



ITH - INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL HORMIGÓN



ACTO ACADÉMICO

Incorporación del Ing. Alberto S. C. Fava a la
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

**Naturaleza y estructura del hormigón de cemento portland
Características y propiedades más importantes**

**LEMIT - SINTESIS DE LOS ESTUDIOS
E INVESTIGACIONES REALIZADOS EN
EL CURSO DE LOS ÚLTIMOS TREINTA
AÑOS EN EL CAMPO DE LA TECNOLOGÍA
DEL HORMIGÓN**

ALBERTO S. C. FAVA
INGENIERO CIVIL

Buenos Aires
República Argentina

1974

ITH - INSTITUTO TECNOLOGICO DEL HORMIGON

COMITE DIRECTIVO

Ing. GUILLERMO N. BURGOA

Ing. JOSE F. COLINA

Ing. ALBERTO R. COSTANTINI

Ing. ALBERTO S. C. FAVA

Ing. JULIO ZUKER

OFICINAS

Bernardo de Irigoyen 330, piso 3
Buenos Aires - Argentina
Teléfonos: 38-1651 y 38-0362

LABORATORIO

Miravé 2774
Buenos Aires - Argentina
Teléfono: 21-3221

PUBLICACION ITH N° 7

Informe publicado en la Revista de Ingeniería - Centro de Ingenieros
Provincia de Buenos Aires, N° 84 y 85, enero-junio de 1974.



ITH - INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL HORMIGÓN

ACTO ACADÉMICO

Incorporación del Ing. Alberto S. C. Fava a la
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Naturaleza y estructura del hormigón de cemento portland
Características y propiedades más importantes

**LEMIT - SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS
E INVESTIGACIONES REALIZADOS EN
EL CURSO DE LOS ÚLTIMOS TREINTA
AÑOS EN EL CAMPO DE LA TECNOLOGÍA
DEL HORMIGÓN**

ALBERTO S. C. FAVA
INGENIERO CIVIL

Buenos Aires
República Argentina

1974



THE
LIBRARY OF THE
MUSEUM OF NATURAL HISTORY
AND
ZOOLOGY
OF THE
CITY OF LONDON

ACTO ACADÉMICO

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Sala Florentino Ameghino, de la Sociedad Científica Argentina

Buenos Aires - República Argentina

Octubre 8 de 1973

PALABRAS INICIALES DEL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES, Dr. VENANCIO DEULOFEU EN EL ACTO DE RECEPCIÓN DE LOS ACADÉMICOS CORRESPONDIENTES INGENIEROS ALBERTO S. C. FAVA Y CÉSAR J. LUISONI⁽¹⁾

La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que el año próximo ha de ser una institución centenaria, tuvo su origen en la Universidad de Buenos Aires. Por eso mismo lleva el nombre de la Facultad que durante muchos años tuviera su sede en la Manzana de las Luces, donde se cursaban varias y a veces dispares carreras: ingeniería, arquitectura, matemáticas, ciencias físicas y químicas y ciencias naturales, que incluían la geología y las ramas biológicas.

Pero no es sólo por su nombre, sino por su tradición, que acoge en su seno a quienes se hayan distinguido por su labor, tanto en las ciencias básicas como en sus aplicaciones tecnológicas.

Su carácter nacional le obliga a una acción que debe trascender a todo el país. Así lo ha hecho en todas las oportunidades que se le han presentado y además ha explorado otras en forma activa.

Esta es también la razón por la cual ha buscado estudiosos que ejerzan su actividad fuera de la ciudad de Buenos Aires, su sede legal, para incorporarlos a la misma como Miembros Correspondientes. En el acto que hoy celebramos, cumplimos con la ceremonia tradicional, al recibir en nuestro seno en esa categoría a los ingenieros Alberto S. C. Fava y César J. Luisoni, quienes se han formado en la Universidad Nacional de La Plata y desarrollado una obra ponderable como ingenieros.

Sus antecedentes, que tienen algo de paralelo, justifican plenamente su elección. Ambos han seguido el camino del estudio permanente, del trabajo y de la actividad realizadora. Los dos han sido docentes universitarios y han llegado al grado más elevado, como es el de Profesor Titular, y ambos se han distinguido en la función pública y han contribuido al desarrollo de nuestro país, estudiando, proyectando y dirigiendo obras de importancia.

(1) Textos publicados con la anuncia de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

De acuerdo con lo que establece nuestro reglamento, hemos de escuchar, en este acto de su incorporación, dos relatos sobre temas que han sido motivo de sus investigaciones.

Nuestro Académico titular, el ingeniero Arturo M. Guzmán tendrá a su cargo, con la autoridad que le da su ciencia y su experiencia, la presentación de los recipiendarios, a quienes doy en nombre de la Academia la más cordial bienvenida y les expreso los mejores deseos para que continúen su exitosa carrera, lo que ha de redundar en beneficio del país y en beneficio de todos.

PALABRAS DE PRESENTACIÓN DE LOS NUEVOS ACADÉMICOS
PRONUNCIADAS POR EL ACADÉMICO TITULAR INGENIERO
ARTURO M. GUZMÁN

La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales se reúne hoy para recibir a dos nuevos Académicos correspondientes a la ciudad de La Plata, que constituyen legítimos y auténticos exponentes de los aspectos científicos y profesionales de la ingeniería argentina: los ingenieros Alberto S. C. Fava y César J. Luisoni. La designación recaída en los mismos ha tenido en cuenta su ya larga trayectoria, traducida en curriculums debidamente valorados que demuestran su singular jerarquía, la trascendencia nacional e internacional de sus trabajos, su actuación en la cátedra universitaria, su lucido desempeño en el campo estructural y tecnológico donde sus nombres son símbolo de competencia, seriedad y bien madura comprensión del saber en sus respectivas especialidades.

La Sección Ingeniería de la Academia, celosa de su ya centenaria tradición, enriquece pues su destacado grupo de Académicos correspondientes con los



El Académico Titular, ingeniero Arturo M. Guzmán, se dirige a los asistentes durante la recepción de los nuevos Académicos. De izquierda a derecha, los ingenieros Alberto S. C. Fava y el disertante, el Dr. Venancio Deulofeu y los ingenieros César J. Luisoni y Arturo Bignoli.

dos nuevos nombres que desde hoy contribuirán a cimentar sus afanes de progreso técnico y científico nacional, engrandeciendo a la institución y al país. Fueron elegidos por unanimidad en votación secreta, lo cual constituye un honor para ellos pues sus antecedentes estuvieron expuestos al riguroso examen de todos los Académicos titulares, como es normal en estos casos en los cuales las exigencias se extreman.

Al darles la bienvenida en nombre de la Academia, me referiré sumariamente a la actuación de cada uno de ellos:

INGENIERO ALBERTO S. C. FAVA

Egresado en 1942, con el título de ingeniero civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, es profesor titular en la misma casa de estudios desde 1960 en la cátedra "Tecnología del Hormigón de Cemento pórtland". También desde el mismo año está a cargo de la cátedra de análoga designación en los cursos para graduados de la Escuela de Ingeniería de Caminos que funciona en la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.

La tecnología del hormigón ha merecido pues su dedicación desde su egreso profesional, actuando largos años en el LEMIT, institución en la cual fue Jefe del Departamento de dicha especialidad desde 1954 a 1970, año en que se retiró para incorporarse a una actividad privada, de intensa actuación en todo el país para el control de obras.

Como actividad profesional ya sea oficial o privada, registra la supervisión y asesoramiento sobre más de un millar de estudios y controles de hormigones en obra. Comenzó en 1945 con las estructuras para los Astilleros Navales de Río Santiago, siguió con los hormigones para el importante viaducto Sarandí, en Avellaneda, y en los últimos años tuvo a su cargo el asesoramiento y análisis de los hormigones para el túnel subfluvial Paraná-Santa Fe, para el puente Chaco-Corrientes y la parte de hormigón del complejo Zárate-Brazo Largo.

Su labor docente le ha permitido la realización o supervisión de 29 investigaciones y estudios experimentales, 24 de ellos en el país y 5 en USA; país éste donde actuó entre 1955-1956 en el Departamento de Ingeniería Vial del Estado de Nebraska en la aplicación de hormigones a la construcción de caminos. Luego, en 1960, en el Centro de Ingeniería e Investigaciones del U. S. Bureau of Reclamation, en Denver, Colorado.

Es autor de 34 publicaciones referentes a su especialidad, muchas de ellas mencionadas en revistas de jerarquía internacional en USA, Francia, Alemania e Italia. Ha actuado también en muchos congresos, simposios y reuniones técnicas tanto nacionales como internacionales, la última en el Simposio sobre Hormigones de Agregados Livianos que tuvo lugar en Budapest, en 1967, donde presentó uno de sus últimos trabajos.

Debo destacar su importante tarea cumplida en la Comisión Redactora del Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón que promoviera el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) entre 1962-1963.

El nombre del Ing. Fava fue seleccionado por concurso para esa Comisión, y su labor se concentró en la redacción de los capítulos referentes a tecnología del hormigón, que le pertenecen por entero. Constituyen un verdadero código, una obra maestra en la materia, resumen de la máxima experiencia mundial y local hasta ese momento.

Su trabajo "Teoría y práctica de la incorporación intencional de aire al hormigón de cemento pórtland" mereció el primer premio en el concurso sobre Problemas de la construcción. El Ing. Fava fue uno de los promotores de esta técnica en el país, en la cual ha efectuado aportes originales.

INGENIERO CÉSAR J. LUISONI

Egresó de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata en 1944 como ingeniero civil. Como alumno sobresaliente ya en 1942 hasta su egreso había sido ayudante de curso de Resistencia de Materiales y Elasticidad y Plasticidad. Obtenido su título, es Jefe de trabajos prácticos en las mismas asignaturas desde 1945 y en 1948 es designado por concurso profesor adjunto asistente de Elasticidad y Plasticidad, con un valioso trabajo de tesis para optar al cargo, sobre "Placas paralelogramicas oblicuas", de singular jerarquía, demostrando sus valiosos conocimientos y originalidad. En 1957, también por concurso, es designado profesor titular de Estática y Resistencia de Materiales. Previamente, en 1956, ya había sido designado profesor titular de Construcciones III en la Facultad de Arquitectura.

Desde 1952 hasta 1955 se desempeñó también como profesor contratado de Construcciones Metálicas y de Hormigón Armado en la Universidad Nacional del Sur.

Simultáneamente con su carrera en la docencia ingresó en 1944 en la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires como proyectista y calculista de puentes, pasando luego a ser Jefe de la División Obras de Arte y posteriormente Asesor Estructural. Se retira en 1967 para dedicarse al ejercicio privado de su profesión como estructuralista en obras de hormigón armado en general.

El Ing. Luisoni es un estructuralista con seria formación científica e imaginación creadora. Sus estructuras son todas originales muestras de su talento. Recordamos aquí el viaducto Sarandí, levantado en el cruce del Ferrocarril General Roca con la Avenida Mitre, en Avellaneda, de 3.200 metros de longitud y tres vías ferroviarias, fundado sobre pilotes, que fue una obra de avanzada de la ingeniería argentina. Su proyecto soportó un control internacional pues al licitarse la obra se admitió la presentación de otras variantes al proyecto original de Luisoni. Entre esas variantes, figuró una del famoso creador del hormigón pretensado, el francés Eugenio Freyssinet, quien no obstante su reconocida pericia no pudo mejorar económicamente la solución de Luisoni, quedando ésta firme para su ejecución.

En la especialidad puentes de hormigón, sus proyectos construidos en todo el país sobrepasan un centenar. En los últimos años vemos en algunas de sus realizaciones una tendencia al empleo de secciones laminares, como el original puente sobre el río Quequén Salado, en la ruta nacional nº 3, que mereció ser descripto y analizado en una publicación del Instituto Eduardo Torroja, de Madrid. Otro viaducto, el Avellaneda, en Rosario de 770 m de longitud, ha sido inaugurado hace poco tiempo.

Otros tipos de estructuras para ingeniería sanitaria, plantas industriales, edificios públicos y privados han merecido también su atención.

Esa intensa labor profesional no le ha impedido la publicación de numeroso trabajos de investigación. El total de sus contribuciones, que asciende a 50, algunas teóricas, otras experimentales, nos está indicando que nos hallamos en presencia de otro alto exponente de nuestra ingeniería en los dos aspectos que ésta, como dije al principio, debe tener: científica en su basamento y creadora en su desarrollo. Es lo que se necesita para darle vuelo y jerarquizarla. Los dos académicos correspondientes que hoy recibimos llenan cumplidamente esos requisitos.

PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL INGENIERO ALBERTO S. C. FAVA

Mucho agradezco el alto honor que me confiere la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales al incorporarme a su seno en este acto. En especial agradezco al Académico ingeniero Arturo M. Guzmán el haberse tomado la molestia de estudiar mis antecedentes, valorarlos y resumirlos, y las amables palabras que ha pronunciado, que trasuntan su cordial amistad y afecto de amigo y de maestro.

Deseo expresar, asimismo, que la labor que la Academia ha deseado distinguir y que aprecio, que es el fruto de muchos años de constancia y dedicación al estudio, a la enseñanza y a la investigación aplicada a la ingeniería, no la entiendo como un homenaje a la labor personal realizada, sino como el reconocimiento al trabajo de equipo efectuado con entusiasmo, desinterés e inteligencia, por un grupo de colaboradores, colegas y profesionales de distintos campos del conocimiento, que me han acompañado para poder realizar la tarea que hoy expondremos.

Por motivos distintos, pero igualmente importantes, entiendo que la distinción alcanza al recuerdo de mis padres que, estoy seguro, tanto hubiesen deseado poder presenciar este acto. También alcanza a Mabel, mi esposa, y mis hijos, por haber aceptado pacientemente y durante tantos años la substracción de tiempo de la vida familiar, que el entusiasmo por el cumplimiento de la labor de estudio, y la labor profesional, han ocasionado.

Derechos de sobra para compartir la distinción tienen mis maestras de los primeros grados y mis profesores y colegas del país y del exterior, que con afecto, paciencia y talento, tanto han contribuido para hacer posible mi especialización y a quienes tanto debo por los conocimientos que han sabido transmitirme. A todos ellos, mi afectuoso recuerdo y especial gratitud.

Por fin, deseo agregar que me siento particularmente honrado y halagado por la presencia de las numerosas damas que adornan este acto y también por el hecho de que tantos colegas, ex-alumnos, familiares y amigos nos acompañen, material o espiritualmente, constituyendo en esta forma el marco de afecto y amistad dentro del cual se desarrolla esta reunión y que tanto estimo, valoro y agradezco.

PALABRAS PREVIAS DEL INGENIERO CÉSAR J. LUISONI

Decía José Ortega y Gasset que el hombre es él y su circunstancia. Esta consistió para mí, en la oportunidad de trabajar al lado de dos verdaderos maestros argentinos de la Ingeniería Estructural.

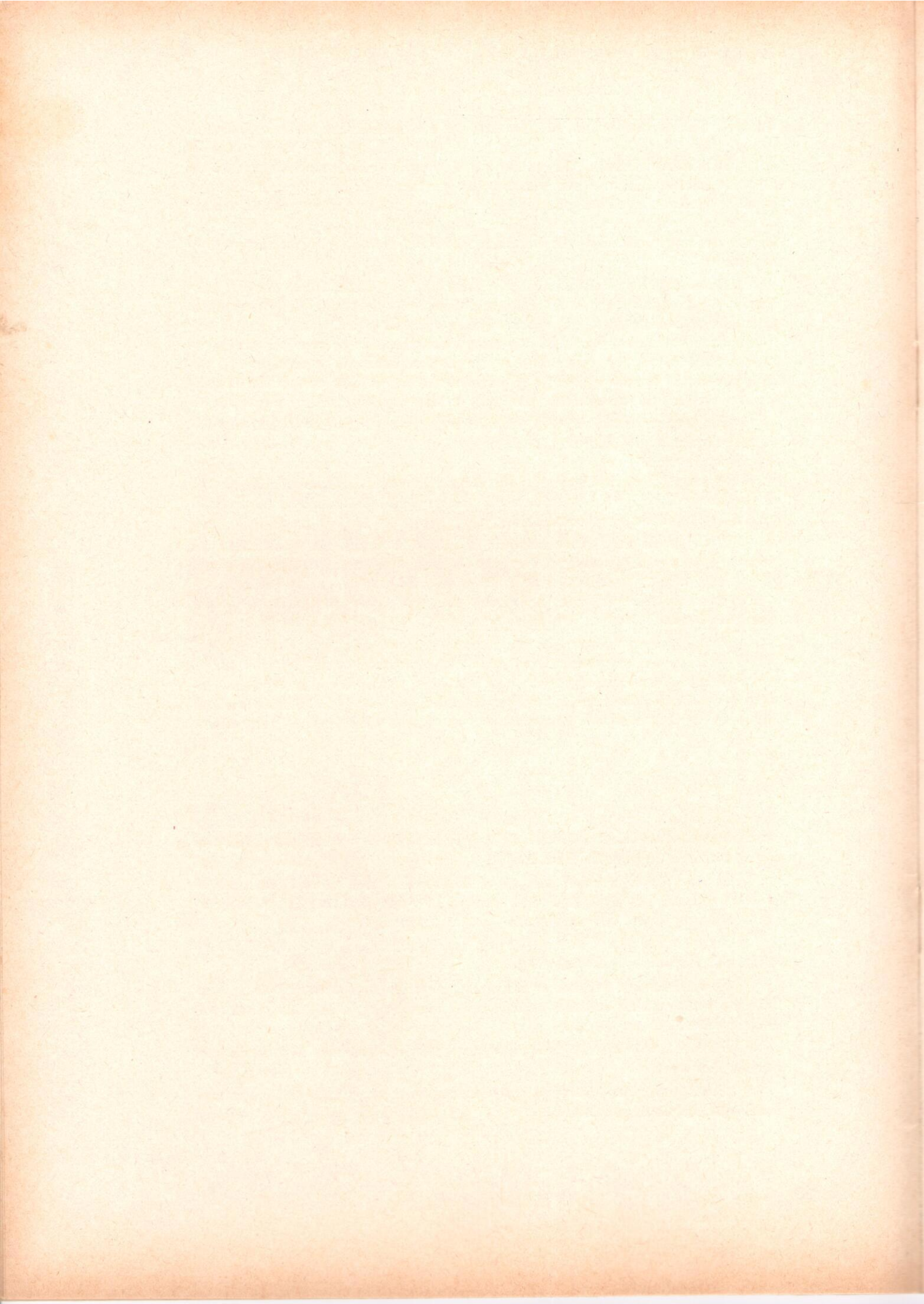
Primero fue el ingeniero Eduardo A. Arnaboldi, quien durante nuestra época de estudiante nos enseñaba a ver la esencia del funcionamiento de las estructuras. Murió muy joven, el mismo año en que yo me graduaba.

Por entonces retornaba a la Facultad de Ingeniería de La Plata el ingeniero Arturo M. Guzmán, a cuyo lado seguí trabajando y sigo aprendiendo.

En el homenaje que a ellos rindo hoy, sintetizo mi reconocimiento a todos los que fueron dejando en mi labor lo que esta Academia pudiera haber encontrado de positivo.

Este reconocimiento se extiende a mi esposa e hijos por la paciencia con que me han soportado.

A esta prestigiosa Institución agradezco el honor tan grande como poco merecido que me ha dispensado.



Naturaleza y estructura del hormigón de cemento portland
Características y propiedades más importantes

LEMIT - SINTESIS DE LOS ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REALIZADOS EN EL CURSO DE LOS ULTIMOS TREINTA AÑOS EN EL CAMPO DE LA TECNOLOGIA DEL HORMIGON

ALBERTO S. C. FAVA*

Ingeniero Civil

1) REFLEXIONES SOBRE EL LEMIT: UN FACTOR DE PROGRESO EN EL ESTUDIO DE LOS MATERIALES EN LA ARGENTINA

Cuando a principios de 1942 rendía las últimas materias de ingeniería civil en la entonces Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas de la Universidad Nacional de La Plata, y fui invitado por el Ing. Adolfo P. Grisi para realizar estudios en el Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas de la Provincia de Buenos Aires (LEMIT) en la especialidad Tecnología del Hormigón, estaba muy lejos de imaginar que 30 años después tendría que rendir cuentas públicamente de la labor realizada. Y no solamente de la labor realizada en forma personal, sino también de la que desarrolló un excelente grupo formado por profesionales de distintas especialidades y disciplinas, téc-

* Profesor Titular de Tecnología del Hormigón, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata;
Director Técnico del ITH Instituto Tecnológico del Hormigón, Buenos Aires, República Argentina.

nicos y operadores, colaboradores y amigos, que con inteligencia, dedicación y entusiasmo, y no sin sacrificios, logró constituir, en pocos años, un grupo de trabajo que por la magnitud e importancia de la labor de conjunto realizada y por sus publicaciones, fue considerado como el de mayor relieve del país y de América Latina, en la especialidad Tecnología del Hormigón.

Es necesario confesar, sin embargo, que cuando iniciamos la tarea, allá por el año 1942, no eran muchos nuestros conocimientos específicos sobre el hormigón de cemento portland y sobre su tecnología. Con el correr de los años, mucho es lo que hemos aprendido y bastante lo que ha podido ofrecerse al país en conocimientos derivados de la labor de estudio y experimental realizada, que se tradujo en un mejor aprovechamiento de los materiales nacionales, con lo que el país pudo ejecutar, en adecuadas condiciones de seguridad y economía, las importantes estructuras de hormigón de las cuales la ingeniería argentina puede ciertamente enorgullecerse.

Ello ha sido posible y se ha realizado sin recurrir a la experiencia de especialistas del exterior, ni a la importación de tecnología correspondiente a la especialidad. Es el fruto de años de estudios y de investigaciones realizados en silencio, previendo las necesidades del futuro y previendo también el momento en que el progreso inevitable haría necesario el empleo de los conocimientos adquiridos en dichos estudios, para hacer posible la ejecución de importantes estructuras. Es que las investigaciones deben realizarse con anterioridad al momento en que se requieren los conocimientos o la información. Si la investigación se inicia en el momento en que se advierte su necesidad, ya es demasiado tarde. El país debe tenerlo presente. No preverlo con la anticipación necesaria significará carecer de especialistas formados, carecer de los conocimientos que el progreso inevitablemente exige y dejar planteada la necesidad de importarlos, lo mismo que los especialistas y la tecnología. De este retroceso nadie podría sentirse feliz, ni tampoco orgulloso.

No entenderlo así en un país como el nuestro donde tanto es lo que falta realizar aún para alcanzar un grado de progreso que permita, al mismo tiempo que desarrollarlo, elevar el nivel de vida de grandes núcleos de la población, o pensar que la investigación, y sobre todo la investigación tecnológica, es un despilfarro de tiempo y de dinero, o un lujo sin sentido que sólo pueden darse los países ricos y desarrollados es, a nuestro juicio, carecer de imaginación y negar el progreso. Con ello se apunta a la

mediocridad y se fomenta la dependencia intelectual, en beneficio de los países progresistas y de mentalidad joven, capaces de desafiar al futuro, que estudian, investigan y trabajan, y que son conscientes de que la ciencia y la tecnología son factores importantes del progreso, ya que de ellos dependen la salud, la producción, el bienestar individual y colectivo, el prestigio y el poder, la libertad en la adopción de decisiones y también la independencia política y económica de los pueblos.

Muchas veces se ha repetido que los países desarrollados no hacen investigación porque son ricos sino que a la inversa, han llegado a ser ricos porque se han dado cuenta que en nuestra época uno de los caminos para llegar a serlo lo proporciona la investigación.

Para apreciar mejor los hechos que permitieron al LEMIT ocupar un lugar de privilegio dentro del país, y también servir de ejemplo en América Latina en el campo del estudio de los materiales y de la tecnología del hormigón, parece necesario tener en cuenta algunas circunstancias que, a nuestro juicio, han influido favorablemente para que las cosas ocurriesen en la forma que hemos señalado.

En primer lugar el LEMIT funciona y se ha desarrollado en un medio propicio. La presencia y el contacto con la Universidad de La Plata y con sus hombres, muchos de los cuales se han desempeñado como docentes de las Facultades de Ingeniería, de Ciencias Exactas o de Ciencias Naturales y simultáneamente como funcionarios o investigadores del LEMIT, ha sido un factor favorable que ha beneficiado a la vez al LEMIT y a la Universidad.

En el ámbito de la ciudad de La Plata existió además otro hecho no despreciable: una tradición en la ciencia del estudio y conocimiento de los materiales, que viene desde aproximadamente el año 1910 y que estuvo representada por los conocimientos aportados desde entonces y hasta la fecha de la creación del LEMIT, por los hombres de visión y de espíritu progresista, que se adelantaron a su época en esta rama de los conocimientos.

El LEMIT ha contado además con una Dirección desempeñada en forma permanente durante 30 años, desde el 5 de octubre de 1942

que es la fecha de su creación, sucesivamente por el Ing. Adolfo P. Grisi y por el Dr. Pedro J. Carriquiriborde, que con el ejemplo y la acción supieron granjearse, entre otras cosas, el respeto y el afecto del personal del Instituto. La dirección supo además comunicar virtudes como la honestidad, la modestia, el espíritu de orden y de trabajo, la autodisciplina, la austeridad y el entusiasmo por la tarea a realizar, el espíritu de compañerismo y la necesidad del trabajo realizado en equipo, y la seriedad y la amistad entre los miembros del grupo humano constituido por todo su personal, sin distinción de categorías.

El aliento y apoyo a las iniciativas de perfeccionamiento nunca fueron retaceados y, dentro de las líneas generales de trabajo establecidas por la Dirección y el Consejo Técnico, teniendo en cuenta los intereses del país y en particular los de la provincia de Buenos Aires, el investigador siempre tuvo la posibilidad de realizar estudios sobre los temas de su interés o sobre los que consideró importantes para el mejor desarrollo de su especialidad. Las directivas, aunque encuadradas dentro de planes, siempre fueron amplias y flexibles, con tal de que condujeran a un objetivo preciso y definido, como corresponde a las **investigaciones aplicadas**, que son las que en su casi totalidad alentó y realizó el LEMIT.

La Dirección tuvo además otra virtud importante: supo escuchar la opinión de su personal y evitó poner reparos a las iniciativas que tenían posibilidades de materialización. Estas son condiciones importantes.

Factor importante del éxito fue también la tarea inteligente, afectuosa y siempre de gran sentido humano, desarrollada por el Dr. Humberto Giovambattista, que durante muchos años se desempeñó como Sub-Director del LEMIT. A ello debe agregarse la tarea orientadora y formativa desarrollada por los distinguidos profesionales Ing. Eduardo Arenas, Dr. Celestino L. Ruiz, Ing. Augusto Durelli y Dr. Joaquín Frenghielli, que en distintas especialidades y en calidad de Asesores, con el contacto directo y con gran generosidad de ideas y de conocimientos, contribuyeron, desde los momentos iniciales, para que el personal profesional, casi en su totalidad muy joven, acrecentara su experiencia, orientara su mente, trabajara en armonía y desarrollara una labor de equipo indispensable para el mejor desarrollo del Instituto en la difícil etapa inicial y también para que pudiesen obtenerse los frutos que de la organización se esperaban y que felizmente se obtuvieron.

En el enunciado de estos factores no puede ni debe olvidarse a los hombres de Gobierno de la provincia de Buenos Aires, que en distintas etapas de la vida del LEMIT, con ideas claras y definidas y con actos administrativos concretos y progresistas, posibilitaron su creación, alentaron su creciente desarrollo y facilitaron los medios para que el Instituto, en pocos años, alcanzara un lugar de privilegio en su género. Cabe el reconocimiento público hacia quienes así procedieron.

No debe pensarse, sin embargo, que durante las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo, todo fue un lecho de rosas o un camino sin espinas. Treinta años es mucho tiempo y en un país joven y en constante evolución y cambio como el nuestro existen, como es natural, épocas felices pero también otras que son difíciles y penosas. Estas últimas casi siempre se originaron en la incompreensión, la falta de imaginación y falta de actualización de quienes en su momento ejercieron el poder público, tal vez con buena intención, pero sin la necesaria amplitud de miras y espíritu de grandeza del estadista, que orienta su actuación teniendo como punto de mira no solamente el presente, sino también el país del futuro. Aparecieron entonces las inconvenientes interferencias de carácter político que crean malestar y quitan tranquilidad al personal, modificando el marco espiritual adecuado para el florecimiento de las ideas y para la búsqueda de nuevos conocimientos. En otras oportunidades fue la falta de un adecuado apoyo económico lo que impidió tener la posibilidad de un equipamiento adecuado. La falta de agilidad y lentitud del mecanismo burocrático y la falta de disposiciones de carácter legal que permitiesen salvar los inconvenientes administrativos y contables, la falta de reconocimiento por la tarea de naturaleza distinta, que el personal de este organismo realiza en relación con la que en general realiza la administración pública, son otros tantos inconvenientes observados a lo largo de la vida del LEMIT. En lo que se refiere a este último aspecto, ello condujo, en algunas oportunidades, a una modificación, en sentido desfavorable, del clima de paz, orden y tranquilidad que se requiere para la elaboración de ideas y de planes y su posterior materialización, o simplemente al éxodo de personal altamente especializado, difícil o imposible de reemplazar, y cuya formación requiere un largo período de entrenamiento. El capital humano y la experiencia que este tipo de personal representa para el organismo y para el país, muchas veces ha

sido ignorado y no debidamente valorado como se merece, por los poderes públicos.

Debe destacarse además que en la era actual, en países como el nuestro que están en vías de desarrollo, las investigaciones tecnológicas, que tienen por objeto emplear los conocimientos para satisfacer necesidades **inmediatas** y acelerar el progreso, significan, para un sinnúmero de actividades, pero muy especialmente para la ingeniería, un apoyo que es básico y sin el cual no existe desarrollo pleno en la creación de infraestructura, que en gran parte se traduce en la ejecución de obras de ingeniería civil, que por su naturaleza no pueden ser importadas y que tienen que ser necesariamente construidas localmente. Creer que se puede actuar en otra forma, **improvisando** en lugar de estudiar e investigar, es exponerse a correr altos riesgos de fracaso, que siempre implican elevadísimos costos, desprestigio y grandes dolores de cabeza. Siempre debe tenerse presente que el dinero asignado a este tipo de estudios e investigaciones es una inversión excelente, que respalda la obtención de buenos resultados y permite además realizar economías que superan con creces lo que se invierte en su realización. Por otra parte, la investigación es el único medio de hacer progresar a la industria, reducir los costos, aumentar las condiciones de seguridad y también la calidad y durabilidad de las estructuras. En resumen, posibilidad de contar con obras más eficientes y seguras, para alcanzar los objetivos que de ellas se esperan.

Hay un paso subsiguiente de extrema importancia: esto es, la necesidad imprescindible de **acortar las distancias** que en muchos casos existen y son bien amplias, entre los **conocimientos** afortunadamente **disponibles** en el país y su **mejor aprovechamiento** en las realizaciones de orden práctico. En este sentido es necesario reconocer que existe una enorme **tarea educativa** a realizar.

2) EL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND. SU NATURALEZA Y ESTRUCTURA

Hablar del hormigón de cemento portland es hablar del material de construcción de **mayor** empleo en el mundo. Corrientemente se lo elabora mezclando cemento portland con arena, canto rodado o piedra partida y agua. Cuando se desean modificar favorablemente sus características en determinado sentido, también contiene aditivos.

Las estadísticas recientes indican que la producción mundial de cemento es del orden de

500 millones de toneladas por año, que son convertidas en aproximadamente 4.000 millones de toneladas de hormigón. Esto equivale a una media de una tonelada por habitante y por año, para cada una de las personas vivientes en todo el mundo. Para completar la idea respecto a su consumo, basta con indicar que en países como EE. UU., en el que el consumo de acero para estructuras está tan generalizado, el consumo de hormigón, en toneladas, lo supera en proporción de 5 a 1. En muchos países esta proporción excede de 10 a 1.

Ningún otro material, con excepción del agua, es consumido por el hombre en la cantidad indicada anteriormente.

El antecesor remoto del hormigón es el mortero de cal, conocido y empleado extensamente por los egipcios hace ya más de 4.500 años, en tareas vinculadas a la construcción de sus pirámides.

El primer cemento del tipo hidráulico, es decir, capaz de endurecer estando en contacto con el agua, fue inventado por los romanos, quienes al efecto mezclaron pasta de cal y cenizas volcánicas. En los siglos siguientes se desarrollaron distintos tipos de cementos, aunque el mayor avance se produjo a partir del año 1812 cuando Vicat, en Francia, se interesó por los ligantes constituidos por cal y arcilla como materias primas. En 1824, Apsdin, en Inglaterra, patentó un ligante que obtuvo calcinando, en su cocina hogareña, una mezcla de piedra caliza y arcilla, al que denominó cemento portland, por su similitud de color con una roca explotada en la isla de Portland.

Aunque los cementos actuales se fabrican con las mismas materias primas que las empleadas por Apsdin, sus características superan ampliamente a las de los cementos de aquella época. Dichas materias primas se encuentran entre las más abundantes existentes en la superficie de la tierra.

Las principales ventajas que se han reconocido al empleo del hormigón como material de construcción residen en que es un material capaz de soportar cargas y de retener líquidos como el agua. Además, resiste los efectos de la temperatura y de la intemperie, se deforma bajo carga permitiendo una redistribución de las tensiones en las secciones más solicitadas de las estructuras y puede ser moldeado para adoptar cualquier forma que se requiera o se imagine. Por otra parte, es un material de costo relativamente reducido, que puede ser elaborado con materiales que virtualmente existen en cualquier país del mundo. Esto es particularmente importante para los países en desarrollo, ya que pueden producir su propio material estructural par-

tiendo de materiales locales como la arena, el canto rodado o la piedra partida, el agua y el cemento portland. Este último fabricado a su vez con piedras calcáreas y arcilla, calcinadas a altas temperaturas mediante petróleo, carbón o gas.

En cuanto a su estructura gruesa, el hormigón está constituido por una agregación de partículas minerales, los áridos, dispersados en una pasta de agua y cemento, que además contiene burbujas de aire. Cuando no se incorpora aire intencionalmente, las burbujas tienen tamaño variable, ocupan un volumen del orden del 1 al 2 % del volumen del hormigón, tienen formas caprichosas y están dispuestas en forma heterogénea y al azar en su masa. Si la incorporación de aire es intencional, el % de aire generalmente es del orden del 3 al 6 % en volumen. En este caso las burbujas son de tamaño semi-microscópico, no coalescentes y están uniformemente distribuidas en la masa del hormigón.

Los áridos (arena, canto rodado, etc.) constituyen aproximadamente el 70 % del volumen del hormigón y las rocas empleadas como tales son generalmente materiales que han sobrevivido edades geológicas, demostrando, en consecuencia, que poseen cierto grado de estabilidad física y química frente al medio que las rodea. Aunque, tal como se ha expresado, los áridos constituyen una parte importante de la masa del hormigón, es la pasta de agua y cemento el material activo, que al endurecer vincula rígidamente a las partículas minerales de los áridos, permitiendo obtener así la piedra artificial que se conoce con el nombre de hormigón.

3) LA QUÍMICA DEL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

El conocimiento corriente que dan la definición y estructura gruesa del hormigón, sólo permite tener una idea superficial de su naturaleza, pero no explica cómo y porqué la masa del hormigón, que originalmente es plástica, pierde plasticidad y endurece en corto tiempo, adquiriendo progresivamente características que la convierten en un útil material de construcción. Tampoco explican otros aspectos importantes del hormigón, de los cuales derivan, entre otras, sus resistencias mecánicas, cambios volumétricos, etc.

Tales son las razones por las que interesa profundizar estos aspectos, cosa que se hace posible mediante un análisis somero de la química del hormigón, que en última instancia no es sino la química de las reacciones que se producen en-

tre el agua y el cemento, ya que los áridos generalmente son inertes, aunque existan excepciones ya que, como sabemos, algunos áridos son reactivos frente a algunos de los componentes del cemento. Felizmente, cuando ello puede ocurrir dando lugar a reacciones desfavorables que pueden llegar a destruir las estructuras, se dispone de medios para controlar las mencionadas reacciones, alejando así el peligro de destrucción. En lo que sigue sintetizaremos los conocimientos correspondientes a la química del hormigón de acuerdo al esquema expuesto oportunamente por Brunauer.

Los conocimientos de que hoy se dispone respecto de la química del cemento y del hormigón, y también de la tecnología de este material, no son obra de un solo hombre ni tampoco de un grupo de hombres. Tampoco de una sola nación. Puede decirse que, en una u otra forma, cada uno de los que se han ocupado del tema es, en cierta forma, deudor de los conocimientos adquiridos o desarrollados por quienes le precedieron. Los esfuerzos realizados por los investigadores son también aquí interdependientes, como lo es cualquier acto del progreso humano. Dentro de un panorama que necesariamente debe ser restringido por razones de tiempo, interesa analizar en forma sumaria los conocimientos existentes, tal como aparecen a la luz de la más reciente información disponible.

El endurecimiento de la pasta de cemento, a partir de su estado plástico inicial durante el cual puede deformarse, nace del contacto del cemento con el agua. Cuando dicho contacto se produce, el cemento reacciona químicamente con el agua, los compuestos que lo constituyen desaparecen y son reemplazados por nuevos productos que son el resultado de la reacción. Se dice entonces que el cemento se hidrata. La pasta pierde paulatinamente su plasticidad y, gradualmente, endurece durante un largo tiempo.

El hombre corriente, no entrenado técnicamente, generalmente piensa que es el secado de la pasta lo que produce su endurecimiento. Lo cierto, para los cementos del tipo portland, es precisamente lo contrario. Sin agua no hay reacción, ni tampoco endurecimiento de la pasta ni del hormigón.

En cualquier reacción química existen, como es sabido, tres problemas de interés principal. Ellos son: la velocidad de reacción, los cambios de energía que se producen y los cambios de materia. Los tres son de gran importancia práctica para quienes emplean el cemento y el hormigón como materiales de construcción.

La **velocidad de reacción** debe ser lenta al principio, para disponer del tiempo suficiente como para mezclar, transportar y colocar el hormigón en los encofrados sin que se produzca su endurecimiento, lo cual impediría el moldeado del material y por lo tanto la ejecución de la estructura. Esta es la etapa denominada de **fraguado**, de la cual, en el **hormigón**, interesa muy especialmente lo que se ha definido como tiempo de **fraguado inicial** o límite de vibración. Hasta ese momento el hormigón puede ser considerado en estado plástico o puede llevarse a este estado mediante vibración o revibración, sin destruir la continuidad de su estructura, cosa que sucedería si intentáramos hacerlo una vez excedido el límite mencionado.

La etapa que sigue y que se produce sin discontinuidad respecto de la etapa de fraguado, es la del **endurecimiento**. En muchos casos interesa que el endurecimiento del hormigón se realice lo más rápidamente que sea posible, a los efectos de poner rápidamente en servicio la estructura. Para esto se dispone de los cementos de alta resistencia inicial y también de otros medios que permiten obtener análogos resultados.

Al referirnos a los **cambios de energía** del proceso cabe decir que las reacciones de hidratación del cemento se producen con desprendimiento de calor. Se trata de una reacción **exotérmica**. El conocimiento de la cantidad de calor liberado es un hecho de importancia práctica, ya que este calor es a veces una ayuda y otras un inconveniente. Lo primero ocurre en épocas o regiones de bajas temperaturas, en invierno por ejemplo, cuando interesa que el agua contenida en los poros y capilares de la pasta de cemento y del hormigón no se congele, produciendo la consiguiente destrucción del material. En cambio, el calor que se genera es perjudicial en las estructuras de carácter masivo, debido a que su acumulación en un medio de baja conductibilidad térmica como es el hormigón, produce cambios volumétricos diferenciales que se traducen en agrietamientos perjudiciales. El cemento de bajo calor de hidratación es una ayuda eficaz para reducir las tensiones y agrietamientos de origen térmico que se producen en las estructuras de carácter masivo.

El conocimiento de las **nuevas sustancias** que se forman con la hidratación del cemento, tiene importancia debido a que este material, en sí mismo, no tiene poder cementicio para aglomerar al resto de los materiales sólidos contenidos en la masa del hormigón. En cambio, si

lo tienen los **nuevos productos** que se originan con su hidratación.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento portland no hidratado es una mezcla de muchos minerales o compuestos de compleja y definida estructura molecular. De ellos, los más importantes son los siguientes:

Silicato tricálcico (SC_3)

Silicato dicálcico (SC_2)

Aluminato tricálcico (AC_3)

Ferroaluminato tetracálcico (FAC_4)

que, en conjunto, constituyen más del 90 % del peso del cemento.

Las fotografías de figuras 1 y 2 muestran algunos aspectos de los componentes principales del cemento portland y corresponden a un estudio microscópico del clinker proveniente de fábricas instaladas en la provincia de Buenos Aires (Cortelezzi, Castaños e Iñiguez Rodríguez - LEMIT) (*) (1).

Las propiedades de cada uno de los mencionados compuestos principales son totalmente distintas y las proporciones de cada uno en el cemento determinan las características del mismo y dan lugar a los distintos tipos de cementos disponibles.

Es sabido que una estimación aceptable de la proporción de cada uno de los cuatro compuestos principales contenidos en una determinada muestra de cemento portland, puede obtenerse mediante un análisis químico del mismo y la posterior aplicación de las fórmulas propuestas hace ya más de 40 años por Bogue. Dichas fórmulas permiten calcular la así llamada composición "potencial" del cemento portland. A pesar de que las mismas presuponen el cumplimiento, en el horno de fabricación y también en la etapa del enfriamiento del clinker, de ciertas hipótesis respecto a hechos que en la práctica no se cumplen, o sólo se cumplen parcialmente, lo cierto es que los por cientos así calculados para cada uno de los compuestos no difieren mucho de los reales y constituyen índices valiosos para el usuario del cemento, cuando se requiere juzgar las características y propiedades de éste y las que comunica al hormigón que lo contiene.

Si bien la identificación y cuantificación del contenido de cada compuesto puede realizarse también mediante un proceso bastante laborioso, empleando un microscopio óptico de gran au-

(*) Los números entre paréntesis corresponden a la Bibliografía que figura al final del presente capítulo.



Figuras 1 y 2. Fotomicrografía de secciones de partículas de clinker (480 aumentos). Dimensiones reales aproximadas de cada zona: 0,15 por 0,2 mm (Cortelezzi, Castaños e Iñíguez Rodríguez - LEMIT). Son fácilmente reconocibles los dos compuestos principales del cemento portland. Los cristales lisos de aristas vivas y contornos más o menos exagonales corresponden al silicato tricálcico (SC_3). Los de formas redondeadas y estrías entrecruzadas características son de silicato dicálcico (SC_2). El material intersticial está constituido principalmente por aluminato tricálcico (AC_3) y ferroaluminato tetracálcico (FAC_4).

mento, la técnica actual prefiere, por la simplificación que ello importa, hacer uso de la difracción de rayos X. Esta técnica se basa en el hecho de que al dirigir un haz de rayos X hacia un compuesto cristalino, las capas de átomos de los cristales difractan los rayos X y producen un diagrama característico, que permite calcular la proporción de cada compuesto. La fotografía de figura 3 muestra un diagrama de difracción de rayos X de una muestra de cemento portland (Iñíguez Rodríguez - LEMIT).

LAS REACCIONES DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO Y LOS NUEVOS PRODUCTOS QUE SE FORMAN. SUS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES

Durante mucho tiempo se consideró que la pasta endurecida de cemento portland era una masa gelatinosa y amorfa, en la cual se encontraban distribuidos fragmentos de cristales de hidróxido de calcio, restos de cemento no hidratados, y otros productos de la hidratación. Se sabía también que las partículas de cemento se hidratan y transforman sólo superficialmente,

mientras que en su interior queda un núcleo que posiblemente nunca llega a hidratarse totalmente.

El perfeccionamiento del estudio de la estructura fina de la pasta, alcanzado hace aproximadamente 20 años, permitió establecer sin embargo que la masa aparentemente amorfa de la pasta endurecida, en realidad está constituida principalmente por sustancias coloidales de estructura semicristalina, formadas durante la hidratación del cemento, entremezcladas con cristales de hidróxido de calcio y otras sustancias no coloidales y con residuos no hidratados de cemento existentes en el interior de las partículas que lo constituyen. El conjunto se presenta exteriormente como una masa de estructura sólida y continua, que aparentemente ocupa el volumen total visible de la pasta endurecida. Pero en realidad, como veremos más adelante, dicha masa es esencialmente porosa, ocupando el volumen de poros de la pasta totalmente hidratada de un hormigón corriente, entre aproximadamente el 40 y el 55 % del volumen aparente de la misma.

Analizando con mayor detalle los conceptos anteriores, corresponde indicar que de los cuatro compuestos principales del cemento portland,

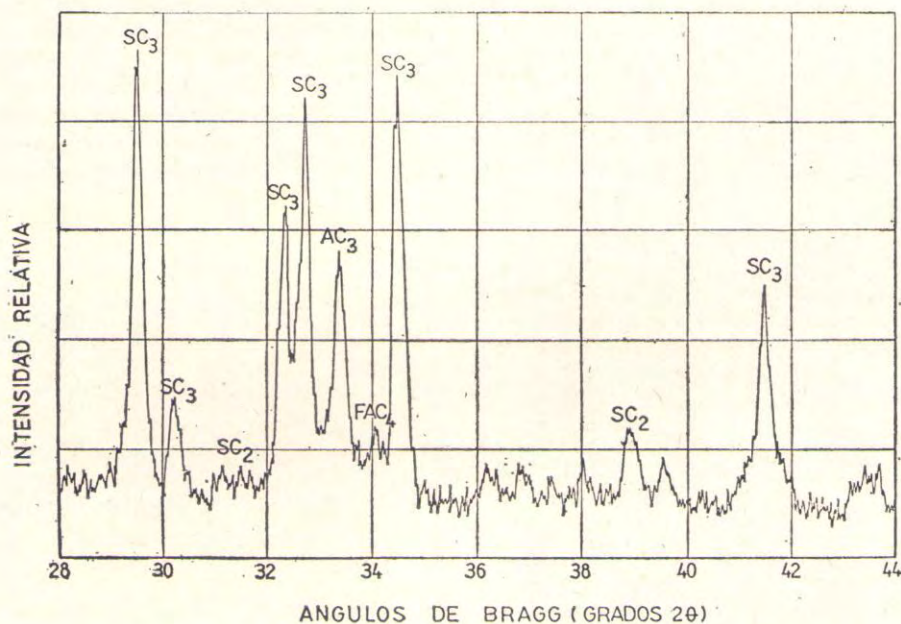


Figura 3. Diagrama de difracción de rayos X de una muestra de cemento portland. En la escala horizontal se han representado los ángulos de difracción. El diagrama permite calcular la proporción de cada uno de los cuatro compuestos principales contenidos en la muestra analizada (Iñíguez Rodríguez, Zalba y Decastelli - LEMIT).

dos de ellos, el silicato tricálcico (SC_3) y el silicato dicálcico (SC_2) constituyen aproximadamente el 75 % de su peso. Estos silicatos, lo mismo que el resto de los compuestos, reaccionan con el agua de mezclado del hormigón y forman nuevos compuestos o constituyentes hidratados, de los cuales el más importante por la proporción en que se encuentra y por sus propiedades cementicias, es el silicato de calcio hidratado, al que Brunauer denominó **gel de tobermorita**, que constituye aproximadamente el 50 % del peso del cemento totalmente hidratado. Conviene aclarar que el término **gel** se aplica a sustancias de extrema finura, de tamaño y propiedades coloidales, y de estructura coherente. El nombre **tobermorita** se emplea para indicar que esta sustancia tiene composición y estructura cristalina similares a las de un mineral natural de ese mismo nombre, descubierto en Tobermory, Escocia.

Por orden de importancia en lo que a proporción se refiere, el segundo de los compuestos que se forman durante la hidratación es el **hidróxido de calcio**, que constituye aproximadamente el 25 % del cemento hidratado. Este es sin embargo un compuesto **débil**, que se disuelve en las aguas puras y también en las ácidas y que se descompone a una temperatura del orden de 400 °C, dando lugar a la formación de cal libre. Luego de su enfriamiento, la cal libre puede volver a hidratarse con considerable aumento de volumen y consiguiente destrucción del hormigón. Tal es una de las razones por la que el cemento portland no puede emplearse para la ejecución de estructuras que estarán expuestas a temperaturas del orden indicado y aun menores.

El silicato de calcio hidratado o gel de tobermorita, tiene estructura semi-cristalina y, tal como se expresó anteriormente, se presenta en estado de subdivisión coloidal. Sus partículas tienen dimensiones del orden de 0,001 micrón a un micrón. En consecuencia tiene una **superficie específica** extremadamente elevada. Los cristales tienen el espesor de sólo dos o tres capas de moléculas. Sus dos dimensiones restantes, son bastante mayores que el espesor. Los mencionados cristales tienen distintas formas que, en las micrografías obtenidas mediante un microscopio electrónico, agrupándolas con criterio simplificador, aparecen con el aspecto de microtubos constituidos por el enrollamiento de láminas, fibras, agujas, etc., pero **principalmente** como láminas plegadas.

El hidróxido de calcio se presenta en grado de desarrollo microcristalino.

Con el fin de apreciar el grado de extrema finura del gel de tobermorita, será suficiente con

compararla con la finura del cemento portland. Es sabido que la finura media del cemento, apreciada mediante el método de Blaine, es del orden de 3.000 cm²/gramo. El diámetro medio de sus partículas es del orden de 10 micrones (0,01 mm), y en un kilogramo de cemento existen aproximadamente 300.000 millones de tales partículas. Evidentemente, las partículas de cemento son realmente pequeñas. Sin embargo, si se las compara con las que constituyen el gel de tobermorita, las partículas de cemento parecerán gigantescas.

En efecto, los estudios que se han realizado indican que la superficie específica del gel es del orden de 3 millones de centímetros cuadrados por gramo. Esto implica que el diámetro medio de sus partículas es de sólo la milésima parte del diámetro medio de las partículas de cemento, es decir del orden de 0,01 micrón. Las partículas de este tamaño sólo pueden hacerse visibles si se emplea un microscopio electrónico. La micrografía de **figura 4**, obtenida mediante un microscopio electrónico, muestra una curiosa "flor" de silicato de calcio hidratado, que se ha desarrollado sobre la superficie de una partícula de cemento (2). Las **figuras 5 y 6** corresponden también a micrografías del gel de tobermorita, obtenidas por R. Sierra mediante un microscopio electrónico en el Laboratorio Central de Puentes y Caminos de París, Francia. En ellas se observa el aspecto esponjoso del gel.

Cada uno de los compuestos hidratados a que se ha hecho referencia anteriormente juega un rol distinto en la vida del hormigón, pero la importancia de cada uno de ellos es también distinta. El **gel de tobermorita** es, tal como se dijo anteriormente y sin duda alguna el que tiene, por mucho, la **importancia mayor**. En efecto, de acuerdo a lo demostrado por Powers, dos de las características ingenieriles más importantes de la pasta y del hormigón, esto es su **resistencia mecánica** y su **estabilidad dimensional**, lo mismo que otras características importantes del material, dependen principalmente de la **superficie específica** y de la **porosidad** del gel de tobermorita.

En lo que se refiere a las **resistencias mecánicas** de la pasta y del hormigón, ellas derivan en alto grado de los vínculos que se forman entre las pequeñísimas partículas que componen el gel. Estos vínculos se desarrollan como consecuencia de la aparición de grandes fuerzas de atracción que nacen entre las mencionadas partículas de formas laminares, tubulares, etc., que tienen espesores estimados del orden de 0,003 micrones y cuyo ancho y longitud, también estimados, son del orden de un micrón.

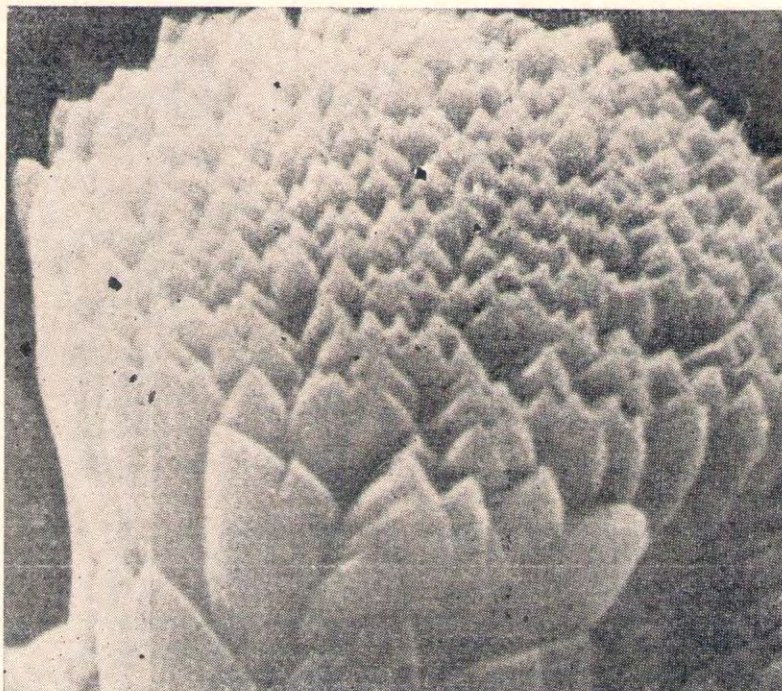


Figura 4. Micrografía obtenida con microscopio electrónico (28.000 aumentos). Dimensiones reales aproximadas de la zona: 0,4 por 0,4 micrones (R. H. Mills, Southampton, 1969). Aspecto de una curiosa conformación de silicato de calcio hidratado (gel de tobermorita), con aspecto de flor, formada sobre la superficie de una partícula de cemento.

Una explicación muy esquemática permitirá comprender mejor lo que antecede. En efecto, recordemos que los átomos o las moléculas que se encuentran en las superficies de los cristales de las sustancias, tienden a atraer fuertemente a los que se encuentran fuera de los mencionados cristales. En igual forma, cuando dos superficies se encuentran suficientemente próximas entre sí, se atraen en forma análoga a la expuesta esquemáticamente para los átomos y las moléculas, desarrollándose una acción que conocemos con el nombre de **adherencia** entre las superficies. Así es como las partículas del gel de tobermorita se adhieren entre sí bajo la acción de **fuerzas superficiales** que son muy grandes en relación al peso de las partículas. También se adhieren a los pequeños cristales de la pasta de cemento endurecida, y a los granos de arena y partículas del árido grueso, **cementando** sólidamente al conjunto. En el caso del hormigón, para lograr una efectiva acción cementicia, la pasta de cemento no solamente debe cubrir totalmente a las partículas de los áridos, sino también llenar todos los espacios vacíos comprendidos entre las mismas.

Pero además de la superficie específica y de la fuerza de adherencia superficial, la **porosidad** de la **pasta de cemento** es otra propiedad importante para determinar la resistencia mecánica y la estabilidad de volumen de la pasta y del hormigón endurecidos. En efecto, el gel de tobermorita, de quien depende principalmente el comportamiento de la pasta de cemento, se concibe como constituido por el **entrecruzamiento** irregular de las partículas que lo constituyen, de distintas formas y dimensiones, entremezcladas con otros productos de la reacción. El mencionado **entrecruzamiento** de las partículas de distintas formas, deja entre las mismas **pequeñísimos poros** de dimensiones moleculares, que han sido denominados **poros del gel**. Se ha estimado que los poros del gel tienen dimensiones representativas medias del orden de 15 a 20 angstroms (0,0015 a 0,0020 micrones) y que el % de **poros del gel** es del orden del **26 al 28 %** de su volumen. Dichos poros están interconectados.

Si los productos de la reacción no llenan completamente los espacios existentes entre las **partículas de cemento** originales, entre las mismas quedarán vacíos, poros o cavidades de di-

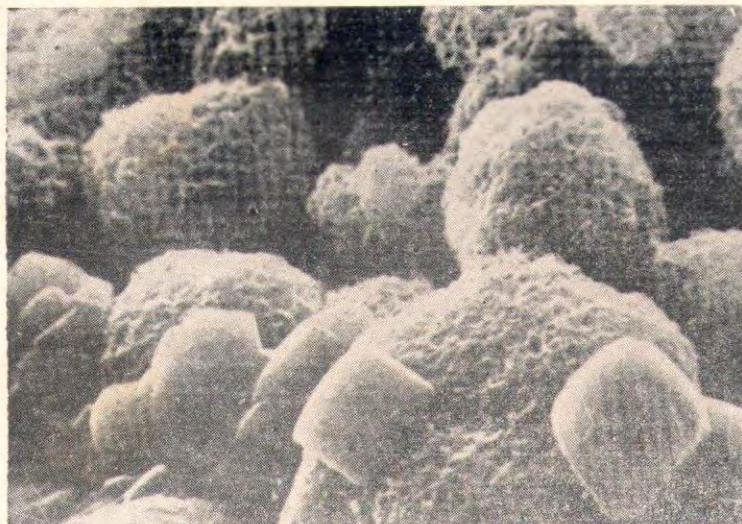


Figura 5. Micrografía del gel de tobermorita obtenida mediante un microscopio electrónico (12.000 aumentos). Dimensiones reales aproximadas de la zona: 4,5 por 6 micrones (R. Sierra - Laboratorio Central de Puentes y Caminos, París). Obsérvese el aspecto esponjoso del gel.

mensiones considerablemente mayores que las correspondientes a los poros del gel. Dichos vacíos se denominan **poros capilares**. Aún estos poros son demasiado pequeños para hacerse visibles con el microscopio óptico. A medida que las reacciones progresan, los poros capilares que en un principio están más o menos interconectados, tienden a llenarse con los productos de la reacción y, en consecuencia, a interrumpirse las comunicaciones entre los mismos. En la gama de razones agua/cemento empleadas en los hormigones corrientes, la **porosidad de la pasta de cemento** endurecida, totalmente hidratada, puede ser del orden del 40 al 55 %.

Dado que, para una misma cantidad de cemento, el volumen **aparente** de pasta que se forma depende de la cantidad de agua de mez-

clado, y como el volumen de material sólido formado depende de la cantidad de cemento, mientras mayor sea la cantidad de **agua**, mayor será el volumen aparente de la pasta y, en consecuencia, **mayor** será también el volumen de poros de la misma.

Los poros son espacios llenos de aire y agua. Por lo tanto **no tienen** resistencia mecánica alguna. La resistencia reside en la parte sólida de la pasta y principalmente en el gel de tobermorita, que en gran parte la constituye. A igualdad de las demás condiciones, la pasta **menos porosa** producirá el hormigón más resistente. Este es, por otra parte, un hecho bien conocido, contenido en el enunciado de la ley de Abrams, cuyo significado práctico puede traducirse diciendo que al elaborar el hormigón **no debe em-**



Figura 6. Ampliación de una parte de la zona de aspecto esponjoso del gel que se observa en la micrografía de la figura 5. Dimensiones reales aproximadas de la zona contenida en la micrografía: 0,8 por 1,1 micrones (R. Sierra - Laboratorio Central de Puentes y Caminos, París).

plearse una cantidad de agua **mayor** que la **estrictamente indispensable** para su adecuada colocación y compactación.

La porosidad de la pasta es también un factor muy importante en relación a la **permeabilidad y durabilidad** del hormigón y de la estructura, y a los **cambios volumétricos** de la pasta y del hormigón ocasionados por las variaciones de **humedad interna** que ellos sufren después de endurecidos, como consecuencia de los cambios de la humedad **externa** o atmosférica.

Cuando la humedad exterior aumenta, el agua ingresa a la pasta y ésta aumenta de volumen. A la inversa, si el agua **abandona** los poros de la pasta, ésta se **contrae**. Este es el fenómeno que en la tecnología práctica del hormigón, corrientemente se designa con el nombre de **contracción por secado**. A que la contracción se produzca se **oponen** las partículas de mayor tamaño del árido grueso, las barras de acero de las armaduras y las condiciones de vínculo de los elementos estructurales.

Cuando los elementos estructurales de hormigón simple tienen condiciones de vínculos tales que los privan de libertad de movimiento, al producirse la **contracción** y sobrepasarse la resistencia a **tracción** del hormigón, se produce el **agrietamiento** y la **rotura** del mismo. Efectos similares produce la **contracción diferencial** que ocurre entre la superficie y las partes internas de los elementos estructurales de dimensiones semi-masivas o masivas.

CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Ya anteriormente se ha mencionado que la hidratación del cemento produce desprendimiento de calor.

La cantidad total de calor desprendido por cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento, y la velocidad de desprendimiento en función del tiempo, son distintos para cada uno de ellos. Dado que en los distintos tipos de cemento disponibles las proporciones de cada compuesto son distintas, es natural que cada tipo tenga propiedades claramente diferentes. Esto también se pone de manifiesto al comparar los calores de hidratación de los distintos tipos de cemento.

Para fijar conceptos es suficiente con mencionar que el cemento **normal** contiene aproximadamente 50 % de SC_3 , compuesto que al hidratarse desprende aproximadamente 120 calorías/gramo, y aproximadamente 25 % de SC_2

que al hidratarse sólo desprende 60 calorías/gramo. Invertiendo las proporciones indicadas podría obtenerse un cemento que desprendería una cantidad total de calor menor que el cemento normal. Además lo haría más lentamente que el mismo. Esto ocurre en los cementos denominados de bajo calor de hidratación, empleados en la ejecución de diques y otras estructuras masivas.

El calor desprendido durante la hidratación del cemento se disipa muy lentamente en una estructura de hormigón de carácter masivo. El hormigón tiene una relativamente reducida conductibilidad térmica y ello hace que se produzcan grandes acumulaciones de calor, que se traducen en una elevación de la temperatura de la masa. En el corazón de un dique de gravedad, por ejemplo, la elevación de temperatura puede llegar a ser del orden de 60 o más grados C. Posteriormente, al producirse el enfriamiento a partir de la superficie, enfriamiento que en el caso de una presa puede durar años, se producen también cambios de volumen **diferenciales**, que dan lugar a la aparición de tensiones que, si sobrepasan la resistencia de rotura a tracción del hormigón, se traducen en inevitables **agrietamientos**.

En lo referente a la velocidad de hidratación del cemento y el consiguiente aumento de resistencia del hormigón en función del tiempo, no solamente depende de la composición del cemento sino también de su finura, de la razón agua/cemento de la pasta y de la temperatura. Mientras mayores sean la finura y la temperatura, mayor será la velocidad de reacción. También será mayor mientras menor sea la razón agua/cemento.

4) SÍNTESIS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES DEL HORMIGÓN

Es innegable que el conocimiento de las características y propiedades del hormigón ha experimentado un enorme progreso en el curso de los últimos 50 años. La Tecnología del Hormigón, aunque falten aún adquirirse muchos conocimientos y requiera perfeccionarse, hoy debe ser considerada como una verdadera ciencia bien fundamentada y establecida. Por otra parte, como otras ramas del conocimiento humano, la tecnología del hormigón está en evolución permanente, lo cual obliga al especialista a mantenerse constantemente informado sobre los progresos y los nuevos conocimientos que los investigadores y quienes aprovechan dichos nuevos conocien-

tos para materializar las estructuras, no cesan de adquirir y de perfeccionar, tanto en laboratorio como en las operaciones de obra.

Es en este campo donde el LEMIT ha hecho su más valioso aporte para actualizar los conocimientos del país en esta especialidad y también para investigar y conocer las características y propiedades de los materiales nacionales y su comportamiento como componentes del hormigón. Parece conveniente, por lo tanto, antes de exponer la tarea realizada por el LEMIT en el mencionado campo, completar lo que ya se ha expuesto, mencionando someramente las características y propiedades más importantes del hormigón. Conoceremos así cuál es el marco en que se ha producido la actuación del LEMIT.

No es una tarea simple tratar de sintetizar las características y propiedades de un material como el hormigón, una verdadera roca artificial no estabilizada, evolutiva en el tiempo y con gran sensibilidad dimensional y de características, a las condiciones de humedad y de temperatura del medio ambiente, que además se extiende al comportamiento estructural de los elementos constituidos por dicho material. Por tales razones, en esta exposición nos limitaremos a comentar brevemente algunas de las características más importantes, ya que es prácticamente imposible ocuparse de un tema tan vasto en el corto tiempo disponible.

En primer lugar corresponde decir que las características y propiedades del hormigón dependen fundamentalmente de las características y propiedades de sus materiales componentes y, muy especialmente, también de las **proporciones** relativas de los mismos, en primer lugar de la razón agua/cemento. Dichas proporciones se establecen en base a conocimientos teóricos, de leyes y principios que rigen las propiedades de las mezclas, y de experiencias de laboratorio, que tienen en cuenta las características de los materiales componentes y de la estructura, y también las condiciones de servicio y del medio ambiente del lugar de emplazamiento de la misma.

La **elaboración** del hormigón es un proceso industrial que debe ser realizado, en cada una de sus etapas, medición de los materiales y mezclado, con el mayor cuidado posible.

Las **variaciones** de las características de los materiales en obra, la granulometría de los áridos, por ejemplo, y también otras características, que por otra parte son inevitables, deben **limitarse** mediante adecuadas operaciones de control efectivo. Por otra parte, la composición media del hormigón debe establecerse de modo tal que una variación accidental no conduzca a una

pérdida de calidad tal, que impida el buen comportamiento de la estructura.

En **estado fresco**, es decir recién mezclado, el hormigón debe poder colocarse y compactarse en los encofrados con el equipo disponible, sin que se produzca su segregación, que reduce la homogeneidad del material y modifica negativamente sus características y propiedades estructurales. La propiedad que resume las propiedades mencionadas es su **trabajabilidad**.

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

a) Resistencias mecánicas

Una vez que ha endurecido, el requisito primario corriente de un buen hormigón es generalmente una **resistencia a compresión** satisfactoria. Además de la fundamental importancia que la resistencia tiene en sí misma, esta propiedad tiene también importancia porque varias de las propiedades más deseables del hormigón, como son la impermeabilidad, la resistencia al desgaste, la densidad y la resistencia a la desintegración provocada por muchas formas de ataque químico, están directamente relacionadas, en mayor o menor proporción, a la resistencia a compresión. Mientras mayor sea la resistencia, en general más desarrolladas estarán las mencionadas propiedades.

La obtención de resistencias mecánicas elevadas sólo puede alcanzarse elaborando el hormigón con un contenido de agua de mezclado **mínimo** en relación al peso de cemento contenido en el hormigón, o sea con una razón agua/cemento lo más baja posible. Ello se puede lograr mediante un estudio cuidadoso de la granulometría de los áridos, empleando aditivos incorporadores de aire y reductores del contenido de agua de mezclado, compactando el hormigón mediante vibración de alta frecuencia, etc.

El endurecimiento del hormigón puede acelerarse o retardarse mediante el empleo de cementos adecuados, mediante aditivos aceleradores o retardadores, o mediante el calor o el frío.

b) Cambios volumétricos

El hormigón no es un material de forma y volumen estables. Estos sufren variaciones que pueden traducirse en consecuencias desfavorables para las estructuras. Varias son las causas

que pueden producir los mencionados cambios volumétricos y entre ellas cabe mencionar a la reducción de volumen que sufre el hormigón fresco como consecuencia del proceso de sedimentación que produce la exudación de agua, la contracción producida por la combinación química del cemento con el agua, las expansiones producidas por algunas reacciones desfavorables como la reacción álcalis-áridos, las contracciones y expansiones producidas por cambios del contenido de humedad interna del hormigón, las contracciones y expansiones producidas por efectos térmicos, y los cambios de volumen que producen las cargas aplicadas.

Todos los cambios volumétricos citados, pero algunos más que otros, interesan a los proyectistas y constructores de estructuras, principalmente en el caso de las estructuras de mayor volumen y espesor, ya que si los mismos se producen sin habérselos tenido en cuenta, pueden ocasionar muy serios problemas estructurales.

Si el hormigón tuviese la posibilidad de deformarse libremente, las consecuencias de los cambios volumétricos, con excepción de algunos de ellos como por ejemplo los que produce la reacción álcalis-áridos, no se manifestarían en forma desfavorable para las estructuras. Pero sucede que las fundaciones, las armaduras y las condiciones de vínculo entre los elementos estructurales adyacentes, impiden el libre movimiento de los mismos. Al restringirse la libertad de movimiento aparecen tensiones que pueden producir la rotura del elemento estructural. Ello puede aparecer como un simple agrietamiento que produzca el debilitamiento del mencionado elemento, pero también puede tener muy serias consecuencias en relación a la durabilidad y estética de la estructura.

La durabilidad del hormigón y de la estructura se verá seriamente reducida si ingresa agua a las grietas y se produce la corrosión de las armaduras, o si el agua que ingresa elimina los compuestos solubles del hormigón, perjudicando su resistencia, o si estando el hormigón saturado se producen ciclos de congelación y deshielo. Por supuesto, cuando se produce el contacto de la estructura con una solución agresiva, las grietas facilitan la destrucción del hormigón y también de la estructura.

b.1) Contracción por secado

Si el hormigón endurece estando expuesto al aire, el agua libre contenida en su masa se evapora, el gel de cemento se contrae y el volumen del hormigón se reduce. La contracción lineal que se produce generalmente es del orden

de 500 a 1.000 micrones por metro lineal. El fenómeno descrito se conoce con el nombre de **contracción por secado** y ella es tanto mayor mientras mayor es el contenido unitario de agua del hormigón, mayor es la temperatura y la velocidad del viento, y menor es la humedad relativa ambiente. Sus efectos se hacen sentir más en los elementos estructurales de **gran superficie expuesta**, caso de los pavimentos, por ejemplo, en relación al volumen y espesor del elemento.

Dado que, en general, los elementos estructurales se secan a partir de su superficie externa, tratando de contraerse, mientras que la parte interna se mantiene húmeda y no contraída, ello induce tensiones de tracción en la superficie que, si son suficientemente elevadas, pueden producir la rotura del elemento. Este comportamiento se designa con el nombre de **contracción diferencial** y tiene importancia porque el proceso de secado es lento. En efecto, en estructuras de carácter masivo se ha calculado que con una humedad relativa del 50 %, en aproximadamente un mes el secado penetra entre 7 y 8 cm desde la superficie externa y sólo aproximadamente 60 cm en 10 años.

Otras veces, como en el caso de los pavimentos, el secado diferencial produce el **alabeo** de las losas, que se tornan cóncavas hacia arriba. En esas condiciones, el paso de las cargas puede producir la rotura por flexión.

En elementos vinculados de hormigón simple, el agrietamiento se produce al sobrepasarse la resistencia de rotura a tracción del hormigón. A veces las restricciones a la libertad de movimiento son internas. Tal es el caso de la restricción que producen las grandes partículas de árido grueso empotradas en la pasta de cemento que se contrae, o la que producen las armaduras.

Los efectos de la contracción por secado pueden atenuarse o eliminarse con un buen curado, o impermeabilizando la estructura con un compuesto líquido capaz de constituir una membrana de curado, con el fin de permitir que el hormigón adquiera la resistencia a tracción necesaria para evitar su rotura como consecuencia de la contracción que se produce. El establecimiento de juntas de contracción, de características y en lugares adecuados, no evita el agrietamiento pero contribuye a canalizarlo en los lugares previstos que se consideren más adecuados y menos perjudiciales para la estructura.

b.2) Contracciones y expansiones de origen térmico

Otros cambios de volumen se producen en el hormigón, como en la mayoría de los materia-

les ingenieriles, si se producen cambios de temperatura. Sus efectos son importantes en todos los casos pero muy especialmente en relación al enfriamiento del hormigón, que provoca una contracción de su masa y la posibilidad de agrietamiento. Esto es especialmente cierto en el caso del hormigón fresco. Tal es la razón por la que las especificaciones técnicas siempre establecen la máxima temperatura que debe tener el mismo en el momento de su colocación en los encofrados. En épocas o regiones de clima caluroso, dicha temperatura debe ser la menor posible (preferentemente del orden de 10 °C y en ningún caso mayor de 30 °C) ya que el hormigón de muy corta edad tiene resistencia a tracción despreciable, lo cual facilita su fácil rotura.

La contracción por secado se suma a las contracciones de origen térmico, aumentando la peligrosidad de ambas. En cuanto a los cambios volumétricos medios de origen térmico, son del orden de 10 micrones por metro lineal y por grado C de temperatura.

b.3) Fluencia lenta

Es conocido el hecho de que el hormigón se deforma al estar sometido a las cargas que actúan sobre las estructuras. Las deformaciones que se producen durante la aplicación de una carga instantánea son principalmente elásticas y reversibles, es decir que al retirar la carga desaparecen las deformaciones. El módulo de elasticidad y la relación de Poisson miden los efectos de tales tipos de cargas. Pero si la carga se mantiene permanentemente aplicada durante un cierto tiempo, se producen deformaciones que en su mayor parte no son ni elásticas ni reversibles. Ellas se producen y aumentan progresivamente, con velocidad decreciente en función del tiempo, aunque la carga permanezca constante. Al cabo de dos o tres años, estas deformaciones pueden llegar a ser entre 2 y 4 veces mayores que las deformaciones elásticas reversibles.

El hormigón es prácticamente el único material de construcción que sufre este efecto, denominado de fluencia lenta o creep, a temperaturas y en condiciones normales de exposición. El estudio de este efecto no es un problema sin importancia, ni de carácter puramente académico, sino un problema de gran importancia estructural.

Las causas del fenómeno descripto, de acuerdo a las distintas teorías elaboradas al respecto, se atribuyen en parte al fluir viscoso de la pasta de cemento. Pero, en su mayor parte, las

teorías coinciden en que las mencionadas deformaciones son producto de la expulsión del agua coloidal contenida en el gel de cemento. La velocidad de expulsión y la deformación, que es su consecuencia, es función de la intensidad de la carga aplicada y del frotamiento producido en los canales capilares de la pasta.

Esta capacidad del hormigón de sufrir grandes deformaciones en función del tiempo, cuando está sometido a una carga constante, que conducen a una considerable redistribución de las tensiones, ha contribuido sin dudas al éxito del mismo como material estructural. Si el hormigón, en lugar de tener el comportamiento indicado, fuese totalmente elástico y frágil, su rotura podría a menudo producirse en forma repentina y sin aviso previo, y su empleo en estructuras estáticamente indeterminadas resultaría imposible. Este es un efecto beneficioso del creep que, en general, en las estructuras de hormigón armado, tiende a reducir las tensiones en el hormigón, redistribuyéndolas en las secciones más solicitadas y transfiriéndolas en parte a las armaduras.

En cambio, la fluencia lenta no puede considerarse como una acción favorable cuando se piensa en las grandes flechas que se producen en las vigas y losas de pequeños espesores y grandes luces, o en las grandes pérdidas de tensión que se producen en las armaduras de las estructuras de hormigón pretensado y que, si no se tienen en cuenta, pueden malograrlas. Lo expresado explica porqué los primeros intentos realizados con estructuras pretensadas no tuvieron éxito. Sólo cuando Freyssinet empleó aceros de muy alta resistencia, el hormigón pretensado resultó una proposición con sentido y de carácter práctico.

En general la magnitud de la fluencia lenta varía directamente con la intensidad de la tensión aplicada e inversamente con la resistencia del hormigón. La elección y proporciones de los materiales componentes del hormigón, la colocación y compactación de éste en los encofrados y las condiciones y período de curado, lo mismo que la edad en el momento de la aplicación de las cargas, influyen para determinar la magnitud de las deformaciones.

c) Influencia de las cargas de larga duración sobre la resistencia de rotura del hormigón

En lo referente al efecto de las cargas de larga duración sobre la resistencia de rotura, vale la pena destacar un aspecto no suficientemente divulgado en nuestro medio. En efecto, la for-

ma corriente de juzgar la resistencia mecánica del hormigón es la de ensayar probetas a compresión, cargándolas gradualmente hasta la rotura. Ésta, en las condiciones normalizadas en que se realiza el ensayo, se produce entre 2 y 3 minutos después de iniciada la aplicación de la carga. A medida que la carga aumenta, el hormigón sufre una microfisuración interna. Posteriormente se produce la rotura.

La microfisuración o pre-rotura, en el caso de cargas de compresión, se produce al llegar la carga aplicada a un valor comprendido entre el 50 y el 75 % de la de rotura obtenida en el ensayo normalizado mencionado anteriormente. Lo real es, sin embargo, que las estructuras están sometidas a cargas permanentes que se mantienen aplicadas durante un largo número de años. Las experiencias realizadas indican que, en esas condiciones, la rotura del hormigón se produce con una carga de sólo el 70 al 80 % de la carga de rotura obtenida con el ensayo convencional.

Para mayor información es conveniente mencionar que con sólo mantener aplicada la carga durante 60 minutos, la rotura se produce con aproximadamente el 90 % de la carga de rotura indicada por el ensayo normalizado.

En resumen, debe tenerse en cuenta que el ensayo normalizado empleado para apreciar la resistencia de rotura del hormigón, da una visión **optimista** de la misma en relación a la real del hormigón sometido a las condiciones de carga reinantes en las estructuras.

d) Permeabilidad y durabilidad

La impermeabilidad es una de las características más **importantes** del hormigón. Su importancia, en muchos casos, puede ser aún **mayor** que la que tiene la resistencia mecánica. Ello no se debe a las pérdidas de agua que puedan producirse en las estructuras hidráulicas si la permeabilidad es elevada, sino a la gran implicancia de esta característica en relación a la **durabilidad** y período de vida útil del hormigón y de las estructuras, cuando éstas se encuentran sometidas a la acción de los agentes climáticos naturales, y de las soluciones agresivas naturales o artificiales que, si actúan en condiciones desfavorables, pueden desintegrar al hormigón y destruir a las estructuras en un corto número de años. Los efectos de los ciclos de congelación y deshielo, la acción destructiva de las aguas puras, la agresión provocada por los sulfatos solubles contenidos en las aguas y suelos que están en contacto con las estructuras, el contacto con el agua de mar, etc., son algunas

de las acciones desfavorables que tienden a destruir **prematuramente** las estructuras.

Debe tenerse presente que frecuentemente el hormigón tiene la resistencia necesaria para soportar en buenas condiciones los efectos derivados de las cargas, pero no la durabilidad necesaria para resistir con éxito las acciones del medio ambiente que tienden a desintegrarlo. Ésta debiera constituir una seria preocupación para los proyectistas y calculistas de estructuras que, en muchos casos, sólo se circunscriben al análisis de las acciones derivadas de las cargas, sin prestar toda la atención necesaria a las condiciones de servicio, climáticas y de contacto del lugar de emplazamiento de la estructura, que tanta importancia tienen para decidir su período de vida útil.

Para apreciar mejor la importancia que tiene la impermeabilidad del hormigón sobre su permanencia en el tiempo, es necesario tener en cuenta que dicho material es eminentemente **heterogéneo** y **poroso**. Esto último se debe a que sus dos materiales componentes principales, la pasta de cemento y los áridos, son materiales porosos. Además, su masa está atravesada por una vasta red de capilares interconectados e interconectados también con los poros y vacíos que se han mencionado.

Dichos capilares tienen un volumen relativamente apreciable y constituyen las vías de acceso abiertas al ingreso del agua o de las soluciones agresivas externas que están en contacto con la estructura, hacia el interior de la masa del hormigón. Esto amplía considerablemente la **superficie de ataque** del medio agresivo ya que, a la superficie externa de contacto, se suma la enorme superficie interna de los poros y capilares.

Ello explica también porqué la impermeabilidad del hormigón es un factor importante para que el mismo pueda ser durable, ya que la destrucción por acción de las causas que hemos señalado está íntimamente vinculada al proceso de circulación de un líquido en la masa del hormigón. La circulación puede producirse por permeabilidad o por absorción.

A lo dicho conviene agregar que la permeabilidad de un hormigón **compacto** es función, **principalmente**, de la razón agua/cemento. Para fijar ideas es suficiente con indicar que, a igualdad de otras condiciones, la permeabilidad de un hormigón de razón agua/cemento = 0,80 es aproximadamente 130 veces mayor que la de un hormigón de razón agua/cemento = 0,40. En otras palabras, para que el hormigón tenga baja

permeabilidad, debe tener una razón agua/cemento lo más baja posible.

En cuanto a la capacidad de absorción del hormigón, ella puede reducirse substancialmente mediante la incorporación de cantidades adecuadas de aire al hormigón. Se considera que esta técnica constituye el más importante adelanto introducido en los últimos 50 años en el campo de la Tecnología del Hormigón y proporciona una ayuda realmente efectiva para prolongar la vida útil de las estructuras expuestas a la acción de un medio ambiente agresivo o perjudicial.

En resumen, los requisitos indispensables para obtener un hormigón durable son: baja absorción, alta impermeabilidad y elevada compacidad. Por supuesto, los materiales componentes deben tener características adecuadas en sí mismos para resistir la acción del medio agresivo, y la calidad y espesor del hormigón que constituye el recubrimiento de las armaduras deben ser adecuados para protegerlas eficazmente contra los efectos de la corrosión.

5) CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN DE OBRA

La obtención de un hormigón de las características adecuadas para resistir en buenas condiciones tanto a las acciones derivadas de las cargas aplicadas como las acciones agresivas o perjudiciales del medio ambiente del lugar de emplazamiento de las estructuras, exige no solamente un estudio y control cuidadoso de la composición de aquél, sino también de todas y cada una de las etapas que se desarrollan desde su elaboración hasta la terminación de las estructuras.

Ello requiere la realización permanente de ensayos de control de calidad cuyo fin es comprobar si el hormigón de obra reúne las características que el proyectista supuso y previó para la ejecución de la estructura. Esta es una tarea que reviste importancia primordial ya que constituye el único medio de verificar si el material empleado durante la construcción tiene la calidad necesaria para asegurar la estabilidad de la estructura y su permanencia en el tiempo.

Al respecto conviene repetir una vez más que por inteligente que sea un proyecto, por elaborados y cuidadosos que sean los cálculos y por perfectas que sean las previsiones contenidas en las especificaciones técnicas, si el hormigón de obra no reúne las características previstas por el proyectista, todos los refinamientos de cálculo carecerán de sentido y de interés prác-

tico, y la estabilidad y condiciones de seguridad de la estructura serán más ilusorias que reales. De que así es, en efecto, lo atestigua el elevado número de accidentes que se han producido en los últimos años, con grandes pérdidas de vidas y de bienes, en el ámbito de la Capital Federal.

El control estadístico de los resultados de ensayos es una herramienta de trabajo que ya ha sido universalmente aceptada como medio adecuado para apreciar tanto la calidad del hormigón de obra como su variación en la etapa del proceso constructivo de las estructuras.

6) CENTROS DE ESTUDIO DE MATERIALES Y DE TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN EXISTENTES EN EL ÁMBITO DE LA CIUDAD DE LA PLATA PREVIAMENTE A LA CREACIÓN DEL LEMIT

Antes de pasar a ocuparnos de los estudios e investigaciones realizadas por el LEMIT en el campo de la Tecnología del Hormigón, parece oportuno señalar que en el ámbito de la ciudad de La Plata, antes de la creación de dicho Instituto, ya hubo una preocupación, que se estima no se ha dado con igual intensidad en ninguna otra ciudad argentina, referente a los estudios relacionados con el tema que es motivo de este resumen.

De acuerdo a la información de que disponemos, en el ámbito de la ciudad existieron tres laboratorios de ensayo de materiales que dedicaron especial atención al tema. Dos de ellos fueron provinciales y el tercero dependiente de la Universidad.

Laboratorios de Ensayo de Materiales dependientes de Reparticiones de la Provincia de Buenos Aires

a) *Laboratorio de Puentes y Caminos, que posteriormente se transformó en el Laboratorio de la Oficina Química de la Provincia*

El primer laboratorio de que se tiene conocimiento es el de la Dirección de Puentes y Caminos de la Provincia de Buenos Aires, creado en el año 1908. Fue su primer director el Dr. Mosna, de origen italiano, egresado de la Universidad de Innsbruck, Austria, con el título de Magister en Ciencias Químicas. A este laboratorio ingresó en 1915 en calidad de practicante y cuando aún era estudiante del Colegio Nacional, Pedro J. Carriquiriborde, quien luego se

desempeñó durante tantos años como Director del LEMIT.

El Laboratorio de Puentes y Caminos realizaba ya en esa época los ensayos normales para determinar la calidad de cementos, áridos y hormigones y tuvo participación activa durante la construcción del Camino General Belgrano, que vincula La Plata con la Capital Federal. El Ing. Donato Gerardi fue Inspector de obras durante su construcción y posteriormente profesor de la cátedra Caminos y Ensayo de Materiales, en la Facultad de Ingeniería. Se reconoce al Ing. Gerardi el impulso y entusiasmo que supo comunicar en nuestro medio al estudio de los materiales ingenieriles.

Aproximadamente en el año 1915 el citado laboratorio es transformado en laboratorio de la Dirección de Salubridad y Obras Sanitarias, cumpliendo las mismas funciones mencionadas anteriormente, a las que se agregaron además el control de medicamentos y de aguas de consumo. También realizaba análisis clínicos y ensayos bromatológicos.

En 1922, sobre la base de este laboratorio se constituye el de la Oficina Química, dependiente de la Dirección General de Higiene de la Provincia. Es en este laboratorio donde en el año 1926 se instala la primera prensa universal Amsler de 30 toneladas, que aún está en funcionamiento en el LEMIT.

Es allí también donde Carriquiriborde realiza, en 1922, estudios de carácter experimental sobre la influencia de la arcilla sobre la plasticidad y resistencia del hormigón y, en 1933, por inquietud de una generación de ilustres ingenieros viales, entre los que se encontraban los Ings. Eduardo Arenas, Enrique Humet y Pascual Palazzo, realiza los primeros estudios experimentales sobre dosificación de hormigones. También realiza allí su trabajo de tesis, que versa sobre la determinación experimental del contenido unitario de cemento a partir de una muestra de hormigón endurecido (3).

En el año 1928 Carriquiriborde presentó su primer proyecto de laboratorio provincial que, con el correr de los años y posteriores modificaciones, llegó a constituirse en el LEMIT.

b) *Laboratorio de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires*

Fue creado aproximadamente en el año 1934, con el fin de atender necesidades principalmente de origen vial. Su equipamiento permitía realizar los ensayos corrientes de control de calidad de cementos, áridos y hormigones y también del resto de los materiales empleados para

la ejecución de caminos y estructuras de hormigón.

En este laboratorio actuaron, entre otros, los Ings. Adolfo P. Crisi, Julio Zuker, Francisco Solari y el Dr. Héctor Amado Cattáneo, que posteriormente fue jefe de la Sección Ligantes Hidráulicos del LEMIT.

En su etapa inicial, el ensayo de probetas y testigos de hormigón, lo mismo que otros ensayos, se realizaban en los laboratorios de la Oficina Química y de la Facultad de Ingeniería. Entre los tres laboratorios citados existía una estrecha colaboración.

Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas de la Universidad Nacional de La Plata

El laboratorio de ensayo de materiales de lo que hoy es la Facultad de Ingeniería de La Plata fue creado en el año 1918 siendo decano el Ing. Nicolás Besio Moreno y vicedecano el Ing. José L. Bimbi.

Como Encargado de este laboratorio, que estaba equipado para realizar los ensayos normales de cementos, áridos y hormigones y también de otros materiales ingenieriles, se desempeñó durante muchos años el excelente técnico D. José Marmonti, maestro y amigo de muchas promociones de ingenieros y a quien debemos nuestros primeros conocimientos prácticos de laboratorio, los que egresamos de la Universidad de La Plata.

A partir de 1919 ocupa la cátedra de Caminos y Ensayo de Materiales el Ing. Donato Gerardi, un verdadero entusiasta y propulsor de los conocimientos referentes a materiales, a quien se debe el equipamiento inicial del laboratorio y la paciente tarea de dotarlo del instrumental necesario para los estudios de tecnología del hormigón y de sus materiales componentes.

Durante el decanato del Dr. Hilario Magliano, aproximadamente en el año 1936, se interesó a los fabricantes de cemento con el fin de completar el equipamiento del laboratorio que, en esta forma, pudo disponer de las máquinas y equipos faltantes.

El Ing. Julio R. Castiñeiras, siendo jefe del Departamento Construcciones, del cual dependía el laboratorio, se preocupó especialmente por los estudios de Tecnología del Hormigón. Como jefes del laboratorio se desempeñaron en esa época sucesivamente, el Ing. Julio Zuker, a partir de 1936, y el Ing. Adolfo P. Crisi, a partir de 1943. Dichos profesionales, por natural inclinación, dieron gran impulso a los estudios e investiga-

ciones referentes al tema que analizamos. Así es como en 1939 Zuker y Grisi publican los resultados de sus investigaciones sobre vibración del hormigón (4), un trabajo experimental muy completo y de envergadura, en el que por primera vez en el país, para juzgar los resultados obtenidos se hace uso de principios de carácter estadístico.

De la misma época son los estudios de carácter experimental que realizó el Ing. Eduardo A. Arnaboldi para investigar el esponjamiento de las arenas en función del por ciento de humedad superficial y también las experiencias de orientación sobre la resistencia a compresión de morteros y hormigones en función de la razón agua/cemento (5).

En 1941 el Ing. Castiñeiras, con la colaboración del Ing. Zuker, publicó la 2ª edición del primer texto escrito en el país sobre Tecnología del Hormigón (6) que en su época fue, posiblemente, uno de los más completos del mundo. En el mismo año 1941 los Ings. Grisi y Agusti publicaron su informe sobre recepción de pavimentos de hormigón (7) en el que aplican el concepto de capacidad de carga de la calzada y también, adelantándose muchos años a lo que hoy ha sido universalmente aceptado, estableciendo la calidad del pavimento en base de conceptos fundados en principios de carácter estadístico, difundidos ya en el año 1935 por el Ing. Arenas (8). En tal sentido el Ing. Arenas merece ser considerado como un verdadero precursor.

En 1943 Grisi y Zuker publicaron los resultados de sus investigaciones sobre curado de los pavimentos de hormigón con compuestos líquidos de carácter bituminoso (9) y en 1948 Grisi y Cattaneo dan a conocer los resultados de sus estudios experimentales realizados para conocer el comportamiento de los cementos nacionales expuestos a la acción agresiva de los sulfatos (10).

En 1952, en el campo de la enseñanza de la Tecnología del Hormigón, ocurre un hecho importante y único hasta entonces en el país. En efecto, el Ing. Grisi dicta, a partir de esa fecha y durante cuatro años, un curso sobre Tecnología de los Materiales Bituminosos y del Hormigón.

El Ing. David Tesler, a partir de 1953, publica (11) sus primeros trabajos sobre la resis-

tencia del hormigón para pavimentos y sus estudios sobre dosificación de hormigones. Aproximadamente en 1954 el Ing. Grisi con la colaboración del Ing. Víctor Testoni y de D. José Mamonti realizó algunas experiencias de orientación sobre permeabilidad de hormigones.

A partir de 1960 y por iniciativa del Ing. César J. Luisoni, entonces Jefe del Departamento Construcciones de la Facultad de Ingeniería de La Plata, se crea el curso de Tecnología del Hormigón, cuyo desarrollo se encomienda al autor de este informe, que desde entonces se ha dictado sin interrupción en la Facultad de La Plata, única del país que hasta la fecha dispone de un curso tal.

Posteriormente, en 1961, el Ing. Enrique P. Villarreal realizó algunas experiencias de orientación sobre la resistencia de las resinas epoxi, con vistas a su empleo en estructuras de hormigón. En la misma época Fava proyecta e inicia la construcción de los primeros equipos a resorte de que dispone el país para investigar la fluencia lenta del hormigón. Asimismo proyecta y construye el instrumental para determinar el coeficiente de Poisson y la contracción por secado del hormigón.

A fines de 1967 el Ing. Alberto Giovambattista, que empleó el equipo e instrumental a que se hizo referencia en el párrafo anterior, presenta los primeros resultados de su trabajo experimental de gran aliento, destinado a conocer el comportamiento de los materiales del país y su influencia sobre la fluencia lenta, la contracción por secado y el módulo de elasticidad del hormigón (12).

Finalmente, en 1972, los Ings. Luisoni y Somenon publican los resultados de sus experiencias referentes a un método original de carácter no destructivo, para determinar la resistencia del hormigón endurecido que forma parte de una estructura (13).

En resumen, desde el año 1908 hasta la fecha, en los tres laboratorios citados: los dos provinciales y el de la Facultad de Ingeniería, se realizaron aproximadamente 15 estudios e investigaciones experimentales conocidos, referentes al campo de la Tecnología del Hormigón. Se observa que, tal como se expresó anteriormente, en el ámbito de la ciudad de La Plata y desde muchos años atrás, siempre existió inquietud e interés por los conocimientos que analizamos.

7) EL APOORTE DEL LEMIT EN EL CAMPO DE LOS CONOCIMIENTOS CORRESPONDIENTES A LA TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Tal como surge de la lista de trabajos que figura al final del presente informe, entre los años 1942, fecha de la creación del LEMIT, y 1972 en que se cumplen los primeros 30 años de actuación, en dicho Instituto se realizaron en total 83 estudios e investigaciones correspondientes al campo de la Tecnología del Hormigón y de sus materiales componentes.

El equipo humano que realizó la tarea formó parte del personal estable del LEMIT que se constituyó con profesionales de distintas especialidades, provenientes principalmente de los Laboratorios del Departamento de Química de la Dirección General de Higiene y de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires. A esto debe agregarse un número de profesionales jóvenes de distintas carreras, la mayoría de ellos recién egresados, que estaban actuando en algunas reparticiones provinciales y en la Universidad. Posteriormente ingresaron nuevos profesionales.

El núcleo de profesionales dedicados específicamente al estudio del hormigón y de sus materiales componentes estuvo constituido por el Dr. Héctor A. Cattáneo y por los Ingenieros Oscar R. Batic, Washington Cano Olazábal, José F. Colina, Alberto S. C. Fava, Alberto Giovambattista, Milan E. Klaric y Marcelo Wainsztein. Dichos profesionales contaron con el asesoramiento permanente del Ing. Eduardo Arenas, del Dr. Celestino L. Ruiz y, en los momentos iniciales, del Ing. Augusto Durelli.

Este núcleo de personas no hubiese podido realizar la importante y útil tarea que hoy podemos presentar, sin la inestimable y permanente colaboración prestada por otro importante grupo de profesionales, principalmente químicos, ingenieros y geólogos, que en todo momento contribuyeron con su apoyo y con sus conocimientos especializados para materializar los planes de conjunto que, en esta especialidad, el LEMIT tenía trazados. La tarea realizada fue realmente un trabajo de equipo.

Este grupo de profesionales estuvo constituido por el Dr. en Matemáticas Florencio González Asenjo, los Ings. Aarón Helfgot, Horacio Rodríguez Presa y Osvaldo Zappetini, y accidentalmente el Ing. Pedro García Gausi.

A ellos deben agregarse los Dres. en Química y Licenciados Raúl J. Manuele, Vicente D. Rascio, Epifanio Rozados, Alfredo Pinilla, Jorge Ronco, Luis A. Mennucci, Jaime A. Gainza, Justo P. Sosa, V. Vetere, F. Giménez, Wálter O. Bruzzoni, Claudio Miniussi, C. C. Clinckspoor, Sr. M. A. Difino, Sta. B. del Amo y Sr. R. Biganzoli, y los Dres. y Licenciados en Ciencias Naturales, César R. Cortelezzi, Víctor Mauriño, A. Iñíguez Rodríguez, Tulio A. Limousin, J. Kilmurray, A. Castaños, J. R. Villa, José M. Suriano, Patricia Zalba, A. Giai, Sr. O. Decastelli y Sr. J. D. Sota

y, accidentalmente, el Dr. Mario Teruggi y el Ing. Victorio Angelelli.

El entusiasmo inicial que supo comunicar el Ing. Adolfo P. Grisi por estos estudios y el interés que siempre tuvo por estos conocimientos, lo mismo que el permanente apoyo prestado por el Dr. Pedro J. Carriquiriborde, fueron factores de éxito en esta empresa.

El equipo humano se completó con un importante grupo de técnicos y operadores que, con capacidad y entusiasmo encomiables, colaboró eficazmente y realizó la tarea encomendada.

Pretender analizar, o siquiera mencionar, la naturaleza y contenido de los 83 estudios e investigaciones realizados, es una tarea prácticamente imposible dentro del tiempo de que se dispone. Por tal razón se ha considerado que una salida, para poder dar una idea de lo que se ha realizado, es agrupar los trabajos por temas, indicar el número de estudios e investigaciones por tema y mencionar a sus autores principales. Así resultan 34 temas distintos dentro de la especialidad general Tecnología del Hormigón. Ellos son los siguientes:

- 1) **Rocas de aplicación:** 6 (estudios geológicos y petrográficos, recursos minerales, características y módulo de elasticidad). Cortelezzi, Mauriño, Limousin, Angelelli, Villa, Suriano y Helfgot.
- 2) **Áridos:** 5 (calidad, lajas, granulometría). Fava, Colina, Teruggi.
- 3) **Escorias de altos hornos:** 3 (adiciones para el cemento portland, áridos gruesos). Fava, Colina, Wainsztein, Batic, Giovambattista, Klaric, Miniussi, Mennucci, Rozados, Iñíguez, Gainza.
- 4) **Puzolanas:** 1 (fabricación, características y condiciones). Batic, Iñíguez, Wainsztein.

- 5) Aditivos: 4 (cloruro de calcio, incorporadores de aire, retardadores, características generales). Fava, Giovambattista.
- 6) Cemento portland: 1 (características generales). Colina, Wainsztein, Batic.
- 7) Cementos para pozos de petróleo: 1 (estudio de las características). Wainsztein.
- 8) Análisis químico del cemento: 6. Mennucci, Manuele, Sosa, Vetere, Difino, Massa.
- 9) Estudio microscópico del clinker: 1. Cortelezzi, Castaños, Iñiguez.
- 10) Determinación de los componentes principales del cemento por difracción de rayos X: 2. Iñiguez, Zalba, Decastelli.
- 11) Falso fragüe del cemento: 2. Colina, Wainsztein, Batic, Sota.
- 12) Calor de hidratación del cemento: 2. Gainza, Giménez, Del Amo, Biganzoli.
- 13) Compuestos líquidos para curado del hormigón: 1. Fava, Wainsztein, Cano Olazábal.
- 14) Dosificación de hormigones: 5. Fava, Colina, Giovambattista, Rodríguez Presa.
- 15) Eficiencia de mezclado de las hormigoneras: 1. Fava.
- 16) Características y propiedades del hormigón fresco: 2 (bola Kelly e influencia de la temperatura sobre la penetración). Fava, Colina, Giovambattista.
- 17) Características del hormigón a colocar bajo agua: 1. Fava, Giovambattista.
- 18) Calidad general del hormigón: 2. Fava.
- 19) Resistencias mecánicas en función de la razón agua/cemento y de la edad: 2. Fava, Cattáneo.
- 20) Hormigones de áridos livianos: 3 (dosificación, resistencias, módulo de elasticidad, durabilidad). Colina, Giovambattista, Klaric, Fava.
- 21) Adherencia acero-hormigón: 1. Helfgot.
- 22) Módulo de elasticidad del mortero y del hormigón: 2 (estático y sónico). Fava, Giovambattista, Zappetini.
- 23) Fluencia lenta: 1. García Gausi.
- 24) Determinación del contenido de agua y de aire del hormigón fresco partiendo de una muestra de hormigón endurecido: 1. Fava.
- 25) Durabilidad general del hormigón: 2. Fava, Colina, Ruiz, Burgoa.
- 26) Reacción álcalis-áridos: 4. Fava, Manuele, Colina, Cortelezzi, Wainsztein, Batic, Iñiguez, Giai.
- 27) Ataque de sulfatos al hormigón: 3 (capacidad de resistencia de los cementos portland y portland - puzolánico). Colina, Wainsztein, Batic.
- 28) Ataque del agua de mar: 1 (experiencias in-situ). Batic, Wainsztein.
- 29) Corrosión de las armaduras de acero: 7. Manuele, Rozados, Cano Olazábal, Clinspoor, Fava.
- 30) Destrucción del hormigón por efecto de la congelación y deshielo: 1. Wainsztein, Cano Olazábal.
- 31) Protección del hormigón con recubrimientos epoxídicos y recubrimientos bituminosos: 2. Rascio, Bruzzoni, Pinilla.
- 32) Control de calidad del hormigón. Control estadístico de calidad: 4. Fava, González Asenjo.
- 33) Disposiciones Reglamentarias: 1 (Tomo de Tecnología y disposiciones de carácter constructivo-PRAEH-64). Fava.
- 34) Aplicaciones a pavimentos de hormigón: 2 (juntas aserradas, recepción de pavimentos). Fava, Arenas.

En la Lista de Estudios e Investigaciones que figuran al final de este informe, se indican en forma completa los títulos y autores de los 83 trabajos realizados. Todos ellos, en mayor o menor medida, han constituido aportes y conocimientos de importancia para el país y sus resultados contribuyeron, sin duda, a elevar el nivel de calidad de las estructuras en que dichos conocimientos fueron aplicados. Algunos de estos trabajos, sobre todo los específicamente correspondientes a la Tecnología del Hormigón, merecen ser especialmente destacados, debido a que significaron aportes de conocimientos aprovechables en el proyecto y en la ejecución de estructuras, no disponibles en el país hasta el momento de su realización, o aporte de equipos que en muchos casos fueron construidos en los talleres del propio LEMIT y que hasta ese momento no existían en otros laboratorios o eran desconocidos entre nosotros. Por tales razones, en lo que sigue se mencionarán rápidamente y por orden cronológico algunos de los trabajos, destacándose de paso el motivo de su importancia. El número entre paréntesis que acompaña a cada uno es el número de orden que le ha correspondido en la Lista que se incluye al final de este informe.

Entre ellos corresponde citar a los que dieron a conocer Cattáneo y Fava (6) y (7) respectivamente, en el año 1948. Dichas experiencias, que implicaron el moldeo y ensayo de más de 6.000 probetas de mortero y hormigón, permitieron de-

terminar el comportamiento mecánico de los cementos argentinos en función de la razón agua/cemento y de la edad. Las curvas medias entonces determinadas, aún hoy se emplean para establecer las proporciones del hormigón. Asimismo, dichos estudios permitieron eliminar dudas y clarificar conceptos sobre el problema de la posibilidad de retrotraer la resistencia a la edad de 28 días, cuando el hormigón se ensaya a una edad mayor.

En 1950 Fava dio a conocer los resultados de sus experiencias, realizadas por primera vez en el país, sobre la incorporación intencional de aire al hormigón de cemento portland (13), ver Fig. 7, como medio efectivo para mejorar notablemente su trabajabilidad y también su durabilidad frente a la acción destructiva de los ciclos de congelación y deshielo, o de los agentes agresivos en contacto con las estructuras. Este trabajo introdujo dicha técnica en nuestro medio, realizándose la primera aplicación de obra en gran escala al colocarse los 50.000 m³ de hormigón correspondientes a la Planta de Depuración de aguas de Punta Lara y acueducto Punta Lara-La Plata. Los talleres del LEMIT construyeron entonces el primer dispositivo a presión que exis-

tió en el país para determinar el por ciento de aire incorporado en el hormigón, y en obra se empleó el primer medidor para aditivos líquidos, similar a algunos de tipo manual de los que hoy se dispone en plaza.

Ruiz, en 1953, dio a conocer su trabajo en el que se indican los fundamentos de carácter químico y físico-químico que explican el origen y mecanismo de corrosión del hormigón, producida por distintos agentes destructivos (14). Se trata del único trabajo conocido sobre el tema que contiene la fundamentación básica de los ataques que sufre el hormigón expuesto a la acción destructiva del medio ambiente.

En 1956 Fava publica los resultados de un método original (18), que por diferencia entre las absorciones correspondientes a la saturación realizada bajo vacío y saturación normal, permite determinar el por ciento de vacío o de aire, partiendo de una muestra de hormigón endurecido. Este método tiene interés como medio para apreciar una posible baja resistencia del hormigón por exceso de aire o de vacíos.

Fava y Colina, en 1961, dan a conocer en nuestro medio la existencia de un nuevo ensa-

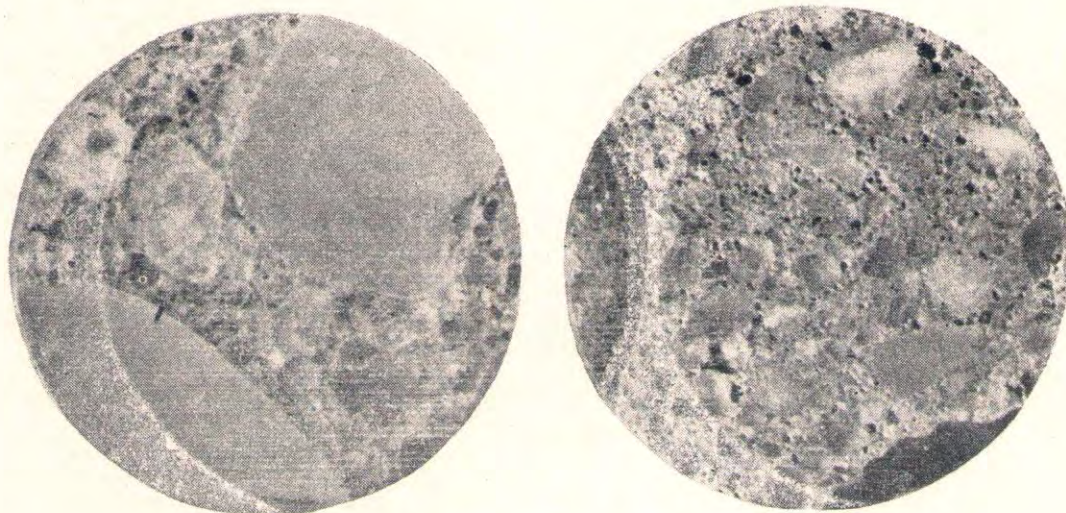


Figura 7. — Comparación de las superficies de cortes practicados en un hormigón tradicional y en otro que contiene aire intencionalmente incorporado en su masa. Se observa la casi ausencia de vacíos del hormigón tradicional (izquierda) y la abundancia de pequeños vacíos del hormigón con aire incorporado. Diámetro real aproximado de cada zona: 10 mm. (Alberto S. C. Fava - LEMIT).

yo (29) para apreciar en forma simple y rápida la consistencia del hormigón de obra por penetración de la masa fresca, estableciendo además experimentalmente la correlación entre el asentamiento y la penetración, para hormigones de distintas características y composición. El primer dispositivo de este tipo conocido en el país fue construido en los talleres del LEMIT.

También en 1961, Fava, Colina, Manuele y Cortelezzi, exponen los resultados del primer estudio realizado en el país sobre la reacción álcalis-áridos, dando la explicación y certificando su aparición en el camino La Plata-Punta Lara (30). (Fig. 8 y 9).

Giovambattista, en 1962, estudia experimentalmente la influencia de la temperatura del hormigón sobre la consistencia del mismo apreciada por el ensayo de penetración (33). No se tiene conocimiento de otro estudio similar realizado para investigar este tema.

En 1965, Cortelezzi, Castaños e Iñíguez, publican los primeros estudios microscópicos sistemáticos realizados en el país sobre el clinker de cemento portland proveniente de fábricas instaladas en la provincia de Buenos Aires (41). Ver figuras 1) y 2). Cabe destacar que en las Memorias de la "Primera Serie de Reuniones Técnicas" realizadas el 5 de octubre de 1942, con motivo de la inauguración del entonces denominado LEMOP, antecesor inmediato del LEMIT, el Dr. Oscar S. Saffores publicó un informe sobre "El estudio óptico del clinker del cemento portland. Su técnica", que debe ser considerado como el primer intento conocido realizado en el país para estudiar este tema.

En 1966, Giovambattista publica el primer estudio experimental completo realizado en nuestro medio sobre los retardadores del tiempo de fraguado del hormigón (42) y Colina, Giovambattista y Klaric dan a conocer los resultados de las primeras experiencias realizadas con hormigones elaborados con áridos livianos de fabricación nacional (43).

Gainza y Giménez, en 1966, publican los resultados de sus experiencias realizadas para determinar el calor de hidratación de los cementos argentinos por el método de disolución (44), a los que en 1972 agregan los resultados obtenidos con el método del termo o frasco aislante (81). El conocimiento de esta información, no disponible en el país antes de la realización de estas experiencias, tiene importancia fundamental para la ejecución de diques y de otras estructuras masivas.



Figura 8. — Fotografía ampliada de gotas de gel aparecidas sobre la superficie de una probeta de mortero preparada en el LEMIT (Fava, Colina, Manuele y Cortelezzi - LEMIT).



Figura 9. — Reacción álcalis-áridos. Agrietamiento de tipo estructural según líneas más o menos paralelas, producido por los esfuerzos derivados de las expansiones que provoca la reacción, sobre las losas del pavimento privadas de libertad de movimiento (Fava, Colina, Manuele y Cortelezzi, LEMIT).

Manuele y Rozados, en 1967 y 1968, exponen los resultados de sus estudios de carácter experimental sobre la corrosión de las armaduras de acero incluidas en las estructuras de hormigón, dando además información experimental sobre la influencia desfavorable del cloruro de calcio como factor coadyuvante perjudicial (51) (59). Estos estudios despertaron el interés del país por los conocimientos referentes a la corrosión de las armaduras.

En 1964, al publicarse el Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CINEH-INTI-1964), que en el aspecto Tecnología del Hormigón y disposiciones de carácter constructivo significó un progreso de 35 años respecto a los conocimientos y disposiciones reglamentarias entonces vigentes, **Fava** introduce, por primera vez en un Reglamento Argentino, conceptos de carácter estadístico para apreciar la calidad y variabilidad de características del hormigón (34). El mismo autor explica y fundamenta la aplicación de los mencionados principios en otra publicación del LEMIT del año 1968 (60).

Wainsztein y Batic, en 1970, dan a conocer los primeros resultados de las experiencias que realizaron para apreciar el comportamiento de los cementos del tipo portland-puzolánico de fabricación nacional expuestos a la acción de los sulfatos (67). En el mismo año 1970, **Batic, Iñiguez y Wainsztein** publican los resultados de las experiencias realizadas para obtener puzolanas artificiales mediante el tratamiento térmico de arcillas de la provincia de Buenos Aires (69). Este

trabajo ha despertado interés, recientemente, en la literatura especializada del exterior.

En 1972 **Wainsztein y Cano Olazábal** dan a conocer los resultados de las primeras experiencias de carácter acelerado realizadas en el país para apreciar la durabilidad de hormigones expuestos a los efectos de la congelación y deshielo (77). Para ello emplearon un equipo automático, único en el país, cuyo proyecto y construcción inició **Fava** en 1958 y prosiguió **Giovambattista** posteriormente. Dificultades de distinto orden demoraron su puesta en marcha hasta 1971. Dicho equipo, construido bajo la dirección de profesionales del LEMIT, permite cumplir 8 ciclos diarios de congelación y deshielo entre -20°C y $+5^{\circ}\text{C}$. El mismo permitió verificar, también por primera vez en el país, la fundamental importancia de la incorporación intencional de aire para la protección efectiva de las estructuras de hormigón expuestas a las temperaturas de congelación. Figuras 10, 11 y 12.

Batic y Wainsztein, en 1972, dan a conocer los resultados preliminares de las primeras experiencias importantes realizadas en Argentina, en el Puerto de Mar del Plata, para juzgar mediante exposición directa a la acción del agua de mar, la capacidad de resistencia de los cementos de tipo portland de fabricación nacional, frente a dicho medio agresivo (78). Figuras 13 y 14.

Finalmente, en 1973, **Angelelli, Villa y Suriano** publican un completo y extenso informe, de gran interés técnico, profesional y económico, en el que se describen los yacimientos más

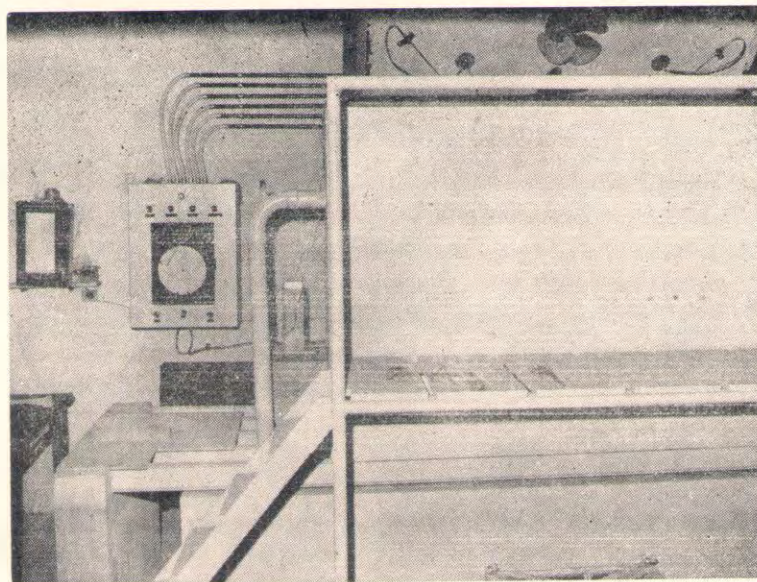
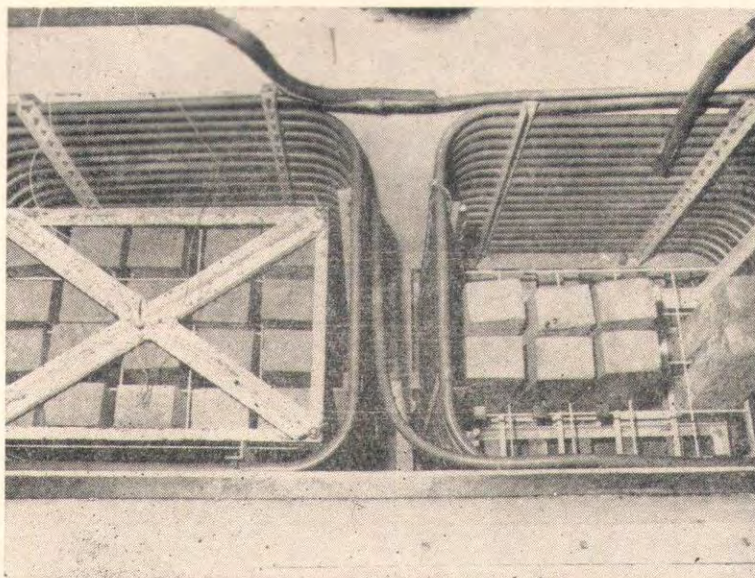


Figura 10 — Equipo automático existente en el LEMIT, capaz de producir 8 ciclos diarios de variación de temperatura entre 20°C bajo cero y 5°C sobre cero, para realizar estudios de durabilidad de hormigones expuestos a la acción de bajas temperaturas (Marcelo Wainsztein y W. Cano Olazábal - LEMIT).

Figura 11 — Disposición de las vigas de ensayo dentro de la cámara automática que produce los ciclos de congelación y deshielo (Wainsztein y Cano Olazábal - LEMIT). Dimensiones de las vigas $7,5 \times 10 \times 41$ cm.



importantes y las características de los áridos, rocas de aplicación y minerales existentes en el territorio de la provincia de Buenos Aires (82).

El mismo año 1973, Fava, Wainsztein y Cano Olazábal, publican sus estudios y experiencias sobre compuestos líquidos capaces de constituir membranas para el curado del hormigón (83). Este es el primer estudio completo realizado en el país sobre el tema, que es de gran interés técnico y práctico en relación con la buena ejecución de las estructuras de hormigón, especialmente pavimentos, recubrimientos de canales, etc.

Para valorar debidamente la importancia del esfuerzo realizado, debe tenerse presente que la tarea de estudio e investigación descripta se desarrolló simultáneamente con la tarea de rutina que impone la Ley de creación del LEMIT, relacionada con el control de ejecución de las obras públicas que se construyeron en los últimos 30 años en la provincia de Buenos Aires. A ello deben agregarse los estudios específicos para grandes e importantes obras y estructuras de hormigón, de carácter nacional y provincial, en las que el LEMIT tuvo ingerencia directa por requerimiento de los organismos interesados. Entre di-

Figura 12 — Apreciación de la durabilidad de un hormigón normal y de un hormigón que contiene aire intencionalmente incorporado en su masa, sometidos a ciclos de congelación y deshielo, mediante la determinación del módulo de elasticidad dinámico del hormigón. (M. Wainsztein y W. Cano Olazábal - LEMIT).

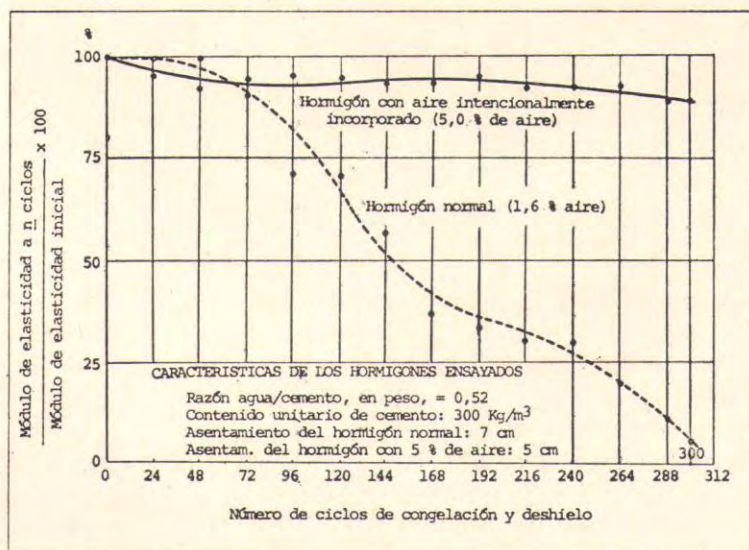




Figura 13 — Estudio de hormigones expuestos a la acción directa del agua de mar en el puerto de Mar del Plata. Balsa flotante que sostiene a los bastidores indicados en figura 14. (Oscar R. Batic y Marcelo Wainsztein - LEMIT).

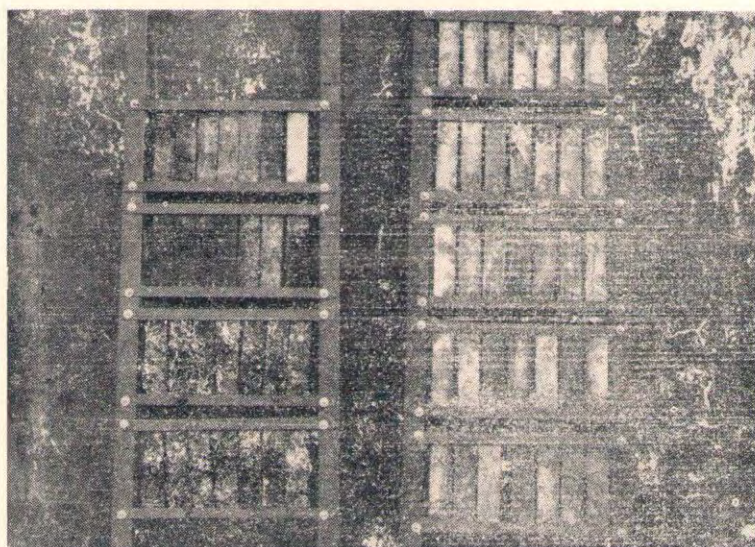


Figura 14 — Bastidores donde se colocan las vigas de ensayo de hormigón, de $7,5 \times 10 \times 41$ centímetros (Batic y Wainsztein - LEMIT).

chas obras cabe mencionar: Viaducto Sarandí, estructuras de los Astilleros Navales Río Santiago, Hangares y cabeceras de pistas del Aeropuerto Internacional de Ezeiza, Planta de depuración de aguas de Punta Lara y acueducto Punta Lara-La Plata, Oleoducto Campo Durán (Salta)-San Lorenzo (Santa Fe) y Gasoducto Campo Durán- Buenos Aires, Dique "El Cadillal" (Tucumán), Túnel Subfluvial Paraná-Santa Fe, Complejo El Chocón-Cerros Colorados, etc. Asimismo corresponde destacar la siguiente labor efectuada paralelamente:

- a) Realización de más de 2.000 estudios de hormigones para distintas obras públicas y privadas.
- b) Ensayo de más de 150.000 testigos y probetas moldeadas de hormigón, provenientes de obras ejecutadas o en ejecución.
- c) Intervención en peritajes correspondientes a accidentes o derrumbes de estructuras de hormigón, por pedido de la justicia o de las partes interesadas.
- d) Preparación de Especificaciones Técnicas, a solicitud de Reparticiones del MOP de la provincia de Buenos Aires, para estruc-

turas y condiciones especiales de ejecución, de exposición al medio ambiente o de contacto con la estructura.

- e) Concurrencia a organismos de normalización especialmente al Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), a quien se suministró valiosa información de carácter experimental, imprescindible para la fijación de exigencias reales en prácticamente la totalidad de las especificaciones o métodos de ensayo elaborados por dicho organismo, referentes al hormigón y sus materiales componentes.
- f) Concurrencia a Congresos, Cursos y Reuniones Técnicas de carácter nacional e internacional.

Corresponde destacar también que si bien la labor de rutina no reviste para el especialista el interés que pueden despertar las tareas de estudio o de investigación aplicada como son las que realiza el LEMIT, muchas veces los temas de investigación han surgido como consecuencia de la necesidad de solucionar problemas planteados o vinculados a la labor de rutina.

8) CONSIDERACIONES FINALES

Lo expuesto en el Punto 7) muestra que la labor del LEMIT, desarrollada en el curso de los últimos 30 años en el campo de la Tecnología del Hormigón, ha sido importante y valiosa.

Ella fue realizada por un grupo de hombres que actuó con vocación, desinterés e inteligencia.

Por la oportunidad que se me ofreció de formar parte de este excelente grupo de trabajo, y de orientar la actividad específica durante tantos años, deseo expresar mi más afectuoso y cordial agradecimiento. En primer lugar al ingeniero Grisi y al Dr. Carriquiriborde. Al ingeniero Grisi por haberme ofrecido la posibilidad de realizar mi especialización en este tema y haber orientado, ya desde la Facultad de Ingeniería, mis primeras actividades relacionadas con el mismo. Al Dr. Carriquiriborde por su constante apoyo y por el entusiasmo y permanente optimismo por la labor del LEMIT, que nos sirvió de ejemplo, aun en los momentos más difíciles para la vida del Instituto.

De este amable recuerdo no pueden quedar excluidos los distinguidos colegas de distintas especialidades, del país y del exterior, principalmente de los EE. UU., que con gran generosidad de conocimientos y con su gran experiencia tanto contribuyeron para posibilitar mi perfeccionamiento. La misma consideración y estima merecen los colegas del Departamento Tecnología del Hormigón y demás Departamentos del LEMIT, que tanto nos ayudaron con sus conocimientos y capacidad, y los técnicos, operadores, colaboradores y amigos, y demás personal que hizo posible el hecho de que hoy podamos mostrar al país, con satisfacción, la útil tarea realizada.

BIBLIOGRAFIA

- 1) CÉSAR R. CORTELEZZI, ARTURO CASTAÑOS y ADRIÁN INÍGUEZ RODRÍGUEZ, *Estudio microscópico de los componentes del clinker de cemento portland de las fábricas de la provincia de Buenos Aires*. Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Argentinas, Salta, 1963.
- 2) R. H. MILLS, *Collapse of Structure and Creep in Concrete*. Proc. International Conference on Structure, Solid Mechanics and Engineering Design in Civil Engineering Materials, Southampton, 1969.
- 3) PEDRO J. CARRIQUIRIBORDE, *Sobre los métodos para la evaluación del cemento en los aglomerados hidráulicos*. Revista "Camino", Buenos Aires, septiembre de 1935.
- 4) JULIO ZUKER y ADOLFO P. GRISI, *Hormigón vibrado. Su aplicación en Caminos*. 3ª Reunión Anual de Caminos. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 1939.
- 5) EDUARDO A. ARNABOLDI, *Determinaciones experimentales sobre arenas, morteros y hormigones*. Publicaciones de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, serie 2ª, 1, Revista, La Plata, 1939.
- 6) JULIO R. CASTIÑEIRAS, *Tecnología del hormigón*. Publicación del Centro de Estudiantes de Ingeniería. Buenos Aires, 1941.
- 7) ADOLFO P. GRISI y S. ANTONIO AGUSTI, *La recepción de los pavimentos de hormigón*. Memorias del Congreso Panamericano de Carreteras. México, 1941.
- 8) EDUARDO ARENAS, *Aplicación de algunos principios estadísticos al ensayo de materiales*. Revista "Camino". Buenos Aires, mayo 1935.
- 9) ADOLFO P. GRISI y JULIO ZUKER, *Empleo de productos bituminosos en el curado del hormigón*. Publicaciones de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, Serie 2, Revista. La Plata, 1943.
- 10) ADOLFO P. GRISI y HÉCTOR AMADO CATTÁNEO, *Contribución al estudio de la acción de los sulfatos sobre el cemento portland*. Revista de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, vol. IV, N° 2, La Plata, 1948.
- 11) DAVID TESLER, *La resistencia del hormigón en las especificaciones de pavimentos*. Revistas N°s 14 y 15 del Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires, La Plata, 1954.

- 12) ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Influencia de las características de los áridos en el módulo de elasticidad, fluencia y contracción por secado del hormigón*. Memorias del VI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, tomo IV, página 281.
- 13) CÉSAR J. LUISONI y HÉCTOR M. SOMENSON, *Determinación de la resistencia cilíndrica del hormigón mediante un ensayo no destructivo*. Publicación del Departamento de Construcciones. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 1972.

**LISTA DE LOS ESTUDIOS E INVESTIGACIONES SOBRE TECNOLOGÍA DEL
HORMIGÓN Y SUS MATERIALES COMPONENTES, REALIZADOS
POR PERSONAL DEL LEMIT ENTRE LOS AÑOS 1942 Y 1972**

ORDEN CRONOLÓGICO

- 1) ALBERTO S. C. FAVA, *Especificación de la calidad de los áridos en los pliegos para obras de hormigón*. Publicación N° 4, serie II, del LEMIT, La Plata, 1945.
- 2) ALBERTO S. C. FAVA, *Influencia de la adición del cloruro de calcio sobre la resistencia y otras propiedades del hormigón*. LEMIT, 1945.
- 3) ALBERTO S. C. FAVA, *Influencia del contenido de lajas del árido grueso sobre las condiciones del hormigón resultante*. Revista "Cemento-Hormigón", Barcelona (España), noviembre 1946.
- 4) LUIS A. MENNUCCI y WILFREDO MASSA, *Los métodos fenol-alcohol y glicerol-alcohol para determinar cal libre en cemento portland*. Publicación N° 11, serie II del LEMIT, La Plata, 1947.
- 5) LUIS A. MENNUCCI, *Análisis químico del cemento portland*. Publicación N° 18, serie II, del LEMIT, La Plata, año 1947.
- 6) HÉCTOR AMADO CATTÁNEO, *Resistencia y edad de morteros y hormigones de cemento portland*. Publicación N° 25, serie II, del LEMIT, La Plata, 1948.
- 7) ALBERTO S. C. FAVA, *Hormigones preparados con cemento portland de fabricación nacional. Resistencia de rotura a compresión en función de la razón agua/cemento y de la edad*. Publicación N° 29, serie II, del LEMIT, La Plata, 1948.
- 8) A. HELFGOT, *Módulo de elasticidad de algunas rocas de la provincia de Buenos Aires*. Apéndice: Cálculo de errores experimentales, por José Lombardi. Publicación N° 27, serie II, del LEMIT, La Plata, 1948.
- 9) ALBERTO S. C. FAVA, *La calidad del hormigón y las especificaciones técnicas*. Reuniones Técnicas del Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires. 1949. Publicación N° 2, serie V del LEMIT, La Plata, 1954.
- 10) JOSÉ F. COLINA, *Empleo de arenas más finas que las especificadas para la elaboración del hormigón*. Memorias de la Primera Conferencia del Hormigón y otras Aplicaciones del Cemento Portland. Tomo I, Buenos Aires, 1950.
- 11) ALBERTO S. C. FAVA, *Estudios experimentales tendientes a determinar la posibilidad de empleo de algunos conglomerados calcáreos de la zona de Magdalena, como áridos para hormigones, en estructuras semi-masivas de hormigón simple*. LEMIT, 1950.
- 12) ALFREDO PINILLA, *Protección de las estructuras de hormigón expuestas a la acción de un medio agresivo, mediante revestimientos bituminosos*. LEMIT, 1950.
- 13) ALBERTO S. C. FAVA, *Teoría y práctica de la incorporación intencional de aire al hormigón de cemento portland*. Publicación N° 41, serie II, del LEMIT, La Plata, primera edición: 1952; segunda edición: 1953.
- 14) CELESTINO L. RUIZ, con la colaboración de GUILLERMO N. BURGOA, *Corrosión del hormigón. Su origen, mecanismo y prevención*. Revista "Construcciones". Buenos Aires, agosto de 1953.
- 15) CÉSAR R. CORTELEZZI, *Estudio petrográfico de las rocas de la zona de Sierra Chica (Partido de Olavarría) con los ensayos físicos para determinar sus cualidades técnicas*. Publicación N° 52, serie II, del LEMIT. La Plata, 1954.
- 16) EDUARDO ARENAS, *La recepción de pavimentos de hormigón*. Revista "Construcciones", Buenos Aires, N° 124, 1955.
- 17) A. HELFGOT, *Aspectos técnico-económicos de la adherencia entre acero y hormigón*. Revista "Construcciones", Buenos Aires, N° 134, 1956.
- 18) ALBERTO S. C. FAVA, *Determinación del contenido de aire y de agua del hormigón fresco, a partir de una muestra de hormigón endurecido*. Revista "Carreteras". Buenos Aires, julio-setiembre de 1956.
- 19) FLORENCIO GONZÁLEZ ASENJO, *Pavimentos de hormigón. Síntesis estadística de cuatro años de ensayos*. Publicación N° 69, serie II, del LEMIT, La Plata, 1957.
- 20) ALBERTO S. C. FAVA, *Juntas aserradas para pavimentos de hormigón*. Revista "Carreteras", Buenos Aires, enero-marzo de 1957.
- 21) RAÚL J. MANUELE y WILFREDO MASSA, *Determinación de sodio y potasio en cemento portland, por espectro-fotometría de llama*. Sesiones Químicas Argentinas, San Juan, 1958.
- 22) RAÚL J. MANUELE y WILFREDO MASSA, *Magnesio en cementos. Titulación por complejometría*. Revista "Industria y Química". Buenos Aires, N° 1, 1959.
- 23) MARIO E. TERUGGI, con la colaboración de E. CHAAR, J. R. REMIRO y TULIO A. LIMOUSIN, *Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca*. Publicación N° 77, serie II, del LEMIT, La Plata, 1959.
- 24) RAÚL J. MANUELE y JUSTO P. SOSA, *Determinación complejométrica del magnesio en cementos*. Revista "Industria y Química", Buenos Aires, vol. 19, 1959.

- 25) ALBERTO S. C. FAVA, *Nuevas ideas, técnicas y tendencias en el campo de la tecnología del hormigón*. Revista "Carreteras", Buenos Aires, enero-abril de 1960.
- 26) ALBERTO S. C. FAVA y JOSÉ F. COLINA, *Informaciones referentes al proyecto de un hormigón de cemento portland*. Publicación del LEMIT, La Plata, 1960.
- 27) ALBERTO S. C. FAVA y JOSÉ F. COLINA, *Ejercicios y problemas vinculados con la determinación de las proporciones del hormigón y sus transformaciones*. Publicación del LEMIT, La Plata, 1960.
- 28) ALBERTO S. C. FAVA y JOSÉ F. COLINA, *La durabilidad del hormigón y los medios actualmente disponibles para obtener estructuras durables*. Simposio sobre alterabilidad de materiales y estructuras. LEMIT, 1961. Resumen en Revista del Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires, La Plata, octubre-diciembre de 1961.
- 29) ALBERTO S. C. FAVA y JOSÉ F. COLINA, *Contribución al conocimiento de un nuevo ensayo para determinar la consistencia del hormigón de obra (Bola Kelly)*. Publicación N° 84, serie II, del LEMIT. La Plata, 1961.
- 30) ALBERTO S. C. FAVA, JOSÉ F. COLINA, RAÚL J. MANUELE y CÉSAR R. CORTELEZZI, *Estudios y experiencias realizados en el LEMIT sobre la reacción álcalis-áridos*. Publicación N° 85, serie II, del LEMIT, La Plata, 1961.
- 31) ALBERTO S. C. FAVA y ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Determinación experimental del módulo de elasticidad del hormigón por los métodos estático y sónico*. LEMIT, 1961.
- 32) ALBERTO S. C. FAVA, *Estudio de la eficiencia de mezclado de una hormigonera no convencional*. LEMIT, 1961.
- 33) ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Influencia de la temperatura del hormigón sobre la consistencia del mismo, determinada por penetración de la bola Kelly*. LEMIT, 1962.
- 34) JOSÉ F. COLINA y MARCELO WAINSZTEIN, *Experiencias realizadas en el LEMIT sobre cementos nacionales expuestos a la acción de los sulfatos*. Revista del Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires, La Plata, abril-junio de 1963.
- 35) MARCELO WAINSZTEIN, *Determinación de las características de los cementos para empleo en pozos de petróleo*. LEMIT, 1964.
- 36) MARCELO WAINSZTEIN, *Estudio de las escorias provenientes de los altos hornos de Zapla*. LEMIT, 1964.
- 37) ALBERTO S. C. FAVA, *Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (PRAEH-64)*. Tomo I, Tecnología y métodos constructivos (CINEH, 1964). Buenos Aires.
- 38) ALBERTO S. C. FAVA y JOSÉ F. COLINA, *Prácticas corrientes de dosificación de hormigones en la provincia de Buenos Aires*. Simposio RILEM. Santiago de Chile, publicación del LEMIT, 1965.
- 39) ALBERTO S. C. FAVA, *Prácticas corrientes de control de calidad del hormigón en la Argentina*. Informe Argentino. Simposio RILEM, Santiago de Chile, 1965. Publicación N° 182, serie II, del LEMIT, La Plata.
- 40) CÉSAR R. CORTELEZZI y J. KILMURRAY, *Fenómenos superficiales y fractura epigenética de las gravas de la Patagonia Argentina*. Journal of Petrography, Estados Unidos de N. América, 1965.
- 41) CÉSAR R. CORTELEZZI, A. CASTAÑOS y A. IÑIGUEZ RODRÍGUEZ, *Estudio microscópico de los componentes del clinker de cemento portland de las fábricas instaladas en la provincia de Buenos Aires*. Actas de las II Jornadas Geológicas Argentinas. Salta, tomo II, 1965.
- 42) ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Estudios y experiencias relativas a aditivos retardadores empleados en la preparación de hormigones de cemento portland*. Publicación N° 105, serie II del LEMIT, La Plata, 1966.
- 43) JOSÉ F. COLINA y ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Experiencias realizadas en el LEMIT sobre hormigones livianos para uso estructural elaborados con áridos livianos de fabricación nacional*. Publicación N° 107, serie II, del LEMIT. La Plata, 1966.
- 44) JAIME A. GAINZA y HUGO F. GIMÉNEZ, *Calor de hidratación de los cementos nacionales, determinado por el método del calorímetro de disolución*. Memorias del I Simposio sobre Ligantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, tomo I, La Plata, 1966.
- 45) ALBERTO S. C. FAVA y ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Estudio de las características de los hormigones a colocar bajo agua por el método de tolva y tubería, en el túnel Paraná-Santa Fe*. LEMIT, 1966.
- 46) VÍCTOR E. MAURIÑO y TULIO A. LIMOUSIN, *Condiciones estructurales del grupo de "La Tinta" y su relación con el comportamiento mecánico de las rocas ortocuarcíticas*. Proceedings del I Congreso Internacional de Mecánica de Rocas. Lisboa, tomo I, tema II, 1966.
- 47) JOSÉ F. COLINA, MARCELO WAINSZTEIN y OSCAR R. BATIC, *Durabilidad de hormigones de cemento portland. Experiencias realizadas en el LEMIT. (Ataques de sulfatos y reacción álcalis-áridos)*. Publicación N° 115, serie II, del LEMIT, La Plata, 1967.
- 48) PEDRO GARCÍA GAUSI, *Estudios experimentales de orientación realizados en el LEMIT sobre las deformaciones lentas del hormigón*. Publicación N° 76. Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. La Plata, 1967.
- 49) ALBERTO GIOVAMBATTISTA, *Estudio de las escorias de altos hornos provenientes de San Nicolás, con vistas a su empleo como áridos gruesos en hormigones de cemento portland*. LEMIT, 1967.
- 50) RAÚL J. MANUELE y EPIFANIO ROZADOS, *La corrosión del hierro en estructuras de edificios*. Publicación N° 111, serie II, del LEMIT. La Plata, 1967.
- 51) RAÚL J. MANUELE y EPIFANIO ROZADOS, *Experiencias de laboratorio sobre la acción de los cloruros sobre el hierro empotrado en el hormigón*. Revista "Informaciones IRAM". Buenos Aires, vol. 31, N° 1, 1967.
- 52) RAÚL J. MANUELE, *Ensayos potenciostáticos. Tentativa de ensayo de un mortero de cemento metalúrgico*. Jornadas Técnicas del LEMIT. La Plata, noviembre de 1967.

- 53) V. VETTERE y M. A. DIFINO, *Determinación directa del calcio y magnesio en cemento portland por titulación complejométrica con EDTA*. II Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1967.
- 54) RAÚL J. MANUELE, W. CANO OLAZÁBAL y C. C. CLINCKSPOOR, *Apreciación de la agresividad de las escorias de alto horno sobre el hierro. Su influencia en los morteros y hormigones de cemento portland*. II Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1967.
- 55) JOSÉ F. COLINA, ALBERTO GIOVAMBATTISTA y HORACIO RODRÍGUEZ PRESSA, *Análisis estadístico de las dosificaciones de hormigones de cemento portland realizadas en el LEMIT durante los años 1960 a 1967*. II Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1967.
- 56) OSVALDO ZAPPETINI, *Estudio experimental del módulo de elasticidad del mortero, en función de la razón agua/cemento*. II Simposio de Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1967.
- 57) RAÚL J. MANUELE y C. C. CLINCKSPOOR, *Ensayos potenciosfáticos de las características de polarización del hierro empotrado en morteros de cementos portland. Influencia de los cloruros*. Sesiones Químicas Argentinas. Córdoba, 1967.
- 58) ALBERTO S. C. FAVA, *Corrosión de las armaduras de acero en las estructuras de hormigón armado. Reparación de las estructuras afectadas*. Revista "Corrosión". Centro Argentino de Estudios de la Corrosión. La Plata, año 2, N° VI-VII, 1968.
- 59) RAÚL J. MANUELE y EPIFANIO ROZADOS, *La corrosión del hierro en las estructuras de hormigón*. Revista del Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires, N° 62, La Plata, 1968.
- 60) ALBERTO S. C. FAVA, *Variación de la calidad del hormigón de obra. Aplicación de principios de carácter estadístico para apreciar la calidad y variación de características del hormigón*. Publicación N° 129, serie II, del LEMIT. La Plata, 1968.
- 61) VICENTE D. RASCIO y WALTER O. BRUZZONI, *Estudios sobre aplicación de revestimientos de tipo epoxídico como protección de las estructuras de hormigón expuestas al contacto con un medio agresivo*. LEMIT, 1969.
- 62) ALBERTO S. C. FAVA, *Algunos hechos relacionados con la durabilidad de las estructuras de hormigón liviano*. Simposio Internacional sobre Hormigones de Áridos livianos. Budapest, 1967. Publicación N° 135, serie II, del LEMIT. Anales N° 2 del LEMIT, 1969.
- 63) CÉSAR R. CORTELEZZI, ADRIÁN INÍGUEZ RODRÍGUEZ y A. GIAI, *Estudio mineralógico de algunas calcedonias argentinas*. IV Jornadas Geológicas Argentinas, 1969. Publicación número 173, serie II, del LEMIT, La Plata.
- 64) JOSÉ F. COLINA, MARCELO WAINSZTEIN, RAFAEL BATIC, ALBERTO GIOVAMBATTISTA, MILAN KLARIC, CLAUDIO MINIUSSI, LUIS A. MENNUCCI, EPIFANIO ROZADOS, ADRIÁN INÍGUEZ RODRÍGUEZ y JAIME GAINZA. Coordinador: ALBERTO S. C. FAVA, *Estudio experimental del efecto de la adición de escorias granuladas de altos hornos al cemento portland*. LEMIT, 1969.
- 65) JOSÉ F. COLINA, ALBERTO GIOVAMBATTISTA y MILAN E. KLARIC, *Hormigones livianos para uso estructural elaborados con arcillas expandidas de fabricación nacional*. II Simposio de Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1969. Publicación N° 123, serie II, del LEMIT. La Plata, 1969.
- 66) VÍCTOR MAURIÑO, *Influencia de las características geológicas de las areniscas cuarzosas sobre sus condiciones técnicas de aplicación*. Proceedings del I Congreso Internacional de la International Association of Engineering Geology. París, tomo I, 1970.
- 67) MARCELO WAINSZTEIN y RAFAEL BATIC, *Experiencias realizadas en el LEMIT sobre el compartamiento de los cementos del tipo portland-puzolánico de fabricación nacional expuestos a la acción de los sulfatos*. III Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1970.
- 68) JOSÉ F. COLINA, MARCELO WAINSZTEIN y RAFAEL BATIC, *Análisis de las características de los cementos portland nacionales ensayados entre los años 1965 y 1969*. Publicación número 155, Serie II, del LEMIT. La Plata, 1970.
- 69) RAFAEL BATIC, ADRIÁN INÍGUEZ RODRÍGUEZ y MARCELO WAINSZTEIN, *Puzolanas artificiales obtenidas por tratamiento térmico de arcillas de la provincia de Buenos Aires*. Publicación N° 179, serie II, del LEMIT. La Plata, 1970 (Anales del LEMIT, N° 2, 1971).
- 70) MARCELO WAINSZTEIN, RAFAEL BATIC y J. D. SOTA, *Experiencias sobre falso fragüe de los cementos portland de importación empleados en el país durante los años 1969-1970*. Publicación N° 180, serie II del LEMIT. La Plata, 1970.
- 71) ALBERTO S. C. FAVA, *El hormigón del túnel subfluvial Paraná-Santa Fe. Experiencias de laboratorio tendientes a determinar sus características y establecer su calidad*. Publicación N° 152, serie II del LEMIT. La Plata, 1970.
- 72) ALBERTO S. C. FAVA, *Las condiciones de elaboración y el control de calidad del hormigón de obra. Su relación con los recientes colapsos de estructuras*. Anales del LEMIT, N° 4, 1970, La Plata.
- 73) ALBERTO S. C. FAVA, *Posibilidades, ventajas y condiciones generales de empleo de los aditivos en el hormigón estructural. Determinación experimental de la influencia de los aditivos sobre las resistencias mecánicas del hormigón*. Revista "Cemento-Hormigón". Barcelona, España, abril y mayo de 1972.
- 74) RAFAEL BATIC y MARCELO WAINSZTEIN, *Comportamiento de los cementos portland con diversos contenidos de óxidos alcalinos frente a la reactividad alcalina potencial*. VII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Mendoza, 1972.
- 75) JOSÉ F. COLINA, MARCELO WAINSZTEIN y RAFAEL BATIC, *Influencia del fenómeno de falso fraguado del cemento portland en hormigones empleados en obras viales*. Revista del Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires. La Plata, diciembre de 1972.

- 76) ADRIÁN IÑIGUEZ RODRÍGUEZ, PATRICIA ZALBA y OSCAR O. DECASTELLI, *La difracción de rayos X y su aplicación a la determinación porcentual de los componentes mayores del cemento portland*. IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, La Plata, 1972.
- 77) MARCELO WAINSTEIN y W. CANO OLAZÁBAL, *Durabilidad de hormigones de cemento portland expuestos a los efectos de congelación y deshielo*. VII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Mendoza, 1972.
- 78) RAFAEL BATIC y MARCELO WAINSTEIN, *Experiencias "in-situ" sobre la capacidad de resistencia de los cementos portland nacionales expuestos a la acción del agua de mar. Primeras experiencias realizadas en el país*. IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1972.
- 79) ADRIÁN IÑIGUEZ RODRÍGUEZ y PATRICIA ZALBA, *Análisis cuantitativo de escoria en cemento portland por métodos ópticos y difracción de rayos X*. IV Simposio de Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1972.
- 80) RAFAEL BATIC, MARCELO WAINSTEIN y ADRIÁN IÑIGUEZ RODRÍGUEZ, *Estudios y experiencias sobre los áridos para hormigones empleados en la zona de Bahía Blanca, en relación a la reactividad alcalina potencial*. IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1972.
- 81) JAIME A. GAINZA, BEATRIZ DEL AMO, FERNANDO GIMÉNEZ y RICARDO BIGANZOLI, *Determinación del calor de hidratación de los cementos portland, y portland con adiciones, de fabricación nacional, por el método del frasco aislante*. IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT, 1972.
- 82) VÍCTOR ANGELELLI, JORGE R. VILLA y JOSÉ M. SURIANO, *Recursos minerales y rocas de aplicación de la provincia de Buenos Aires. Características técnicas*. Anales del LEMIT, Nº 2, 1973.
- 83) ALBERTO S. C. FAVA, MARCELO WAINSTEIN y W. CANO OLAZÁBAL, *Estudios y experiencias sobre compuestos líquidos capaces de formar membranas para curado del hormigón*. Publicación Nº 259, serie II, del LEMIT. La Plata, 1973.

Lista de Publicaciones del
ITH - INSTITUTO TECNOLOGICO DEL HORMIGON

Bernardo de Irigoyen 330, Piso 3º, Oficina 149

Buenos Aires, Argentina

SERIE TECNICA

- Nº 1 — Alberto S. C. Fava y Julio Zuker, Técnicas y equipos actuales para el aserrado de juntas en los pavimentos de hormigón. 1971.
- Nº 2 — Guillermo N. Burgoa y Héctor J. Bunge, Pronóstico de la resistencia del hormigón a los 28 días por medio del ensayo a los 7 días. 1972.
- Nº 3 — Alberto S. C. Fava, Marcelo Wainsztein y Washington Cano Olazábal, Estudios y experiencias sobre compuestos líquidos capaces de formar membranas para el curado del hormigón. 1973.
- Nº 4 — Alberto S. C. Fava, Destrucción de las estructuras de hormigón por la acción agresiva de los sulfatos contenidos en aguas y suelos en contacto con las estructuras. 1973.
- Nº 5 — Alberto S. C. Fava, Posibilidades, ventajas y condiciones generales de empleo de los aditivos en el hormigón estructural. 1973.
- Nº 6 — José Domnicz y Leonardo M. Zitzer, Control de calidad del hormigón de calzada de la obra Ruta Nacional Nº 9, tramo Garín-Campana, primera sección. 1974.

