

Impresiones acerca de los centros de investigación y de la industria de la Unión Soviética en el campo del cemento

Prof. Dr. JOSE CALLEJA

I.E.T.c.c.

0. Introducción

Con motivo de la asistencia y participación en el VI Congreso Internacional sobre Química del Cemento, celebrado en Moscú en septiembre de 1974 (1) el autor de este trabajo ha tenido ocasión de visitar Institutos, Laboratorios y Organismos de Investigación relacionados con la técnica y la tecnología de la fabricación y de la utilización del cemento. En lo que sigue da cuenta de la información y de las impresiones recibidas con ocasión de tales visitas.

1. La Investigación y la Ciencia en la Unión Soviética

Se puede decir que hay tres formas de Ciencia en la Unión Soviética. Una es la ciencia gubernamental o estatal, representada por Institutos y Centros pertenecientes a la Academia de Ciencias de la URSS. Otra es la de los Institutos pertenecientes a los Ministerios Técnicos, que son financiados por la Industria y que suponen centros de investigación encuadrados en las instituciones de enseñanza superior. Y otra es la de los Institutos unidos a la Industria, o dependientes directamente de ella, pero de una forma mixta y combinada en que se contemplan en paralelo aspectos de ciencia y técnica.

Entre los pertenecientes a la Academia de Ciencias de la URSS figura el Instituto de Química de Silicatos, de Leningrado, centro de investigación tradicional y mundialmente conocido.

Entre los pertenecientes a la Industria o relacionados de una u otra forma con ella, están el Instituto Estatal de la URSS "Yuzgiprotsement" para Proyectos e Investigación, de Jarkov, y el Instituto "Giprotsement" de Ciencia e Investigación, de Leningrado.

De todos ellos se da breve noticia en lo que sigue.

2. El Instituto de Química de Silicatos de Leningrado

En el año 1955, con motivo de celebrarse en Madrid el XXVIII Congreso Internacional de Química Industrial, asistió al mismo el Prof. Dr. N. A. TOROPOV, Director a la sazón del Instituto de Química de Silicatos de Leningrado. Presentó entonces en la Sección 11

del Congreso "MATERIALES DE CONSTRUCCION: CEMENTOS, CALES, YESOS, ET-CETERA", que presidía don Patricio PALOMAR COLLADO y de la que era Secretario el Dr. José CALLEJA, un trabajo en alemán, sobre los ferritoaluminatos cálcicos del cemento portland (2).

En tales circunstancias tuvo el autor de este trabajo ocasión de conocer y tratar al Prof. TOROPOV, y de adquirir noticias e información directa sobre el Instituto de Química de Silicatos de Leningrado. El Prof. TOROPOV murió en 1968, pocos meses antes de celebrarse el V Congreso Internacional sobre Química del Cemento en Tokyo, al que no pudo asistir. Nuestro recuerdo y homenaje, aquí y ahora al Prof. TOROPOV, figura mundialmente destacada en el campo de los silicatos y del cemento.

El Instituto, instalado en un viejo inmueble del siglo XIX situado en la isla Vassilievski, la mayor del Neva en Leningrado, pertenece a la Academia de Ciencias de la Unión Soviética, desde 1948 en que fue fundado por el Prof. GREBENSCHIKOV, especialista en fisicoquímica del vidrio. Está dirigido por un profesor de Universidad y trata problemas relativos a la química y a la fisicoquímica de los silicatos en general, en lo que concierne al estudio de sus estructuras, de sus equilibrios heterogéneos y su termodinámica, y de los procesos en interfases, con énfasis especial en los electrodos de vidrio; a la síntesis de especies policristalinas; y a la separación de disoluciones sólidas, y de fases.

Dirige el Laboratorio de Fisicoquímica el Prof. Dr. O. P. MCHEDLOV-PETROSYAN, Secretario General del VI Congreso Internacional de Química del Cemento, en Moscú y 1974 (1).

En cuanto al vidrio, investiga sobre las materias primas del mismo y sobre los procesos de vitrificación. En el campo del cemento estudia los elementos minoritarios de su composición, así como los óxidos de las tierras raras, cubriendo un amplio campo. Con miras a satisfacer necesidades en el dominio de la electrónica, investiga sobre silicatos y germanatos, procediendo a la síntesis de monocristales de diversos compuestos de las respectivas familias. También en el terreno de los materiales refractarios se ocupa de la cristalquímica de los silicatos, y para el futuro tiene previsto el estudio de otros sistemas análogos, en colaboración con fábricas y otros institutos, a fin de resolver problemas de la industria de dichos materiales. Esto en cuanto a directrices generales de marcha del Instituto.

En lo que respecta a las investigaciones sobre los silicatos y germanatos de elementos de las tierras raras (lantánidos), que entran más de lleno en el campo del cemento, el Instituto persigue el conocimiento de las estructuras de los respectivos monocristales en sus versiones de ortocompuestos y pirocompuestos, y también de sus grupos y formas de alta y baja temperatura, así como los tipos de coordinación y de enlace, en función del catión, en cada caso $[\text{SiO}_2(\text{Yb}, \text{Er}, \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Sm} \dots)_2]$. Con ello se pretende establecer el mecanismo de la transformación de fases.

Por espectroscopía molecular el Instituto estudia silicatos tanto inorgánicos como orgánicos en dos direcciones: de acuerdo con una, investiga sobre el análisis teórico de los campos de fuerzas en cristales complejos covalentes, o puramente iónicos, ya que la función potencial es un problema aún por resolver completamente; de conformidad con la otra, realiza estudios experimentales sobre estructuras estratificadas. Dentro del campo de la espectroscopía molecular el Instituto se ocupa también de las disoluciones sólidas de silicatos y germanatos, y de las especies organosilicatadas.

En lo referente a los estudios basados en la técnica de los monocristales, tales estudios tienen dos enfoques: uno, desde el punto de vista de la teoría de la cristalización; y otro, más importante, en la vertiente del establecimiento de diagramas de equilibrio. Investigan por estos caminos sobre aluminatos de calcio y estroncio, así como de elementos de las tierras raras, utilizando técnicas de vacío (del orden de 10^{-23} torr), y en nitrógeno lí-

quido, y con atmósfera de vapor de agua. Aportan de este modo nuevos conocimientos en relación con los aluminatos cálcicos, y llegan a establecer las condiciones de formación y existencia del $C_{12}A_7$ y del C_5A_3 , así como de la transformación del primero en el segundo en hornos de fábrica y de laboratorio, en función de las atmósferas reinantes en ellos.

En el laboratorio del Prof. TOROPOV, dentro del Instituto, se abordan estos mismos temas de los equilibrios heterogéneos y de la cristalquímica de las disoluciones sólidas de germanatos y silicatos en que intervienen óxidos de las tierras raras; de la cinética de la formación de los correspondientes compuestos; y de la síntesis de mono y policristales. Todo esto se hace a través de cinco grupos de trabajo. En lo que respecta al estudio de los minerales del cemento y de sus análogos, el correspondiente a los germanatos y a los silicatos ha puesto de relieve que los primeros son más complejos que los segundos, y que se presentan tanto en formas estables como metaestables. Y en cuanto a la cristalquímica del C_2S y del C_3S , la microscopía electrónica ha puesto asimismo de manifiesto formas y cambios de fases, y polimorfismos a alta temperatura, así como defectos de estructura en la superficie de los cristales del C_2S . En el campo de los compuestos hidratados la espectroscopía infrarroja y otras técnicas han permitido afinar en las estructuras de los hidratos, y en particular de la tobermorita. Igualmente han facilitado la interpretación de las reacciones del agua y de los puentes de hidrógeno en los silicatos hidratados.

El Instituto de Química de Silicatos de Leningrado no llama la atención, ni por su modernidad, ya que se trata de un edificio muy viejo, ni por el lujo o llamatividad de sus equipos e instalaciones, puesto que su vista y observación hace pensar más bien en la ciencia de la primera mitad del siglo presente; pero sí llama la atención, en cambio, por su potencial humano —unos 120 investigadores—, por la capacidad científica del mismo, por sus logros y, lo que es mucho más importante, por la orientación y directrices de trabajo, netamente proyectadas hacia metas del saber profundo y útil, y apoyadas en fundamentos de verdadera investigación. Da la sensación de que este Instituto persigue el conocimiento por el conocimiento mismo, cosa que sus miembros se preocupan de poner en claro con insistencia, pero ello no es óbice para que de los conocimientos básicos o teóricos “abstractos”, que logran, se saque después el fruto del aprovechamiento tecnológico y económico “concreto” correspondiente, que se manifiesta de modo práctico en realizaciones. Paradójicamente, este Instituto al menos, no persigue una meta técnico-económica, no ya a corto o medio plazo, sino ni siquiera medianamente definida a priori.

3. El Instituto Estatal de la URSS “YUZGIPROTSEMENT” para Investigación y Proyectos, de Jarkov

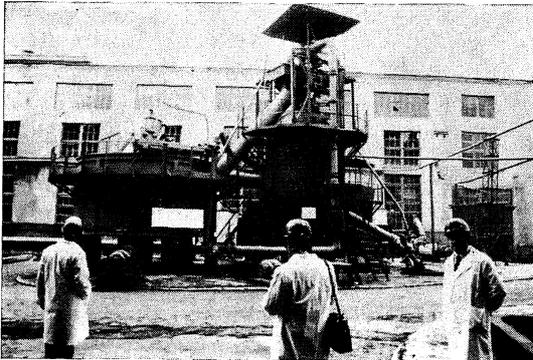
Este Instituto, con sede en Jarkov y dirigido por el Prof. Dr. Ing. V. I. SATARIN, se fundó en 1944 para proyectar fábricas modernas de cemento con gran capacidad de producción, teniendo en cuenta todos los datos, a partir de las materias primas disponibles en cada caso y lugar. Así se han construido, reconstruido o ampliado hasta 52 fábricas en la URSS y en el extranjero.

Como consecuencia de los estudios correspondientes, se han desarrollado nuevos procesos tecnológicos y equipos de gran capacidad, los cuales se han introducido en la práctica fabril.

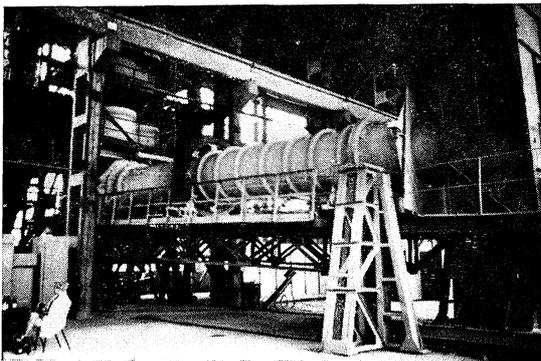
El Instituto mantiene relación con científicos y técnicos de las industrias del cemento de otros países.

En cuanto se refiere a los proyectos de fábricas, éstos se extienden a la vía seca y a la vía húmeda, y a fábricas con 2 a 6 líneas de proceso —hornos— y capacidades de producción de 1,25 a 3,75 millones de toneladas/año, y prevén ampliaciones.

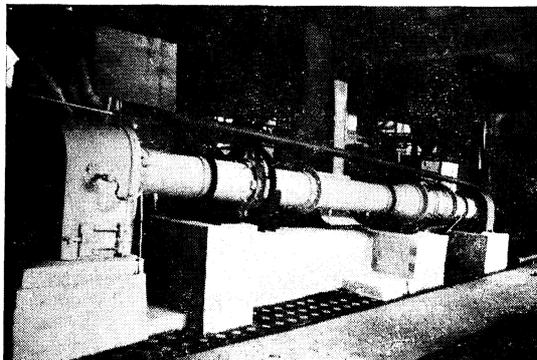
Se resuelve el problema del transporte de las materias primas de cantera a fábrica por medios hidráulicos —bombeo en suspensión— si son blandas, y mediante sistemas mecánicos si son duras.



Instituto «YUZGIPROTSEMENT» de Jarkov.
Instalación para el estudio de la fluidodinámica de las pastas crudas de cemento.



Instituto «YUZGIPROTSEMENT» de Jarkov.
Nave de hornos para clinkerizaciones especiales y estudios sobre el proceso de clinkerización.



Instituto «YUZGIPROTSEMENT» de Jarkov.
Horno piloto.

El tratamiento de estas materias primas se hace por métodos avanzados. En la vía húmeda con molinos rotatorios provistos de un rotor, o con molinos de tipo “hydrofall” y después con molinos de bolas. La corrección y homogeneización de la pastas se lleva a cabo según el principio de las balsas de material “alto” y “bajo”, para lo cual se proyectan balsas de pasta con capacidad de 6.000 a 8.000 m³, provistas de equipos de agitación.

En la vía seca las materias primas se prehomogeneizan en pilas. El secado y molienda del crudo se lleva a cabo en molinos, utilizando como agente de secado los gases de los ciclones precalentadores del horno. La homogeneización del crudo se hace en silos y por un sistema mejorado de mezclas.

La clinkerización se basa en hornos rotatorios con ciclones precalentadores en vía seca, de 5 × 75 m y 1.600 t/día, y de 7,6/6,4 × 95 m y 3.000 t/día; en vía húmeda se emplean hornos rotatorios de 5 × 185 m y 1.700 t/día. En 1973 el Instituto puso en marcha en la fábrica de cemento “BALAKLEYA” —Jarkov— un horno de vía húmeda de 7 × 230 m y 4.000 t/día.

La molienda del clínker se proyecta en molinos de 4 × 13,5 m y 100 t/hora, operando en circuito cerrado y con separadores centrífugos.

Los proyectos tienen también en cuenta la automatización, mediante la aplicación de cuantímetros, básculas alimentadoras automáticas para materiales aterronados o sueltos, o medidores electromagnéticos de flujo para pasta cruda. El control se hace por computadores desde la sala de control centralizado.

El Instituto posee una oficina de proyectos especiales, cuya misión es el gobierno de los procesos tecnológicos desarrollados y el ajuste y reconstrucción de los equipos en las fábricas en marcha.

Por lo que respecta a la investigación, las principales líneas del Instituto se orientan hacia: el estudio de la composición química y de las propiedades fisicomecánicas de las materias primas para poder recomendar pro-

cesos de producción y seleccionar equipos, de forma adecuada; el desarrollo de nuevos procedimientos y la puesta en práctica de nuevos equipos para extracción, tratamiento y transporte de materias primas; la introducción en la práctica de métodos para la intensificación compleja de la clinkerización, así como de parámetros térmicos y aerodinámicos óptimos para la marcha de hornos rotatorios de gran capacidad de producción; el desarrollo de nuevos procedimientos de clinkerización; la introducción de mejoras en la calidad del cemento y la creación de nuevos tipos de cemento; y el desarrollo de sistemas para el control automático del proceso de producción del cemento.

Se presta mucha atención a los adelantos y mejoras radicales en el tratamiento y transporte de materias primas, como se aprecia en lo que sigue:

El Instituto ha desarrollado y puesto en práctica molinos de rotor para la preparación de pasta cruda, así como un prototipo de instalación móvil para la extracción de materias primas blandas, preparación de la pasta y transporte de ésta por bombeo, a base de equipos excavadores industrializados, de los mencionados molinos de rotor y de las bombas correspondientes; todo ello montado sobre plataformas móviles mediante orugas. Por otra parte, se han establecido los parámetros tecnológicos para el tratamiento de diversos tipos de materiales en molinos autógenos tipo "hydrofall".

Asimismo el Instituto ha introducido en la práctica un proceso tecnológico para el tratamiento de materias primas duras con inclusiones plásticas, en molinos de barras. Se ha aumentado al doble la capacidad de producción de los molinos de vía húmeda, mediante hidrociclones clasificadores y separadores de la pasta cruda. Al mismo tiempo se ha elaborado un método continuo de corrección de la composición química de la pasta, y puesto en práctica un sistema automático de control de proceso para el tratamiento de materias primas.

En cuanto a la intensificación del proceso de clinkerización se refiere, el Instituto ha desarrollado: nuevas unidades intercambiadoras de calor y quemadores de gas natural; métodos para la eliminación parcial del agua de la pasta cruda; y un enfriador de clínker, de pequeño tamaño y gran rendimiento, con un lecho fluidificado de clínker sobre una parrilla vibrante, de modo que el material entra en el enfriador a 1.250°C y sale de él a 80-100°C. Se ha trabajado asimismo en la producción de clínker a temperaturas más bajas, y en la clinkerización en estado fluidificado.

El Instituto ha estudiado, resuelto y aplicado una instalación intercambiadora del calor de radiación de los hornos para disiparlo produciendo agua caliente y protegiendo al refractario, y en las regiones de clima cálido enfriando el agua mediante instalaciones de absorción, de bromuro de litio.

En cuestión de cementos el Instituto ha desarrollado la tecnología necesaria para producir nuevos tipos, y entre ellos los siguientes: portland de alta resistencia, portland siderúrgicos de endurecimiento rápido (eventualmente con mayor resistencia a los sulfatos), expansivos de endurecimiento rápido y otros. Asimismo ha investigado sobre la regulación de las propiedades mecánicas y estructurales de varios tipos de cementos portland siderúrgicos, mediante empleo de adiciones que permiten la intensificación del proceso de molienda, la mejora de las propiedades plásticas y el aumento de las resistencias.

Los nuevos tipos de cementos creados por el Instituto tienen las propiedades siguientes:

El cemento portland de alta resistencia, de categoría "600", da a 24 horas resistencias a compresión de 200-250 kp/cm². A igualdad de resistencia en hormigón, el empleo de cemento "600" supone un consumo 15-20 por ciento menor que si se emplea cemento "500"; y a igualdad de cemento en hormigón el empleo de cemento "600" en vez de "500" representa un aumento de resistencia del 20 por ciento.

El cemento portland siderúrgico de endurecimiento rápido difiere del portland siderúrgico ordinario en que gana resistencia con mayor velocidad, llegando a igualar la del portland a efectos estructurales. Los que tienen además mayor resistencia frente a sulfatos se caracterizan por su mayor impermeabilidad al agua y su mayor resistencia a las heladas, y se utilizan para hormigones sumergidos o enterrados y en contacto constante con aguas que contengan hasta 400 mg/l de iones SO_4^{2-} .

Las escorias procedentes de la obtención de fósforo por métodos electro-térmicos se emplean como adición hidráulica en la producción de cementos portland y portland siderúrgicos, y también en los crudos para la fabricación de cemento portland de alta resistencia frente a sulfatos.

Los cementos expansivos de endurecimiento rápido se emplean para juntas estancas en construcciones metálicas y de hormigón armado. Su resistencia a la compresión es de 100 kp/cm^2 a un día, y de 500 kp/cm^2 a 28 días, siendo su costo inferior al de otros tipos de cementos expansivos.

Para el trabajo de investigación se utilizan y desarrollan modernos métodos químicos, fisicoquímicos y fisicomecánicos, tales como cuantómetros de rayos X para el análisis de materias primas y crudos de cemento, y difractómetros monocanal y multicanal para el análisis cuantitativo de los minerales del clínker y de los compuestos de la pasta hidratada del cemento. Con la técnica difractométrica multicanal se tienen en cuenta las interferencias mutuas de los minerales del clínker. Se utiliza asimismo una técnica combinada de rayos X y derivatográfica para la determinación cuantitativa de hidratos en la pasta de cemento endurecida. E igualmente se aplican los rayos X para la determinación de estructuras de compuestos.

Posee el Instituto un centro científico de base fisicoquímica, dirigido por el Prof. Dr. MCHEDLOV-PETROSIAN, cuyo cometido es garantizar el nivel de los métodos termográficos de investigación en el campo de los materiales de construcción, así como la aplicación de técnicas electroquímicas, microscópicas ópticas y electrónicas, de espectrometría infrarroja y de resonancia paramagnética nuclear.

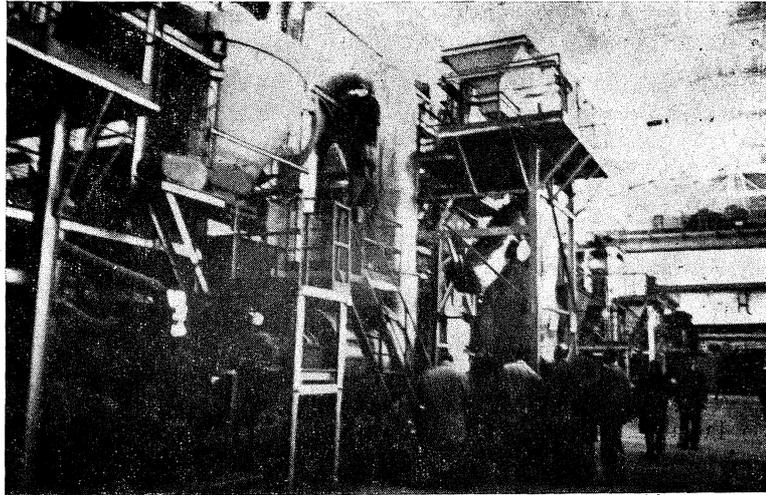
Entre otros temas, en este complejo fisicoquímico se estudian problemas relacionados con la actividad hidráulica de las escorias, con el grado de saturación del clínker, con la estructura de los compuestos anhidros o hidratados del cemento, con la formación de fase líquida en los crudos clinkerizables y con la relación líquido/sólido en los sistemas heterogéneos reales que se dan en la clinkerización, con las interfases de la pasta hidratada y, sobre todo, con las relaciones entre los sulfoaluminatos cálcicos hidratados y con la transformación del trisulfoaluminato (ettringita) en monosulfoaluminato, cuestión que, al parecer, se ha tratado a fondo.

Los hallazgos de las investigaciones se ensayan a escala semi-industrial en una fábrica experimental de cemento, incluyendo las pruebas de instalaciones para la preparación de las materias primas del crudo, para la clinkerización y para la molienda del clínker. Los resultados de la investigación se publican en los Proceedings del Instituto y en las revistas científicas y tecnológicas.

4. Instituto "GIPROTSEMENT" de Ciencia e Investigación, de Leningrado

Este Instituto, dirigido por un Profesor de Universidad, y del cual es Vicedirector el Dr. B. V. VOLKONSKIJ, es el más antiguo de la URSS, ya que fue fundado en 1922 para estudiar y resolver problemas en el ámbito industrial de la Construcción y del Cemento, dentro del cual existen otros institutos análogos. Celebró su 50 aniversario en 1972.

Es un Instituto complejo en el que trabajan unas 1.300-1.400 personas, el cual realiza investigación a base de unos 500 científicos, y proyecta, con un elenco de unos 700 técnicos. Unas 600 personas se ocupan en la sede del propio Instituto, el cual se apoya fundamentalmente en 14 laboratorios, en los que trabajan 280 personas dedicadas a la investigación, y otras 250 ocupadas en proyectos especiales de producción, fabricación y construcción de maquinaria para fábricas, y de las mismas fábricas. Otras 130 realizan su labor en diversas plantas piloto experimentales.



Instituto «GIPROTSEMENT» de Leningrado. Nave de procesos. Envasado de cemento especial para hormigones de centrales nucleares.

El principal laboratorio general del Instituto es el tecnológico. En él se hace investigación sobre nueva tecnología de cementos especiales, tales como los aptos para proteger las centrales atómicas y nucleares. Estos cementos se emplean, al parecer, en forma de mortero seco preparado a base de un cemento —¿de bario?— y un árido granular y cristalino muy pesado, que podría ser algún compuesto —¿óxido?— de plomo. De este modo y tal vez con el empleo de áridos adecuados —¿baritina?, ¿metálicos?— se pueden conseguir hormigones —de relación $a/c = 0,4$ —, de gran densidad y adecuado poder de absorción y apantallamiento de las radiaciones. Entre los cementos especiales estudian y desarrollan también los de carácter expansivo, adecuados para producir taponamientos. Tales cementos producidos en cantidad de 1,25 millones de toneladas/año, son idóneos para pozos petrolíferos y de gas natural, del cual hay gran consumo y enormes reservas en el país, alcanzando del orden de los 450 millones de toneladas. Los estudios han mostrado que los cementos ordinarios se contraen en su endurecimiento, dando lugar a pérdidas de petróleo o de gas, por lo que ha sido preciso crear cementos expansivos que en el margen de los 25°C a los 150°C experimenten un aumento de volumen del orden del 2 por ciento (regulable entre 0 y 2 por ciento). Estos cementos, de fabricación sencilla, se obtienen moliendo clínker ordinario, al que se añade un 10-12 por ciento de adiciones específicas expansivas. La pasta de estos cementos es más densa y resistente a los medios agresivos. Se han preparado hasta el presente 30 pozos con estos cementos, con resultados positivos, por lo cual se ha dispuesto su producción en serie. También con estos cementos se tratan juntas en las obras del metro de Jarkov.

Algunos de estos cementos expansivos tienen carácter hidrófobo y se utilizan en obras del subsuelo.

Otras líneas de estudio son la relativa a la utilización de subproductos minerales para hacer cemento y, del mayor interés, la referente a la clinkerización de crudos normales en un tiempo de unos 10 segundos, en un reactor en el que actúa como agente energético una "radiación química" y el material se halla en suspensión, obteniéndose un clínker con la composición del portland ordinario y con sus componentes estabilizados.

Otro laboratorio importante es el de técnicas térmicas en la cocción del crudo (clinkerización). Se estudian sistemas de intercambio de calor en vía seca, con nuevas orientaciones y aplicaciones de los intercambiadores verticales de tipo ciclónico. Uno de los sistemas consiste, a grandes rasgos, en un horno horizontal unido directamente a una especie de horno vertical, al cual van conectados los ciclones intercambiadores, produciéndose en éstos el intercambio de calor en dos etapas. Mediante el uso de refractarios especiales se evita la formación de pegaduras, lo cual permite, además, trabajar con materias primas y crudos de alto contenido de álcalis y cloruros. Este sistema ha sido puesto en práctica con todo éxito en una fábrica de los Urales.

Este mismo laboratorio se ocupa de la mejora del rendimiento de la producción, estudiando sistemas enfriadores a base de agua, con un consumo de 60 a 70 gramos de agua por kilogramo de clínker, o en lecho fluidificado por vibración, así como utilizando distintas clases de combustibles en los hornos y procediendo a un detallado estudio pirométrico de las diferentes zonas de los mismos, o aumentando en lo posible su velocidad de rotación, o ensayando nuevos sistemas y elementos calefactores.

Otro laboratorio estudia el problema de la trituración y molienda por vía seca. Como una de las soluciones para el mismo han creado la tecnología del "aerofall" (o de la "molienda autógena" o "automolienda"), basada en nuevos principios (válidos tanto para vía seca como para vía húmeda), con producciones del orden de las 3.000 t/día, y sin el empleo de bolas como elementos molturadores. El sistema se pensaba probar en una fábrica del país, dentro del año 1974. Con grandes unidades de 33 metros de longitud y 9,7 metros de diámetro (utilizando los gases del horno en la molienda húmeda) se pueden prever producciones del orden de las 250-400 t/hora, según el material de que se trate. Los inconvenientes del sistema son las grandes dimensiones de las unidades y el consumo elevado de energía de las mismas. Sin embargo, el aprovechamiento de ésta es del orden de un 20 por ciento mejor que con otros sistemas, y el consumo específico por tonelada del orden del 15 por ciento menor. El sistema está en vías de ser patentado en el extranjero.

Un cuarto laboratorio investiga los revestimientos refractarios de los hornos y los materiales para los mismos, particularmente en hornos de gran diámetro, como el de 7 m de la fábrica "BALAKLEYA", de Jarkov. Para tales casos el laboratorio ha creado grandes bloques, así como técnicas para efectuar el revestimiento en poco tiempo, a fin de reducir el número de las paradas y el tiempo necesario para la sustitución. El problema presenta tres facetas: la de los materiales, la de la mecanización y la de la tecnología. En cuanto a los materiales, se ha ido a bloques de dimensiones de 1,20 × 1,00 × 0,20 m que, dando gran estabilidad al revestimiento, reduzcan y aún eliminen las juntas, y con ellas las dificultades que crea la retracción del hormigón o del mortero refractario, haciendo así innecesario el secado del mismo y ahorrando el tiempo que se invertiría en él. En cuanto a la mecanización de la colocación de estos bloques, se consigue mediante máquinas consistentes en carros eléctricos, especialmente diseñados y dimensionados, que cargando los bloques con un sistema que actúa de forma parecida a como lo hace el tambor de un revólver, permite hacer girar dicho sistema y colocar primero la mitad de los bloques en la parte inferior del tubo del horno, y después la otra mitad en la parte superior del mismo, obteniéndose la estabilidad estructural necesaria del conjunto, sin juntas. Por lo que respecta a la tecnología, el diseño de los bloques prevé la disposición de agujeros en éstos para poderlos sujetar, manipular y colocar, mediante los carros y sus dispositivos antes mencionados. Estos agujeros se rellenan después de hecha la colocación

de los bloques a tope, con un mortero refractario. Así se han revestido recientemente hornos de 180 metros en una fábrica de Perm. Estos refractarios resisten temperaturas hasta de 1.200°C, empleándose chamota para las zonas de clinkerización, en unos 30 metros de longitud del horno.

El Instituto dispone de otros laboratorios —hasta los 14 citados— en los que se estudian problemas físicos, químicos y mineralógicos relativos a las materias primas, problemas mecánicos relacionados con el transporte y la homogeneización de las mismas, problemas de índole técnico-económica, etc.

Para llevar a cabo a escala tecnológica la preparación de conglomerantes especiales el Instituto cuenta con instalaciones de hornos piloto. Uno de ellos, en el que se producen los cementos especiales para reactores atómicos —¿cementos de bario (clínker bórico)?—, tiene 12 m de longitud por 1 m de diámetro y está provisto de sistemas para tomar muestras y medir temperaturas en todas sus partes, así como para utilizar cualquier tipo de combustible, incluso sólido. De hecho estudian y producen cementos especiales de barita, eliminando el anión sulfato mediante álcalis (?). Estos cementos son especialmente resistentes a sulfatos, como es lógico.

Otro horno se destina a la obtención de clínker a partir de escorias fosforadas —con 2,5 % de fósforo— procedentes de procesos metalúrgicos realizados en hornos eléctricos. Estas escorias se emplean como materia prima y como adición, y dan lugar también a cementos resistentes a sulfatos abundantes en la región de Karakul.

Entre las muchas otras tecnologías de que el Instituto se ocupa cabe citar la de la molienda de carbón, la de los electrofiltros, la del sistema LASER para controlar la emisión de polvo en los gases de chimenea, y la de la automatización en general. En punto a tratamiento y preparación de materiales, así como a la mecánica del transporte de los mismos, disponen de instalaciones para la extracción, selección y bombeo de materias primas, y también para el secado, y de sistemas para el traslado neumático y mediante aerodeslizadores. En cuanto a extracción, dilución y transporte por bombeo se refiere, se repetiría aquí lo ya indicado al respecto al reseñar y comentar los avances logrados por el Instituto “YUZGIPROTSEMENT”, de Jarkov, y lo que más adelante se particulariza, como realidad, al describir la fábrica de cemento “BALAKLEYA”, también de Jarkov.

5. Otros Institutos y Centros de Investigación de la URSS relacionados con estudios sobre cemento

Sin pretender ofrecer una relación exhaustiva de ellos, cosa por otra parte imposible, sí cabe citar como organismos más o menos directamente relacionados con la investigación en el campo del cemento, bien por su misión específica, o bien por las personas que los dirigen o representan, cuyos nombres suenan en dicho campo, entre otros los siguientes:

El Instituto de Tecnología Química “MENDELEYEV” de Moscú, al que pertenece el Prof. Dr. Y. M. BUTT, autor de libros ya clásicos sobre Química y Tecnología del Cemento, y uno de los tres Vicepresidentes del VI Congreso Internacional sobre Química del Cemento, en Moscú y 1974 (1).

Y el Instituto Estatal de la URSS “NIITSEMENT” para la investigación en la Industria del Cemento, al que pertenece el Licdo. Y. I. DESHKO, Vicesecretario General del mencionado VI Congreso Internacional sobre Química del Cemento.

6. El Consejo para la Asistencia Económica Mutua

Este Consejo es una organización económica internacional de países socialistas —Alemania (República Democrática), Bulgaria, Cuba, Checoslovaquia, Hungría, Mongolia, Polonia, Rumania y Unión Soviética— para el desarrollo de un vasto programa de cooperación de los países miembros en todos los campos de las economías nacionales.

En 25 años de existencia el Consejo ha organizado y desarrollado planes de cooperación colectiva en campos científicos y técnicos, los cuales han contribuido a acelerar el desarrollo económico de los países. Esto se ha manifestado en el incremento de sus rentas nacionales y en el alza de las producciones industriales, fundamentalmente.

En lo que se refiere al campo del cemento, el Consejo podría compararse, en cuanto a organización y fines promocionales, al CEMBUREAU europeo, y la cooperación de sus miembros es importante a efectos posteriores del desarrollo industrial y comercial del producto, así como de la construcción y de su industrialización.

Las principales orientaciones y directrices de actuación del Consejo en punto a la promoción de la industria del cemento se refieren a la realización de investigaciones, proyectos y trabajos experimentales para poner al día y mejorar todas las técnicas de promoción del material, así como a la cooperación en el proyecto de nuevas fábricas, particularmente con líneas de producción automatizada.

La colaboración de los países miembros en estas directrices ha contribuido a un considerable aumento de la fabricación de cemento, de tal manera que la producción global de todos ellos ha pasado de 68,5 millones de toneladas en 1960 a 162,5 millones en 1973, —casi el doble— y la producción —consumo— per cápita, ha aumentado de 220 kg a 445 kg —el doble— en los mismos años. Se sigue planificando el aumento de producción y la mejora de la calidad del cemento.

Para acelerar el incremento de producción, los países miembros del Consejo y Yugoslavia se han repartido las tareas, concluyendo en 1974, sobre esta base, un Acuerdo de cooperación para el desarrollo, no sólo de la propia industria del cemento, sino también de la industria productora de maquinaria para fábricas de cemento. De conformidad con este Acuerdo, se pretende que los miembros extiendan e intensifiquen la cooperación entre sí, para satisfacer plenamente sus respectivas necesidades nacionales de cementos, así como para producir tipos especiales de ellos, mediante la especialización individual de los países en la producción de alguno o algunos de dichos tipos. Se intenta también adoptar medidas para dotar a las industrias cementeras de moderno equipo industrial de alto rendimiento, mediante la especialización en la puesta a punto y realizaciones de unidades y elementos para la producción cooperativa de equipos automatizados, tanto para vía seca como para vía húmeda. Y asimismo se pretende colaborar en el proyecto y construcción conjunta de fábricas de cemento en distintas zonas fronterizas, sobre bases de acuerdos bilaterales o multilaterales. Finalmente se intenta ampliar la cooperación científica y técnica al estudio y proyecto de creación de nueva tecnología, y de modificación de la convencional.

La Comisión Permanente de Construcción, dentro del Consejo, concede la máxima importancia a la cooperación científica y técnica en la resolución de problemas de la industria del cemento, dando prioridad a los más importantes. Con tal mira, en 1974 ha completado un trabajo sobre creación de nuevos tipos especiales de conglomerantes y preparado recomendaciones relativas a la composición mineralógica de cemento para la prefabricación in situ y para los tratamientos higrotérmicos del hormigón, así como para fabricar amiantocemento.

En 1974 comenzó también otro trabajo coordinado dentro del marco de la Comisión, a fin de crear un Programa para el desarrollo de avances en las técnicas de producción y utilización del cemento. Este Programa, basado en el reparto del trabajo entre centros de investigación de los países miembros, prevé, entre otras cosas, la realización de: estudios sobre la cinética de la formación de minerales de alta temperatura en la cerámica sometida a procesos térmicos intensos; investigaciones acerca del proceso de la hidratación de los minerales mencionados, obtenidos como resultado de un fuerte templado; análisis de los procesos termodinámicos en el tratamiento térmico de materias primas; y determinación de los medios de intensificar los procesos y reacciones en estado sólido, durante la formación de los minerales del clínker.

Los resultados de estos estudios suministrarán la base para el desarrollo de nuevas tecnologías y para proyectar sistemas de templado y enfriamiento del clínker. Como etapa final del Programa está previsto proyectar una gran fábrica de cemento con innovaciones de proceso, particularmente en cuanto a equipos y unidades de enfriamiento del clínker, a fin de introducirlas en la producción industrial normal, a partir de 1980.

La Comisión pretende además, sobre la base de la cooperación científica y técnica, mejorar los procesos de fabricación de cemento por vía seca —método con el que hoy día obtiene la URSS tan sólo el 15 por ciento de su producción cementera total—. Para ello prepara esquemas, propuestas de proyectos y especificaciones para líneas de producción por vía seca de 5.000, 6.000 y más toneladas diarias, sin olvidar el factor ecológico y la contaminación.

El Acuerdo del Consejo, antes mencionado, pretende asimismo extender e intensificar la cooperación de las partes contratantes para concluir convenios internacionales multilaterales entre países interesados en colaborar en problemas generales relativos a la química y a la tecnología del cemento, estableciendo para ello un Centro de Coordinación en la Unión Soviética.

Otro aspecto al que la Comisión ha prestado una atención de primer orden es el de la elaboración de métodos de ensayo unificados*. Para ello ha aprobado una serie de documentos con carácter de recomendaciones sobre normalización de cementos, incluyendo terminología, definiciones, clasificación, especificaciones y métodos de ensayos físicos y mecánicos, teniendo en cuenta para estos últimos las propias recomendaciones ISO. La serie de documentos incluye normas para cementos especiales: aluminosos, blancos, coloreados, de bajo calor de hidratación, resistentes a sulfatos, y expansivos para taponamientos y sellado de juntas. Estas normas deben permitir y facilitar el intercambio comercial de estos cementos entre los distintos países miembros del Consejo, así como mejorar su calidad, perfeccionar la tecnología de su producción y asegurar la equivalencia de los de unos países con los de otros, sobre la base de índices de calidad, especificaciones y ensayos unificados.

La Comisión Permanente trata de recopilar diccionarios terminológicos y técnicos, relativos al campo de la construcción y de las industrias de sus materiales, en once idiomas: nueve de países miembros del Consejo, francés e inglés**. Se pretende hacer un diccionario completo para eliminar barreras y dificultades terminológicas, facilitar con ello el intercambio y el aprovechamiento recíproco de la documentación, y promover la eficacia de la colaboración entre especialistas. Las primeras secciones de este diccionario científico-técnico multilingüe del campo de la construcción ya han sido elaboradas.

* En tal sentido, el interés y la preocupación son análogos a los de las agrupaciones y organismos europeos occidentales, tales como el CEMBUREAU y el CEN, y a los de entidades de mayor ámbito internacional, como la ISO y la RILEM.

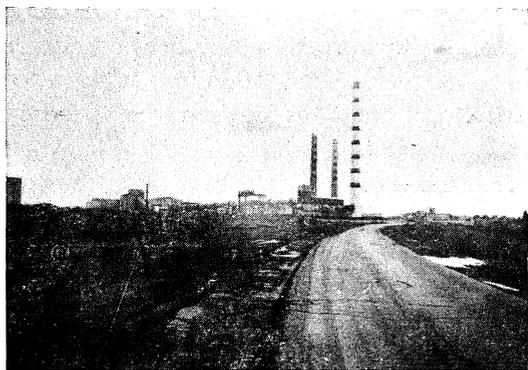
** Dado que Cuba es uno de los países miembros del Consejo, debe entenderse que el español figura como idioma incluido en los nueve.

También están siendo consideradas nuevas actuaciones, dentro del Programa General de la Comisión, como es la de cooperar en el establecimiento de sistemas de información científica y técnica internacional mediante máquinas computadoras. Se ha comenzado ya a realizar en la forma usual en estos casos (tesoros de palabras y listas alfabéticas de palabras clave) en forma bilingüe —ruso y alemán—, en cuanto a los campos tecnológicos de la construcción, de las industrias de los materiales de construcción, y en particular de la industria del cemento.

Todo este vasto Programa General de la Comisión Permanente de la Construcción, y del Consejo para la Asistencia Económica Mutua, relativo a la cooperación de los países miembros dentro del campo de la industria del cemento, ha ejercido, ejerce y ejercerá una gran influencia, no sólo en el aumento de la producción, sino también en el avance de la tecnología de la fabricación y en la mejora de la calidad del cemento, y todo ello, tal como reconoce la Comisión y el propio Consejo en pleno, a base del desarrollo de la investigación, en gran parte de carácter teórico fundamental, llevada a cabo en el campo de la química del cemento.

7. La fábrica soviética «BALAKLEYA», de cemento portland, de Jarkov

Esta fábrica de vía húmeda, situada a unos 80 km de Jarkov, en Ucrania, produce en la actualidad 3,6 millones de toneladas de cemento portland y depende, en cuanto a tecnología, del Instituto «GIPROTSEMENT», de la mencionada ciudad. Esta tecnología, en lo que se refiere a las cuatro primeras líneas de producción, data de los años 1961-1963 y afecta a un volumen de la misma que en 1965 alcanzó la capacidad de 2,4 millones de toneladas anuales, obtenidas con 4 hornos de $5 \times 1,85$ metros.



Fábrica de cemento «BALAKLEYA» cerca de Jarkov, en Ucrania (URSS).—Producción: 3,6 millones t/año. Vía húmeda, 5 hornos. Vista general.



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Vista general de la cantera. (Parte derecha).

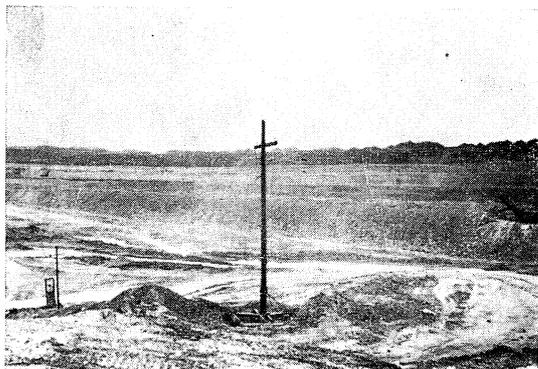
En 1972 se instaló una quinta línea de producción, con una capacidad anual adicional de 1,2 millones de toneladas, dada por un horno de 7×230 metros.

La cantera, extensísima —del orden de 3 km—, está situada en una llanura. Se explota en toda su extensión, a tres o cuatro niveles, y proporciona un material de color claro, ceniciento, blando y muy plástico, que obliga a la vía húmeda.

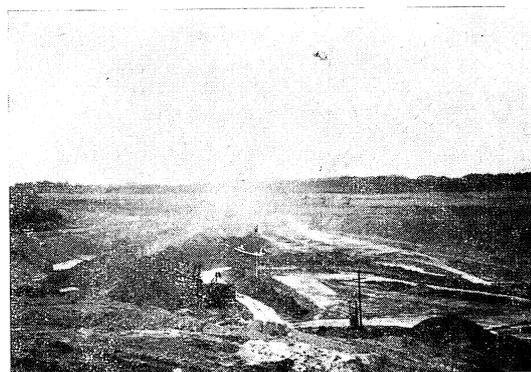
La extracción y preparación para el transporte se efectúa, sin explosivos, mediante instalaciones móviles sobre orugas, que incluyen un equipo excavador rotatorio y una cinta transportadora, un molino diluidor en el que se prepara una suspensión acuosa muy

fluida del material, y bombas. La conducción de esta suspensión o pasta acuosa desde la estación de cantera hasta la fábrica (9,6 km) se realiza por bombeo hidráulico, en cinco líneas, a razón de 500-600 m³/hora. En cantera están instaladas las bombas y la central de aire comprimido. La eliminación del exceso de agua se verifica después, por medio de hidrociclones separadores. El personal propio de cantera es de 150 personas, y de 600 para todo el proceso de extracción, preparación y transporte.

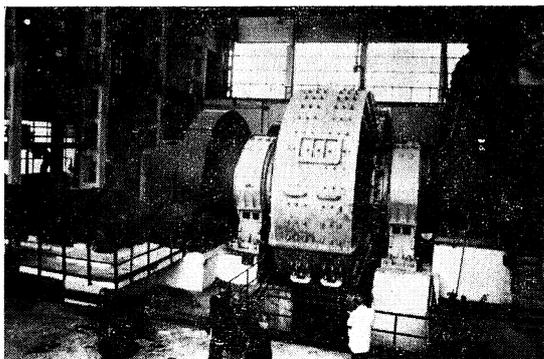
Los materiales en suspensión, procedentes de la cantera, se almacenan en fábrica en balsas de "alto" y "bajo" contenido de carbonatos. Se prepara a partir de ellos una pasta cruda de alimentación, con un contenido de agua del 40 al 42 por ciento.



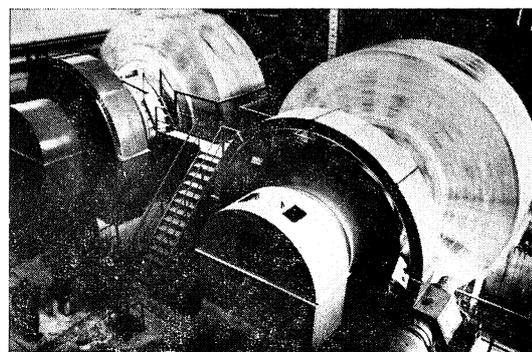
Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Vista general de la cantera (parte central).



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Vista general de la cantera (parte izquierda).



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Molinos diluidores de pasta (en reposo).



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Molinos diluidores de pasta (en marcha).

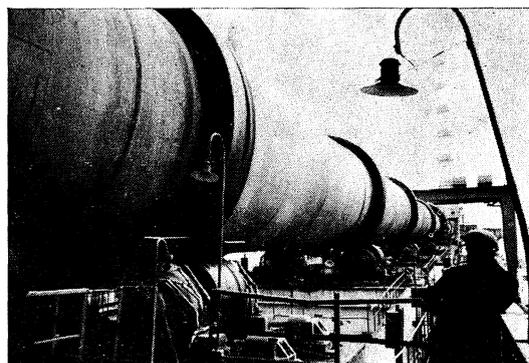
El horno de 7 × 230 m va revestido de refractario de cromo-magnesita, y clinkeriza con gas natural de Sibilinka. La chimenea de este horno tiene 115 m de altura. El consumo térmico es de 1.460 kcal/kg.

La molienda del clinker se lleva a cabo en molinos de 3,2 × 15 m y de 4 × 13,5 m, en circuito abierto. El sistema exige un gran consumo de energía que se cifra en 30-35 kW/t en molienda, y en 95-100 kW/t en total. Sin embargo, la disponibilidad de energía barata es grande.

El personal total de la fábrica es de unas 950 personas, de las cuales el 10 por ciento son técnicos.

El control del crudo —y del clínker— se efectúa por análisis de rayos X mediante un cuantómetro que determina cuantitativamente los cuatro elementos principales cada 20 minutos, en operaciones de 5 minutos de duración. Los resultados, manejados por un ordenador, dan lugar a la regulación automática de la alimentación de los hornos.

Se produce un cemento con superficie específica de unos 3.000 cm²/g y 450 kp/cm² de resistencia a compresión a 28 días.



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».—Horno rotatorio de vía húmeda 7 × 230 m. Producción: 1,2 millones t/año.



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Sala de reuniones.



Fábrica de cemento «BALAKLEYA».— Sala de reuniones.

La composición potencial media del clínker es: C₃S 65 % ; C₂S 25 % ; C₃A 4-5 % y C₄AF 5-6 %. Las relaciones o módulos son:

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_2 = 2,2$ y $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,4$. El grado de saturación es de 90 %, y el contenido total de álcalis 0,5 % (95 % K₂O y 5 % Na₂O). La cal libre es escasa.

Como problema general, no precisamente de esta fábrica, que sin ser acuciante, tratan de resolver, figura el de suprimir o rebajar al máximo los álcalis de los cementos, tratando las pastas de vía húmeda por flotación con reactivos especiales, a fin de obtener cementos adecuados para obras en instalaciones de carácter eléctrico, en las que es importante reducir lo más posible los problemas de conducción eléctrica y de corrosión de armaduras.

La industria soviética del cemento, dada la gran proporción de su producción en fábricas que marchan por vía húmeda (85 por ciento), frente a la correspondiente a fábricas de vía seca (15 por ciento), se caracteriza por un gran consumo específico medio de calorías (del orden de las 1.300-1.400 kcal/kg frente a los consumos medios del orden de 800-900 kcal/kg de otros países), así como por un alto consumo energético (del orden de 100 kW/tonelada, frente a los 80-85 kW/tonelada de la casi totalidad del resto del mundo). Bien es verdad que, dado el sistema económico del país, la abundancia de gas natural y la disponibilidad de energía eléctrica, ello es de importancia secundaria. Otro aspecto análogo es el bajo factor de productividad en toneladas/hombre, comprensible en función del sistema socio-económico de la URSS.

Una visita rápida a una sola fábrica de un país que posee muchas, y que es el primero del mundo en producción de cemento, es poca base para juzgar de la industria en conjunto. Por ello, si es posible, en otra ocasión se ofrecerá la panorámica general de la industria soviética del cemento en 1974, como otra vez se hizo respecto a la industria japonesa (3), con motivo de la celebración del V Congreso Internacional sobre Química del Cemento, celebrado en Tokyo en 1968.

REFERENCIAS

- (1) CALLEJA, J.: "El VI Congreso Internacional sobre Química del Cemento". *Materiales de Construcción* (IETCC), núm. 157, enero-febrero-marzo 1975.
- (2) TOROPOV, N. A.: "Über Kalziumaluminiumferrite und deren Betragen im Portland-Zement bei Einwirkung von Fluormineralisatoren". XXVIII Congreso Internacional de Química Industrial (Madrid). Vol. 1, Sec. 11, págs. 725-728. (1955).
- (3) CALLEJA, J.: "La Industria del Cemento en el Japón, 1968". *Materiales de Construcción* (IETCC), número 133, enero-febrero-marzo 1969.