

Las Jornadas de Cemento en la II Asamblea General del I. E. T. c.c.

Prof. Dr. JOSÉ CALLEJA

Dr. ANCEL RUIZ DE GAUNA

1. INTRODUCCION

Tres fueron las Jornadas dedicadas al tema CEMENTO en la II Asamblea General del IETcc celebrada en Madrid y noviembre de 1974. Con ellas se abrieron las sesiones de trabajo de la misma. Según el informe preliminar del Coordinador del tema y autor de este artículo, se expusieron —de forma resumida— siete ponencias o “provocaciones” cuyos textos íntegros figuraban en el Documento de Trabajo publicado y distribuido previamente.

Los títulos y autores de estas ponencias, por orden de programación y exposición, fueron los siguientes:

1. LO QUE EL FUTURO PROMETE Y EXIGE AL CEMENTO Y AL HORMIGON. J. Calleja, IETcc.
2. PANORAMICA DE PROBLEMAS DEL CEMENTO. R. López Soler, Compañía Valenciana de Cementos Portland.
3. ASPECTOS DE LA UTILIZACION DEL CEMENTO. J. Rezola Izaguirre, Cementos Rezola, S. A.
4. EL CEMENTO BLANCO. J. Rezola Izaguirre, Cementos Rezola, S. A.
5. AUTOMATIZACION DEL CONTROL Y DEL MANDO FABRIL. A. Sarabia, Sociedad Anónima Española de Cementos Portland.
6. PROMOCION DEL CEMENTO: I. EL USO DEL CEMENTO EN FIRMES DE CARRETERAS. R. Fernández, IETcc.
7. PROMOCION DEL CEMENTO: II. ESTRUCTURAS DE HORMIGON EN LA MODERNA LOCOMOCION TERRESTRE. J. Pinto, Oficemen.

Cada exposición, de la que el Coordinador hizo una breve reseña, fue seguida de un animado e interesante coloquio, según lo que se expone a continuación.

2. PRIMERA PONENCIA: “Lo que el futuro promete y exige al cemento y al hormigón”. J. CALLEJA

Comenzó el autor justificando el título como intento de dar en la ponencia una visión futurista en los campos tecnológicos del cemento y del hormigón, y anticipó la conclusión de que el porvenir de ambos materiales estará asegurado por el mejor conocimiento

y mayor control que de ellos se tenga, y por su calidad más alta y uniforme, gracias al concurso de la investigación. La demografía, la mayor longevidad, el tiempo libre y el nivel de vida futuros —dijo el ponente— exigirán muchas construcciones y obras públicas de todo tipo. Y el cemento y el hormigón —añadió— serán los materiales idóneos para llevarlas a cabo, entre otras razones, por la mayor resistencia del hormigón al fuego, por las posibilidades estáticas y estéticas de los hormigones ligeros resistentes, por el precio siempre competitivo de las materias básicas, factor acrecentado por la crisis del petróleo y de la energía en general, y por las posibilidades previsibles de la industrialización de la construcción en el mundo.

El Sr. CALLEJA señaló una serie de objetivos deseables para el hormigón, añadiendo que distaban mucho de estar agotadas las posibilidades del material, y que sobre esa base se podían hacer algunas previsiones, como metas de la investigación. Entre ellas, la de reducir el carácter efímero y rápidamente perecedero del hormigón fresco, la de arbitrar medios más adecuados para su elaboración, transporte, puesta en obra, compactación y curado, y la de establecer una metodología rápida, sencilla y fiable para el control de su calidad, incluso en obra.

En cuanto al hormigón endurecido el ponente mencionó como metas las siguientes: aumentar sus resistencias y acelerar su desarrollo, y mejorar su estabilidad frente a cualquier agente, sollicitación o fenómeno, tanto intrínsecos como extrínsecos. El aumento de la flexibilidad y la mejora de las condiciones aislantes del material serán objeto de atención especial, así como la disminución de la fisuración y de la permeabilidad, y la reducción a un orden de 2 de la relación compresión/tracción —dijo el Sr. CALLEJA—.

Para todo esto —continuó— es preciso también un mejor conocimiento y mayor control de los materiales base del hormigón. La investigación en el caso de los áridos deberá resolver el problema de la relación resistencia/peso del hormigón, aumentándola con áridos ligeros resistentes o disminuyéndola con áridos pesados, según convenga.

En lo que concierne a las armaduras, el estudio se desarrollará en el campo de las “armaduras homogéneas” de fibras cortas de diverso tipo, o en el de las impregnaciones resínicas del hormigón endurecido, así como en el de la protección anticorrosiva de las armaduras de acero convencionales.

Respecto de los aditivos, a los que el ponente dedicó una atención especial, éste dijo que en el futuro se emplearían con profusión y con finalidades muy específicas, llegándose a conseguir con algunos de ellos reducciones muy sustanciales del agua de amasado, sin perjudicar —incluso mejorando— la plasticidad, logrando así hormigones de resistencia muy elevada a corto plazo.

Al referirse de modo particular a los cementos, el Sr. CALLEJA opinó que la normalización y la metodología de ensayos sufrirían cambios en el futuro, haciéndose la primera más realista y menos dogmática, y tendiendo la segunda, entre otras cosas, a encontrar procedimientos rápidos para evaluar algo equivalente a la resistencia normal a compresión a 28 días. Añadió que, dentro de los cementos, el apelativo de “portland” se despojaría de la parte injustificada de su fetichismo y, que se desarrollarían nuevos cementos con características especiales y propiedades adicionales para aplicaciones y empleos específicos.

En relación con los procesos de fabricación del cemento, el Sr. CALLEJA opinó que se manifestaría una tendencia general aún más marcada al abandono de la vía húmeda y a la instalación de unidades de producción con grandes capacidades, superiores a las 5.000 t/día, así como a la clinkerización a temperaturas lo más bajas posible y con el mejor rendimiento térmico y ahorro de calorías, mediante el empleo de mineralizadores y con nuevas fuentes de energía y modos de aplicarla. Añadió que todo ello estaría condicionado por la evolución de las crisis del petróleo y de la energía que, por otra parte, repercu-

tirían en los sistemas de automatización, pero que, al mismo tiempo, nuevas técnicas y equipos para análisis y control —como los espectrómetros LASER— ayudarían a resolver o paliar en parte los problemas que surgiesen.

Finalmente el ponente señaló, como otra de las grandes preocupaciones futuras, la protección ecológica contra la contaminación ambiental por polvo, gases y ruidos, preocupación que será tenida en cuenta en los proyectos nuevos.

Como conclusión el Sr. CALLEJA dijo que el IETcc con sus técnicos estaba abierto a todas las iniciativas en los puntos señalados, rogando al auditorio que considerase y expresase si en la visualización rápida del futuro del cemento y del hormigón que acababa de hacer se había quedado corto o había ido demasiado lejos.

COLOQUIO

En el coloquio que se abrió a continuación el Sr. OLIVARES, de Venezuela, se refirió al informe del ACI sobre “Hormigón en el año 2.000”, a propósito de la utilización de rocas cualesquiera para hacer cemento y de los problemas de homogeneidad de calidad que ello pudiera suscitar. Preguntó sobre la consecución de cementos de muy alta resistencia y señaló las posibles dificultades de fábricas de gran capacidad, en cuanto a acumulación de álcalis en el cemento y a diferencias en los grados de clinkerización.

Contestó el Sr. CALLEJA al primer punto diciendo que la homogeneidad de la calidad del cemento dependería en gran parte de la disponibilidad de energía suficiente para conseguir en cualquier caso una clinkerización controlada y a fondo. Recordó a tal efecto las experiencias soviéticas, expuestas en el Congreso de Moscú, sobre clinkerización rápida con nuevas fuentes de energía para obtener el clínker tanto normal como especial.

En cuanto a la cuestión de los hormigones de muy alta resistencia, el Sr. CALLEJA respondió que no era sólo cuestión del cemento, sino también del empleo de aditivos reductores de agua, con los que se consiguen hormigones con resistencia del orden de 1.000 kp/cm². En cuanto a los cementos en sí, recordó trabajos alemanes y rusos más recientes sobre cementos a base de germanatos cálcicos y compuestos de elementos de las tierras raras, con capacidad hidráulica superior a la de las especies puras del clínker normal.

Respecto de los posibles inconvenientes de las unidades de gran producción en cuanto a acumulación de álcalis en el cemento, respondió el Sr. CALLEJA que la tendencia a la supresión de la vía húmeda —citó la fábrica soviética de Balakleya, cerca de Jarkov (URSS)— por una parte, y los perfeccionamientos en la vía seca con sistemas intercambiadores, operando con crudos y por procesos idóneos, por otra, podrían resolver la dificultad en el futuro, sin olvidar los nuevos sistemas de clinkerización con nuevas formas de energía que se vislumbran.

3. SEGUNDA PONENCIA: “Panorámica de problemas del cemento”. R. LOPEZ SOLER

El ponente enunció y desarrolló al respecto numerosos puntos. En lo relativo a los aditivos para hormigón, señaló la necesidad urgente de normas, orientaciones y recomendaciones para el empleo de los mismos. En cuanto a fabricación de cemento, hizo destacar la importancia de la mineralogía de los crudos en el proceso. Respecto del falso fraguado, señaló el confusionismo sobre el concepto y definición del mismo, y lo delicado que sería, en función de ello, introducir un ensayo de falso fraguado en las normas, por la dificultad de interpretación de los resultados del mismo por parte de los usuarios

del cemento. En relación con los hormigones que presentan anomalías de endurecimiento en las primeras edades, expuso sus dudas acerca del uso del esclerómetro para decidir sobre la conservación o demolición de una estructura o elemento de la misma. Con respecto al empleo de oxígeno como comburente en hornos de cemento, señaló la diferencia de volúmenes gaseosos con relación al empleo de aire, y la que como consecuencia se puede producir en cuanto a rendimiento energético, asunto a considerar desde el punto de vista de la crisis por la que se atraviesa. En lo concerniente a las limitaciones de tipo químico de las normas para cemento, opinó que era necesario admitir para ellas unas ciertas tolerancias, desde el punto de vista de la aceptación o del rechazo. Aludió después a la conservación de muestras de cemento para ensayos, a la poca fiabilidad de los recipientes de plástico en cuanto a inalterabilidad del material y a la necesidad de establecer criterios nuevos acerca de ellos, así como sobre el tiempo de validez de las muestras conservadas. En el punto relativo a la automatización de fábricas, llamó la atención sobre problemas que surgen y que requieren para su resolución el concurso de la mano de obra tradicional, con lo que la automatización deja en parte de ser tal. Tocó después el aspecto de los métodos analíticos para determinar oligoelementos en el cemento, tales como el cromo, por sus incidencias patológicas. Sobre durabilidad señaló la urgencia de disponer de normas y métodos de ensayo, incluso provisionales, para orientación de fabricantes y usuarios del cemento. Se refirió después a la falta de preparación del personal subalterno de las obras, y a la conveniencia de editar "cartillas" con los conocimientos básicos necesarios. Finalmente señaló la necesidad de fabricar cementos con bajo contenido de álcalis, a ser posible sin encarecer el proceso de fabricación.

COLOQUIO

Lo abrió el Sr. GARCIA DE PAREDES para responder al punto relativo a la necesidad de normas sobre durabilidad, proponiendo la creación de una Comisión Nacional de Durabilidad que coordinara a Grupos de Trabajo que a su vez estudiaran los distintos componentes del hormigón, con vistas a establecer las condiciones para hacer hormigón durable. Los resultados se trasladarían al IRANOR para la redacción de la documentación normativa correspondiente.

El Sr. SAGRERA dió cuenta de los trabajos en marcha en el IETcc sobre correlación entre alteraciones de hormigones y morteros, y resultados de ensayos acelerados a escala de laboratorio. De ello —dijo— cabe esperar base para normas de durabilidad con apoyo experimental propio.

El Sr. VAZQUEZ, remitiéndose al punto sobre aditivos, indicó que la espectroscopía infrarroja era una técnica idónea para controlar la calidad de la parte orgánica de tales productos, siendo difícil y estando por resolver la extracción de los aditivos de los hormigones que los contienen. Sobre el falso fraguado, señaló la posible influencia que en él puede tener la formación de singenita (sulfato cálcico-potásico hidratado).

El Sr. TRIVIÑO indicó asimismo, acerca del falso fraguado, la influencia del sulfato potásico como inductor del mismo, aparte de la presencia de sulfato cálcico hemihidrato en los cementos afectados.

A propósito de la determinación de cromo en los cementos, señaló la existencia de métodos y la idoneidad del basado en la absorción atómica.

El Sr. LOPEZ SOLER, acerca del tema de ensayos de durabilidad sugirió si no sería más acertado llevarlos a cabo en terrenos sospechosos de agresividad, in situ, mejor que en

disoluciones agresivas artificiales, con objeto de operar en condiciones más reales y prácticas. Volvió a insistir sobre la complejidad del fenómeno del falso fraguado, en cuanto a la definición del mismo en función del momento en que se presenta.

El Sr. DEL CAMPO se refirió a los aditivos en su incidencia, por mal empleo, en las anomalías del endurecimiento del hormigón. Añadió que las entidades ALEMAS y ANEFHOP tienen trabajo en marcha para intentar una futura normalización de los aditivos. Puso también de relieve que en el Laboratorio Central se estudian sistemáticamente los hormigones alterados o con anomalías, con objeto de poner a punto métodos que permitan dictaminar sobre las causas.

Acerca del falso fraguado mencionó la influencia de la superficie del cemento, puesto que no era sólo cuestión de la presencia o ausencia de yeso hemihidrato en el mismo, o de mezclas de este yeso con dihidrato y anhídrita.

El Sr. VIRELLA BLODA insistió en el tema del falso fraguado diciendo que el no observarlo cuando se añaden al cemento diferentes formas de sulfato cálcico en el laboratorio, no es índice de que no se dé el fenómeno cuando el hemihidrato está presente en el cemento, bien por formarse en el molino, o bien por proceder de una deshidratación del dihidrato provocada por la cal libre del clínker, ya que este hemihidrato puede ser mucho más activo.

De hecho —añadió— el falso fraguado se da tanto más cuanto mayor es el contenido de sulfatos y la finura de los cementos. Sobre los aditivos, indicó la conveniencia de que los fabricantes facilitaran datos sobre su composición.

De nuevo el Sr. LOPEZ SOLER volvió sobre el tema del falso fraguado, para responder al Sr. VIRELLA aclarando que los ensayos que él llevó a cabo fueron realizados con cementos obtenidos en fábrica y molidos en molinos industriales, a los que se añadieron yesos de albañilería del comercio, es decir, que no se trataba de cementos hechos y molidos a escala de laboratorio.

A continuación el Sr. PUIG MONTRAVETA contestó al Sr. LOPEZ SOLER en el tema relativo a la automatización. Se refirió a problemas derivados de averías en partes del sistema automatizado a los que no les atribuyó entidad como para rechazar el sistema, que a su juicio tiene innegables ventajas. Consideró dos tipos de averías: las de información de proceso y las del ordenador o del instrumento analizador sobre cuyos datos opera aquél. Un ejemplo del primer tipo es —dijo— el de las básculas de dosificación del crudo. Si sufren averías, se crean dificultades, tanto con ordenador como sin él; pero el ordenador puede permitir detectarlas a tiempo y recuperar el control del proceso. En cuanto a las averías del segundo tipo, para las del propio ordenador —añadió— debe estar previsto un sistema de emergencia para poder seguir produciendo; y para el caso de las del analizador de rayos X, el Sr. PUIG recomendó el procedimiento de sustituir el sistema de control integrado por el método químico tradicional de determinación de carbonatos, haciendo que el ordenador calcule, además de los datos analíticos y módulos normales, el valor de carbonato cálcico hipotético que correspondería a la muestra, el cual se coteja frecuentemente con el de carbonatos totales determinados por vía química. Así, al producirse la avería del sistema rayos X-ordenador, se pasa de un sistema a otro, ya que se sabe a qué nivel de carbonatos totales se debe seguir trabajando para mantener la identidad del crudo, fijando dicho nivel hasta reparar la avería. El paso contrario de control por carbonatos a control por rayos X exige análisis previos para restablecer los parámetros y los módulos reales, con que se debe iniciar el cambio.

A ésto el Sr. LOPEZ SOLER dijo no estar convencido de que se pudiese correlacionar en todos los casos el contenido de carbonatos totales del crudo con los análisis del mismo dados por rayos X, ya que no todo el calcio está en forma de carbonato, sino en parte como silicato, y que tal hecho podría implicar errores del 2 o el 3 por ciento entre los carbonatos totales determinados (reales) y los calculados.

El Sr. BARCELO aclaró después que la comunicación presentada por el Laboratorio de GEOCISA más que responder al planteamiento del Sr. LOPEZ SOLER sobre la cuestión de los hormigones anómalos pretendía llamar la atención sobre la descomposición de algunos de ellos por reacción de ciertos áridos con los álcalis del cemento, prometiéndole facilitar datos más detallados sobre el tema.

El Sr. SARABIA se remitió al punto relativo al empleo de oxígeno como comburente, diciendo ser un intento antiguo y patentado, ensayado con el aire primario y con el secundario, con mejor resultado en el segundo caso. El oxígeno —dijo— eleva la temperatura en el horno, reduce el volumen de gases y aumenta el caudal de clínker y las pérdidas de calor en el enfriador, creando algún problema para el refractario. El empleo de oxígeno puede ofrecer ventajas en hornos con grandes pérdidas de calor por su piel o por los gases residuales, y el costo del oxígeno —dijo— es el mayor condicionante del costo global de la producción. A continuación dió cuenta de un estudio propio en el que intentó cuantificar el efecto de la introducción de oxígeno con el aire de combustión, sobre la base de lo que llamó “calidad del calor”. El consumo específico de calor (calorías/tonelada de clínker) comprende tres aspectos —expuso—: a) la aportación del calor necesario, incluidas pérdidas; b) el tipo y nivel tecnológico del sistema de clinkerización (parrilla, horno, enfriador, etc.); c) la “calidad del calor”, función del combustible, de su precalificación, de las condiciones de liberación de la energía calorífica, de la temperatura de combustión, etc., siendo este último factor el que determina sustancialmente el resultado del enriquecimiento del aire comburente con oxígeno. Añadió el Sr. SARABIA que, operando con los tres conceptos expuestos y con una serie de hipótesis, llegó al establecimiento de fórmulas que relacionan la cantidad de fuel quemado, para un determinado volumen de gases en la zona de clinkerización, con el porcentaje de oxígeno añadido al aire comburente. Y en virtud de ellas calculó que para un volumen normal de gases en un horno se puede quemar hasta cuatro veces la cantidad de fuel que se podría quemar con el aire solo. Resumió a continuación las conclusiones de todo ello así: a) conservando constante el volumen de gases de combustión se puede aumentar el caudal —producción— de clínker; b) no se puede afirmar que paralelamente baje el consumo específico de calor, ya que la eficacia de la combustión disminuye cuando la cantidad de calor reciclado desciende, y esta eficacia puede ser inferior a la de la combustión con aire, jugando el calor reciclado un papel decisivo en tal aspecto; c) por lo indicado, y para evitar sobrecalentamientos inoperantes, parece necesario acelerar el paso del crudo por el horno; d) las variaciones de las temperaturas de combustión pueden provocar perturbaciones en el refractario; e) si éstas no son onerosas ni surgen otros inconvenientes que lo sean, la rentabilidad del proceso con oxígeno puede ser mayor. Señaló finalmente que la utilización de éste requería un estudio y una experimentación para contar con datos más fiables que los disponibles hasta ahora.

El Sr. FERNANDEZ, dijo coincidir con el Sr. VIRELLA BLODA respecto del falso fraguado, y señaló la necesidad de formar personal a nivel de maestría u oficialía industrial para la técnica de la fabricación del hormigón, proponiendo fuese ésta una de las conclusiones de la Asamblea.

El Sr. CHACON, hablando de aditivos, puso de manifiesto que la falta de información y experiencia sobre los mismos ha sido causa de su mal empleo y de los fracasos consiguientes, si bien la situación ha cambiado, al no esperar milagros de ellos y al ser utilizados con la misma mentalidad que las vitaminas y sin emplear sobredosis. A efectos de normalización citó la tarea emprendida por ALEMAS-ANEFHOP-SEOPAN-LABORATORIOS, mediante una Comisión en la que figura el IETcc representado por el Sr. CALLEJA y el Laboratorio Central, por el Sr. DEL CAMPO, y pidió el respaldo de las autoridades para las actividades de la misma.

Sobre el mismo tema el Sr. DE PEDROSO no se mostró partidario de indicar la composición de los aditivos, por los peligros de plagio irresponsable y por las consecuencias a que ello pudiera dar lugar, insistiendo en la línea del Sr. CHACON sobre la necesidad de eliminar trabas administrativas para los trabajos de la Comisión.

Acto seguido el Sr. TRIVIÑO insistió de nuevo sobre el tema del falso fraguado, tratando de puntualizar sobre la primera intervención del Sr. LOPEZ SOLER en el Coloquio. Dijo que el “fraguado relámpago” (flash set) se produce en los primeros instantes y la pasta de cemento adquiere en ellos la consistencia correspondiente al fin del fraguado normal, desprendiéndose el mismo calor que se desprendería de la totalidad de éste, y sin que la pasta recupere plasticidad por reamasado. Por el contrario —añadió— en el falso fraguado se desprende tan poco calor que es inapreciable al tacto, siendo posible recuperar la plasticidad por reamasado con eventual adición de agua. Insistió en que, si bien no todos los clínkeres a los que se añade yeso hemihidratado dan falso fraguado, ha podido detectar siempre el paso de hemihidrato a dihidrato en los casos reales de falso fraguado con los que se ha tropezado. Concluyó que parece haber una causa concurrente ligada al clínker que hace que el yeso hemihidrato unas veces produzca falso fraguado y otras no.

A continuación el Sr. RUIZ DE GAUNA se refirió al tema de la mineralogía del crudo, a la que atribuyó gran influencia en las características, tanto de los constituyentes del clínker como de las de los hidratos formados a partir de ellos, así como en las propiedades de los cementos y de los hormigones. Conseguir clínkeres homogéneos —dijo— exige crudos asimismo homogéneos, y lograr éstos a partir de materias primas que no lo son implica disponer de tecnología adecuada para homogeneizar con garantía. Aludió en este aspecto a la mención hecha por el Sr. CALLEJA a la clinkerización que, por medio de radiaciones, se lleva a cabo en la Unión Soviética. Podría interpretarse esto —dijo— como una gasificación o volatilización en forma de óxidos, de los componentes del crudo, mediante energía atómica controlada. En estado de óxidos —añadió— sería factible depurar la mezcla gaseosa de los componentes indeseables, reteniendo los válidos e introduciendo los componentes minoritarios precisos para mejorar las características de los constituyentes mineralógicos del clínker, o inducir en ellos las que fueran precisas. Una vez conseguido así el “crudo” deseado, un enfriamiento controlado daría lugar a la formación de los componentes hidráulicamente activos, con el grado de cristalinidad preciso. De esta forma —concluyó— se podrían fabricar cementos con características determinadas, de modo análogo a como se procede por medio de copolimerizaciones en la tecnología de los altos polímeros.

Así concluyó la Primera Jornada sobre Cemento, en la Segunda Asamblea General del IETcc.

4. TERCERA PONENCIA: “Aspectos de la utilización del cemento”. J. REZOLA IZAGUIRRE

En la Segunda Jornada comenzó el Ponente Sr. REZOLA, por felicitar al IETcc en su 40 Aniversario, coincidente, en la década de los 70, con las bodas de platino de las primeras empresas cementeras españolas.

Expuso los principios básicos inmutables en cuanto a producción y a exigencias de calidad del cemento y pasó a señalar los cambios experimentados por la industria cementera desde sus comienzos, los cuales resumió así:

- 1) Aumento de la producción y del rendimiento energético, a base de unidades de mayor capacidad, de cambio de vía húmeda a seca, de sustitución de carbón por fuel-oil y de introducción de intercambiadores de calor en los hornos;

- 2) Mejora de la calidad de clínker, la cual ha llegado prácticamente a un límite, y tendencia a mejorar el cemento a base de granulometrías comprendidas entre 3 y 30 micras para que todo el material sea activo;
- 3) Preocupación por el problema de la contaminación cuya solución exige un 12 % de la inversión total en una fábrica de nueva planta;
- 4) Introducción de la automatización para mejora de la productividad;
- 5) Generalización del suministro de cemento a granel.

Consideró después que las soluciones para el problema que la crisis energética plantea a la industria del cemento requerirán tiempo, ya que las transformaciones de importancia son lentas. No descartó la posibilidad de medidas inmediatas para frenar el aumento previsible del consumo de fuel, tales como el empleo de adiciones activas en proporción del 20 %, que va a contemplar el nuevo Pliego de Cementos. Estimó que esta medida ahorrará unos 19 kg/t de fuel-oil, lo que con la producción actual equivale a unos 240.000 t de fuel-oil o a unas 530.000 t de petróleo.

El Sr. REZOLA entró en el tema de su ponencia enunciando los problemas considerados en ella, tales como normas para análisis y ensayos de cemento, toma de muestras, materias primas, componentes del hormigón (cementos, áridos, aditivos), así como aspectos relacionados con la elaboración y puesta en obra del mismo. No entró en el detalle de estos problemas (contenido en el Documento de Trabajo de la Asamblea) y señaló el interés de discutirlos. Aludió finalmente a la importancia del buen entendimiento entre fabricantes y usuarios del cemento, y más en las circunstancias actuales, para poder realizar, en bien común y de terceros, buenas obras en las mejores condiciones técnicas y económicas.

COLOQUIO

Lo comenzó el Sr. LOPEZ SOLER refiriéndose al problema de toma de muestras representativas, en el que intervienen numerosas variables que hacen dudosa la utilidad de los métodos preestablecidos. La insuficiencia de las muestras medias, que sólo indican parte de la verdad —dijo— se podía paliar con otras muestras aleatorias, comparando las dispersiones obtenidas con ambos sistemas de toma.

En el tema del cemento caliente coincidió con el Sr. REZOLA en que la temperatura del cemento, dada la proporción baja en que éste forma parte del hormigón, no debe afectar sensiblemente al fraguado y al endurecimiento de éste. Los factores importantes en tales aspectos —dijo— son el calor de hidratación del cemento y las condiciones de curado del hormigón.

Intervino después el Sr. OLIVARES para exponer en este punto un caso relacionado con una presa de montaña en Venezuela, con temperaturas ambiente entre 10 y 26°C, hecha con un cemento cuya temperatura era de 90°C. Hubo problemas de bombeo del hormigón, cuyo asentamiento disminuía mucho a los cinco minutos de amasado. Sobre la base de que cada 10°C de temperatura del cemento elevan en 1°C la temperatura del hormigón, para las temperaturas límite superiores ambientales éste llegaba a alcanzar las correspondientes a climas cálidos (del orden de 35°C), presentándose entonces los problemas de baja de asentamientos, dificultades de manejo, agrietamientos, etc.

Tomó la palabra a continuación el Sr. CALLEJA y se remitió a las alusiones hechas acerca del empleo de hidrógeno como combustible y oxígeno como comburente. Señaló que la obtención de ambos elementos, en las cantidades precisas, a partir del agua me-

dian­te electrolisis, requeria instalaciones muy grandes y, ademas, un consumo de energia electrica muy considerable. Tal solucion para el problema de la combustion en los hornos de cemento —dijo— implicaria por lo tanto, obtener una energia a base de consumir energia de otra categoria. Indico tambien, como una posibilidad futura, que esa energia podria ser la de origen nuclear.

Respecto del carbon como combustible para hornos de cemento, el Sr. CALLEJA dijo que en los Estados Unidos se piensa en el, pero no solo en cuanto a su consumo directo, sino mas bien por sus posibilidades de transformacion en elementos gaseosos combustibles, al estilo de los del gas natural. Si en Espana —dijo— se presentase con caracter urgente la necesidad de sustituir el fuel-oil por carbon en las fabricas de cemento, seria necesario, dada la baja calidad de los carbones espanoles, abundantes en finos y esteriles, establecer, ya en origen, una seleccion, o incluso unas mezclas para garantizar un minimo de homogeneidad que permitiese llevar a cabo con un cierto desahogo, libre de problemas, el proceso de clinkerizacion de crudos.

Acto seguido, y no habiendo mas comentarios sobre el tema de la ponencia, se reanudo el coloquio de los de las anteriores, interviniendo el Sr. SARABIA para decir, en relacion con el dilema planteado por el Sr. CALLEJA en su ponencia, relativo a la necesidad de investigacion pura o basica y/o aplicada, que estaba de acuerdo con el en que hasta ahora estamos viviendo de lo que postularon nuestros predecesores, y que consideraba que era necesario avanzar en el conocimiento cientifico en el campo del cemento, sobre el apoyo de una investigacion basica que estimaba era imprescindible.

El Sr. RUIZ DE GAUNA se refirio despues a la intervencion sobre hormigon alterado, hecha en la ponencia anterior y dijo que por metodos instrumentales de analisis quimico, rayos X, espectrometria infrarroja y analisis termico, a veces —no siempre— era posible dar con las causas de las anomalias de fraguado y de endurecimiento del hormigon, y decidir si este podia ser conservado o debia ser demolido. Menciono al respecto un caso resuelto en el IETcc, de un cemento pobre en silicatos y rico en aluminatos, el cual habia sufrido una meteorizacion por la que se habia formado una capa de carboaluminatos que retrasaba a mas de 24 horas la hidratacion de los aluminatos y el fraguado del cemento. Cuando esta capa se destruia —dijo— el cemento acababa por fraguar y endurecer con normalidad.

Respecto del falso fraguado, el Sr. RUIZ DE GAUNA confirmo lo dicho por el Sr. VIRELLA BLODA, acerca de que en el propio silo se puede deshidratar el yeso dihidrato a hemihidrato, y anadio que en el IETcc se habia podido comprobar, por analisis termico, tal deshidratacion causada por la cal libre del cemento, particularmente a temperaturas superiores a los 50°C. Asimismo se ha comprobado —dijo— que la anhídrita soluble se hidrata facilmente a hemihidrato, para lo cual basta la presencia de agua en forma de vapor —ambiente humedo—, mientras que el paso de hemihidrato a dihidrato requiere la presencia de agua en estado liquido, al ser necesario un proceso de disolucion previo a la hidratacion. En funcion de la facilidad de hidratacion de la anhídrita soluble por una parte, y de la avidez por el agua —incluso en fase de vapor— de determinada cal libre —especialmente la secundaria— por otra, se puede pensar —dijo el Sr. RUIZ DE GAUNA— que asi como la posible anhídrita soluble formada por deshidratacion en los molinos se rehidrata facil y rapidamente a hemihidrato con la humedad del aire en los casos normales, en los cementos con abundante cal libre muy reactiva tal rehidratacion estaria impedida o estorbada por dicha cal, la cual competiria con la anhídrita soluble para apoderarse del agua o de la humedad disponibles. En estas condiciones, al amasar un cemento la anhídrita soluble, o bien se hidrataria a hemihidrato y este, en estado “naciente” y mucho mas activo que el hemihidrato “envejecido” pasaria a dihidrato, o bien se disolveria y cristalizaria como dihidrato. Subrayo que la difraccion de rayos X no distin-

gue entre anhidrita soluble y hemihidrato, ya que ambos tienen la misma estructura cristalina. Concluyó que la mecánica de procesos que acababa de exponer podía explicar, al menos un cierto tipo de falso fraguado.

Continuó diciendo el Sr. RUIZ DE GAUNA que existían otras clases de falso fraguado. Una de ellas —añadió— se puede producir cuando los aluminatos tienen incrementada su solubilidad y su reactividad por la presencia de álcalis en su estructura. En tal caso, o bien una limitada pero rápida hidratación periférica de estos aluminatos antes de que el yeso empiece a regular la hidratación, o bien una cristalización también rápida de posibles carboaluminatos ávidos de agua, preformados en forma anhidra en cementos aireados, pueden conducir a otro tipo de falso fraguado. Parece razonable pensar —concluyó— que un tratamiento de cemento con vapor de agua a la salida del molino debe eliminar ambos tipos de falso fraguado, y de ello hay referencias bibliográficas.

A continuación, y respondiendo a la cuestión suscitada por el Sr. SARABIA acerca de la investigación, el Sr. CALLEJA dijo que, a su juicio, ésta, considerada en su contexto más general, es imprescindible en el campo del cemento, por ser muchos los problemas pendientes de resolución. Añadió que lo difícil es matizar en la práctica entre lo que, en términos más bien retóricos se designa —aunque no siempre se define con la necesaria precisión, a efectos diferenciales— como investigación teórica, básica, fundamental, e investigación práctica o aplicada, de seguimiento, de desarrollo y de innovación. Particularmente y por falta de buena definición, resulta muy arduo establecer —¿existen?— fronteras netas entre ellas; límites que, por otra parte y al margen de las definiciones, no se dan con nitidez en la realidad práctica. La investigación —dijo el Sr. CALLEJA— es una actividad global que debe cumplir sus fines últimos a través de etapas lógicas y consecutivas. Así, toda innovación y todo desarrollo se han de fundamentar en conocimientos y en resultados de una investigación básica de soporte, apoyada a su vez en unos principios teóricos de partida.

En cuanto a qué tipo de investigación será el que más se desarrolle en el futuro en el campo del cemento, el Sr. CALLEJA manifestó su creencia de que todo tipo de investigación tendrá cabida en dicho campo, si bien opinaba que debería producirse un cierto retorno a la investigación básica, ya que, de no ser así, poco avanzarían las otras y, sobre todo, pocas vías nuevas de conocimiento y adelanto tecnológico se abrirían.

Hizo alusión al respecto a ciertas conversaciones de pasillo, según las cuales en materia de clínker la información estaba prácticamente agotada, y manifestó el Sr. CALLEJA que tal vez fuese así, en todo caso en lo que se refiere al clínker que hoy se conoce. Pero recordaba lo dicho por él en la jornada de la víspera, a propósito de intentos alemanes y rusos en el estudio de nuevos silicatos de elementos de las tierras raras, y de otros componentes cálcicos no precisamente silícicos (germanatos). Con cemento a base de estos compuestos los alemanes lograron, en ensayos de laboratorio y semiindustriales, resistencias muy superiores a las del silicato tricálcico. Y añadió que nada aseguraba que en el futuro, para fines especiales y con carácter restringido, no se pudiesen fabricar cementos con tales compuestos.

Otro ejemplo aleccionador sobre la necesidad de investigaciones bien dirigidas —continuó diciendo el Sr. CALLEJA— se presenta en el campo de la retracción del hormigón. Desde principios de siglo hasta 1965 el número de trabajos publicados sobre el tema era del orden de 600; hoy día podría ser de 800 a 1.000. Pues bien —añadió— la enjundia de estos trabajos se podría resumir en unas docenas de páginas, porque la investigación en este terreno ha sido de tal naturaleza que muchos trabajos son repetición de otros anteriores, sin aportar nada nuevo en ningún sentido.

Esto ha tenido como consecuencia que la retracción observada en la práctica con los cementos normales de hoy es sensiblemente la misma que era a principios de siglo. Es decir, que desde el punto de vista real —tecnológico— no se ha avanzado un solo paso, co-

mo consecuencia de que en los conocimientos básicos y en la teoría de la retracción tampoco se ha progresado sustancialmente. Esto es, en definitiva: cuando falta conocimiento no hay avance posible.

Aprovechando una pausa en las intervenciones, y con el permiso del Presidente Sr. PEREZ OLEA, el Sr. CALLEJA se remitió al tema del falso fraguado suscitado en la jornada anterior, para indicar que acerca de él se había hablado mucho y bien, y que sobre el mismo quería hacer unas consideraciones. La mente humana —dijo— propende a la sencillez, pero las cosas no siempre son sencillas. En el caso del falso fraguado esta propensión da lugar a una serie de equívocos o valores mal entendidos, como el de querer designar por falso fraguado, en cada caso, un fenómeno único, obediente a una causa también única. Sin embargo, la realidad no es así, pues lo que se debe entender por falso fraguado, en general es una mezcla compleja de fenómenos que obedecen en la mayoría de los casos a un conjunto de concausas. Por ello sus manifestaciones son distintas, y cuando se trata de provocar el falso fraguado a base de una sola causa, de ordinario no se consigue.

Entre las causas posibles que intervienen en el falso fraguado y en el fraguado en general—siguió diciendo el Sr. CALLEJA— hay que contar todas y cada una de las que se mencionaron ayer, pues ciertamente tienen su parte las formas de yeso que se añaden al clínker o se forman en el molino, sea anhídrita α o β , hemihidratos o dihidratos; pero también influyen los álcalis del clínker, así como la forma en que éstos se encuentren, en función de la cantidad de óxidos alcalinos contenidos en las materias primas y retenidos por el proceso, del azufre del combustible y del tipo de horno, y de la relación entre sulfatos y óxidos alcalinos en el clínker. Todo ello determina que en éste haya sulfato cálcico (anhídrita de alta temperatura —poco soluble—), o incluso sulfatos alcalinos (sódico y potásico), o álcalis incluidos en sus fases principales — $KC_{23}S_{12}$ y/o NC_8A_3 —. Influye asimismo la finura de molido y las condiciones de ensilado del cemento, afectándose más por ésta los productos más básicos y, en una u otra medida, según la forma en que se encuentren, los álcalis, dando lugar a carbonatos alcalinos que tienden a acelerar el fraguado, como sucede a veces a los cementos, por meteorización o aireación.

El Sr. CALLEJA resumió diciendo que, probablemente, tanto el falso fraguado como el fraguado rápido, son fenómenos complejos que incluso se solapan a veces, y que no siempre obedecen a una sola y misma causa, ni siempre se manifiestan de igual manera o en idénticas condiciones.

Concluyó haciendo destacar el interés que tendría una investigación sistemática, asentada sobre la hipótesis más probable de la complejidad del fenómeno, y partiendo de la etapa básica o fundamental, para llegar a conocer y controlar plenamente el fenómeno del fraguado, y para resolver los problemas técnicos que su incompleto conocimiento tiene planteados y sin total solución en la actualidad.

Intervino a continuación el Sr. HIDALGO DE CISNEROS para referirse al aprovechamiento de cualquier clase de roca o materia prima para la fabricación de cemento, diciendo que ello sería posible a base de una homogeneidad tal del crudo que compensase a lo largo del proceso las alteraciones debidas a las materias primas. La industria de maquinaria para la industria cementera —dijo— hace esfuerzos por conseguir equipos capaces de corregir el crudo de forma prácticamente instantánea. Los problemas abordados con interés en el campo de la homogeneización —añadió— son dos: uno, lograr que el bucle de automatización de la molienda tenga el mínimo de inercias y puntos muertos y dé respuestas lo más rápidas posible; y otro, conseguir también con rapidez muestras representativas a la salida de los molinos.

Finalmente hizo constar, en cuanto al tamaño creciente de las instalaciones, que ya funcionan unidades de 8.000 t/día y se proyectan de 10.000.

Tomó la palabra después el Sr. VIRELLA BLODA para lamentar la mala acogida por parte de los fabricantes de aditivos para hormigón de su sugerencia para que se indicase en los envases la composición de estos productos. Mencionó la dificultad en que se encontró de sustituir un coadyuvante de molienda por otro cuando el primero faltó en el mercado. Dificultad —dijo— que no se hubiera presentado, de haber podido disponer de la fórmula. Hizo al respecto una nueva sugerencia en el sentido de que el IETcc u otro organismo análogo fuese el depositario confidencial de las composiciones de los aditivos y otorgase documentos de homologación que sirvieran de garantía al usuario de los aditivos.

Se refirió después el Sr. VIRELLA BLODA al empleo de hidrógeno como combustible y oxígeno como comburente para la clinkerización, estimando que el vapor de agua producto de la combustión podía ser perjudicial, por una parte, por su elevado calor específico que tendería a rebajar el rendimiento térmico y, por otra, por la formación de lodos, barros y pegaduras por condensación en determinadas partes del sistema y del proceso. Consideró más viable la gasificación de carbones, para aprovechamiento de los de baja calidad, aún teniendo en cuenta la gran potencia económica de las empresas necesarias para ello.

A propósito de la homogeneidad del clínker el Sr. VIRELLA BLODA dijo que se habla poco de ella y de lo que sucede en el interior de los hornos, en comparación con lo mucho que se habla de la homogeneización del crudo. Recordó una ponencia suya en relación con la segregación de crudos en el horno y su influencia en la formación de anillos, y señaló que un crudo homogéneo a la salida del molino y a la entrada en el horno podía perder su homogeneidad dentro de éste, dando un clínker de composición heterogénea e irregular.

Finalmente el Sr. REZOLA habló de las adiciones activas para el cemento. Dijo que si bien el Pliego PCCH-64 admite adiciones no nocivas hasta un 10 %, el hecho de fijar límites de 4 % y 3 % respectivamente para la pérdida al fuego y para el residuo insoluble de los cementos, restringe la posibilidad de añadir puzolanas y cenizas volantes en la cuantía máxima tolerada, dado el elevado residuo insoluble de estos materiales. Señaló también que, dada la gran diferencia existente entre las resistencias mínimas exigidas por el Pliego para cada categoría de cemento, y las que realmente dan los cementos españoles, es posible incrementar holgadamente el contenido de adiciones activas en éstos. Añadió que, independientemente de la incidencia en el ahorro energético, existe una tendencia mundial hacia el empleo creciente de puzolanas, escorias y cenizas volantes en los cementos, y aportó datos estadísticos al respecto. Dijo haber un techo para el consumo de escorias y cenizas, fijado por la producción de ambas, pero que no constituía problema por ser el consumo muchísimo menor que la producción, por el momento. En cuanto a las puzolanas citó los yacimientos del Centro, Cataluña y Canarias, como abastecedores sin limitación.

5. CUARTA PONENCIA: “El cemento blanco”. J. REZOLA IZAGUIRRE

El Sr. REZOLA comenzó diciendo que la fabricación del cemento blanco requiere materias primas —calizas y caolines— de pureza suficiente, exentas de compuestos pigmentantes, como los de hierro en primer lugar, y los de cromo, titanio, níquel, cobalto, manganeso y otros, que también deben ser controlados. Esto y las dificultades de su fabricación han impedido la difusión de aquélla por todo el país.

Acerca de estas dificultades señaló la casi total ausencia de fundentes en el crudo, lo que obliga a clinkerizar entre 1.450° y 1.600°C, temperaturas muy superiores a las necesarias para el clinker de portland gris. Indicó también la necesidad de trabajar con atmósfera reductora en el horno, la de enfriar el clinker con agua o con vapor, y la de evitar contactos metálicos del clinker caliente.

El cemento resultante —continuó el Sr. REZOLA—, en función de su composición química es rico en silicatos, pobre en aluminato y está exento de ferrito. Sus características técnicas —añadió— le hacen apto no sólo para pinturas de fachada, en cuyo empleo restringido sustituye a la cal hidráulica, sino para obras y estructuras que requieran solidez y resistencia.

En cuanto al cemento blanco español, el Sr. REZOLA señaló su excelente calidad, bien considerada mundialmente, hasta el punto de haber sido otorgado un premio internacional a una empresa española. Aparte de ello —dijo— España ocupa el primer puesto en el “ranking” mundial de países productores de cemento blanco.

En relación con las cuestiones que sobre el cemento blanco plantea en el Documento de Trabajo de la Asamblea, el Sr. REZOLA dijo que se referían a problemas vinculados a la fabricación, a los métodos de ensayo y a las aplicaciones. Problemas —añadió— escogidos entre otros por su interés, tanto para el fabricante como para el consumidor, y en particular para este último, ya que, en definitiva, las aplicaciones del cemento blanco en terrazos, hormigón, pinturas, adhesivos, etc, son las que permiten realzar el valor y la bondad del producto.

COLOQUIO

Lo abrió el Sr. LOPEZ SOLER, a propósito de la determinación del grado de blancura de los cementos blancos, para decir que en dicha determinación se comparan valores cromáticos de muestras problema con los correspondientes de muestras patrón de óxido magnésico, según normas existentes. Añadió que, sin embargo, estaba por definir la forma de realizar la probeta del problema y del patrón, y sugirió que ambas se obtuviesen por compactación de los respectivos polvos en idénticas condiciones y se sometiesen a medición con un mismo instrumento, con lo cual los resultados serían más fiables y comparables, y permitirían establecer diferencias de color entre distintos cementos.

En cuanto a la composición mineralógica del cemento, el Sr. LOPEZ SOLER dijo que el cálculo de Bogue estaba ya superado y que tenía el inconveniente de que se le solía atribuir un carácter absoluto por parte del consumidor. La difracción de rayos X, a su entender, permitía determinar relativamente bien sólo el silicato tricálcico, y el método microscópico, más adecuado, da resultados por exceso respecto de otros métodos, y es largo y laborioso. En vista de todo ello opinó que sería interesante investigar más sobre el tema de la determinación de la verdadera composición mineralógica del cemento.

Por lo que respecta a la dosificación mínima de cemento en terrazos, dijo que habría que estimarla en relación con las características de los áridos en cada caso, dado que tanto o más que la dosificación del cemento en sí influyen en el comportamiento del terrazo los finos e impalpables de mármol, granito, etc., empleados en su confección, lo cual hace muy difícil establecer una dosificación mínima para todos los casos, a efectos de las normas correspondientes.

En lo que afecta a la plasticidad y a la retención de agua de los cementos blancos, el Sr. LOPEZ SOLER dijo que estaban relacionados con la finura de los mismos, y que este hecho, así como los relativos a la adecuada utilización de cada tipo de cemento, debían

ser recogidos en una serie de reglas para conocimiento de los preparadores de hormigones, a fin de evitar problemas de poros, de fisuras, de empleo de áridos inadecuados, etc.

A continuación, y sobre el mismo tema de los cementos blancos, el Sr. DEL CAMPO se refirió a ensayos en común entre varios laboratorios, en el seno de la Comisión 41 del IRANOR, para establecer el grado de concordancia entre resultados de mediciones de la blancura de cementos tomando óxido magnésico como patrón. En principio se obtuvieron valores comparables, pero —dijo— sería necesario implicar a más laboratorios (incluidos los oficiales) en estudios conjuntos más amplios, con objeto de dejar bien establecida la comparabilidad de los resultados obtenidos con distintos grupos de medición, a fin de poder establecer valores limitativos que definan, según normas, cuándo un cemento es blanco, si bien —añadió— en las correspondientes normas extranjeras no existen índices de blancura que den tal definición.

El Sr. OLIVARES señaló que en el color de las obras hechas con cemento blanco influye decisivamente el tipo y color de los áridos, y que para conseguir hormigones y obras blancas es preciso disponer de canteras de áridos blancos y finos idóneos. La necesidad de seleccionar materias primas adecuadas, tanto para el cemento como para el hormigón, hace que las obras en hormigón blanco sean mucho más costosas que las normales y tengan el carácter de lujosas. El Sr. OLIVARES mencionó dificultades habidas en Venezuela, al comienzo de la utilización de cemento blanco, por falta de áridos adecuados, y otras surgidas como consecuencia de la contaminación por aguas de lluvia, de una cantera de materias primas para cemento blanco.

Volviendo sobre el tema de la dosificación mínima de cemento en terrazos, y sobre el de la adición de finos inertes al cemento para mejorar la plasticidad, el Sr. SORIA dió cuenta de la situación actual de la normativa al respecto, así como de la creación de una Comisión IETcc-ANDECE para redactar un documento que sirva de base para el establecimiento del Sello de Conformidad de los terrazos. En las especificaciones de este documento —dijo— se establecen unas posibles limitaciones de la dosificación de cemento en función del tamaño máximo del árido, así como unas indicaciones sobre la cantidad de finos totales (menores de 88 micras), incluidos los de los inertes contenidos en el cemento.

Acto seguido el Sr. VIRELLA BLODA habló de la dispersión en los resultados de la determinación del grado de blancura de los cementos por varios laboratorios, la cual puede ser debida —dijo— al empleo de fotocolorímetros diferentes, aún cuando todos se calibren de igual modo y con óxido magnésico como patrón. Para evitar o paliar este inconveniente propuso hacer el calibrado con patrones cuyo grado de blancura sea más próximo al de los cementos y esté comprendido dentro del intervalo de variación normal de blancura de éstos. Sugirió que tales patrones podrían ser cementos blancos de blancura conocida, preparados y conservados de forma adecuada.

El Sr. VIRELLA BLODA volvió después sobre el tema de la composición mineralógica del clínker, subrayando que a los resultados del cálculo de Bogue no hay que darles más valor que el que tienen los módulos o los grados de saturación de cal, y que en tal sentido la composición calculada puede, igual que estos módulos, servir de guía al fabricante para dosificar el crudo, pero sin que ello signifique que el clínker resultante vaya a tener dicha composición. Refiriéndose a las diferencias entre resultados del cálculo potencial de Bogue y del recuento microscópico, dijo que el C_3S , el C_2S , el C_3A y el C_4AF potenciales, respectivamente son por sistema menor, equivalente y bastante mayores (los dos últimos) que la alita, la belita y los aluminatos y ferritos determinados por vía microscópica. Añadió que el cálculo de Bogue es aún más inoperante en el caso de los clínkeres blancos, pues de 25 de ellos con contenido de C_4AF nulo por vía microscópica, se obtuvieron valores calculados situados entre 0,7 % y 2,0 %, con una media del 1,2 %. Probablemente —dijo— el hierro de estos cementos queda disuelto en el C_3S o en la fase intersticial.

Con relación a la supuesta tendencia a la formación de mohos en pinturas de cementos adhesivos que contienen caseína, el Sr. VIRELLA BLODA opinó que no se podía rechazar un cemento-cola que contuviese cualquier producto orgánico, sin antes comprobar, mediante cultivos, si realmente tiende a formar mohos. Por otra parte —añadió— en caso positivo cabe añadir productos fungicidas del tipo de acetato de tributilo-estaño.

Sobre el debatido tema de la determinación del grado de blancura de los cementos, el Sr. PEREZ ALONSO se mostró de acuerdo con lo manifestado por el Sr. VIRELLA BLODA, añadiendo que las diferencias de apreciación podían llegar a ser de 5 enteros en el margen de blancura del 80 al 85 por ciento. Dijo también que la inclusión de valores límite y del método de determinación correspondiente en el nuevo Pliego de Cementos había sido desestimada por la Comisión correspondiente, en vista de la falta de concordancia de resultados en los ensayos hechos al efecto.

Respecto de la composición mineralógica del clínker determinada por rayos X dijo que podría ser útil en una misma fábrica y para un mismo horno, a condición de no variar sustancialmente las condiciones del proceso. Añadió que la inclusión de sustancias extrañas en las especies principales del clínker puede afectar a los parámetros cristalinos y a la cristalinidad de las mismas, desplazando los espaciados de sus redes y alterando las alturas de los picos. En el caso del C_2S los espacios principales se solapan —dijo— con los del C_3S , habiéndose de recurrir a espaciados de segundo o tercer orden no susceptibles de cuantificación para contenidos de C_2S inferiores a 25 por ciento. En cuanto a la determinación de ferritos —continuó— tropieza con la dificultad de que su contenido en los cementos suele estar por debajo de los límites aptos para su estimación cuantitativa, por lo que dicha determinación, así como la de los aluminatos, se puede mejorar por eliminación previa de los silicatos, mediante solubilización de éstos en ácido salicílico-metanol.

Mencionó a continuación la plasticidad del cemento blanco en la que —según él— además de la granulometría influyen la clinkerización y el templado, pues si éste se hace con agua se puede formar hasta un 7-9 por ciento de $Ca(OH)_2$ que, como en los cementos de albañilería, actúa como plastificante.

Finalmente, el Sr. PEREZ ALONSO ofreció bibliografía sobre el acetato de tributilo como fungicida.

El Sr. TRIVIÑO insistió sobre la determinación de la composición mineralógica del clínker diciendo que el difractor de rayos X “ve” las fases cristalizadas, pero no las vítreas coexistentes en virtud del templado, mientras que el microscopio, con menor poder separador, las “ve” todas, pero da valores en función de unas densidades teóricas de las mismas que no se ajustan a la realidad. Coincidió con el Sr. PEREZ ALONSO en la idoneidad del método de Takashima para eliminar los silicatos por disolución en ácido salicílico-metanol, como paso previo para determinar aluminatos y ferritos por separado, mediante la difracción de rayos X, y en conjunto, por simple pesada del residuo; éste, en el caso de los cementos blancos, corresponde prácticamente a los aluminatos. Finalmente citó el empleo del cemento como aglutinante para arenas de moldeo de fundición, aplicación poco explotada y de posible promoción.

Por último el Sr. REZOLA cerró el coloquio diciendo estar de acuerdo en general, con las respuestas dadas a sus planteamientos. Puntualizó que tanto el cálculo potencial de Bogue como las limitaciones químicas del Pliego de Cemento se rigen por resultados de análisis afectados a veces de grandes coeficientes de variación, según los laboratorios que los obtienen. Dio valores al respecto, sumamente significativos.

Con esto concluyó la Segunda Jornada dedicada al Cemento en la Segunda Asamblea General del IETcc.

6. QUINTA PONENCIA. “Automatización del control y del mando fabril”. A. SARABIA

La Tercera Jornada comenzó con la intervención del Sr. SARABIA felicitando al IETcc en su 40 aniversario.

Pasó después a desarrollar su ponencia sobre automatización y control, y definió el control de calidad como operación sobre el proceso fabril destinada a prolongar éste al máximo, manteniendo los parámetros tan próximos como sea posible a los correspondientes valores del modelo.

Este control —dijo— practicado desde el comienzo de la fabricación del cemento, ha evolucionado en los últimos 30 años en función del tamaño creciente de las unidades de producción. Añadió que como consecuencia del desarrollo de las técnicas de medida, de su teletransmisión, de la operación telemandada, de la televisión industrial y de la propia teoría del control, así como de la definición precisa del modelo operativo y de la fijación de las desviaciones máximas permisibles, era posible que una sola persona tuviese una panorámica instantánea y global del curso del proceso desde un puesto central, y pudiese compensar dichas desviaciones. A este tipo de control “convencional” —continuó— se le ha añadido en algunos casos el ordenador de proceso que vigila los valores límite para cada parámetro programado y avisa de las anomalías en forma escrita.

Así se ha desarrollado —dijo— el control más o menos automatizado entendiendo por tal el que opera sobre el sistema mediante reguladores analógicos u ordenadores de proceso, haciendo posible el desarrollo normal de éste sin intervención humana directa.

El Sr. SARABIA enumeró después las funciones y fases de fabricación que paulatinamente se han ido automatizando, en cuanto a regulación y control, a saber: el flujo de materiales, la mezcla y homogeneización de crudos, el mando de la molienda, la conducción de los hornos, etc. La suma de todo ello supone prácticamente la automatización total del proceso, cuyas ventajas —dijo— son: el incremento del caudal del horno y la reducción del consumo de calor; la mayor constancia de las características del clínker (standard de cal, módulos, etc.); y la reducción al mínimo de la mano de obra para el mando y control de las instalaciones.

Dijo después el Sr. SARABIA que su intervención pretendía dar pie para considerar y discutir: por una parte, las ventajas de la automatización y la tendencia general hacia ésta en todo el mundo, así como la excelente calidad de la producción española de cemento, regida hasta ahora por el control convencional; y, por otra parte, la cuantía de las inversiones como capital inmovilizado en equipo fabril, que en el caso de un ordenador sin instalaciones auxiliares importa de 25 a 40 millones de pesetas.

COLOQUIO

Lo inició de nuevo el Sr. LOPEZ SOLER señalando el riesgo de que el exceso de confianza en la automatización hiciese olvidar el “oficio” de cementero, indispensable a su juicio para superar dificultades que siempre pueden surgir.

El Sr. MAGALLON señaló que el problema de la rentabilidad de la inversión en la automatización del proceso de fabricación de cemento fue uno de los primeros que se plantearon a la empresa Siemens, S. A., añadiendo que estaba resuelto. Un ordenador de proceso para una sola dosificación, sin espectrómetro multicanal ni memoria externa, vale unos 15 millones de pesetas —dijo—, mientras que con espectrómetro y los instrumentos de medida, tales como analizadores de CO_2 , CO y O_2 , etc., su valor puede ser de 20 a 25 millones. En todo caso —añadió— estas cifras son pequeñas en relación con el volumen

total de la inversión en una fábrica de cemento nueva. Hizo destacar la tendencia a automatizar, no sólo la dosificación, sino también la molienda del crudo (control del grado de llenado de los molinos y optimización de su producción) y la marcha del horno. Con esto —dijo— y con las ventajas del ordenador conectado a un espectrómetro multicanal, se han conseguido aumentos de producción del orden del 10 por ciento frente a la marcha normal, y de un 3 a un 5 por ciento frente al proceso con regulación analógica, lo cual supone mucho en términos absolutos, dadas las cifras actuales de producción. Citó asimismo otros cometidos del ordenador, tales como el control automático de las operaciones de expedición de cemento, del consumo de combustible, de la explotación de canteras, etc., de sumo interés para las direcciones de las fábricas.

Finalmente añadió el Sr. MAGALLON que esta tendencia a la automatización no obedece a una “moda” sino que la inversión en ella es rentable, aparte de otras ventajas difíciles de cuantificar, tales como la utilización más racional del equipo en una marcha más regular y uniforme y con mayor estabilidad de los parámetros del proceso, y un conocimiento más completo y detallado de la dinámica de éste, lo que permite ajustes más precisos con menores márgenes de tolerancia y sin merma de la seguridad de la marcha de aquél.

A continuación el Sr. SARABIA aclaró que cuando hizo destacar su perplejidad ante la tendencia general y mundial hacia la automatización, poniendo a discusión el tema, no pensó que tal tendencia obedeciera a “moda”, sino que, tal vez por falta de información y de experiencia, le cabía la duda de si en la mencionada tendencia no influirían como condicionantes, además del propio avance tecnológico, razones económicas o laborales, según características socio-económicas de cada país.

Intervino después el Sr. PUIG para exponer su asombro por algunas manifestaciones escuchadas, pues no comprendía el significado de “oficio cementero”, ya que en sus primeros años en la industria realizó el control tradicional, y a partir de 1970 lo hizo mediante ordenador y equipo de rayos X. Y precisamente —dijo— la puesta en marcha de programas para el control de la calidad y de las fases del proceso, así como del propio equipo de control automático, obligó a todos los técnicos de la empresa a recordar conocimientos que la rutina había hecho olvidar, así como a profundizar en cuestiones de fabricación y en problemas posibles en torno a ellas. Es decir, les obligó a ser más cementeros y a conocer mejor la industria para salvar lagunas, fallos y anomalías, y para perfeccionar las formulaciones y la programación de los procesos.

El ordenador —añadió— es un ejecutor rápido y fiel de las ordenes que recibe y que hay que darle de forma completa y suficientemente explícita, con lo que se evitan fallos por ordenes incompletas, que en el caso de las personas se dan, a causa de que lo que no se dice se considera, a veces sin razón, como sobreentendido.

La aplicación de un ordenador y un analizador —continuó el Sr. PUIG— ayuda en dos sentidos: en el control de la calidad, y en el del proceso. En cuanto al primero, se requiere un crudo lo más homogéneo posible; en cuanto al segundo, se precisa una cocción adecuada. Con ello —añadió— se obtiene clínker y cemento de calidad alta y regular. El control automatizado de la calidad y de la homogeneidad del crudo mediante ordenador y analizador (a diferencia del tradicional basado en la valoración de los carbonatos y en la dosificación “a ojo” a partir de materiales “alto” y “bajo”, de los que no se conoce el análisis actual —dijo al comparar ambos métodos—) parte del conocimiento analítico preciso de las materias primas y de la muestra de molienda. Con los datos correspondientes el ordenador estima y corrige las básculas dosificadoras. El análisis de las materias primas —continuó— se puede ahorrar con el ordenador —así como las correspondientes tomas de muestra— mediante una prehomogeneización doble, o en dos líneas separadas (en el caso de sólo dos materias primas): una para el material alto (caliza) y otra para el bajo (marga arcillosa). Conocida la proporción de mezcla, los análisis

de ambas materias primas prehomogeneizadas por separado, y el análisis de la mezcla cruda molida, se puede plantear una identidad (o una serie de identidades). Dado que la proporción de mezcla se conoce en el caso de utilizar el ordenador, puesto que éste lee continuamente las posiciones de las básculas de alimentación, queda una ecuación (o una serie de ecuaciones) con dos incógnitas, que son los valores analíticos de las materias primas; por lo tanto, sin solución. Pero si se plantea un sistema de tales ecuaciones establecidas a diferentes intervalos de tiempo (horas), este sistema tiene solución por mínimos cuadrados mediante el ordenador, con lo cual se llega a conocer el análisis estadístico de las materias primas. A partir de éste y del conocimiento exacto de las materias primas consumidas (y de su proporción) se puede establecer un análisis de crudo que diferirá en “algo” del que da el analizador. Sobre la base de esta diferencia se puede mejorar el control, modificando de forma adecuada los análisis “previstos” para las materias primas —concluyó el Sr. PUIG—.

Por el contrario —prosiguió— la obtención de un análisis representativo de materias primas sin prehomogeneización ni ordenador es enormemente difícil y costosa, ya que las muestras correspondientes, que hay que triturar, cuartear, secar y moler antes de analizar, deben ser del orden del 0,5 al 1 por ciento del material circulante, y hay que tener en cuenta que se manejan volúmenes de 10.000 t/día. La prehomogeneización única —añadió— también obliga a llevar un control analítico riguroso de las materias primas. Por otra parte —adujo— es necesario asimismo tomar muestra representativa a la salida del molino de crudo, lo que se realiza mediante tomamuestras continuos que actúan durante cada media a una hora. Un control del control (control de comprobación) para confirmar la eficacia de los controles anteriores se puede efectuar analizando el crudo de alimentación del horno para determinar la regularidad del mismo.

A continuación el Sr. PUIG se mostró excéptico en cuanto a las ventajas de métodos analíticos más rápidos que la fluorescencia de rayos X (entre los que citó los continuos de fluorescencia y los basados en rayos Laser y en radio-isótopos), debida a los largos tiempos muertos de los actuales molinos de bolas, que hacen que los grados de homogeneidad que se obtienen para los crudos, dependan de forma directa de la frecuencia de los análisis, si bien hasta cierto punto. En efecto, una frecuencia demasiado grande puede suponer el intentar corregir prematuramente un material que aún no ha experimentado —o que está en trance de experimentar— la corrección anterior. Por todo ello —concluyó— tal vez y sólo con molinos verticales de rodete, de tiempos muertos mucho menores, los métodos de análisis más rápidos podrían acelerar la corrección de los crudos.

Más tarde se refirió el Sr. PUIG a las ventajas de la utilización de más de dos materias primas respecto del control del crudo, puesto que éste se puede definir —fijándolos a voluntad— por tantos parámetros (módulos, grado de saturación, etc.), como materias primas menos una se empleen.

Finalizada su exposición sobre la función de ordenadores y analizadores en el control de la calidad, pasó a tratar de los primeros en cuanto al control del proceso, mencionando su aplicación al control escrito de las alarmas durante el mismo, cuando se rebasan los límites establecidos para las variables; la reunión de los partes de alarma —dijo— informa a la dirección sobre los tipos de anomalías y su frecuencia. Añadió que el ordenador se podría convertir en un regulador múltiple, por ejemplo en la molienda llevada a cabo con un determinado tipo de regulación, y que la granulometría Laser a la salida del molino de crudo podría constituir el complemento para el total del control del proceso de molienda.

Por último, el Sr. PUIG justificó la mayor lentitud en el avance de la automatización del proceso de cocción, por la dificultad de instalación en el interior del horno, de captadores y medidores de temperatura de clinkerización.

Intervinó después el Sr. LOPEZ SOLER para aclarar su defensa del “oficio” de cementero, como necesario para conocer y aplicar con éxito las técnicas más modernas, tales como las de los ordenadores, de los cuales en modo alguno era enemigo.

El Sr. HERRERA se manifestó de acuerdo con la exposición del Sr. PUIG, en cuanto a que el ordenador y el analizador son útiles, a condición de saberlos usar, y a que el control del horno es la parte fundamental y más difícil de una fábrica de cemento. Añadió que el ordenador podía contribuir a dar conocimiento de lo que sucede en el horno y a controlarlo, siempre que el técnico, mediante un conocimiento previo de la cinética de las reacciones, se lo imponga. De este modo —añadió— se podrían alcanzar metas —como la apuntada por el Sr. CALLEJA— de un mejor rendimiento energético, concentrando el calor mediante mayores temperaturas y hornos de menor tamaño, así como determinar energías mínimas de reacción para evitar derroches por temperaturas demasiado altas o zonas de reacción demasiado extensas. Finalmente abogó por una colaboración entre equipos y personal de fábricas y del IETcc para el estudio de la cinética de la clinkerización, como medio de hacer más rentable la producción del cemento.

7. SEXTA PONENCIA: “Promoción del Cemento: I. El uso del cemento en los firmes de carreteras”. R. FERNANDEZ SANCHEZ

Según el ponente, en España se utiliza bastante el cemento para las sub-bases de suelo-cemento y las bases de grava-cemento de las autopistas modernas, aun cuando las capas intermedia y de rodadura sean asfálticas.

Por otra parte —dijo el Sr. FERNANDEZ SANCHEZ— el fenómeno de la construcción de pavimentos de hormigón a causa de sus ventajas, ha tropezado con el inconveniente de su mayor costo de primer establecimiento en relación con los asfálticos, si bien el costo global (el inicial más el de explotación) de ambos se nivela al cabo de 25 años. Pero —añadió— la subida de precio del petróleo y de sus productos, así como de la energía, ha modificado la situación; por ello, según un reciente estudio francés, la diferencia de gastos de primer establecimiento se compensan en algunos casos en favor del firme de hormigón, que puede incluso resultar más económico por tal concepto.

Un estudio comparativo de soluciones flexible, mixta y rígida de pavimentos varios, habida cuenta de las cantidades de materiales necesarios para cada una y de los aumentos de precio de los mismos en el último año, ha dado resultados similares a los de otros países, en el sentido de que los incrementos de precio por metro cuadrado de las citadas soluciones han sido del orden de 100, 70 y 20 pesetas, respectivamente, con lo que el costo inicial resulta ya prácticamente igual en los tres casos.

Ante la dificultad de obtener datos de precios, dependientes siempre de condiciones locales y técnicas, sobre todo en España —siguió diciendo el ponente—, lo que se ha hecho para comparar el coste de cada solución es tomar como base los precios medios, actualizados, de los diversos materiales en Francia, puestos en obra. Para cada modalidad de tráfico y de suelo existen secciones tipo normalizadas para cada solución, las cuales son equivalentes. Determinando así el costo medio de cada una se ve clara una tendencia, según la cual se confirma que el costo de primer establecimiento de los pavimentos de cemento es menor que el de los de asfalto.

En cuanto al costo global —prosiguió— que incluye además el entretenimiento anual, las grandes reparaciones y los gastos que se ocasionan al tráfico por detenciones del mismo por causa de aquéllas, resulta del correspondiente estudio que el costo de un pavimento asfáltico se hace doble que el de otro de hormigón, al cabo de 25 años. Y esto porque el interés del dinero —que antes contaba a efectos de adoptar la solución inicial—

mente más barata— ha perdido ahora valor frente al grande y constante aumento de precios, que ahora prima, haciendo más gravosa la aplicación de capas asfálticas sucesivas en el tiempo, a medida de las necesidades.

Aclaró después el Sr. FERNANDEZ SANCHEZ que cuando se habla de pavimentos de hormigón competitivos se hace referencia a los de hormigón en masa ejecutados con técnica californiana y máquinas de encofrado deslizante, y no a los más antiguos ligeramente armados, ni a los armados continuos, aunque estos últimos —dijo— tengan interés en casos especiales como aeropuertos, y siempre que sea mejor evitar reparaciones aún a costa de un mayor gasto inicial (uno de estos pavimentos lleva del orden de 15 kg de acero por m², que a 15 ptas./kg suponen 600 ptas./m², que es casi el precio total por m² de un pavimento de hormigón en masa).

Se refirió después a las medidas tomadas por diversos gobiernos europeos ante la escasez y carestía de los derivados del petróleo. En Inglaterra —dijo— se permite a las empresas cambiar en las concesiones unos tipos de pavimentos por otros equivalentes, lo que ha hecho pasar de 6 % a 26 % el porcentaje del total realizados en hormigón, lo que muestra la ventaja de éstos. En Francia —continuó— sucede algo análogo, ya que la administración ha ordenado reservar los productos asfálticos para reparaciones, y que los nuevos proyectos se hagan basados en conglomerantes hidráulicos. En España —dijo finalmente— el MOP está revisando las normas correspondientes para dar secciones (de catálogo) equivalentes de pavimentos rígidos y flexibles, como soluciones alternativas para los servicios regionales. La situación local de facilidad de suministro de cemento y árido será la que decida en el futuro la adopción de una solución u otra.

COLOQUIO

Lo inició el Sr. PALOMAR COLLADO para decir que ya en 1930 la Revista Cemento y Hormigón, que fundó y dirige, publicó un número extraordinario dedicado a pavimentos de hormigón, lo cual tomaba como pretexto para salir en defensa de los mismos. Se dice —añadió— que una de las ventajas del pavimento asfáltico es la rapidez de su apertura al tráfico en comparación con los de hormigón. A este respecto preguntó si los aditivos podrían permitir también a los pavimentos de hormigón ser abiertos rápidamente al tráfico.

Después, el Sr. JOFRE dijo que las cifras y conclusiones dadas por el Sr. FERNANDEZ SANCHEZ, válidas para tráficos importantes que justifican la solución autopista, son igualmente válidas, para tráficos menos intensos en carreteras de segundo orden y, sobre todo, en suelos de capacidad portante media o escasa; es decir, que los costes de primer establecimiento han llegado también a igualarse, tanto para la solución flexible como para la rígida.

Se refirió después al futuro de los pavimentos de hormigón, en el que veía un gran papel para el reforzado con fibras, ya que el límite de fatiga del mismo puede alcanzar hasta el 90 por ciento de su carga de rotura, infinitas veces. Esto —dijo— tiene importancia a efectos de dimensionamiento, pues según el del método de la PCA, solo se admiten cargas infinitamente repetidas, hasta el 55 por ciento de la de rotura, mientras que las superiores al 80 por ciento sólo se admiten unas docenas de veces. Esto obliga a aplicar coeficientes de seguridad muy elevados que podrían rebajarse muchísimo, así como los espesores y el costo inicial del firme, a base de los de hormigón reforzado con fibras.

8. SEPTIMA PONENCIA: “Promoción del Cemento. II. Estructuras de Hormigón en la moderna locomoción terrestre guiada”. J. PINTO

Comenzó su exposición el Sr. PINTO diciendo que la exigencia de altas velocidades en las comunicaciones y transportes viarios suburbanos, urbanos e interurbanos ha llevado al estudio de soluciones muy apartadas de las tradicionales para ferrocarriles, metropolitanos y tranvías, las cuales implican el empleo masivo de hormigón estructural, por razones de costes, duración, estética y confort. Estas altas velocidades —añadió—, en el caso de los ferrocarriles requieren como solución la losa continua de hormigón como asiento de los carriles, mientras que en el caso del transporte masivo urbano y suburbano obligan a la adopción de estructuras elevadas. En el seguimiento de estos estudios —continuó— participa con interés, dada la importancia del tema, la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.

Pasó después a tratar en particular de las soluciones de losas para el ferrocarril clásico, para los trenes aerodeslizadores y para los sistemas urbanos de trenes vertebrados. Por lo que se refiere a los ferrocarriles de alta velocidad —entre 160 y 400 km/hora— expuso la experiencia inglesa en relación con las cargas estáticas y dinámicas producidas por diferentes tipos de locomotoras, la cual ha llevado a aumentar el espesor del balasto y el número de traviesas pretensadas por kilómetro de vía, solución bastante más cara que la tradicional. Comentó el peligro que a altas velocidades pueden suponer los defectos de nivelación, de alineación y de deslizamiento del balasto por vibraciones inducidas en los carriles por el material móvil, peligro que hay que soslayar —dijo— intensificando el mantenimiento, con sus correspondientes costos y la limitación de la capacidad de la línea, por cierre parcial diario de la circulación, para proceder al mismo.

Para evitar estos inconvenientes —prosigió— se ha reconsiderado la solución antigua —abandonada en su día por su excesivo costo— de plataforma rígida a base de losa de hormigón armado, pero con espesor mitad que el de la antigua, construida in situ y competitiva en cuanto a costes con la vía clásica, y con escaso gasto de mantenimiento durante 40 años. Esta solución, técnicamente acertada —dijo—, sólo ha sido posible con la puesta a punto de un sistema de encofrados deslizantes. Basado en ello, el Centro Técnico de Derby, de la British Railways, ha proyectado una serie de losas sin juntas, con armadura continua, para soporte de los carriles. Estos se fijan por medio de elementos de acero elástico, a través de piezas embebidas en el hormigón con resinas epoxi. Los espesores de losa varían en función del tipo de ferrocarril —al aire o subterráneo—. En el Documento de Trabajo —añadió— se exponen realizaciones sobre esta base en distintos países europeos, y también en España se ha llevado a cabo un estudio y un proyecto en tal sentido, con esperanza de realización.

A continuación el Sr. PINTO dio cifras comparativas de las cantidades de material necesarias y de los costos, tanto en la solución balasto-traviesas Monoblock como en la de placa continua de hormigón para vía sencilla, según las cuales la segunda solución resulta competitiva con la primera, de acuerdo con la tesis inglesa, y aparte de un ahorro de unas 30.000 ptas. por kilómetro y año en concepto de mantenimiento, en el caso de la solución de placa continua.

Habló después el Sr. PINTO de los nuevos sistemas ferroviarios para velocidades superiores a los 300 km/hora, en los que la vía está constituida por vigas de hormigón (vigacajón pretensada, vía en T invertida), y de los cuales se dan detalles en el Documento de Trabajo. Mencionó los sistemas de sustentación en cada caso y dijo que, aunque son proyectos abandonados en Francia e Inglaterra por motivos económicos, los consideraba en hibernación, más que muertos.

Respecto del transporte urbano de pasajeros manifestó su creencia en el porvenir de los sistemas elevados frente a los subterráneos, dadas las diferencias de costos (400 millones de ptas./km para el "metro", 100-120 millones de ptas./km para monorriel clásico y 20 millones de ptas./km para el tren invertebrado de Goicoechea).

Se refirió finalmente al tren asimétrico de patente española, constituido por módulos cortos articulados por rótula esférica, y sustentado y propulsado por juegos de tres ruedas en cada vehículo, con disposición longitudinal asimétrica (dos ruedas a un costado y otra al opuesto, alternativamente, en los vehículos contiguos).

El camino de rodadura —dijo finalmente— está constituido por placas de hormigón en forma de artesa.

COLOQUIO

Lo inició el Sr. VIRELLA TORRAS exponiendo su agrado por los sistemas de transporte elevados, cuya solución a base de vía, camino de rodadura, estructura soporte y columnas de apoyo exigía tener en cuenta, por parte del calculista, aspectos funcionales, estéticos y psicológicos.

Recordó la alusión hecha por el Sr. CALLEJA, en su ponencia, a los hormigones ligeros de resistencia elevada, y mencionó una publicación del Cembureau para la promoción del cemento, en la que se da un buen repertorio de obras hechas en hormigón ligero, entre las que figuran viaductos elevados. En los hormigones ligeros de alta resistencia —continuó diciendo— se puede aumentar el vano libre entre pilares, con la consiguiente ventaja estética y de ligereza de la obra, aparte de la mayor facilidad de construcción y de la menor necesidad de materiales, con las anejas repercusiones positivas en los costos.

A continuación el Sr. FERNANDEZ SANCHEZ respondió a la pregunta del Sr. PALOMAR sobre la aceleración de la puesta en servicio de los pavimentos de hormigón. Dio para ello dos soluciones: una, hacer pontones provisionales; otra, aumentar la dosificación de cemento del hormigón y utilizar aceleradores de endurecimiento para lograr a las 24 horas el 80 por ciento de las resistencias exigidas, siempre que los aceleradores no impliquen la corrosión de las armaduras. Esta última solución —añadió— no sería aplicable a la construcción de la carretera propiamente dicha, tal vez por problemas técnicos de retracción y por problemas económicos de costos.

Intervino después el Sr. GONZALEZ GUTIERREZ quien, como miembro de una empresa que construye firmes asfálticos y de hormigón, comentó la ponencia del Sr. FERNANDEZ SANCHEZ diciendo que en ella no había quedado reflejada claramente la importancia de las inversiones ya hechas por las empresas constructoras en plantas de aglomerado asfáltico, y que si la Administración se decidiese por un cambio radical del tipo de firme, se les crearían problemas económicos y de estructuración. Asimismo echó de menos una mayor concentración y referencias bibliográficas en el estudio económico comparativo entre pavimentos asfálticos y de hormigón, precisiones que consideraba necesarias para discutir las cifras aportadas.

El Sr. FERNANDEZ SANCHEZ respondió diciendo que en cuanto al cálculo de precios en España, ya había aludido en su ponencia a la influencia de las inversiones hechas con anterioridad por las empresas en maquinaria para pavimentos asfálticos, y que, de-

pendiendo de esta circunstancia, para cada empresa resultaría un precio de costo diferente. Respecto de la política de la Administración, recordó que en las directrices del Tercer Plan de Desarrollo ya se dice taxativamente que conviene a la economía nacional pasar a pavimentos de hormigón, y que el paso debía irse haciendo, por parte de las empresas, a costa de la reposición de su actual equipo para pavimentos asfálticos. Finalmente, en lo relativo a falta de referencias bibliográficas dijo que son éstas tan abundantes que no había juzgado oportuno alargar con ellas un trabajo cuyo objeto exclusivo era suscitar un coloquio sobre posibles puntos polémicos y que, en todo caso, en el IETcc existe un servicio de pavimentos de hormigón con bibliografía extensa a disposición de los interesados en ella.

Con esto terminó la Tercera Jornada y última dedicada al tema Cemento, en la II Asamblea General del IETcc, coincidente con la celebración del 40 aniversario de este Centro.