

Puesta al día de la colaboración científico-técnica española del I.E.T.C.C. con Iberoamérica en el campo del cemento y del hormigón

Prof. Dr. JOSE CALLEJA
IETCC - MADRID - España

RESUMEN

Se trata de actualizar la exposición de la labor llevada a cabo durante los años 1978 a 1980 por el autor de este trabajo en Brasil y en Argentina, a invitación personal de entidades oficiales de ambos países relacionadas con los campos de la docencia, de la ingeniería, de la construcción y de sus materiales.

Labor consistente en el desarrollo de cursos, conferencias, coloquios y mesas redondas sobre temas relativos a la tecnología y a la durabilidad del cemento y del hormigón, y al empleo racional de los cementos en los diferentes tipos de obras, como solución a los problemas que el hormigón puede presentar en ellas.

Dicha labor se presenta en forma resumida, sin perjuicio de que una buena parte de ella se ofrezca desarrollada in extenso en otras publicaciones técnicas.

1. ANTECEDENTES

En el número 169 de la Revista MATERIALES DE CONSTRUCCION (IETCC), correspondiente al trimestre de Enero a Marzo de 1978, páginas 5 a 27, el autor publicó un trabajo (1), en el que se ponía de relieve la actividad científico-técnica en el campo de la Fisicoquímica y de la Tecnología del CEMENTO y del HORMIGON llevada a cabo en IBEROAMERICA desde 1969, principalmente por la entonces Jefatura del *Departamento de Química* y en parte por la del *Departamento de Materiales*, y con posterioridad por la Vicedirección del IETCC hasta 1977.

En el trabajo de referencia (1) se mencionaba y describía la labor llevada a cabo por los Profs. CALLEJA y SORIA en Cuba, en 1969; por el Prof. CALLEJA en Brasil (Río de Janeiro y Sao Paulo), en Argentina (Buenos Aires) y en Chile (Santiago), en 1971; por los profs. ARREDONDO y CALLEJA en Colombia (Medellín), en 1973; por el Prof. SORIA en Panamá, en 1974-1975; por los Profs. ARREDONDO, CALLEJA Y GARCIA MESEGUER, y el Sr. COMYN, en Venezuela (Caracas) y en la República Dominicana (Santo Domingo), en 1975; por los Profs. MORAN, RUIZ DUERTO Y SORIA en CHILE (Santia-

go), en 1975; por el Prof. CALLEJA en Brasil (Sao Paulo) y en Argentina (Buenos Aires), en 1976, en Colombia (Medellín) y en Brasil (Belo Horizonte y Sao Paulo), en 1977.

Con posterioridad se dio cuenta en otro trabajo (2) de la presencia y actuación de los Profesores ARREDONDO y CALLEJA en la Segunda Reunión Plenaria del Grupo Latinoamericano de Instituciones del Cemento y del Concreto (GLAICYC) en Brasil (Río de Janeiro), en 1979.

Algunas de estas actuaciones ya habían sido reseñadas con detalle en ocasiones anteriores (3), (4), (5), (6), (7), ya que la mayoría de ellas y algunas otras dieron lugar, o bien a coloquios, paneles y mesas redondas, o bien a conferencias, seminarios y cursos, y muchas produjeron las correspondientes publicaciones en España y/o en Iberoamérica (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16).

En el presente trabajo se trata de poner al día la antes citada actividad de colaboración científico-técnica en los campos del CEMENTO y del HORMIGON en el Subcontinente Iberoamericano, actividad que hasta el final de 1980 ha sido continuada por parte del autor.

2. CURSO SOBRE DURABILIDAD DEL HORMIGON EN SANTIAGO (CHILE), EN 1978

Ya en 1978 tuvo lugar también, por parte del que escribe, el desarrollo de un Curso teórico-práctico sobre DURABILIDAD DEL HORMIGON. El Curso se encuadró en el marco del Segundo Seminario sobre Cemento, Hormigón y Vivienda, organizado por el Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales (IDIEM), de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, con motivo de la celebración del 80 Aniversario de dicha institución.



Foto 1.—El Prof. CALLEJA respondiendo a las palabras de presentación del Ing. Atilano LAMANA, Director del IDIEM de Santiago (Chile).

En tan solemne ocasión el Prof. CALLEJA fue honrado con la invitación hecha por las autoridades universitarias chilenas, y en particular por el Director del IDIEM, el Ing. Atilano

lano LAMANA, y por el destacado miembro del mismo, el Ing. Mauricio OSSA, Jefe de la Sección de Aglomerantes, quien con anterioridad había pasado una larga temporada trabajando y conviviendo con miembros del IETCC en Madrid.

El Curso se desarrolló en cinco días, con un temario que abarcó los siguientes puntos:

1. Panorámica de la durabilidad del hormigón. Aspectos generales y particulares.
2. La durabilidad entendida como resistencia química del hormigón. Sus distintas facetas.
3. Los métodos para el estudio y la evaluación de la durabilidad. Sus limitaciones.
4. Los resultados de los estudios y ensayos sobre durabilidad. Juicios críticos de valor sobre los mismos.
5. Aspectos prácticos de la durabilidad. Recomendaciones de carácter general y particular para la protección del hormigón en las circunstancias adversas más frecuentes.

Cada uno de estos puntos se expuso en detalle con arreglo al programa e índice siguiente:

I. PANORAMICA DE LA DURABILIDAD DE LOS CEMENTOS Y DE LOS HORMIGONES.

1. INTRODUCCION.

- 1.1. Durabilidad en sentido generalizado.
- 1.2. Durabilidad en sentido restringido.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA DURABILIDAD DEL HORMIGON.

- 2.1. La durabilidad del hormigón en masa.
- 2.2. La durabilidad de los hormigones armados y pretensados.
 - 2.2.1. La corrosión metálica del hierro y del acero.
- 2.3. La durabilidad del hormigón pretensado.

3. ASPECTOS PARTICULARES DE LA DURABILIDAD DEL HORMIGON.

- 3.1. Aspectos relativos al cemento.
 - 3.1.1. Factores expansivos potenciales de los cementos.
 - 3.1.2. Factores retractivos potenciales de los cementos.
- 3.2. Aspectos relativos al agua de amasado.
- 3.3. Aspectos relativos a los áridos.
 - 3.3.1. Factores que afectan a determinados áridos en particular.
 - 3.3.1.1. Aridos reactivos frente a los álcalis.
 - 3.3.1.2. Aridos con sulfuros metálicos oxidables.
- 3.4. Aspectos relativos a los aditivos.
 - 3.4.1. Acción corrosiva de los aditivos clorurados sobre las armaduras.
- 3.5. Aspectos relativos a las armaduras.
 - 3.5.1. Adherencia.

3.5.2. Corrosión.

3.6. Aspectos relativos a la ejecución del hormigón.

3.6.1. Aspectos particulares relativos al curado.

3.7. Aspectos relativos a los ambientes, agentes y medios destructivos del hormigón.

4. CONCLUSION.

II. LA DURABILIDAD ENTENDIDA COMO RESISTENCIA QUIMICA DEL HORMIGON. SUS DISTINTAS FACETAS.

1. INTRODUCCION.

1.1. Esquema convencional de las acciones agresivas sobre el hormigón.

1.2. Panorama real de las acciones agresivas sobre el hormigón.

1.3. Los medios y agresivos de acción química.

2. DISTINTAS FACETAS ESPECIFICAS DE LA DURABILIDAD.

2.1. Acción de las aguas puras sobre el hormigón.

2.2. Acción de las heladas sobre el hormigón.

2.3. Acción de las sales de deshielo sobre el hormigón.

2.4. Acción de las aguas carbónicas agresivas.

2.5. Acción de las aguas ácidas minerales.

2.6. Acción de los sulfatos.

2.6.1. Acción del sulfato cálcico.

2.6.2. Acción de los sulfatos alcalinos.

2.6.3. Acción del sulfato magnésico.

2.6.4. Acción del sulfato amónico.

2.7. Acción de los cloruros.

2.7.1. Acción del cloruro cálcico.

2.7.2. Acción de los cloruros alcalinos.

2.7.3. Acción del cloruro magnésico.

2.8. Acción del agua de mar.

2.9. Reacción árido-álcalis (o álcali-agregado).

2.9.1. Reacción álcali-carbonato.

2.9.2. Reacción álcali-sílice.

2.9.2.1. Los álcalis del cemento.

2.9.2.2. Los álcalis totales del hormigón.

2.9.2.3. La sílice de los áridos reactivos.

2.9.2.4. Mecanismos de la reacción álcali-sílice.

2.9.2.5. Inhibición de la reacción álcali-sílice.

2.9.2.6. Resumen de la reacción álcali-silice.

2.9.3. Reacción álcali-silicatos.

3. FACTORES RELATIVOS A LOS CEMENTOS

3.1. Los cementos resistentes a los ataques ácidos.

3.2. Los cementos resistentes a los sulfatos.

3.3. Los cementos resistentes a los cloruros.

3.4. Los cementos resistentes al agua de mar.

3.5. Los cementos resistentes a los áridos reactivos.

4. CONCLUSION.

III. LOS MÉTODOS PARA EL ESTUDIO Y LA EVALUACION DE LA DURABILIDAD. SUS LIMITACIONES.

1. INTRODUCCION.

2. LOS METODOS DE ENSAYO DE LA DURABILIDAD DE LOS CEMENTOS

2.1. Método de LE CHATELIER-ANSTETT-BLONDIAU.

2.2. Método APCM (B.S. 12 : 1958).

2.3. Método ASTM (C 452-64).

2.4. Método de KOCH & STEINEGGER (DIN 1 164).

2.5. Método de WITTEKINDT (DIN 1 164).

2.6. Método de MERRIMAN-GARCIA DE PAREDES.

3. OTROS METODOS.

4. CONCLUSION.

IV. LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS Y ENSAYOS SOBRE DURABILIDAD. JUICIOS CRITICOS DE VALOR SOBRE LOS MISMOS.

1. INTRODUCCION.

2. NUEVO PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA DURABILIDAD DEL HORMIGON.

2.1. Resultados y conclusiones del nuevo planteamiento.

2.1.1. Método LE CHATELIER-ANSTETT-BLONDIAU.

2.1.2. Método APCM.

2.1.3. Método ASTM.

2.1.4. Método de KOCH & STEINEGGER.

2.1.5. Método de MERRIMAN-GARCIA DE PAREDES.

2.1.6. Resumen de los resultados y conclusiones parciales del nuevo planteamiento.

2.2. Nuevos resultados y nuevas conclusiones.

3. OTRAS CONSIDERACIONES.

4. CONCLUSION.

V. RECOMENDACIONES PARA EL USO DEL HORMIGON EN MEDIOS AGRESIVOS

(Del Subcomité de DURABILIDAD, del Grupo de Estudios —actual Comité Técnico— del CEMBUREAU).

1. CALIFICACION Y MEDIDAS A TOMAR.

VI. COLOQUIO GENERAL.

1. LISTA DE PARTICIPANTES EN EL COLOQUIO.

2. DESARROLLO DEL COLOQUIO.

En la presentación introductoria del Curso, y tras de agradecer a organismos, autoridades y personas la invitación de que había sido objeto, el autor se esforzó en hacer destacar tanto la dificultad como el interés del tema que iba a desarrollar. La primera, por la complejidad del mismo; el segundo, por sus repercusiones prácticas (técnicas y económicas).

Señaló la necesidad de acotar la materia de la que iba a tratar, y en tal sentido dijo que por DURABILIDAD, a los efectos del Curso, se debería entender la *resistencia química* del cemento y del hormigón frente a los ataques y medios agresivos del más diverso tipo.

Declaró también su “pesimismo” en cuanto a la posibilidad de hallar una *solución global y satisfactoria* para el vasto y complejo problema de la durabilidad, por la indeterminación o imprecisión con que se suelen presentar o describir los casos prácticos, y por el desconocimiento cuantitativo —y a veces incluso cualitativo— de las variables implicadas en los mismos, así como por la dificultad de medir parámetros y acopiar datos, y de relacionarlos entre sí adecuadamente.

Indicó la parcialidad y especificidad, y también el carácter discutible de algunas soluciones particulares, así como la improcedencia y el riesgo de extrapolarlas y generalizarlas. Adujo como prueba la árdua labor a cargo de organismos internacionales como la RILEM y el CEMBUREAU, la cual demuestra que la durabilidad es un tema en el que se ha trabajado, se trabaja y se trabajará mucho, y en el que se ha avanzado, se avanza y se avanzará poco y despacio.

El Prof. CALLEJA instó a los asistentes al Curso a que fueran ellos mismos los que, al margen del programa, plantearan sus propios problemas y las cuestiones de su mayor interés en los Coloquios subsiguientes a las exposiciones, tanto si tenían relación con éstas como si no, ofreciéndose a dialogar cuanto tiempo fuera preciso.

Del contenido denso del Curso no vale la pena ocuparse aquí con detalle, ya que el Director del IDIEM, Ing. Atilano LAMANA, y el Ing. Mauricio OSSA, han tenido la gentileza

de lanzar una pequeña edición de cien ejemplares del mismo, hecha por el citado Instituto, incluyendo el contenido coloquial parcial y final del curso (17).

En los Coloquios participaron veintidós de los numerosos asistentes al Curso. Entre ellos, miembros del IDIEM, de las Universidades Católicas de Valparaíso y de Chile, del Departamento de Obras Civiles de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de esta última Universidad, de la Dirección General del Ministerio de Obras Públicas (Metropolitano de Santiago), de la Dirección de Obras Portuarias del citado Ministerio, y de dos fábricas de cemento chilenas.

Se suscitaron cuestiones que dieron lugar a cincuenta y ocho intervenciones, a las que respondió el Prof. CALLEJA, las cuales han quedado recogidas —con las correspondientes respuestas— en la publicación mencionada (17).

A la hora de manifestar su agradecimiento al IDIEM por todo: invitación, hospitalidad y edición, el autor quiere hacerlo en primer término al Director, Ing. LAMANA, al Jefe de la Sección de Aglomerantes, Ing. OSSA, así como al personal de dicha Sección, al de Imprenta, a las Secretarías de los mencionados, Sra. Cristina PRIETO y Srta. Cecilia HERNANDEZ, y también a la Sra. Teresa ROJAS y a los Sres. Renato VARGAS y Carlos LARRAIN. Para todos ellos también el grato recuerdo del autor.



Foto 2.—El Prof. CALLEJA entrega a los Ings. Atilano LAMANA y Mauricio OSSA el texto de su Curso sobre Durabilidad del Hormigón, desarrollado en el IDIEM.

3. CURSO SOBRE TECNOLOGIA DEL CONCRETO EN SAO PAULO (BRASIL), EN 1979

Durante el primer semestre de 1979, y por invitación del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), perteneciente a la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo (EPUSP), de Brasil, el Prof. CALLEJA del IETCC (CSIC) de Madrid, España, desarrolló un Curso teórico-práctico sobre TECNOLOGIA DO CONCRETO.

La invitación fue cursada por los Profs. Ing. Paulo Roberto DO LAGO HELENE y Dra. Yasuko TEZUIKA, pertenecientes a dichos Instituto, Escuela y Universidad. Los gastos fueron sufragados por la FAPESP (Fundación de Ayuda a la Investigación del Estado de

Sao Paulo) con fondos para la contratación de Profesores invitados. El Ing. DO LAGO HELENE, Investigador de Ingeniería Civil en el Laboratorio de la Agrupación Tecnológica del hormigón había tenido contacto anterior con el IETCC, como alumno muy aventajado del VI CEMCO (Cursos de Estudios Mayores sobre Construcción), celebrado en Madrid y 1976, en el cual fue profesor el autor de este trabajo.

El Curso tuvo lugar a lo largo de diez días, con un total de treinta horas lectivas, a razón de tres horas nominales diarias, en cuanto a la parte teórica. La parte práctica tuvo lugar básicamente en forma de coloquios y mesas redondas, y en conversaciones sobre temas y problemas específicos, relativos a la Construcción y a sus Materiales, mantenidas con personal científico y técnico del IPT, con otros Profesores de la EPUSP y con miembros de la Asociación Brasileña de Cemento Portland (ABCP).

El programa, dentro del título de Tecnología del Hormigón, versó sobre los materiales del mismo y sobre los problemas de su tecnología. Muy en particular se prestó atención a los CEMENTOS. El guión del desarrollo del Curso fue, más o menos, el siguiente:

1. CEMENTOS.

1.1. Composición.

1.1.1. Las limitaciones de la composición dada por el análisis químico.

1.1.2. Las imprecisiones de la composición potencial y del cálculo de la misma a partir del análisis químico.

1.1.3. La influencia de las adiciones: yeso, caliza, puzolanas, cenizas volantes y escorias de horno alto.

1.2. Ensayos.

1.2.1. Los ensayos de puzolanidad: el Método de FRATINI.

1.2.2. Las insuficiencias del Ensayo de Autoclave ASTM.

1.2.3. El concepto y los criterios de los ensayos de clasificación de los diversos tipos, clases y categorías de cementos.

1.3. Utilización.

1.3.1. Las compatibilidades e incompatibilidades de los cementos.

1.3.2. Casos prácticos.

2. AGUAS DE AMASADO Y DE CURADO.

2.1. Diferenciación.

2.2. Los componentes indeseables.

2.3. Los métodos de ensayo y análisis.

3. ARIDOS.

3.1. Propiedades fundamentales.

3.2. La evaluación de la reactividad potencial árido-álcalis.

3.3. Aridos insanos.

4. ADITIVOS.

4.1. Los aceleradores del fraguado y del endurecimiento a base de cloruro cálcico.

- 4.2. Los superplastificantes.
5. HORMIGONES.
 - 5.1. El problema de la medida del calor de hidratación.
 - 5.2. La acción de la intemperie.
 - 5.3. El fenómeno de la retracción.
6. DURABILIDAD.
 - 6.1. Los métodos para determinar y prever la durabilidad de los cementos y de los hormigones. Sus limitaciones.
 - 6.2. Los efectos de la carbonatación del hormigón.
 - 6.3. La corrosión de las armaduras.
 - 6.4. La corrosión bajo tensión de las armaduras pretensadas.
 - 6.5. La acción de los medios agresivos.
7. TRATAMIENTOS TERMICOS DEL HORMIGON.
 - 7.1. Las teorías actuales sobre la hidratación del cemento.
 - 7.2. Ventajas e inconvenientes del curado acelerado.
 - 7.3. Aplicación a los ensayos rápidos de los cementos.

El curso, previa matriculación en el mismo, fue previsto para un mínimo de veinte participantes y un máximo de cincuenta, todos ellos graduados superiores.



Foto 1-I.—Presentación del Prof. CALLEJA por el Prof. Francisco ROMEU LANDI, de la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo (Brasil), en la apertura del Curso sobre Tecnología del Concreto.

Aparte de lo señalado en el índice anterior, en el aspecto teórico se trataron temas sobre propiedades, comportamiento, normalización y empleos específicos, en cuanto se refiere a los cementos; y sobre problemas relativos a la tecnología del material: amasado, transporte y puesta en obra, compactación, curado y expansión, en lo concerniente a los hormigones.

En el aspecto práctico el Prof. CALLEJA atendió a la resolución de problemas sobre ingeniería de la construcción y de sus materiales, planteados por los asistentes al Curso, al hilo de las exposiciones teóricas.

En su discurso de apertura, y después de la presentación que de él hizo el Prof. Francisco ROMEU LANDI, de la EPUSP, el Prof. CALLEJA dijo lo siguiente:

Señores:

Ante todo quiero presentar a ustedes mis excusas por el hecho de no poder hablarles, como sería mi gusto y deseo, en la bella lengua portuguesa, tan parecida a la galaica española. Creo, sin embargo, que comprendo el portugués en una medida aceptable. Al tener que hablarles en español procuraré hacerlo con claridad y despacio, aunque estoy seguro de que esto no es necesario para la mayor parte de ustedes.

Inmediatamente quiero apresurarme a agradecer las amables palabras de presentación, palabras amistosas que aquí se acaban de pronunciar por parte del Prof. LANDI. Y, sin duda por serlo, creo que han sido exageradas en los elogios.

Quiero agradecer también la presencia real de buenos y antiguos amigos y colegas, cuya fama y prestigio a tanto me comprometen: los Profs. BASILIO, BAUER, CARLOS, EPAMINONDAS, el propio LANDI, y tantos otros.

Y también, cómo no, he de manifestar mi agradecimiento al Prof. HELENE y a la Dra. TEZUIKA por su empeño denodado en traerme ante ustedes.

El objetivo primordial de mi convivencia con ustedes durante unos días creo que es el de departir sobre lo poco que sé acerca de la ciencia y de la tecnología, principalmente del cemento, aunque también del hormigón y de algunos otros de sus componentes, así como el de tratar conjuntamente aspectos de la utilización, del ensayo y de la patología en el comportamiento real de estos materiales.

Debo decir ante todo que no soy ingeniero civil ni arquitecto, sino científico, esto es, hombre de estudio y de laboratorio, dedicado a la investigación, y particularmente a la relativa a problemas concernientes a la fabricación y a la utilización de los cementos, con todas sus implicaciones. Por lo tanto, no soy, no he sido nunca proyectista ni realizador de obras. Pero sí he tenido que ser muchas veces dictaminador de las causas de que algunas obras no respondiesen a lo que de ellas se exigía, así como árbitro de los remedios para reparar males o para evitar que se produjesen, bien actuando ya desde las materias primas del hormigón, bien en las etapas de elaboración o de servicio de éste, bien en los elementos estructurales, o finalmente en la obra terminada. Mi contacto con ingenieros y arquitectos de mi país y de algunos otros países ha sido amplio y en ocasiones intenso durante bastantes años, de modo que puedo decir que conozco algo de sus problemas y de sus inquietudes, tanto generales como a veces específicas, así como de sus insuficiencias. Creo conocer también qué es lo que necesitan muchos profesionales de la construcción para tener un conocimiento y una visión más completa de los problemas que se les puedan presentar, y para abordarlos y resolverlos con éxito.

En los planes de estudio de la ingeniería civil se incluye mucho cálculo matemático y mucha resistencia de materiales, aplicables ambos al proyecto y a la realización de las obras. Ello es imprescindible y está muy bien, porque es necesario..., pero no suficiente. Lo que ya no está tan bien es que no se preste la debida atención, en la medida adecuada, a los *aspectos físicos y químicos* de la construcción y de las obras públicas, esto es, a la físico-

química de los materiales (cemento, hormigón, áridos, aguas, aditivos, aceros de armaduras, etc.), y de los procesos a través de los cuales estos materiales y sus elementos, estructuras y obras, o bien *resisten y duran*, o bien *se deterioran y destruyen*.

RESISTENCIA y DURABILIDAD. Sobre estos dos aspectos, a mi juicio indisolubles, inseparables uno de otro, tendremos que recaer muchas veces a lo largo de nuestros sucesivos coloquios.

Ejemplo real de lo que acabo de decirles es que hasta hace relativamente pocos años, yo diría que no más de veinticinco o treinta, en España se desconocía —o poco menos— el problema de la corrosión de las armaduras del hormigón (se palpaban sus efectos, pero se ignoraban las causas, los mecanismos y los remedios preventivos); se conocía mal asimismo el empleo racional, a veces necesario e incluso imprescindible, de los aditivos para hormigón; o la acción destructora sobre éste de determinados agentes y medios agresivos externos, actuantes en determinadas condiciones de servicio del material. No se conocían, o no se querían conocer —como sucede todavía en no pequeña medida— otros cementos que no fueran el clásico “portland”, pese a su conocida y reconocida inadecuación para determinados usos y empleos, y a la mayor razón de ser de la utilización de otros cementos distintos del portland, existentes en la inmensa mayoría de las normas de todos los países, y consagrados por muchos años de aplicación con éxito y eficacia.

El avance tecnológico de la construcción, resultado del desarrollo de ésta en todo el mundo, ha traído, detrás del hormigón armado, el pretensado y el postensado; las centrales hormigoneras; la industrialización de la construcción y, como etapa previa imprescindible para ésta, la prefabricación en taller de elementos y módulos más o menos voluminosos y complejos, etc.

Para realizar la prefabricación en condiciones técnicas adecuadas y económicas aceptables es preciso acelerar los procesos, naturalmente lentos, del fraguado y del endurecimiento de los hormigones. Para realizar construcción masiva de gran altura es preciso aligerar las estructuras, y ello obliga a aligerar el hormigón, sin merma de su resistencia, lo que exige el diseño de hormigones especiales con áridos livianos. Todo esto requiere un conocimiento detallado y profundo de la física, de la química y de la tecnología, de los materiales y de los procesos constructivos, que es lo que modernamente se ha dado en encuadrar en la llamada CIENCIA DE LOS MATERIALES.

En el campo de los ensayos de resistencia y de durabilidad del cemento y del hormigón, la aceleración de los procesos de hidratación, fraguado y endurecimiento, así como los de ataque, deterioro y destrucción del hormigón constituye un campo de estudio íntimamente relacionado con el conocimiento previo del comportamiento del hormigón y con el control de la calidad del mismo y de la del cemento. Sin embargo, las condiciones experimentales en ambos casos juegan un papel importantísimo y requieren ser establecidas con la máxima racionalidad. Los ensayos de endurecimiento acelerado para conocer anticipadamente la resistencia probable del cemento y del hormigón sólo sirven para un determinado cemento y/o para un determinado hormigón, y tanto los métodos como sus resultados no son ni generalizables ni extrapolables. Los ensayos de durabilidad acelerados son todavía más complejos y exigen la máxima atención en cuanto a las variables de todo tipo que intervienen en ellos.

Para avanzar con éxito por todas estas nuevas rutas de la tecnología ha hecho falta —y sigue haciéndola—, por una parte, *investigación* para crear conocimiento y, por otra parte, *aplicación racional* de este conocimiento para obtener de él resultados positivos. Esto exige estudiar y conocer a fondo los materiales para, a través de sus propiedades, conocer su comportamiento y aprovechar al máximo, técnica y económicamente, todas sus posibi-

lidades. Exige también estudiar detalladamente los mecanismos y procesos por los cuales los materiales actúan como se espera y se desea —y a veces como no se piensa ni se quiere— que lo hagan, a fin de poder controlar dichos procesos, pudiéndolos intensificar, atenuar, evitar o modificar a voluntad y conveniencia.

Es, pues, preciso conocer, ante todo, los materiales compuestos finales como es, en nuestro caso, el hormigón. Pero primero hay que saber lo necesario —y cuanto más mejor— de sus materiales componentes simples: el cemento, los áridos, el agua, los aditivos, las armaduras, así como también las posibles interacciones entre ellos (la trabazón, la compacidad, la adherencia, etc.) por las que pueden y deben dar lugar a un elemento o a una estructura *resistente y durable*.

Tanto las propiedades como el comportamiento de los materiales aislados o en conjunto, es decir, sus interacciones, dependen de su naturaleza —composición y constitución (química, física, petrográfica, mineralógica, etc.). Las interacciones de los materiales entre sí son procesos fisicoquímicos: el fraguado y el endurecimiento del cemento, por los cuales el hormigón adquiere resistencias mecánicas crecientes con el tiempo; la aceleración de estos procesos, bien por la acción de aditivos o bien por tratamientos hidrotérmicos e higrotérmicos; la expansión de los cementos y de los hormigones; la retracción reversible o irreversible, química, plástica, térmica o hidráulica de secado, y la consiguiente fisuración y agrietamiento del hormigón; la corrosión de las armaduras por distintas causas y mecanismos, y en los diferentes tipos de hormigones armados y pretensados; la destrucción del hormigón por la acción del hielo, o por ataques producidos por el agua de mar en las obras marítimas, o por los suelos y terrenos salinos en las cimentaciones enterradas; la destrucción del hormigón por males internos e innatos del propio material o de sus componentes, como pueden ser las reacciones árido-álcalis, en sus variedades de álcali-sílice, álcali-silicatos y álcali-carbonatos, o la oxidación de áridos que contienen minerales de hierro, del tipo de la pirita, de la pirrotita, de la marcasita, etc., son, quiérase o no, guste o no guste, se entienda o no se entienda, procesos en los que, de forma exclusiva o prácticamente exclusiva, intervienen en su origen, en su desarrollo y en sus consecuencias técnicas y económicas finales, muy frecuentemente desastrosas, fenómenos físicos y/o químicos.

No se olvide que la resistencia mecánica de una estructura, con ser importantísima, no es siempre el primer factor a tener en cuenta, por dos razones. Primera, porque con unas condiciones de proyecto dadas y con unos materiales disponibles dados, el ingeniero civil sabe siempre qué hacer y cómo hacerlo para conseguir la resistencia necesaria, con el adecuado margen de seguridad. Y segunda, porque no basta con conseguir *en un principio* esa resistencia necesaria y suficiente, si no se puede acrecentar o mantener después, o por lo menos evitar que decaiga, debido a alguno de esos procesos degradantes o destructivos del hormigón que acabo de mencionar. En tales casos son precisamente estos procesos los que hay que tener en cuenta en primerísimo término, incluso antes que la propia resistencia, a fin de evitarlos si se puede, o de tomar las medidas necesarias contra ellos, porque la resistencia adecuada es seguro que se consigue inicialmente; pero lograr su mantenimiento en tales condiciones no es tan seguro siempre.

A esto se le llama *prevenir*, que casi siempre, téngase en cuenta, es posible; y absolutamente siempre, no se olvide, es más fácil, rápido y económico que curar.

* * *

He querido presentar desde el principio esta visión panorámica de los problemas de la construcción y de sus materiales, para justificar cuál va a ser mi actuación durante estos días de convivencia.

Me propongo, pues, exponer ante ustedes todo cuanto desde el punto de vista fisicoquímico, a mi entender, el ingeniero civil no debe ignorar de los materiales que maneja; y muy particularmente acerca de los cementos, que son el elemento activo, aglutinante indispensable del hormigón.

Estas materias son, al menos en mi país, de las que menos se suelen explicar, en general y salvo excepciones, durante los estudios normales de ingeniería. El aprendizaje de ellas, cuando viene, suele venir después, y a veces acompañado de algún lamentable percance. En días sucesivos y sobre la marcha habrá ocasiones de que les refiera algunos ejemplos reales de ello. Por otra parte, y dentro de este contexto, me propongo hablarles a ustedes “de lo que no suele venir en los libros”.

De los cementos trataremos acerca de su composición y constitución; de las expresiones de éstas y de su cálculo e interpretación, en relación con las propiedades, comportamiento, aplicaciones y utilización más adecuada de los cementos, según éstos y las clases de obras; de los distintos tipos, clases y categorías o calidades resistentes de los cementos; de sus empleos generales y específicos más indicados, e incluso de las contraindicaciones de empleo de los mismos; de las normas de los cementos en los distintos países y de sus especificaciones y prescripciones, tomando alguna como tipo de referencia. A tales efectos comentaremos, si a ustedes les interesa, las normas brasileñas, siempre que me den a conocer con detalle y tiempo las más modernas y vigentes. Trataremos también, con carácter analítico y crítico de los métodos de ensayo, de la interpretación y valoración de los resultados de los mismos, y de los aspectos equívocos de algunos métodos de ensayo normalizados que se aplican al pie de la letra, como artículo de fe, con riesgo seguro, en ocasiones, de no acertar.

Hablaremos en particular del calor de hidratación y de la expansión y retracción de los cementos, así como de la meteorización y de los comportamientos anómalos de los cementos portland. Y también de las adiciones para cementos y de los cementos con adiciones, con toda su vasta problemática técnico-económica de actualidad. Y de muchas cosas más.

En cuanto a los restantes materiales del hormigón, y asimismo del propio hormigón, consideraremos los aspectos más destacados. Y todo el tratamiento lo enfocaremos desde el punto de vista de la *durabilidad* del material frente a los tipos más frecuentes de agresión desde el exterior. Aspectos particulares serán los de los aditivos, la corrosión de las armaduras y los tratamientos térmicos de la prefabricación. Y aspecto particularísimo por su importancia será el de los ensayos y criterios para el conocimiento de la durabilidad, entendida como resistencia química del hormigón en sus condiciones particulares de servicio en cada caso.

* * *

Todo este programa, y más que no habrá lugar a tratar, quedará a la disposición de los organizadores del Curso y de ustedes todos, en una numerosa serie de publicaciones que he traído —muchos kilogramos de equipaje— con intención de dejarles. Tal vez con algún enfoque distinto en algún caso, con énfasis variable en uno u otro aspecto, pero todo aquello que tratemos quedará aquí para ustedes, escrito en letra impresa.

* * *

Para todo este desarrollo cuento de antemano, si ustedes me lo permiten, con su ayuda. Sé que los que van a tener la paciencia de escucharme son ingenieros civiles en pleno ejercicio profesional. Pues bien, a todos en general yo les pediría que en beneficio mutuo me

hicieran preguntas, muchas preguntas, y plantearan problemas, muchos problemas, sobre la marcha de mis exposiciones. Incluso, mejor todavía, interrumpiendo las mismas. Esto dará mayor amenidad e interés a nuestras reuniones y hará que sean tal vez menos monótonas y fatigosas. Y todo esto, eso sí, sin perjuicio de que al final de cada exposición o parte principal de ella celebremos amplios coloquios, en plan de diálogos múltiples, en los que cada cual aporte al tema o pregunte sobre él lo que estime conveniente.

No piensen que voy a contestar bien, o simplemente que voy a contestar a todo cuanto me pregunten, aunque lo intentaré. Por desdicha son aún más las cosas, incluso importantes y decisivas, que ignoramos, que las que sabemos; al menos, ese es mi caso. Pero a veces el intento de explicar la propia ignorancia ayuda a mitigarla y a aclarar las ideas propias y las ajenas.

* * *

Hoy voy a procurar dar una visión general y panorámica de todos o casi todos los problemas que vamos a abordar en días sucesivos, en su relación con el cemento, y más concretamente con aspectos de sus materias primas y de los procesos de su fabricación y utilización.

A continuación el Prof. CALLEJA entró en materia, según programa.

En los numerosos coloquios que tuvieron lugar a lo largo del desarrollo del Curso, y dentro y fuera del mismo, se plantearon y trataron cuestiones relativas a los siguientes temas:

- 3.1. Permeabilidad del hormigón.
- 3.2. Ensayos para determinar la retracción del hormigón.
- 3.3. Ensayos de laboratorio y de campo para determinar la conductividad y/o la resistividad eléctrica del hormigón, así como la resistencia de polarización, con objeto de determinar la velocidad instantánea de corrosión de las armaduras.
- 3.4. Interpretación de la Norma TGL de la República Democrática Alemana, relativa a la agresividad de las aguas para el hormigón, y de la Norma DIN 1 045 (Apéndice de la obra de I. BICZOK "Concrete Corrosion - Concrete Protection", 8.^a edición, Budapest, 1972).
- 3.5. Tratamientos de fluatación y de silicatización para una tapa de hormigón de un depósito, en la que se produce carbonatación y en la que puede tener lugar la corrosión de las armaduras por acción de los cloruros.
- 3.6. Manchas en el hormigón.
- 3.7. Métodos para la determinación del contenido de puzolanas en los cementos.
- 3.8. Respuestas alternativas a cuestiones planteadas sobre relación agua/cemento, cementos más indicados, consumo mínimo de cemento y áridos más idóneos para los siguientes tipos de obras, en función de su durabilidad: edificios; obras frente al agua del mar; obras frente a dióxido de carbono agresivo, o frente a gases industriales; hormigón en masa; obras de desagües de ciudad; pistas de aeropuertos; firmes rígidos. En el caso de los cementos se mencionaban cinco tipos y en el caso de los áridos, seis, como objeto de la consulta.
- 3.9. Bibliografía sobre bentonitas en y para hormigones.
- 3.10. Ensayos acelerados para determinar la resistencia a la compresión.

- 3.11. Interpretación cuantitativa de los resultados del ensayo de puzolanidad de FRATINI.
- 3.12. Medios de disminuir la retracción hidráulica y la fisuración por desecación, con el empleo de aditivos que aumenten la resistencia a la tracción y/o rebajen el módulo de elasticidad del hormigón.
- 3.13. Cementos más idóneos para hormigones frente a aguas carbónicas agresivas y a desagües industriales y de ciudad.
- 3.14. Factores de que depende la retracción plástica e hidráulica.
- 3.15. Enjuiciamiento de áridos desde el punto de vista de la corrosión del hormigón.
- 3.16. Temperaturas mínimas de hormigonado
- 3.17. Utilización de cemento caliente.
- 3.18. El yeso del cemento y la retracción.
- 3.19. Retracción química de hidratación y física de secado.
- 3.20. Permeabilidad del hormigón a presión, relación agua/cemento, grado de compactación, durabilidad y tipo de cemento.
- 3.21. Máximo contenido de sulfuros en cementos para pastas de inyección de vainas de pretensado.
- 3.22. Empleo de vainas galvanizadas en pretensado.
- 3.23. Proscripción del empleo de polvo de aluminio en las pastas de inyección de vainas de pretensado.
- 3.24. Empleo de superplastificantes en pastas de inyección.
- 3.25. Características de las escorias empleadas en los cementos.
- 3.26. Empleo de aguas húmicas en el amasado del hormigón.
- 3.27. Valor de la limitación máxima de aluminato tricálcico a cinco por ciento en el cemento, en relación con la resistencia del hormigón frente a sulfatos.
- 3.28. Elección de los cementos más idóneos para obras hidráulicas y para obras de contención —muros diafragma— en medios agresivos.
- 3.29. Corrosión de armaduras y su evitación.
- 3.30. Corrosión bajo tensión.
- 3.31. Valoración de las aguas de amasado: prescripciones, métodos de ensayo e interpretación de los resultados.
- 3.32. Eficacia práctica del curado superficial de las losas de hormigón; sus inconvenientes.
- 3.33. Incompatibilidades del uso simultáneo de diferentes tipos de cemento.
- 3.34. Áridos perjudiciales para la durabilidad del hormigón.
- 3.35. Mecanismo fisicoquímico de la reacción árido-álcalis.
- 3.36. Inconvenientes de las adiciones a los cementos.
- 3.37. Características del hormigón fresco y del hormigón endurecido para minimizar los efectos de la erosión de estructuras por aguas corrientes a gran velocidad.
- 3.38. Áridos con propiedades puzolánicas para hormigones más resistentes y durables.

3.39. Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento recomendables para elementos prefabricados de hormigón en contacto con aguas agresivas a distintos plazos a partir de su fabricación y sometidos a un curado húmedo fijo.

3.40. Resinas epoxi para reparación de estructuras de hormigón sumergidas.

3.41. Medidas preventivas para evitar los efectos de la reacción árido-álcalis con áridos reactivos y cementos tipo I ASTM con 0,7-0,8 por ciento de álcalis (Na_2O equivalente), en ausencia de adiciones puzolánicas o de escorias en los cementos.

Aparte de cuanto antecede, el Prof CALLEJA celebró cinco mesas redondas en el IPT y en la ABCP con el personal técnico de ambos organismos, tanto sobre temas concretos (por ejemplo, la corrosión del hormigón en un depósito de agua potable y en un decantador de aguas residuales), como sobre temas libres, sin fijar de antemano.

Al final del Curso se hicieron pruebas escritas y se expidieron Diplomas de asistencia y aprovechamiento a los participantes.

A la hora del agradecimiento, el autor quiere dejar patente el suyo por la hospitalidad y atenciones recibidas durante el desarrollo del curso y su permanencia en Sao Paulo, al Ing. HELENE y a la Dra. TEZUIKA en primer término; y también al Prof. Dr. Francisco ROMEU LANDI, de la EPUSP, por sus deferencias con el autor. Asimismo, a los Profs. BASILIO, FALCAO BAUER, EPAMINONDAS, PINTO, ORLANDI, GITAHY, MENNA BARRETO y tantos más, por análogo motivo. Y, en general, a todos los numerosos miembros del IPT, de la EPUSP y de la ABCP, que con su labor y ayuda eficaz colaboraron al éxito del Curso. En cuanto a instituciones, aparte de las ya mencionadas, a la FAPESP por su ayuda a la financiación del mismo.

4. OTRAS COLABORACIONES CON BRASIL

Al margen de lo que precede, y entre 1977 y finales de 1980, el que escribe ha, prestado su colaboración, a requerimiento de entidades oficiales docentes e investigadoras, y de técnicos brasileños, y más o menos directamente, en los siguientes temas y cuestiones:

- 4.1. Información sobre determinación de la velocidad instantánea de corrosión en piezas metálicas enterradas en el suelo, para el Ing. Luiz PRADO VIEIRA.
- 4.2. Información, opiniones y comentarios sobre escorias —no siderúrgicas— de la metalurgia del cinc para su empleo en cementería, para el Ing. Heraldo DE SOUSA GITAHY, del IPT y de la ABCP.
- 4.3. Información y criterio personal acerca de la cantidad de agua químicamente necesaria para la hidratación completa del cemento en el hormigón; sobre la expansión de probetas sumergidas en agua; y sobre tratamiento de las superficies de hormigón con revestimientos protectores, para el Ing. Paulo Roberto DO LAGO HELENE, Investigador en el Laboratorio de la Agrupación Tecnológica del Hormigón, División de Ingeniería Civil.
- 4.4. Conferencia sobre “Adiciones para Cemento y Cementos con Adiciones”, en la 30 Reunión de Técnicos de la Industria del Cemento, por invitación especial de la Asociación Brasileña del Cemento Portland (ABCP).
- 4.5. Información original del autor sobre tipos de cementos y de áridos utilizables preferentemente para ocho tipos de obra y condiciones ambientales y de servicio distintas, a través del Ing. HELENE, ya citado.

- 4.6. Información y documentación sobre permeabilidad del hormigón, para el Ing. Milton ARCURI Junior.
- 4.7. Documentación bibliográfica del autor sobre Cementos-Hormigones-Aditivos del CEMCO-76 y tomos I y II de dicho Curso, para la Biblioteca Central del Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de Sao Paulo.
- 4.8. Información y conversaciones sobre agresividad para el hormigón del agua del subsuelo de Sao Paulo, con la Dra. María Alba CINCOTTO del mencionado Instituto.
- 4.9. Estancia de perfeccionamiento técnico en el campo del Cemento y del Hormigón, en el IETCC, del Ing. Luiz FERREIRA E SILVA, representante del Centro de Tecnología de la Construcción, de Sao Paulo, que preside y dirige el prestigioso Prof. Ing. Luiz FALCAO BAUER.
- 4.10. Información y documentación sobre los VI Coloquios de Directores y Técnicos de Fábricas de cemento de España para el Prof. Ing. Francisco de Assis BASILIO, Presidente del Consejo Técnico de la Asociación Brasileña del Cemento Portland
- 4.11. Información y documentación sobre el Atlas Fotográfico de la Microscopía del Clínker de Cemento (traducción del alemán hecha por el autor), para el anterior y para el Ing. Antonio KROPF SOARES, miembro de la ABCP.
- 4.12. Información y documentación original del autor sobre cementos siderúrgicos, para el Prof. Ing. BASILIO, ya mencionado.

5. COLABORACION ESPECIAL CON BRASIL, CON MOTIVO DEL 7 CONGRESO INTERNACIONAL DE QUIMICA DEL CEMENTO, EN PARIS Y JULIO DE 1980

El prof. BASILIO, Presidente del Consejo Técnico de la ABCP, formó parte del Comité Científico del citado Congreso. Durante la preparación y la celebración del mismo presidió la Sección V, dedicada a CEMENTOS ESPECIALES.



Foto 1-II.—Panel presidido por el Prof. BASILIO en la Sesión V; CEMENTOS ESPECIALES, del 7 Congreso Internacional de Química del Cemento, en París y Julio de 1980.

En dicha Sección el firmante de este trabajo presentó una comunicación titulada "Cálculo de las composiciones potenciales hipotéticamente posibles de los cementos aluminosos".

En la sesión correspondiente, y a requerimiento del Presidente de la misma, Prof. BASILIO, el Prof. CALLEJA tuvo el honor de formar parte del panel, junto con prestigiosas figuras, entre ellas el chileno Dr. Pablo KITTL, del IDIEM de Santiago, y el argentino Dr. Dante J. E. VERONELLI, de la Corporación Cementera Argentina (CORCEMAR) y del Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA).

Es oportuno indicar aquí que el próximo 8 Congreso Internacional de Química del Cemento, que se celebrará en 1986, tendrá lugar por primera vez en un país iberoamericano, y su sede será Río de Janeiro (Brasil). El anfitrión y Presidente de dicho Congreso será precisamente el Prof. Francisco de Assis BASILIO, al que se augura desde aquí un rotundo éxito.

6. CONFERENCIA SOBRE "EMPLEO RACIONAL DE LOS CEMENTOS PARA DIFERENTES TIPOS DE OBRAS", EN BUENOS AIRES (ARGENTINA), 1980

En Diciembre de 1980, y encuadradas en el marco de la EXPO-CONSTRUCCION 80, organizada por el CENTRO DE INGENIEROS DE ROSARIO (Argentina), tuvieron lugar las SEGUNDAS JORNADAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE TECNICAS DE CONSTRUCCION, las cuales se desarrollaron en Buenos Aires.

Para participar activamente en dichas Jornadas fue especialmente invitado por el Centro de Ingenieros de Rosario el Prof. José CALLEJA, junto con seis personalidades extranjeras: tres estadounidenses, un escocés, un brasileño y otro español, a saber:

El Prof. Vitelmo BERTERO, de la Universidad de Berkeley, California, EE.UU., el cual disertó sobre "Importancia de los aspectos de construcción y mantenimiento en edificios sísmo-resistentes".

El Ing. Salvador GIAMMUSSO, de Brasil, quien habló sobre "La tecnología del hormigón en Brasil: estado actual y tendencias".

El Prof. Adib KANAFANI, de la Universidad de Berkeley, California, EE.UU., el cual trató de "Nuevas técnicas de transporte".

El Prof. Adam NEVILLE, de la Universidad de Dundee, Escocia, quien disertó acerca de "Problemas de fluencia en estructuras".

El Ing. Charles PANKOW, Presidente del ACI, EE.UU., el cual desarrolló el tema "El hormigón pretensado en la construcción".

El Ing. Antonio FERNANDEZ DEL CAMPO, de la Universidad de Barcelona, España, quien trató de "Pavimentos bituminosos en frío".

El Prof. José CALLEJA, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Instituto "Eduardo Torroja" de la Construcción y del Cemento), Madrid, España, el cual disertó sobre "Problemas del hormigón y soluciones para los mismos dependientes, principalmente, del cemento (Empleo racional de los cementos para los diferentes tipos de obras)".

El índice de la exposición del Prof. CALLEJA fue el siguiente:

1. INTRODUCCION.
2. LOS CEMENTOS.
 - 2.1. Cementos en general.
 - 2.2. Cementos portland.
 - 2.2.1. Silicato tricálcico.
 - 2.2.2. Silicato bicálcico.
 - 2.2.3. Aluminato tricálcico.
 - 2.2.4. Ferrito-aluminato tetracálcico.
 - 2.2.5. Cal libre.
 - 2.2.6. Magnesia.
 - 2.2.7. Alcalis.
 - 2.2.8. El yeso del cemento portland.
 - 2.2.9. La finura del cemento.
 - 2.2.10. Composición potencial.
 - 2.3. Cementos con escorias siderúrgicas.
 - 2.4. Cementos puzolánicos.
3. LA EXPANSION.
 - 3.1. La expansión por cal libre.
 - 3.2. La expansión por yeso.
 - 3.3. El ataque por sulfatos.
 - 3.4. El entumecimiento.
 - 3.5. Cementos para presas.
 - 3.6. Cementos para cimentaciones.
 - 3.7. Otras expansiones ajenas al cemento.
 - 3.7.1. Reacciones árido-álcalis.
 - 3.7.2. Expansión de áridos piritosos.
 - 3.7.3. Expansión por corrosión de armaduras.

4. LA RETRACCION PLASTICA.

5. FINAL.

REFERENCIAS.

Su desarrollo, resumido, fue el siguiente:*

En la última sesión de la tarde del día 17 de Diciembre de 1980, y después de agradecer

* El resumen que se incluye será probablemente publicado por el Centro de Ingenieros de Rosario (Argentina).

La versión completa del trabajo será publicada oportunamente, tal vez en esta Revista y/o tal vez en la Revista Técnica CEMENTO-HORMIGON.

la invitación que por parte del Centro de Ingenieros de Rosario le fue hecha para participar en las Jornadas Internacionales, el Profesor CALLEJA inició su conferencia exponiendo la tesis de la misma, a saber: que en el mundo se fabrican y utilizan distintos tipos de cementos en función de las exigencias del hormigón de las obras, en cuanto a la durabilidad; y que para conseguir que ésta sea la máxima es preciso que los materiales y la tecnología del hormigón sean los más idóneos.

En cuanto al cemento, el conferenciante dijo que de sus propiedades dependía su comportamiento y el del hormigón, y que el conocimiento de la relación entre aquéllas y éste, y la aplicación correcta de dicho conocimiento decidían muchas veces el éxito o el fracaso de las obras.

El expositor centró en ello su conferencia y comenzó desmitificando la resistencia mecánica del hormigón como la única o la más importante característica del material, si no va acompañada de una adecuada estabilidad física (de volumen) y de una resistencia química suficiente del mismo, ya que ambas influyen decisivamente en la propia resistencia mecánica a todo plazo y, por lo tanto, en la durabilidad total de las obras.

Citó ejemplos de casos de obras y estructuras en las que la elección del cemento más idóneo era sencilla e inmediata con vistas a lo anterior, añadiendo que, sin embargo, la elección acertada no bastaba para el buen fin, si no iba acompañada de bien hacer, esto es, de una buena tecnología del hormigón en lo tocante a la ejecución del material.

El Profesor CALLEJA desarrolló a continuación el tema de la composición química y de las características físicas y mecánicas de los cementos comprendidos en las normas nacionales de los distintos países, relativas a los mismos, e hizo de antemano una distinción entre los cementos portland sin adiciones y los cementos portland asociados a materiales de adición de diverso tipo.

Al hablar en primer término de los cementos portland “puros” o sin adiciones, señaló como características “técnicas” principales de los mismos la constitución química y la finura de molido. En cuanto a la primera, describió cualitativa y cuantitativamente las características e influencias de los silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, así como de la cal libre, de la magnesia libre y de los compuestos alcalinos del clínker, y del yeso del cemento, en los procesos de hidratación, fraguado y endurecimiento del hormigón.

Expuso asimismo la participación de cada constituyente y de cada componente en el desarrollo de las resistencias mecánicas a corto, medio y largo plazo; en el desprendimiento del calor de hidratación —cantidad total de calor desprendido y velocidad de desprendimiento—; en la liberación de la cal de hidrólisis; en la estabilidad de volumen —expansión, hinchamiento o entumecimiento, retracción plástica, térmica e hidráulica (química irreversible o física reversible total o parcialmente)—; en la reserva alcalina de la pasta hidratada del cemento; etc.

El conferenciante relacionó todos estos aspectos con la resistencia mecánica del hormigón: con su resistencia química frente a ataques por aguas puras, ácidas, carbónicas agresivas y de mar, así como por suelos y terrenos yesíferos y salinos en general; con el grado de protección que el hormigón ofrece a las armaduras contra su corrosión por agentes internos y externos y hasta por fenómenos electrolíticos; con la posibilidad de acciones expansivas entre los cementos y determinados áridos reactivos con los álcalis de aquéllos y, en general, con todos los álcalis presentes en el hormigón, cualquiera que sea su procedencia; con los fenómenos indeseables del fraguado rápido y del falso fraguado o, en general, de los fraguados anormales y sus consecuencias en obras y en centrales hormigoneras, y en cuanto al transporte, puesta en obra y compactación del hormigón; etc.

El expositor siguió más adelante en estas relaciones, extendiéndolas al empleo preferente de unos u otros cementos, según su composición, para hormigonar en tiempo o climas fríos o cálidos; al curado normal del hormigón; a las obras hidráulicas (presas), viales (calzadas de autopistas), portuarias (muelles y diques de escolleras) y a las cimentaciones (en terrenos y suelos agresivos); a la prefabricación de elementos constructivos en taller, por tratamientos higrotérmicos para el endurecimiento acelerado del hormigón; etc.

El Prof. CALLEJA hizo resaltar el hecho de que en el cemento hay constituyentes “conjugados”, cuya suma se puede considerar constante de unos cementos a otros, de tal modo que los aumentos de unos implican necesariamente disminuciones equivalentes de los otros. Esto, unido a otro hecho destacable: el de que en cada constituyente se dan, inseparablemente unidas, características beneficiosas en unos aspectos, pero perjudiciales en otros, lleva a la conclusión —dijo el expositor—, de que no existe ni puede existir el cemento ideal, con todas las ventajas y sin ningún inconveniente, lo cual hace más obligada y difícil la elección del más adecuado en cada caso.

Al tratar de la finura del cemento el conferenciante la relacionó directamente con la velocidad de desarrollo de las resistencias mecánicas, con la retracción y fisuración, con el control del fraguado y con las posibles anomalías de éste, así como con la exigencia y retención o exudación de agua por la pasta de cemento, con la segregación y el rezumado o sangrado, e indirectamente con la corrosión de las armaduras.

Como compendio de todo lo expuesto en relación con la composición y con la finura de los cementos portland, el expositor mostró esquemas en los que se relacionan cualitativa y semicuantitativamente estas variables con las características tecnológicas más destacadas y usuales del hormigón. Asimismo desarrolló las ecuaciones para el cálculo de la composición potencial (silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos del clínker y del cemento portland sin adiciones), haciendo mucho hincapié en las limitaciones de dicho cálculo y en la improcedencia de aplicarlo a casos en que no sea válido —los cuales señaló—, con todos los inconvenientes, errores y riesgos de hacerlo indebidamente.

A continuación el disertante habló de los cementos siderúrgicos (con escorias) y de los cementos puzolánicos, tratando de su composición y de sus características en forma paralela a la seguida en el desarrollo relativo a los cementos portland, si bien volvió más adelante sobre este tema, de forma más detallada.

En una segunda parte de su conferencia el Prof. CALLEJA pasó a glosar ejemplos reales y prácticos relacionados con lo expuesto en la parte primera. Comenzó aludiendo a la expansión, y dentro del tema se refirió con detalle a la debida a la cal libre del cemento y a sus efectos en la destrucción del hormigón, ofreciendo dos ejemplos de presas de gravedad en los que frente a un mismo planteamiento (sospecha y temor de expansión y agrietamiento del hormigón) se dieron sendas soluciones opuestas: demolición en un caso y conservación y prosecución de la obra en el otro. A propósito de ello hizo consideraciones acerca de los esfuerzos debidos a la expansión y de las resistencias que se oponen a ellos, llegando a la conclusión de que tal vez la solución conservadora hubiese sido la mejor también en el primer caso.

Habló asimismo de los métodos de ensayo para determinar el carácter expansivo de los cementos según las distintas normas, y en particular del método de expansión en autoclave de las normas ASTM. Se refirió a sus limitaciones y al carácter equívoco de sus resultados en el caso de determinados cementos, así como a la falta de correlación entre dichos resultados y los de otros métodos diferentes, e incluso con los del comportamiento real de los mencionados cementos en la práctica. En una palabra —dijo—, los resultados

del ensayo de autoclave ASTM no siempre sitúan al técnico del lado de la seguridad; sino más bien, a veces, todo lo contrario. También expuso cualitativa y cuantitativamente las características de otros métodos de ensayo según normas diferentes, con énfasis especial en el método de LE CHATELIER.

Siguió el expositor con la expansión debida al posible exceso de yeso del cemento, a sus causas y mecanismos y a sus consecuencias, patentes en un ejemplo que describió, relativo a varios bloques de edificación que hubieron de ser demolidos a causa de las tremendas grietas que se produjeron en los elementos portantes de las estructuras. Hizo resaltar la importancia que en evitación de todo ello tenía el riguroso control del cemento, tanto a su salida de fábrica como a su recepción en obra.

Dentro de la acción expansiva del yeso y de los sulfatos en general, el conferenciante pasó después a ocuparse del ataque al hormigón por agentes externos, haciendo destacar la importancia que en la prevención de dicho ataque tenían la compacidad, la impenetrabilidad y la impermeabilidad, dependientes tanto del diseño como de los materiales y de la tecnología —ejecución— del propio hormigón. En tal sentido puso el debido énfasis en la importancia que tienen la dosificación de cemento y la relación agua/cemento, así como el peligro de ahorrar cemento a ultranza en determinados tipos de obras; o de sustituir una dosificación mayor de un cemento menos resistente por otra dosificación menor de un cemento más resistente, en hormigones de una resistencia dada, ya que con tal sustitución se pueden afectar casi siempre y desfavorablemente otras características importantes, tanto de los hormigones frescos como de los ya fraguados y endurecidos.



Foto 3.—Presentación del Prof. CALLEJA por el Dr. Dante VERONELLI en las Segundas Jornadas Nacionales e Internacionales sobre Técnicas de la Construcción, de la EXPO-CONTRUCCION 80, en Buenos Aires (Argentina).

Sin salirse del tema, el Prof. CALLEJA trató de los cementos específicamente resistentes en una u otra medida a los ataques por sulfatos —yesos y sulfato magnésico de las aguas y de los terrenos, y sulfatos alcalinos del agua del mar—, explicando los mecanismos de los ataques en cada caso, y en particular la doble acción del anión y del catión en el caso del ataque del cemento por el sulfato magnésico. Glosó después las características exigidas en las normas para los cementos portland resistentes a sulfatos, e hizo una descripción detallada de la composición y de las propiedades de los cementos siderúrgicos —con

escorias— y de los cementos puzolánicos, temas que ya había apuntado previamente. En el caso de los cementos siderúrgicos describió las condiciones que necesariamente debían cumplir las escorias, y en cuanto a los cementos puzolánicos expuso las correspondientes a las puzolanas y a los propios cementos, a través del ensayo de FRATINI. En ambos casos mencionó los empleos específicos de estos tipos de cemento.

El conferencista concluyó el capítulo de las acciones expansivas de los sulfatos refiriéndose al caso combinado de los sulfatos alcalinos con áridos reactivos frente a los álcalis, en el que a la acción del anión sulfato se suma la reacción árido-álcalis, de la que después trató más específicamente.

El Prof. CALLEJA se ocupó a continuación del entumecimiento o “hinchazón” del hormigón, poniendo como ejemplo muy destacado el del movimiento de un bloque de hormigón en un macizo de presa de gravedad. Por una serie de circunstancias concurrentes y de acciones y situaciones diferenciales, muchas de ellas fortuitas y otras no, un bloque cinco veces mayor en masa y volumen que sus adyacentes y subyacentes sufrió, como éstos, una desecación prolongada durante años, la cual afectó mucho más a la cara del paramento de aguas abajo que a la cara del paramento de aguas arriba de la presa, con la consiguiente evaporación más rápida, intensa y profunda en el primer caso, y con el desplazamiento de la humedad del bloque, más acusado aguas abajo. Además, el bloque, por ser de una zona de compuertas, era de un hormigón de mejor calidad, más resistente y rico en cemento. Al llenarse la presa los bloques desecados se imbibieron de agua por penetración de la misma debida a la porosidad, a la succión capilar y a la presión hidrostática, pero sobre todo al grado de desecación de los bloques. El bloque mayor se empapó más y más rápidamente y a fondo que los demás, dadas sus características diferenciales con respecto a éstos, lo cual produjo un empuje o levantamiento del bloque desde atrás y abajo —paramento de aguas arriba— hacia adelante y arriba —paramento de aguas abajo—, con desplazamiento por giro que produjo la rotura de barandales y bordillos de hierro en la zona del coronamiento de la presa, correspondiente al bloque en cuestión (de unos 70 metros lineales y unos 3.500 metros cúbicos de hormigón).

El expositor propuso una explicación de los hechos, basada en el mayor tamaño del bloque, en su mayor dosificación de cemento —probablemente incluso de una categoría resistente más elevada, dada la condición especial de dicho bloque—, y en las circunstancias severas de desecación a que se vió sometida la presa durante años. En tal situación, la mayor cantidad de geles tobermoríticos contenidos en el bloque por su mayor dosificación de cemento y por su mayor masa de pasta hidratada, pudo actuar diferencialmente como una esponja más seca y contraída, absorbiendo y adsorbiendo por succión capilar grandes cantidades de agua, que al embeber los geles resecos produjo un hinchamiento con expansión de todo el bloque, la cual, apoyándose en los bloques contiguos y subyacentes, pudo dar lugar a los resultados y efectos observados y descritos. El conferenciante sacó asimismo las conclusiones de estos hechos, relativas a los cementos y a las dosificaciones que se deberían emplear para evitarlos, y, sobre todo, a la conveniencia de no crear en ningún caso situaciones ni condiciones diferenciales o de disimetría, las cuales son casi siempre asiento de acciones disruptivas locales. Como colofón, trató de las condiciones que deberían cumplir los cementos para presas, diques y grandes obras de cimentación.

Dentro de la exposición del Prof. CALLEJA y del capítulo de las expansiones del hormigón se trató también de las debidas a los áridos, glosando a tal efecto la reacción árido-álcalis y el mecanismo para evitar sus efectos, mediante el empleo de cementos puzolánicos, o mediante la sustitución parcial del árido fino por la cantidad equivalente de otro procedente del propio árido reactivo, pero molido a la finura del cemento, ya que con tales recursos se sustituían pocas acciones expansivas locales muy intensas y con grandes

efectos disruptivos, por muchas acciones muy dispersas y muy poco intensas, uniformemente repartidas, y mucho más fáciles de absorber por el hormigón sin rotura, o con efectos mucho más leves, e incluso tolerables.

El disertante trató asimismo de las expansiones disgregantes del hormigón, debidas al empleo de áridos piritosos, poniendo un ejemplo real de deterioros graves en edificios, conducentes a la demolición de los mismos.

Finalmente mencionó —aunque no detalló por lo extenso del tema y la limitación del tiempo—, la expansión y el agrietamiento del hormigón por efecto de la corrosión de sus armaduras.

Aparte de la expansión, el Prof. CALLEJA trató del tema de la retracción y de la fisuración plástica del hormigón, relacionándolas con elementos de gran superficie y pequeño espesor —tales como los forjados de piso y las losas de pavimentos—, especialmente cuando concurren determinadas circunstancias intrínsecas del material —por lo que respecta al cemento—, y otras extrínsecas a él —como las condiciones climáticas y ambientales de elevada temperatura y escasa humedad relativa del aire—, propicias para la rápida, intensa y profunda desecación del hormigón, con la retracción y el agrietamiento correspondientes por falta de “acomodación” del material durante su estado más plástico. En cuanto al cemento, el expositor habló de la influencia desfavorable que en la retracción y en la fisuración plásticas pueden ejercer algunos cementos con adiciones inadecuadas y granulometrías anómalas, los cuales exigen mayor cantidad de agua para una determinada consistencia, pero sin capacidad de retención de la misma, la cual sobra y se segrega después, dando lugar a una excesiva exudación —rezumado o sangrado—, propicia para una rápida desecación por evaporación en las condiciones mencionadas.

El conferencista describió al respecto una experiencia con losas de pavimento sometidas a diferentes condiciones ambientales y hechas con un cemento normal y con un cemento de adición inadecuada y granulometría anormal, pero iguales en todo lo demás, donde se puso de manifiesto tanto la influencia del ambiente como la de los cementos, en el sentido que queda expuesto.

Finalmente el disertante habló de la retracción hidráulica o de secado del hormigón ya fraguado y endurecido, así como de la fisuración, en la que, además de la propia retracción, están implicadas la resistencia a la tracción y la deformabilidad —módulo de elasticidad— del material.

Como broche de su exposición, el Prof. CALLEJA hizo una apología de los cementos puzolánicos, tanto desde el punto de vista de la idoneidad técnica de su empleo para fines específicos, como desde la vertiente del ahorro de energía —calorías (fuel-oil: petrodólares) y kilowatios— en la fabricación de cemento, aspecto importante en la presente época de escasez y elevados costos de los combustibles en general, y de los derivados del petróleo en particular.

La conferencia del Prof. CALLEJA, de una hora y media de duración, fue documentada con numerosas diapositivas y transparencias, y el texto completo de la misma, con sus correspondientes figuras, cuadros y gráficos, les fue entregado para el Centro de Ingenieros de Rosario, a las siguientes autoridades de las Jornadas: el Ing. Carlos MASTROGIUSEPPE, Presidente de dicho Centro y miembro de la Comisión Asesora de la EXPO-CONSTRUCCION 80, y al Ing. Francisco SETA, Vicepresidente del Comité Organizador de la EXPO-CONSTRUCCION 80 y Presidente de la Comisión Organizadora de las Segundas Jornadas Nacionales e Internacionales sobre Técnicas de la Construcción.

Al margen de esta actuación el Prof. CALLEJA tomó parte en los coloquios suscitados por las exposiciones de los demás conferenciantes, entre ellas las siguientes:

“La acción del fuego sobre diferentes materiales empleados en la construcción”, de los Ingenieros Marcelo WAINSTEIN, José F. COLINA, Mario ROSATTO y Fernando MAYO.

“Ingeniería oceánica”, del Ing. Ascensio LARA, del Centro de Investigación Oceánica de Argentina.

El número total de comunicaciones presentadas por los participantes argentinos y extranjeros fue de dieciocho.

De la EXPO-CONSTRUCCION 80, así como del desarrollo de estas Segundas Jornadas Nacionales e Internacionales sobre Técnicas de la Construcción, y de la participación de técnicos extranjeros en las mismas, dio cumplida cuenta, entre otros, el diario “LA NACION” de Buenos Aires, en su número del miércoles 17 de Diciembre de 1980, 3.^a Sección, página 4, así como el diario “LA RAZON”, también de Buenos Aires, en su número del jueves 18 de Diciembre de 1980, página 12.

A la hora de expresar el agradecimiento del que escribe por la invitación a las Jornadas reseñadas y por la hospitalidad argentina, se quiere señalar, en primer término, al Centro de Ingenieros de Rosario y a su Presidente, el Ing. Carlos MASTROGIUSEPPE; a la Comisión Organizadora de las Jornadas, en la persona de su Presidente, el Ing. Francisco SETA; a las diecinueve entidades bajo cuyos auspicios se desarrollaron las Jornadas, en la mención de dos de ellas: la Universidad Nacional de Rosario y el Instituto del Cemento Portland Argentino; a los cuarenta y ocho miembros de la Comisión Asesora, en las personas de cuatro de ellos: el Presidente del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Ing. Alcides RODRIGUEZ, el Presidente de la Asociación Argentina de Hormigón Pretensado y Director del Instituto del Cemento Portland Argentino, Ing. Carlos DUVOY, el Presidente del Consejo Directivo del Instituto de Racionalización Argentina de Materiales (IRAM), Sr. Manuel CATOYRA, y el Rector de la Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Carlos BURUNDARENA; y a los diez miembros del Comité Organizador de la EXPO-CONSTRUCCION 80, en las personas de su Presidente, Ing. Raul CLARET, de su Secretario, Ing. Enrique DUJOVNE y de su Coordinadora, Srta. Elcie RACOSKI.

Durante y al término de las Jornadas le fueron hechas —o reiteradas— al Prof. CALLEJA cuatro invitaciones para desarrollar actividad científico-técnica en otras tantas entidades argentinas oficiales y privadas, de la ingeniería, de la construcción y del cemento, durante 1981 y/o años siguientes.

REFERENCIAS

- (1) CALLEJA, J.: “Actividades Técnicas Cementeras en Iberoamérica”.
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 169 (ENE-FEB-MAR), págs. 5-27, 1978.
- (2) CALLEJA, J.: “Segunda Reunión Plenaria del Grupo Latinoamericano de Instituciones del Cemento y del Concreto (GLAICYC)”.
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 175 (JUL-AGO-SEP), págs. 5-22, 1979.
- (3) EDITORIAL: “Presencia y Actividad Cementera Española en Iberoamérica”.
CEMENTO-HORMIGON, núm. 447 (JUN), págs. 461-466, 1971.

- (4) CALLEJA, J.: "La Primera Reunión Latinoamericana de Instituciones del Cemento y del Concreto"
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 156 (OCT-NOV-DIC), págs. 5-29, 1974.
- (5) CALLEJA, J.: "El Cemento y el hormigón, la Construcción y la Calidad, tratados por el IETCC en Venezuela y en la República Dominicana".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 160 (OCT-NOV-DIC), págs. 5-17, 1975.
CEMENTO-HORMIGON, núm. 501 (NOV), págs. 1310-1328, 1975.
- (6) CALLEJA, J.: "Ciencia y Técnica Españolas del IETCC en Iberoamérica".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 163 (JUL-AGO-SEP), págs. 5-25, 1976.
CEMENTO-HORMIGON, núm. 510 (AGO), págs. 795-824, 1976.
- (7) CALLEJA, J.: "Presencia y Actuación Española en la 30 Reunión de Técnicos de la Industria del Cemento del Brasil".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 175 (JUL-AGO-SEP), págs. 51-69, 1979.
- (8) CALLEJA, J.: "Las Nuevas Normas Españolas para Cemento".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 164 (OCT-NOV-DIC), págs. 5-24, 1976.
Associação Brasileira de Cimento Portland, Anexo 3, Sao Paulo (Brasil), 1976.
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires (Argentina), 1976.
- (9) CALLEJA, J.: "Consideraciones Generales Apologéticas sobre la Investigación Científica y Técnica".
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires (Argentina), 1976.
- (10) CALLEJA, J.: "Cementos Puzolánicos".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 165 (ENE-FEB-MAR), págs. 23-35, 1977.
Associação Brasileira de Cimento Portland: Simposio de Cimento e Concreto. Separata aneja al Acta de la 23 Reunión de Técnicos de la Industria del Cemento, Sao Paulo (Brasil), 1976.
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires (Argentina), 1976.
- (11) CALLEJA, J.: "La Corrosión del Acero de Refuerzo en el Concreto Armado"
Asociación Venezolana de Productores de Cemento, Caracas (Venezuela), 1970.
- (12) CALLEJA, J.: "El Futuro de los Aditivos del Concreto".
Revista IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.), XIV/80 (MAY-JUN), págs. 13-19, 1976.
- (13) CALLEJA, J., PEREZ ALONSO, J. y CALDERON, F.: Curso sobre Adiciones y Materiales Puzolánicos para Cementos".
Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), Medellín (Colombia), 1977.
- (14) CALLEJA, J.: "Cementos con Adiciones" (Memoria-Resumen de una Conferencia), en Referencia 7.
- (15) CALLEJA, J.: "Consideraciones sobre la Economía de Combustibles y otros Derivados del Petróleo en la Fabricación y en la Utilización de los Cementos".
Materiales de Construcción (IETCC), núm. 175 (JUL-AGO-SEP), págs. 10-12, 1979. (Memoria-Resumen de la Conferencia, en Referencia 2).
- (16) CALLEJA, J.: "Automatización y Economía de Combustibles".
(Memoria-Resumen de la Introducción al Tema y del Coloquio, en Referencia 2)
- (17) CALLEJA, J.: "Durabilidad del Hormigón".
Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDIEM), Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago (Chile), 1980.