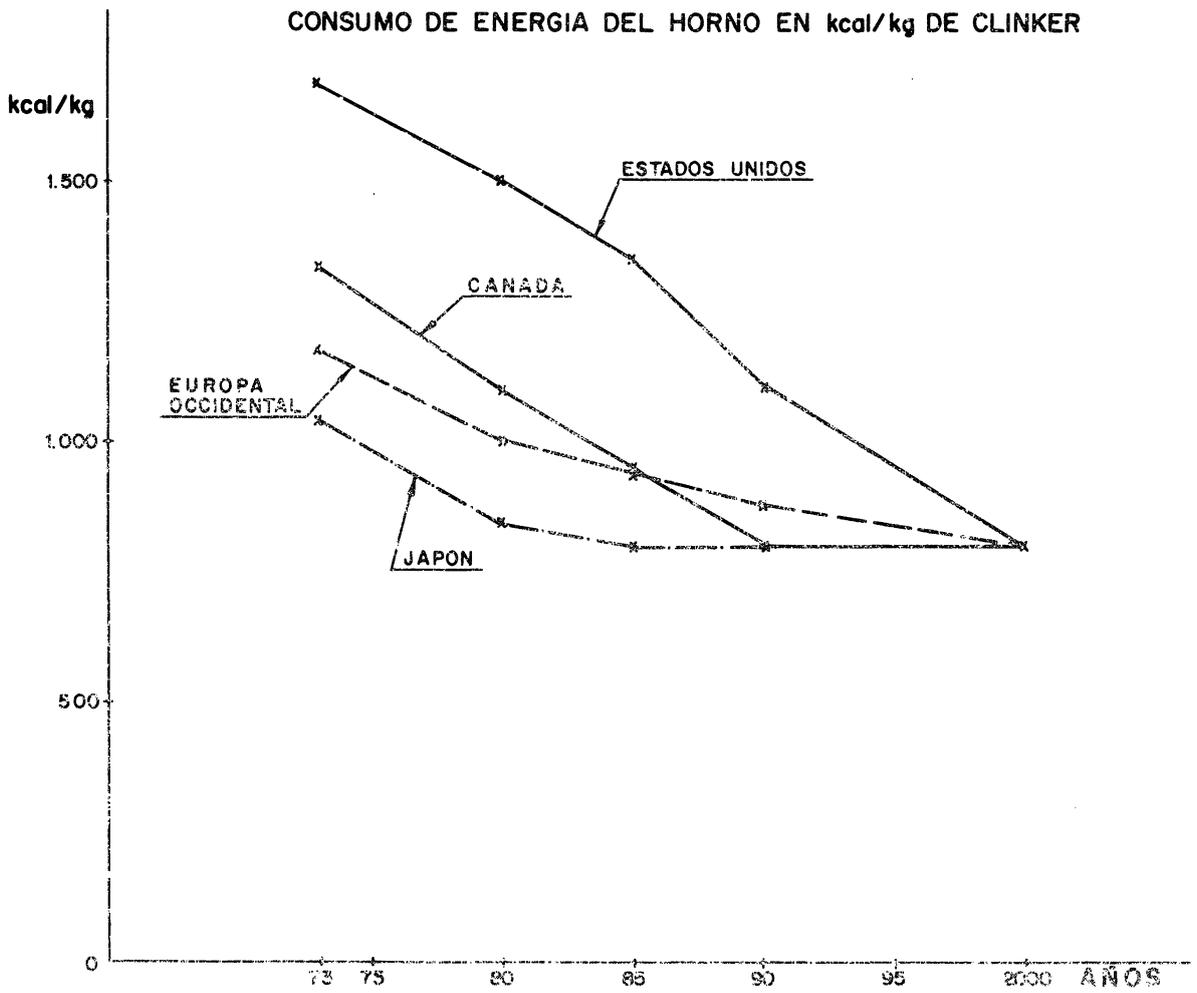


Fig. 5

Se ve que la ganancia es ya apreciable, puesto que se sitúa desde ahora alrededor de 10 a 15 por ciento, y se ampliará en el próximo decenio.

Con visión a más largo plazo se han emprendido trabajos de investigación para la puesta a punto de técnicas de fabricación menos tradicionales y que requieren menos energía. Se cita a este respecto la adición a las materias primas de mineralizadores tales como el cloruro (fluoruro) cálcico, que permiten rebajar en 100 a 150°C la temperatura de cocción. Con una visión aún más prospectiva se evoca la fabricación de silicato bicálcico, que no exige sino una temperatura de 700°C, o incluso la fusión en un horno eléctrico (9).

Otro dominio explorado es el del proceso de molienda del clínker; el sistema actual de los molinos de bolas da en realidad un balance energético deplorable .

Otros cementos

Otra posibilidad de ahorro de energía que nos hace entrar en lo más sensible del tema consiste en actuar sobre la composición del cemento, reemplazando una parte de clínker, cuya fabricación consume muchas calorías, por otros productos que tienen propiedades semejantes, pero que se encuentran tal y como son, sin necesidad de someterlos a un tratamiento térmico suplementario. Se trata frecuentemente de subproductos industriales que han sido elaborados a alta temperatura para fabricar la fundición —como la escoria de horno alto—, o para la producción de energía eléctrica en las centrales térmicas —como es el caso de la ceniza volante— (10). El empleo de escorias o de cenizas volantes responde al propio tiempo a preocupaciones de carácter ecológico, ya que así se reciclan desechos que no es necesario almacenar en la naturaleza (11).

También puede tratarse de materiales naturales que asimismo han sido elaborados a alta temperatura, si bien como consecuencia de fenómenos naturales; son las puzolanas de origen volcánico, disponibles con abundancia, principalmente en la región mediterránea (12).

Lógicamente en todos estos constituyentes del cemento se encuentran los mismos óxidos que en los del clínker (1), si bien en proporciones diferentes; son menos ricos en cal, aunque ésta la encuentran después en el clínker, al reaccionar unos y otros en presencia de agua (13).

Añádase, sobre todo, que estos cementos compuestos no deben ser considerados como un mal menor; *no son productos de segunda clase*, sino cementos aptos para fabricar *hormigones de estructuras durables* (14).

Por otra parte, la industria cementera no ha esperado a la crisis de la energía para producir tales cementos. Se puede decir que la fabricación de los cementos metalúrgicos* constituidos por clínker y escoria ha comenzado hace por lo menos 50 años en Francia y Alemania, así como en el Benelux, mientras que los cementos portland con cenizas volantes aparecieron en Francia hace un cuarto de siglo. Sin embargo, bajo la presión del aumento del costo de la caloría la producción de estos cementos compuestos adquiere una actualidad muy particular (15). Para fijar ideas véase en el cuadro 4 el orden de magnitud del ahorro de energía que comporta la adición de diversas proporciones de escoria al cemento.

Con el fin de suprimir toda traba de carácter reglamentario a la producción de estos cementos, se prevé en las normas nacionales e internacionales una nomenclatura de los

* Son los llamados —se cree que por ahora con mayor propiedad— *siderúrgicos*, en las sucesivas normas españolas.

mismos que permite cubrir todas las composiciones posibles. Véase a este respecto en el cuadro 5 cómo se presenta el proyecto de Norma Europea, en vías de preparación en el Comité Técnico TC-51: CEMENTO, del Comité Europeo de Normalización CEN.

CUADRO 4

*Ahorro de Energía
por Adición de Escoria al Cemento*

Clinker %	Escoria %	Energía necesaria %
100	0	100
80	20	88
70	30	82
50	50	71

CUADRO 5

Proyecto de Nomenclatura de los Cementos Europeos

Denominaciones	Proporciones en %			
	Clinker	Escoria	Puzolana	Adiciones
Portland	95-100	—	—	0-5
Portland Compuesto	65-90	10-30	—	0-5
		—	10-30	0-5
		(10 - 35)		
De Horno Alto	20-64	36-75	—	0-5
Puzolánico	≥ 60	—	≤ 40	—

Hay que aclarar que la palabra “puzolana” utilizada en el cuadro 5 comprende tanto a las puzolanas naturales como a las cenizas volantes. Además, por “adición” hay que entender, aparte de la escoria y de la puzolana, materias químicamente inertes, tales como los fillers de rocas adecuadas, generalmente de origen calizo (16). Estos fillers pueden desempeñar un papel físico, por ejemplo mejorando la trabajabilidad de los hormigones frescos (17), sirviendo además de algún modo como carga de clínkeres muy activos que, si cabe decirlo, son “calmados” de este modo (18).

Se apreciará en el cuadro 5 que los valores indicados para la tercera sub-categoría de los cementos portland compuestos están entre paréntesis. De hecho se está llevando a cabo un estudio sobre estos cementos en diversos laboratorios de la industria cementera europea, cuyo objetivo es llegar a formular proposiciones para la elección de los fillers apropiados y de sus proporciones admisibles (19).

Visto el impacto que representa la incorporación de estos distintos constituyentes a los cementos sobre los ahorros de energía, se ha procedido, para la Agencia Internacional de la Energía de la OCDE, a una encuesta acerca de las perspectivas en materia de evolución de la composición de los cementos, desde ahora hasta el año 2000, y los resultados, que naturalmente no son más que indicativos, se resumen en el cuadro 6.

Este cuadro suscita algunos comentarios:

- i) en primer lugar se observa la medida en que la industria europea ha tomado la delantera a los otros grandes productores. Si bien la situación es muy diferente entre los diversos países miembros del CEMBUREAU, se puede decir que ya desde ahora los cementos portland compuestos, los cementos de horno alto y los cementos puzolánicos representan la mitad de la producción del conjunto de Europa (20).
- ii) el camino a recorrer desde aquí al año 2000 es todavía importante y es preciso percatarse de que, habida cuenta de las proporciones máximas de adiciones técnicamente admisibles (del orden de un tercio para las puzolanas y de dos tercios para la escoria), los cementos compuestos representarán progresivamente los tres cuartos y aún

hasta los cuatro quintos de la producción, y que desde entonces los cementos portland puros se convertirán en cementos especiales reservados para casos de empleos muy particulares en los que se exijan prestaciones excepcionales (21).

Todo cuanto queda expuesto sobre los ahorros de energía en la producción de clínker y sobre el desarrollo de los cementos compuestos permite hacer una estimación de la evolución de las necesidades de energía, es decir, prácticamente de carbón, durante los dos decenios próximos, en función de la producción calculada de cemento (cuadro 7).

CUADRO 6

Proporción % de constituyentes distintos del clínker en los cementos

Países o Zonas	AÑOS			
	1980	1983	1990	2000
Europa Occidental (CEMBUREAU)	15	17	23	30
América del Norte	3	5	12	20
Japón	1	3	10	20
OCDE	9	11	16	25

CUADRO 7

Reducción global de las necesidades de energía

Año		1980	1990	2000
Producción de Cemento (10 ⁶) %		376 (100)	423 (112)	451 (120)
Consumo de Carbón	Global (10 ⁶) %	56,0 (100)	48,9 (87)	44,3 (79)
	Específico kg/t de cemento %	149 (100)	116 (78)	98 (66)

Se ve que, a pesar de un aumento de producción del 20 por ciento, el consumo de carbón debe disminuir en otro 20 por ciento, lo cual representa un ahorro de un tercio de la energía necesaria por tonelada de cemento. Si todos los sectores industriales pudiesen conseguir un logro semejante, la crisis de la energía estaría en vías de ser dominada (22).

* * *

Después de la exposición precedente, de carácter técnico-económico, sobre las disposiciones adoptadas por la industria cementera para optimizar su producción desde puntos de vista económicos y ecológicos, yo quisiera completar esta introducción al Coloquio con algunas reflexiones y consideraciones que atañen más directamente a la finalidad de los trabajos del mismo.

Si este Coloquio ha tenido un eco tan favorable, a juzgar por el número de trabajos presentados y por la importancia de la participación al mismo, es porque se celebra con toda oportunidad.

Creo haber mostrado que asistimos al comienzo de lo que se puede llamar sin exageración una "revolución" técnica, puesto que en los años venideros el cemento portland puro (21) no será ya el conglomerante hidráulico utilizado en la mayoría de los hormigones estructurales, sino que será reemplazado por un cierto número de cementos compuestos, cuya composición dependerá de los constituyentes disponibles en una relativa proximidad de las fábricas de cemento (22).

Es pues imperativo que estas materias, lo más frecuentemente subproductos industriales,

presenten un mínimo de cualidades para garantizar las prestaciones de los futuros cementos en los morteros y hormigones del mañana (23).

A este respecto el informe ya citado, preparado para la OCDE, formula la siguiente recomendación en provecho de los gobiernos y de las industrias afectadas:

“Si se lleva a cabo una política concertada por parte de las autoridades nacionales y por los sectores industriales del cemento, del acero y de la energía, la utilización de escoria y de cenizas volantes en el cemento continuará desarrollándose en gran medida hasta el año 2000. En el marco de un tal concierto cada sector industrial tiene un importante papel que desempeñar. En este contexto corresponde a los productores de acero, por lo que se refiere a la escoria, y a los de electricidad, por lo que atañe a las cenizas, asegurar para estos materiales el nivel de calidad requerido. La tarea de la industria cementera, en lo que le concierne, es producir con estas materias, recurriendo a sus equipos sólidamente preparados, cementos homogéneos, cuya regularidad y nivel de calidad a plazos corto y largo garanticen al usuario final la fabricación de hormigones durables” (23).

Esta larga cita constituye todo un programa, y es útil desarrollar la parte del mismo que incumbe a la industria cementera. Yo quisiera a este respecto exponer muy claramente y muy objetivamente los puntos de vista de la industria cementera. Esta considera que por tal debe entenderse precisa y únicamente el *productor de cemento*. En otras palabras, la fabricación de cementos compuestos es su cometido *en exclusiva*, ya que estima que existen *diferencias fundamentales* entre el cemento compuesto que sale de su fábrica y la mezcla de cemento portland con otros constituyentes realizada en hormigonera.

La primera justificación de esta postura va ligada al nivel de desarrollo del proceso industrial de fabricación. Mientras que en una fábrica de cemento el tratamiento y la homogeneización de las materias utilizadas se efectúan sobre grandes masas, y por consiguiente con posibilidades de corrección y ajuste, en una hormigonera cada mezcla es tratada individualmente, sin tales posibilidades (24).

El segundo elemento a tener en cuenta es el *control* del resultado de la mezcla. El cemento compuesto ha sido sometido, antes de abandonar la fábrica, a todos los *controles de fabricación*, así como después al de *conformidad con las normas*, lo cual evidentemente *no es posible en obra*, puesto que la mezcla se hace en la hormigonera y la puesta en obra es inmediata (25).

Un tercer aspecto de naturaleza más científica, y que concierne a los trabajos presentados a este Coloquio, es que la fabricación de un cemento compuesto no requiere sólo la realización de una mezcla homogénea, sino que exige también que se estudien las condiciones óptimas de la misma en función de la naturaleza y características de los constituyentes (26).

Basta recorrer la lista de los trabajos que se presentarán y discutirán aquí para darse cuenta de que si la fisicoquímica del clínker portland ya es de por sí compleja, la de los cementos compuestos lo es todavía más.

Fabricar un cemento compuesto no le es dado a cualquiera; se trata de estudiar el modo de asegurar la mejor compatibilidad entre los constituyentes que se van a mezclar, primero desde un punto de vista físico, ya que la combinación de las curvas granulométricas de dichos constituyentes influye en la reología de la pasta y particularmente en su exigencia de agua (27). Esta compatibilidad actúa con mayor motivo desde el punto de vista químico, tanto si se trata de los respectivos contenidos en sulfatos, en álcalis, de su influencia sobre los fenómenos de rigidización y de fraguado, o incluso de reacciones con

los aditivos... Yo carezco de competencia para profundizar en estas cuestiones, y tampoco es éste el momento de hacerlo, pero era preciso evocarlas.

* * *

¿Qué hacer destacar de todo lo que precede a guisa de conclusión? Lo siguiente:

- i) este Coloquio viene a su debido tiempo y las enseñanzas que se deriven de él encontrarán aplicación directa en la industria;
- ii) aguarda a todos una tarea importante y extensa, porque el ahondamiento en nuestros conocimientos sobre los cementos compuestos debe ir a la par del desarrollo de sus empleos (28). Esto no solamente concierne a los productos ya tradicionales, como las escorias de horno alto y las cenizas volantes, sino también a otros más nuevos, como las escorias procedentes de la fabricación de acero o de otros metales, los fillers, etc. (29).
- iii) si el progreso de los conocimientos acerca de la hidratación y el desarrollo de las resistencias de los cementos compuestos es necesario, yo pienso que también es preciso volcarse en el estudio de los hormigones que son o serán fabricados con los cementos compuestos. Por tal entendemos, ante todo, el examen de su comportamiento a largo plazo; más concretamente, la composición de las pastas de cementos compuestos que debe asegurar, en particular, la protección de las armaduras, es diferente de la de los cementos portland desde el punto de vista de la porosidad, la accesibilidad a los gases y fluidos, y la carbonatación.

Cómo actuar sobre estos fenómenos y cómo medirlos, son cuestiones que exigen una respuesta más completa que la que tenemos a nuestra disposición hoy día.

Porque el mejor medio de economizar energía, así como por otra parte el dinero de la comunidad, es construir obras durables (30).

Gracias.