

Technology Transfer of the New Trends in Concrete

Transferencia de Nuevas Tendencias en la Tecnología del Hormigón

Report on the International RILEM Workshop
Informe del Simposio Internacional RILEM

Technology Transfer of the New Trends in Concrete / Transferencia de Nuevas Tendencias en la Tecnología del Hormigón

Report on the International RILEM Workshop
Informe del Simposio Internacional RILEM
Barcelona, 7-9 November 1994

Edited by:

Ravindra Gettu

Director, Structural Technology Laboratory
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

Antonio Aguado

Chair Professor of Structural Concrete, Department of Construction Engineering
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

Surendra P. Shah

Walter P. Murphy Professor of Civil Engineering and Director, NSF Center for the Science &
Technology of Advanced Cement-Based Materials (ACBM), Northwestern University, Evanston,
Illinois, USA

Monograph CIMNE N° 32, October 1995

Internacional Center for Numerical Methods in Engineering
Gran Capitán s/n, 08034 Barcelona, España

The cover designed by: Jordi Pallí

First published, October 1995

Edited by:
International Center for Numerical Methods in Engineering
C/ Gran Capitán, s/n
08034 Barcelona, Spain

© The authors

ISBN: 84-87867-65-0
Deposito Legal: B-41310-95

**Report on the International RILEM Workshop on
Technology Transfer of the New Trends in Concrete (ConTech'94)**
Barcelona, Spain, November 7-9, 1994

Chaired by
S.P.Shah and A.Aguado

Organized by
the Department of Construction Engineering, School of Civil Engineering,
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain;
the International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Barcelona, Spain; and
the NSF Center for the Science & Technology of Advanced Cement-Based Materials, Northwestern University,
Evanston, Illinois, USA

Sponsored by
the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures (RILEM);
the Commission of the European Communities;
Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Madrid, Spain; and
Centre d'Informació i Desenvolupament Empresarial de la Generalitat de Catalunya (CIDEM), Barcelona, Spain

**Informe del Simposio Internacional RILEM Sobre la Transferencia
de Nuevas Tendencias en la Tecnología del Hormigón**
Barcelona, 7-9 Noviembre 1994

Presidido por
S.P.Shah and A.Aguado

Organizado por
Departamento de la Ingeniería de la Construcción, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat
Politécnica de Catalunya, Barcelona;
Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), Barcelona; y
el NSF Center for the Science & Technology of Advanced Cement-Based Materials, Northwestern University,
Evanston, Illinois, EE.UU.

Patrocinado por
International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures (RILEM);
Comisión de las Comunidades Europeas;
Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Madrid; y
Centre d'Informació i Desenvolupament Empresarial de la Generalitat de Catalunya (CIDEM), Barcelona

Contents

Committee membership and Workshop sponsors	vi
Workshop program	vii
Preface	ix
1 Organizers' Report	1
2 Role of the Industry in Technology Transfer: Dragados' Experience in EU projects <i>by J.M. Morón García</i>	5
3 Report on Session I <i>by V. Sánchez-Gálvez</i>	15
4 Report on Session II <i>by B.I.G. Barr</i>	23
5 Report on Session III <i>by F. Massazza</i>	33
6 Report on Session IV <i>by R. Bakker</i>	39
7 Report on Plenary Session <i>by R. Gettu</i>	47
8 Transferencia de Tecnología en el Campo de Hormigón. La Experiencia de la E.T.S. Ing. de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona <i>por A. Aguado y R. Gettu</i>	53
9 Informe de la Sesión I <i>realizado por F. Martínez Abella</i>	67
10 Informe de la Sesión II <i>realizado por L. Agulló</i>	79
11 Informe de la Sesión III <i>realizado por P. Roca Fabregat</i>	85
12 Informe de la Sesión IV <i>realizado por P. Roca Fabregat</i>	91
13 Informe de la Sesión Plenaria <i>realizado por A. Aguado</i>	97
14 Investigación y Empresa <i>por J.L. González Triguez y J.M. Mieres Royo</i>	103

Committee membership

International Advisory Committee

L. Albajar Molera (ALVI S.A., Spain)	M. Maage (Selmer A.S., Norway)
M.C. Andrade (Instituto Eduardo Torroja, Spain)	F. Mañá Reixach (ITEC, Spain)
R. Bakker (CEMIJ B.V., The Netherlands)	F. Massazza (Italcementi, Italy)
F. Bezat (MTS Systems, Germany)	M. Mathieu (Matière, France)
M. Brusin (RILEM, France)	L.H. McCurrich (Fosroc International, U.K.)
T.A. Bürge (SIKA AG, Switzerland)	J.M. Mieres Royo (Cubiertas y Mzov, Spain)
J. Calavera (INTEMAC, Spain)	M. Moukwa (Master Builders, USA)
P. Fidjestøl (Elkem A/S Materials, Norway)	D.E. Nemegeer (N.V. BEKAERT, Belgium)
J.M. Gálligo Estévez (CEDEX, Spain)	J. Rodríguez (Geocisa, Spain)
Ch.F. Hendriks (Intron, The Netherlands)	S. Rostam (COWIconsult, Denmark)
B. Hillemeier (Tech. Univ. Berlin, Germany)	J.P. Skalny (Consultant, USA)
R. Hodgkinson (Taylor Woodrow, U.K.)	M. Sugita (Shimizu Corp., Japan)
J.J. Jensen (SINTEF, Norway)	N. Thaulow (G.M. Idorn Consult, Denmark)
J.C. López-Agüi (IECA, Spain)	J.A. Torroja (Col. de Ing. Caminos, C. y P., Spain)
J.M. López Saiz (FCC S.A., Spain)	A. del Valle (SEOPAN, Spain)
A. Lydon (Commission of the E.C., Belgium)	

Organizing Committee

Antonio Aguado	Ravindra Gettu	Luis Agulló
Pere Roca	Padma Gettu	Andrea Henríquez
Sergio Carmona	Berenice Carbonari	Gilberto Carbonari
José Toribio da Silva	Miguel Angel Pindado	Barbara Aparicio

Workshop sponsors

The generous support given to ConTech'94 by the following organizations is gratefully acknowledged.

Ajuts CIRIT per Potenciar els Grups de Recerca de Qualitat, Pla de Recerca de Catalunya
 Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional (SEOPAN)
 Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP)
 Asociación Técnica Española del Pretensado (ATEP)
 Association Européenne du Ciment (CEMBUREAU)
 Brite/EuRam Programme, Commission of the European Communities
 Centre d'Informació i Desenvolupament Empresarial (CIDEM), Generalitat de Catalunya
 Centre de Transferència de Tecnologia de la Universitat Politècnica de Catalunya
 Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), Barcelona
 Centro de Enlace Value, Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)
 Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
 Comisió Interdep. de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT), Generalitat de Catalunya
 Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Educación y Ciencia
 Conselleria de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya
 Departament de Enginyeria de la Construcció, UPC
 E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Barcelona)
 Grupo Español del Hormigón (GEHO)
 Human Capital and Mobility Programme, Commission of the European Communities
 Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)
 MTS Systems
 Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
 Xarxa Temàtica CIRIT de Propietats Mecàniques dels Materials, Pla de Recerca de Catalunya

Workshop Program

Opening Lecture: S.P. Shah (NSF ACBM Center, USA), *Recent Trends in the Science and Technology of Concrete.*

Session I *Effect of the Microstructure on Performance and Utilization*

Chairs: J.M. Gállego (CEDEX, Spain) & J. Calavera (INTEMAC, Spain)

Reporter: V. Sánchez-Gálvez (UPM, Spain)

H.-W. Reinhardt (Univ. Stuttgart, Germany), *Relation Between the Microstructure and the Structural Performance of Concrete*

P.-C. Aïtcin (Univ. de Sherbrooke, Canada), *Concrete Admixtures - Key Components of Modern Concrete*

P.J.M. Monteiro (Univ. of California, USA), *Performance Analysis of Lightweight Aggregate Mortar (by P.R.L.Helene and P.J.M.Monteiro)*

J.F. Young (Univ. of Illinois, USA), *Engineering Advanced Cement-Based Materials for New Applications*

Session II *Mechanical Behavior: Characterization, Modeling and Design*

Chairs: I.Carol (UPC, Spain) & M. Fernández-Canovas (UPM, Spain)

Reporter: B. Barr (Univ. of Wales, UK)

F. de Larrard (LCPC, France), *High Performance Concrete: From the Laboratory to Practical Utilization*

Z.P. Bazant (Northwestern Univ., USA), *Concrete Creep and Shrinkage Prediction Models for Design Codes: Recent Results and Future Directions (by Z.P.Bazant and S.Baweja)*

S.P. Shah (NSF ACBM Center, USA), *Engineering of Cement-Based Composites (by S.Marikunte and S.P.Shah)*

Design for Ductility by H.H. Bache, summarized by B.Barr

Session III *Long Term Performance of Structures: Durability, Quality and Testing*

Chairs: E. Vázquez (UPC, Spain) & A.-M. Paillere (LCPC, France)

Reporter: F. Massazza (Italcementi, Italy)

L.-O. Nilsson (Chalmers Univ. of Tech., Sweden), *The Relation between the Composition, Moisture Transport and Durability of Conventional and New Concretes*

C. Andrade (Inst. Eduardo Torroja, Spain), *Quantification of Durability of Reinforcing Steel*

S. Rostam (COWIconsult, Denmark), *Design for Durability: The Great Belt Link*

A. Henrichsen (Dansk Beton Teknik, Denmark), *Quality of Concrete Structures*

M. Ohtsu (Kumamoto Univ., Japan), *New Trends in Nondestructive and In Place Testing of Concrete Structures*

Session IV *Manufactured Components and Construction*

Chairs: **A. Aparicio** (UPC, Spain) & **J. Rodríguez** (Geocisa-Dragados, Spain)

Reporter: **R.F.M. Bakker** (CEMIJ, Netherlands)

A. Skarendahl (Swedish Cement and Concrete Inst., Sweden), *Development and Use of Steel Fibre Shotcrete*

J.A. Fifield (Forticrete, UK), *Development of Environmental Concrete Products*

J.J. Jensen (SINTEF Structures and Concrete, Norway), *Structural Aspects of High Strength Concretes*

R. Taivalkoski (Partek Corporation, Finland), *New Manufacturing Technology for High Quality Precast Concrete Components*

F. Seible (Univ. of San Diego, USA), *Strengthening and Retrofit of Existing Concrete Bridges and Buildings*

Plenary Session *The Technology Transfer Process: Case Studies, Experiences*

Chairs: **M.C. de Andrés** (Min. Industry, Spain) & **A. Marí** (UPC, Spain)

Reporter: **R. Gettu** (UPC, Spain)

Presentation of the activities of the Center for the Technological Development of Industry.

J.M. Morón García (Dragados, Spain), *Role of the Industry in Technology Transfer: Experience of Dragados in European Community Projects*

S. Rostam (COWIconsult, Denmark), *Technology Transfer: Stick or Carrot?*

A. Aguado (Univ. Poli. de Catalunya, Spain), *Technology Transfer in the Field of Concrete: The Barcelona Experience (by A.Aguado and R.Gettu)*

Technology Implementation: Barriers and Opportunities, by J.P.Skalny and M.M.Majesky, summarized by R.Gettu

Panel Discussion: The Technology Transfer Process - Thrust Areas, Tools, Barriers, Education

Moderator: **S.P. Shah**

Panelists: **F. Massazza, B.I.G. Barr, R.F.M. Bakker, M.C. de Andrés, S. Rostam and A.Aguado**

Preface

Technology transfer is best accomplished by establishing dialogue and cooperation between academia and practice. Only with a greater understanding of the industrial needs can scientists apply their skills to solve existing problems and to improve technology. On the other hand, the sharing of common fora increases the exposure of industry to new developments and to the exploitation potential of research. With the primary objective of bringing together industrial experts and researchers, the International RILEM Workshop on Technology Transfer of the New Trends in Concrete (ConTech'94) was held in Barcelona (Spain) during November 7-9, 1994.

This publication reports on the proceedings of the technical sessions of ConTech'94. It begins with an organizers' report and includes the summaries of the discussions that took place during the workshop. The reports in Spanish also summarize the lectures presented in the various sessions. This work complements the book *Concrete Technology: New Trends, Industrial Applications*¹ that contains the papers corresponding to the invited lectures presented at ConTech'94. One of the papers that was not included in that book, along with the Spanish version of another, appears as a chapter here. The final chapter, in Spanish, presents the thoughts of two industrial experts, who participated in the workshop, on technology transfer.

The efforts of the invited lecturers, session chairpersons and reporters are gratefully appreciated by the editors. Thanks are also due to all the participants who were actively involved in the discussions of the various sessions. The workshop and the publications were made possible by the overwhelming support of several persons, as well as various organizations, which have been listed on a previous page. Special thanks are given to RILEM, the Commission of the European Communities (Brite/EuRam Programme, and the Euroconference Action of the Human Capital and Mobility Programme), the Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), and the Centre d'Informació i Desenvolupament Empresarial (CIDEM). We are also grateful to all those who have contributed directly to the organization of the workshop, especially to Professors Eugenio Oñate, Luis Agulló and Pere Roca, and to Ms. Padma Gettu.

*Ravindra Gettu
Antonio Aguado
Surendra P. Shah*

September 1995
Barcelona, Spain
and Evanston, USA

¹ Eds. A. Aguado, R. Gettu and S.P. Shah, E&FN Spon, London, 1995, 363 p.

International RILEM Workshop on Technology Transfer of the New Trends in Concrete (ConTech'94) Barcelona, Spain, 7-9 November 1994

Organizers' Report

1. INTRODUCTION

The International RILEM Workshop on Technology Transfer of the New Trends in Concrete (ConTech'94) was held at the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). It was organized by the UPC, the International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE, Barcelona), and the NSF Center for the Science & Technology of Advanced Cement-Based Materials (ACBM, Northwestern University, Evanston, USA). ConTech'94 was sponsored by the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures (RILEM), the Commission of the European Communities, the Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI, Madrid) and the Centre d'Informació i Desenvolupament Empresarial de Generalitat de Catalunya (CIDEM, Barcelona).

The workshop had two primary objectives. First, to discuss the incorporation of recent developments and research results in the concrete technology for the present and the future. Secondly, to help bridge the gaps between research and practice, and between more and less developed sectors in the field of concrete. 100 participants attended the workshop, 88 of whom were from the European Union (including 11 young researchers whose participation was partially funded by the European Commission). The official language of the workshop was English, and simultaneous translation between Spanish and English was provided. In all, 23 lectures were presented by experts from Europe, America and Japan, on topics covering the important aspects of concrete technology. The papers corresponding to the lectures are included (all except two) in a book published by E & FN SPON (a division of Chapman and Hall), London [1]. The summaries of the workshop sessions, in English and Spanish, are included in this post-workshop report [2] (along with one paper that was not in the proceedings).

2. WORKSHOP SESSIONS

The workshop started on the morning of the 7th of November, with the opening session that included the welcome addresses on behalf of the organizing institutions and RILEM. This was followed by the introductory lecture by S.P. Shah on the recent trends in the science and technology of concrete. This talk dealt primarily with the recent achievements at the ACBM Center in materials research and technology transfer.

There were four half-day technical sessions where the trends in the different areas of concrete technology were reviewed and their industrial applications were presented. The workshop closed with a

half-day plenary session, where there were four lectures on case studies and on the process of technology transfer, along with a panel discussion. The panelists included participants from universities, industry and government bodies. At least one hour was allotted in each session for the discussion of general and broader issues that were not treated during the discussions of the individual lectures.

The issues presented and discussed in the sessions were:

(a) *Session on the effect of the microstructure performance and utilization.* The lectures were presented by H.W. Reinhardt on relations between microstructure and structural performance, by P.-C. Aitcin on admixtures, by P.J.M. Monteiro on performance analysis and mix design, and by J.F. Young on cement-based materials for new and unconventional applications.

(b) *Session on mechanical behavior.* The lectures were presented by F. de Larrard on high performance concrete, by Z.P. Bazant on creep and shrinkage, and by S.P. Shah on the engineering of fiber-reinforced composites. The paper of H.H. Bache on the design for ductility using fracture mechanics was summarized by B. Barr.

(c) *Session on long term performance of structures.* The lectures were presented by L.-O. Nilsson on relations between the microstructure and durability, by C. Andrade on the quantification of durability and the protection of reinforcement, by S. Rostam on the design for durability with reference to the Great Belt Link, by A. Henrichsen on quality assurance, and by M. Ohtsu on non-destructive and in-place testing of structures.

(d) *Session on manufactured components and construction.* The lectures were presented by Å. Skarendahl on steel fibre shotcrete, J.A. Fifield on environmental products, J.J. Jensen on high strength concrete structures, R. Taivalkoski on the manufacturing technologies for precast elements, and F. Seible on the strengthening and retrofitting of existing structures.

(e) *Session on the technology transfer process - case studies, experiences.* The lectures were presented by J.M. Morón on the role of industry, S. Rostam on the achievements of European Community projects and the needs of European industry, and A. Aguado on the technology transfer experience in the Barcelona school. The paper of J.P. Skalny on the barriers and mechanisms of technology implementation was summarized by R. Gettu.

(f) *Panel discussion on the technology transfer process - thrust areas, tools, barriers, education.* The panelists were A. Aguado, M.C. de Andrés, R.F.M. Bakker, B. Barr, F. Massazza and S. Rostam. The discussion was moderated by S.P. Shah.

3. GENERAL CONCLUSIONS REGARDING TECHNOLOGY TRANSFER

The diversity of the workshop participants brought out the differences that exist in the field of concrete technology, especially between research and practice. The point of view depends also on the country, the

specialization (e.g., microstructure versus structural mechanics) and the background (materials versus structural engineering) of the individual. However, all were of the opinion that the differences have to decrease, and that the benefits due to scientific and technological developments need to increase. The solutions that were proposed for this purpose include:

- The participation of industry in applied research right from the beginning of a project (even if the involvement is only indirect). Direct funding from industry is beneficial, especially in the final stages leading to product or technology development.
- The increase in the dialogue between research and practice through multidisciplinary projects, technology transfer workshops and seminars.
- The including of articles dealing with applied technology in scientific journals.
- Strengthening the role of "gate-keepers", i.e., agencies and individuals in industry who monitor scientific and technological developments, and transfer potential results to practice for exploitation.

The training and continuing education of technicians and practising engineers were also considered to be very important. The main objective of such projects should be to increase the quality of all the personnel involved in the construction sector. Courses organized by universities for this purpose should focus on specific problems and needs of industry.

Previous experiences indicate that technology transfer is successful when the industry actually initiates the research process rather than just utilizing the results or being involved to only to improve the "corporate image". In order to encourage such active participation of industry in research, government agencies should:

- Improve the system of awarding contracts for public works. The present approach where the contract is awarded to the lowest bidder should be modified to provide incentives for technologies that are based on innovations, improve the quality and are environmentally friendly. Moreover, the level of quality required in the project should be specified in the terms of the contract.
- Guarantee the exploitation of research undertaken by the construction sector by giving preference to those involved in R & D.

Most of the workshop participants were of the view that national and international codes deter innovation due to their increasingly detailed and conservative nature. It was suggested that codes should be more general and conceptual, and should be complemented with performance standards that can be produced by trade and scientific organizations.

In general, the difficulty in systematically implementing the technological advances in the sector was acknowledged. This may be attributed to the lack of training as well as other factors. The most

important barrier to technology implementation seems to be the human factor (i.e., the inertia and resistance to change). Quality control is another aspect that has not improved significantly in spite of all the effort that has been focussed on it. It appears that the quality control process should be more active in the initial stages of the construction process and in the critical factors that need to be controlled in the following stages, rather than involve an exhaustive monitoring of all the stages involved. Also, a need for more funded projects in the area of concrete fabrication was identified, to include the processes of mixing, compaction and curing.

The new trends in concrete technology that seem to have a promising future include: quality management in construction, environmentally-friendly technologies, design for durability, non-conventional applications of concrete, structural utilization of fiber-reinforced concrete, non-destructive evaluation of structures, and the repair and rehabilitation of existing infrastructure.

REFERENCES

1. Aguado, A., Gettu, R., and Shah, S.P., Editors, **Concrete Technology: New Trends, Industrial Applications**, RILEM Proceedings 26, E & FN SPON, London, 1995, 363 p.
2. Gettu, R., Aguado, A., and Shah, S.P., Editors, **Technology Transfer of the New Trends in Concrete: Report on the International RILEM Workshop**, published by CIMNE, Campus Norte UPC, Edificio C-1, Gran Capitán s/n, E-08034 Barcelona, Spain, 1995.

Role of the industry in technology transfer
Dragados' experience in EU projects

JUAN MANUEL MORÓN GARCÍA
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.
Technical Director

1. INTRODUCTION

The purpose of my participation is to tell you about DRAGADOS' experience in European RTD projects and the technology transfer mechanisms we have used.

First, however, I will briefly mention the reasons why my company decided to participate in projects of this type. Therefore, my lecture will be structured in the following way:

- JUSTIFICATION of the PARTICIPATION in EUROPEAN PROJECTS
- TRANSFER MECHANISMS
- DESCRIPTION of TWO PROJECTS

2. JUSTIFICATION of PARTICIPATING in EUROPEAN PROJECTS

2.1. Justification of a construction company's need for RTD

- * It is not necessary to point out in this forum the strategic importance of the construction industry in all our countries. Its repercussions on the GNP and on creating gross capital are decisive for the economy of any country. All our efforts to increase efficiency within the construction industry will have positive repercussions on the industry itself and on our respective countries.
- * Furthermore, the economic importance of maintenance, repair and replacement expenses for what has already been built makes us double our efforts to build better so that the overall cost (construction plus maintenance) is reduced to the absolute minimum.

Therefore, all the investments we can make to research and develop technologies that reduce the cost of maintenance, repair and replacements are highly profitable in themselves.

A company, like DRAGADOS, which endeavors to offer integrated services as an important part of its activity, cannot ignore technological improvement of the processes it uses.

- * Additionally, RTD in construction is done away from the jobsite by Governmental entities and, to a lesser extent, by manufacturers of materials and equipment. There is little participation by construction companies. Research Centers provide knowledge, guidelines for designing, standards, codes and regulations, etc. But they do not produce new products, new techniques and construction processes or new tools, etc.

As a result, it is essential that construction companies participate in RTD projects oriented towards these later concepts left uncovered by other construction agents.

2.2. Future Scenarios in the Construction Industry

The Construction Industry will have to face some new challenges in upcoming years. Some of these will involve:

- . More requirements resulting from the Environmental Policy. Thus, sustainable development will mean:
 - . limited use of raw materials
 - . better management of raw materials
 - . reusing materials
 - . recycling materials
 - . using ecological materials
 - . using all types of waste products
 - . using marginal materials
 - . considering durability of the materials and of the finished product
 - . considering the cycle of materials, etc.
 - . soil recovery

The Environmental Policy will also require better conservation and less energy consumption (in buildings, etc.).

- . The need to improve comfort in buildings will signify:
 - . reducing air and noise pollution
 - . providing intelligence systems in buildings and their surroundings
 - . considering fire safety in buildings
 - . considering users with specific demands (elderly, single people, the disabled, etc.).

- . We will have to evaluate and maintain what we have built up to date (buildings, infrastructures, etc.). Today, this represents 35% of the industry's activity.
- . We will have growing demands for Quality Assurance.
- . We will have to continue working towards bringing into harmony the standards and requirements of the different countries of the European Union, definition of Standards, etc. All of this requires preliminary research in numerous areas such as the following, for example:
 - behavior in case of fire
 - quality behavior
 - air requirements
 - techniques to measure pollution produced by construction materials
 - risk of sliding on soils
 - evaluation and measurement of noise, etc.
 - evaluation of deteriorated structures
 - new materials
- . We will have to respond to greater demands in Safety and Hygiene at the jobsite.
- . We must face the progressive aging of the European population.
- . We must support the countries of Eastern Europe.
- . There will also be new requirements derived from other industrial sectors that use construction, such as:
 - design and construction of infrastructures for private clients.
 - design and construction of underground spaces for various uses.
 - design and construction of large enclosed spaces with climate control for agricultural use or in cold zones, etc.
- . and so on

Any contractor who intends to be present in the markets of the future must foresee updating his technologies. Furthermore, there will be greater competition due to the progressive internationalization of the economy and, therefore, the need for greater productivity in the companies will demand:

- using new design procedures
- using new construction procedures
- using new materials (concrete with fibers, plastics, HRC high resistance strength concrete, etc)
- upgrading traditional equipment
- upgrading traditional processes
- applying Information Technologies (CAD, CIM, Lean production, simulation techniques, etc.)
- using EDI
- using mecatronics
- considering the competitive risk represented by the development of Japanese robots
- further industrialize construction
- the growing need to train specialists to use the new technologies.

2.3. Actions to make the Construction Industry more Competitive

In view of these challenges, the Construction Industry must become more competitive in order to respond to society.

The tremendous job before us of perfecting all types of technologies necessary to meet these challenges affects us in two ways:

- . On the one hand, in many fields the level of RTD must be increased.
- . And what, in my opinion, is more important, is the need to develop the knowledge of the technical staff in this industry through the two classical methods of training and information.

We will not be able to develop the first part, that is research, if we do not have adequate people. This is why as much effort should be dedicated to technological training and transfer as is dedicated directly to research. In this respect, we should support the Community entities in:

- helping to spread knowledge about and use existing technologies. Most of the necessary technologies already exist. They must be made known and their application must be taught. The diffusion of knowledge is essential. This mainly affects the small and medium sized companies.
- make RTD more effective by coordinating and exchanging information between countries and different agents.

Finally, we should improve not only the level of knowledge but also its diffusion and transfer, especially to the industry which is where this knowledge will be applied in the end.

2.4. European Projects

The possibilities offered by the successive Framework Programs and their specific Programs has been taken advantage of by many companies, including DRAGADOS, to carry out projects requiring greater outside collaboration.

It is true that the projects supported by the European Union represent a high cost in the preparation of proposals, and for travel, meetings, fax, reports, etc., especially when the participating members are located far apart from each other. However, they also represent the possibility of:

- Establishing relationships between researchers and the technical staffs of different European organizations,
- promoting interaction between industry and research centers and
- complementing the capacities of our companies, etc.

These positive values amply compensate the inconveniences.

3. TECHNOLOGY TRANSFER MECHANISMS

The need to constantly update our technical knowledge is evident today. There is a study showing that only 50% of our present knowledge will be useful seven years from now. Some say sooner.

Thus, in addition to setting up annual training programs for our employees, we at Dragados have found that participating in the Community's RTD projects is in itself an invaluable mechanism for transferring technology to our company.

The external groups with which we are in contact include universities, research centers, consultants and other contractors. As you can imagine, the spectrum of knowledge acquired during the development of a project is wide, complete and relatively straight forward.

We are satisfied with the research objectives that have been successfully covered in most cases. And we are perhaps even more pleased with the knowledge acquired from the other participants and with the relationships established with them. We all hope they will be useful

in future occasions.

The technology transfer mechanisms that we use within the company are classical: publications and seminars on subjects related to the projects.

Nevertheless, the final transfer occurs when the knowledge acquired is applied at the jobsite. This has been possible in certain cases, two of which I will comment on now.

At this time, my group is participating in the Projects shown in Table 1.

Let me briefly tell you about the concrete material used in two of our projects.

4. EXAMPLES of RESEARCH and TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT PROJECTS

4.1. BRITE BE-5480 High Strength Concrete Project

The basic data on this project is shown in Table 2. The purpose of this project is to efficiently apply current knowledge on high strength concrete, using the components available in the participating countries.

Participants in this project include entities from five countries (Norway, Finland, Holland, England and Spain) as well as research centers, laboratories, consultants and construction companies.

The project is currently underway and it is foreseen that the developments made to date will be applied when building two viaducts 230 meters long each in Puerto Real.

The developments made to date concern:

- . the methodology for designing the mix
- . the study of mechanical properties
- . structural behavior (development of structural design criteria)
- . concrete production and transport to the site
- . quality control applicable to this type of concrete

4.2. BRITE BE-3415 Project on Concrete Paving

The basic data on this project is shown in Table 3.

The purpose of this project is to optimize the properties of concrete paving to reduce the amount of noise made by traffic without reducing road safety.

Organizations from three countries (Germany, Holland and Spain) as well as universities, research centers and companies participate in this project.

Research results have been applied to the construction of three test road sections, one in each country.

During the development of this project, which ended in April of this year, the following topics were studied:

. A wearing course formed of porous concrete:

- The composition of the concrete for the wearing course was:

Maximum aggregate size:	8-12 mm
Acrylic polymer (product):	5-10% of cement weight
Accessible porosity:	25% (V/V%)
Compressive strength:	18-20 MPa
TS (Brazilian):	2 MPa

- Paving process:

Two different construction solutions were studied, the economic feasibility of which will depend on optimization of the mix and of the construction system used:

Wet/wet: spreading the porous concrete on a layer of concrete that has not set yet.

Wet/dry: spreading the porous concrete on a layer of conventional concrete or of dry, compacted concrete placed various days before.

- . Study of the texture of conventional concrete (longitudinal or transversal concrete; exposed aggregate; etc.).

- . Techniques for measuring the surface characteristics of pavements:

Method for measuring the noise produced by tires rolling on the pavement, by mobile equipment (trailer), developed by TU Berlin and Geocisa.

Measurement of surface texture by laser technology, perfected by TU Berlin and Geocisa.

Measurement of how well the tires adhere to the pavement, using the test methods usually employed in Germany, Spain and Holland.

Studies on reducing noise to a minimum:

Study of how noise is made. Measurement of noise, adherence and texture of existing asphalt concrete and concrete pavements. Determination of the ideal surface in the cases of dense and of porous concrete, from the point of view of noise reduction. The best pavements seem to be those with a high content of open pores and with textures with wave lengths between 1 and 10 mm. It should be pointed out that at high speeds (over 80 kms./hr, for example), the noise made by the wheels is greater than the noises made by other parts of the vehicle, such as the engine, for example.

The noise measured on Spanish pavements by the trailer is:

- For dense concrete:
 - longitudinal texture: 96-100 dB(A)
 - transversal texture: 98-104 dB(A)
- Porous asphalt concrete: 94-98 dB(A)
- Porous concrete: 96-98 dB(A)

Finally, based on the experience obtained from the project, recommendations were written on how to improve surface properties when building concrete pavements.

5. CONCLUSION

I hope I have transmitted to you the possibilities offered by this type of European Projects for transferring technology between such diverse entities as those involved in the projects considered today.

T A B L E 1

COMPANY	PROJECT TITLE
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	BRITE/EURAM BRE-5480 "Economic design and construction with high strength concrete"
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	BRITE/EURAM BE-5332 (EDMOND) "Preventive and predictive maintenance of crushing plants"
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	BRITE/EURAM BE-3415 "Improving the surface properties of concrete pavements (noise, adherence, water drainage capacity)" (Porous Concrete)
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	BRITE/EURAM BE-5482 "New materials, design methods and construction techniques for underground structures in soft rock and clay" (Special shotcrete)
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	BRITE/EURAM BE-4062 "Development of building modules technology (Cubic modules)"
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.	BRITE/EURAM BE-4062 "Development of a model to predict the working life of deteriorated concrete structures (corrosion of reinforcing steel, action of freezing or aggregate//alkali reaction)"
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.	BRITE/EURAM BE-3415 "Improving the surface properties of concrete pavement (noise, adherence, water drainage capacity)"
SICE	CAUDI-GENERALIZED AND ADVANCED URBAN DEBITTING INNOVATIONS (DRIVE II) (BRITE/EURAM)
SICE	ARTIS-ADVANCED ROAD TRANSPORT INFORMATICS IN SPAIN (DRIVE II) (BRIGE/EURAM)

TABLE 2 - BRITE BE-5480 Project on High Strength Concrete

TITLE: "Economic design and construction with high strength concrete"

PARTICIPANTS: Spain: Dragados, Geocisa (subcontractor)
UK: Taywood Eng. (Coordinator), Ove Arup, Pioneer
Holland: HBG, TU Delf, DUR, Smals, Bentonson
Finland: VTT
Norway: Sintef

DURATION: Starting date: January 1993
Finishing date: December 1995

BUDGET: Total: 3.50 MEcus
DRAGADOS Group: 0.46 MEcus

OBJECTIVES: To apply current knowledge on concrete with a compression strength of between 80 and 120 MPa to the economic design and construction of structures. The concrete components used were those available in the different countries participating in the project.

TABLE 3 - BRITE BE-3415 Project on Concrete Pavement

TITLE: "Optimization of the surface properties on concrete roads in accordance with environmental acceptance and traffic safety"

PARTICIPANTS: Spain: Dragados, Geocisa, IECA, University of Catalonia (School of Civil Engineering)
Holland: CUR (Coordinator), Intron, Cobeton, VNC
Germany: Hochtief, Technical University of Berlin, VDZ, BAST

DURATION: Starting date: October 1990
Ending date: April 1994

BUDGET: Total: 1.70 MEcus
DRAGADOS Group: 0.55 MEcus

OBJECTIVES: Construction of concrete wearing course layers for roads, considering:

- . Road safety
- . Noise reduction
- . Drainage capacity
- . Construction methods
- . Useful life and economic feasibility

Report on
Session I: Effect of the Microstructure on Performance and Utilization

by V. Sánchez-Gálvez
Universidad Politécnica de Madrid, Spain

*Relation between the microstructure and the structural performance of concrete***Paper presented by Reinhardt**

The paper examined the microstructure of hydrated cement paste (hcp). The correlation between the microstructure and the strength of hcp was shown, along with a linear relationship between the strength and the embedded cement volume. In general, the properties of the hcp depend on the porosity, pore size distribution and the characteristics of the pores. Other trends can also be related to these parameters, for example, the increase in the pore volume, especially that of the capillary pores, due to high w/c ratios and insufficient hydration. Several empirical relations between strength and porosity have been proposed but the shortcoming of these relations is that the pores are not characterized with respect to their sizes.

The interfaces between hcp and the solid inclusions in concrete were also analysed. The porosity of the interface is high compared to the bulk hcp and the orientation of the calcium hydroxide crystals is strong in the interface while it is random in the bulk hcp. Also, cracking due to differential thermal and hygral movement develops primarily at the grain-hcp interface.

The stress-strain behaviour of concrete is examined based on a micromechanics approach. Although the elastic behaviour can be quantitatively deduced, only qualitative predictions can be made for the post-cracking response based on the presence and distribution of flaws in the cement paste. When the flaws are reduced and the hcp is made more homogeneous, novel materials can be produced, such as the MDF (macro defect free) and DSP (densified with small particles) matrices.

In the discussion of the paper, the following comments were made: Constantinou mentioned that recent work at the Imperial College on the hcp-steel interface indicates the presence of a 20 μm region with little calcium hydroxide. Another comment was that the effect of curing on the corrosion resistance of concrete depended on the cover, type of cement, temperature and humidity. Bazant mentioned that normal concrete and high strength concrete exhibit different scale effects due to their different microstructures. Calavera stated that the microstructure is also

influenced by the loading state. Rostam commented that in Denmark increases of strength due to denser cement pastes and reduced microcracking have been observed.

Concrete admixtures - Key components of modern concrete

Paper presented by Aïteïn

After a critique on the terminology used for chemical admixtures and the large number of existing admixture types, the influence on the properties of concrete was analysed for two of them: superplasticizers and air-entraining admixtures.

Superplasticizers are presented as key admixtures to achieve durable concretes. It is recognized that a durable structure is built with a workable low water/cement concrete, which can be produced by adding an efficient dispersing admixture. Such admixtures are polymers that reduce flocculation so that more water is available to make the concrete workable. Problems of admixture-cement compatibility are studied on the basis of the sulphate content of cement. Superplasticizers that are able to work with a specific portland cement at a definite w/c ratio should be developed through cooperation between the admixture manufacturer, the cement producer and the user.

Air entrainment is normally associated with the improvement of concrete durability against freeze-thaw. However, entrained air also has beneficial effects on workability, capillarity and the development of microcracks.

In the discussion of the paper, the following comments were made: Bakker stated that besides the use of a low water/cement ratio for reducing the permeability, mineral admixtures such as blast furnace slag can also be incorporated. Reinhardt commenting on the influence of air entrainment on the freeze-thaw resistance of HPC, stated that the ASTM C 666 test standard may be too severe for the determination of durability. A comment was made about the inadequacy of slump tests, demonstrated by experience in France, and raised the question whether workability should be measured on concrete or on the cement paste. Another comment

about the simultaneous use of air entrainment and superplasticizers suggested that it is important to obtain thixotropic concrete.

Performance analysis of lightweight aggregate mortar

Paper presented by Monteiro

The mechanical and microstructural characterization of LWA mortar is reported. The aim is to achieve a mix design nomogram for obtaining concrete proportions when performance criteria are specified. An experimental program was carried out with four different mixes. Compressive, tensile and flexural strengths, and the modulus of elasticity were determined. The correlations of these properties with cement content, as well as the water/cement ratio, were obtained. Chloride permeability was also measured as a function of cement content and w/c ratio. In all cases, the mix with coated LWA aggregate and a combination of several admixtures (silica fume, fly ash and diatomite) gave the best results. The modulus of elasticity was lower but was compensated by a lower w/c requirement.

Microstructural analyses showed that LWA tends to reduce the bleed water accumulation at the interfaces between the cement paste and the particles. Also, the transition zone is smaller than that of natural sand.

In the presentation, the possibilities of using dual phase (ferrite-martensite) steels to reduce rebar corrosion in concrete were also examined.

In the discussion of the paper, the following comments were made: In response to a question by Gettu whether the fracture parameters were actually used in the industrial applications of the nomograms, Monteiro stated that the interest in fracture mechanics was mainly academic at this stage. De Larrard drew attention to the limitation of the nomogram approach in that only the influence of two parameters could be included. Shah suggested that the critical crack length would be a more useful parameter in material design than fracture energy.

Andrade commented that stainless steel rebars are not common since the quenching process, used in the manufacture of dual phase steels, makes them expensive.

Engineering advanced cement-based materials for new applications

Paper presented by Young

The properties of high performance cement-based composites (HPC) with strengths over 150 MPa were analysed. Advanced cement-based materials can now be obtained with properties similar to those of fired ceramics. Two families of HPC are presented in this paper: DSP and MDF. DSP cement pastes are much more homogeneous due to the reduction in calcium hydroxide, the elimination of the transition zone at the aggregate-paste interfaces, and the lower porosity and pore size. The compressive strength of DSP may exceed 300 MPa. MDF is a new line of cement-polymer composites. Its properties are impressive, exhibiting characteristics of both ceramics and polymers. A disadvantage is the relative high sensitivity to moisture although some progress has been made to increase the water resistance.

The paper also analyses the possible commercialization of such new materials. Currently the main barriers are the high cost and the lack of performance histories. Typically, the process of finding profitable outlets for new cement-based materials is slow though successful cases such as that of Aalborg Portland (producers of DSP) exist. Nevertheless, the university can play an important role in enhancing the industrialization of new materials.

In the discussion of the paper, the following comments were made: Massazza stated that polymer impregnated concrete (PIC) is also a good example of new cement-based materials. Calleja wanted to know whether the addition of a superplasticizer affects the air content. To a question about the fire resistance of polymer modified cement, Young identified that area as one requiring further investigation. Another comment was about the high shrinkage of MDF making it unsuitable as a protective lining of structures.

General discussion

Calleja stressed the importance of aggregates in the microstructure of concrete since the gravel-paste interface depends on the type of aggregate. He stated that the gravel-paste bond was better for limestone aggregates than for siliceous aggregates. Responding to this comment, Reinhardt agreed that this was true for small coarse aggregates but for larger ones the trend was not so clear. However, the bleeding does not depend on the aggregate type.

Another question was about the possibility of measuring all the parameters needed for modelling concrete behaviour. The answer suggested that, with current methods, the strength of the matrix could be modelled satisfactorily but further developments in testing are needed for more detailed modelling.

Andrade wanted to know about the effect of the long term hydration in HPCs with very low w/c ratios. Young replied that further work was needed on this topic and that only speculations could now be made.

To a question by Gettu whether the current scientific knowledge allows the designing of the microstructure in the field, Young replied that considerable work has been done in the important area of concrete mixing and fabrication but there still is a wide gap between the developments in laboratories and their implementation in the industry.

One participant from the Torroja Institute (IETCC) reasoned that improvements in concrete technology are of practical importance since the utilization of concrete needs to be continuously defended due to the large amount of energy needed for producing cement. Therefore, materials such as HPC are more attractive since less material is needed, making them more energy efficient.

A question was raised about test standards for the determination of water penetration in concrete as a measure of its permeability and whether a single test could be designed for quantifying the durability of concrete. In response to this, Reinhardt stated that normally the

permeability of concrete is determined at the age of 28 days when the material is saturated, and then empirical relations are used for correlating permeability and durability. In his opinion, no single existing test could measure the durability of concrete. He also mentioned later that the accuracy and sensitivity of the existing tests for permeability were not good enough.

One participant pointed out that the barrier in the transfer of materials technology to the construction industry was the lack of technical expertise in these companies and the complete reliance on standards, which do not reflect new improvements and are too slow to adapt to technological developments. However, Calavera was of the opinion that standards, in general, should be written only after the methodologies have been completely developed and validated.

*Report on
Session II: Mechanical Behavior*

by B.I.G. Barr
University of Wales, Cardiff, U.K.

TECHNOLOGY TRANSFER OF THE NEW TRENDS IN CONCRETE ; MECHANICAL BEHAVIOUR

REPORT ON SESSION II BY Dr. B.I.G. BARR

1. INTRODUCTION

This report summarises the main issues presented and discussed during Session II which dealt with the mechanical behaviour of concrete, together with a review of the opening presentation made by Shah regarding recent trends in the science and technology of concrete. Although the five papers reported here were quite different in character, they all reported on various aspects of good practice in technology transfer. It became apparent (not only during Session II but throughout the three-day Workshop) that technology transfer covers a number of activities and there are numerous methods of achieving successful technology transfer.

One of the general issues discussed during the Workshop was the difference between science and technology. In particular, a distinction must be drawn between knowledge transfer and technology transfer. Knowledge is of greater interest to teachers whereas technology is of greater interest to practitioners. Perhaps the best way of distinguishing between science and technology is by noting that science deals with what is known whereas technology deals with what can be. Whereas science is limited by what is known, technology is limited only by our imagination and economics.

2. RECENT TRENDS WITH CONCRETE

The paper by Shah, entitled "Recent trends in the science and technology of concrete" was the opening presentation of the Workshop and reported on the major current activities of the NSF Center for Advanced Cement-Based Materials and how its findings are made known to Industry. The Center is in the forefront of technology transfer in the concrete area in the USA. One of the major current research themes of the Center is the integration of the understanding of microstructure with processing and engineering properties in order to produce stronger, tougher and more durable concrete. By combining a Materials Science approach with the traditional empirical approach, the Center hopes to make substantial improvements in the quality of concrete construction. Rapid progress in the acceptance of the new high performance concretes will only be achieved when the relationship between microstructure and macroscopic properties are better understood.

Shah reported that the aim of the center is not only creating high performance concrete but also in developing new opportunities for cement-based materials. Such opportunities have been identified in mechanical, acoustical and electrical applications as well as manufactured building products. Thus the Center is seen as providing direct benefits to both the researchers and Industry and is thus supported by both parties. The Center is an excellent example of the best practice in technology transfer and its modus operandi can be copied, on a smaller scale, by most other research centres/institutions.

A significant proportion of the work of the Center is related to durability problems and, in particular, how to obtain long-term durability via low permeability. Current research in this field is related to characterising pore structure and developing a better understanding of diffusion and transport properties. Once the pore structure can be characterised accurately it will then become easier to modify the pore structure in order to enhance durability performance. At the present time the centre is studying several methods of altering pore structures, including innovative processing, novel chemistry, cross linking polymer phase with mineral phase, and particle packing with sub-microscopic mineral phase. Details of the current test methods used by the Center (together with details of current research in the

fracture of concrete and with fibre reinforced cement composites) are reported in the paper and not repeated here.

An important aspect of the role of the NSF Center is its industrial interaction and technology transfer activities. The role of the Center in moving research ideas from the laboratory backroom to the showroom is well understood. The Center already has programmes underway to transfer technology through educational and industrial outreach. The industrial outreach programme is based on the four thrust areas of the Industrial Affiliate Program, the Small Business Partnership Program, Interaction with Public Agencies and Commercialisation.

Whereas the Industrial Affiliate Program caters for the needs of large organisations with in-house industrial research facilities, the Small Business Partnership scheme is intended to provide technical assistance through education to small businesses who do not have the capacity to conduct their own research. Interaction with Public Agencies is crucial for the future well-being of the Center and is achieved partly through co-operative efforts and research projects with public agencies and more generally through interaction with the media. Commercialisation of the research activity of staff at the Center is also important for the long-term benefit of the Center. The successful marketing of new technologies and transferring technical knowledge provides another source of research funding through contracted research for companies and the creation of consortia to address common problems. In many ways the future success of the Center will depend on its interaction with industry.

3. HPC: FROM THE LABORATORY TO PRACTICAL UTILISATION

The paper by Larrard, entitled "High-Performance Concrete: from the laboratory to practical utilisation", reviewed the application of High-Performance Concrete (HPC) in France. The HPC reported has a design strength in the range 50 - 100 N/mm² and is manufactured by utilising a low water-binder ratio together with a superplasticizer. The paper discussed the advantages and limitations in the use of HPC and reported on a number of research findings to help the practitioner in the use of HPCs. As in the case of the NSF Center at Northwestern University, the Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) in Paris has a major role to play in technology transfer in France.

The review of the practical application of HPC in France covers the four areas of bridges, buildings, nuclear facilities and other general areas of application. Many of the major bridges constructed in France during the last 15 years have used HPC due to a variety of factors which include its high early strength (resulting in reduced construction costs) its enhanced durability and to a lesser extent its higher strength values. On the other hand only a limited number of buildings have been constructed in France where the design engineers have fully utilised the design strength of HPC during the design stage. In the case of nuclear technology the inner prestressed concrete wall of the Civaux II Power Station has been constructed with HPC to improve the containment characteristics of this part of the power plant. Other areas where HPC has been used in France is in pavement design and concrete pipes where lighter units with increased durability were required.

The main thrust of the presentation by Larrard was a discussion of the learning curve followed by researchers and Industry during the use of HPC in real structures in France. A good review of the essential features of the constituents together with lessons learnt during concrete manufacture, placing and testing was presented. Good quality HPC requires aggregates with low porosity, cements with a low aluminate content, silica fume either in its densified or slurry form and specific attention must be given to the dosage of superplasticizers. Good control of water content and the mixing process is essential for good quality HPC. In particular, the slump must be controlled within a narrow range since a slump below 180mm gives a viscous sticky mix whereas a slump in excess of 240mm may result in segregation of the mix. Good curing is also essential since HPCs generally do not exhibit bleeding and hence are prone to plastic shrinkage. Finally, Larrard drew attention to the difficulties associated with

testing cubes and cylinders for compression strength since such specimens are subject to significant stress concentrations if the planeness of the surfaces in contact with the loading platens are not given careful attention.

This paper has an excellent section on technology transfer where Larrard draws attention to a number of research findings which have proved useful to the practitioners in France. A mid-design software package (BETONMIXTM) has been developed which can either evaluate the properties of a given mix or evaluate the composition for given properties. The work on HPC has also led to the development of a new test apparatus (the LCPC rheometer called BT RHEOM) for evaluating the rheology of HPC in the fresh state. The BT RHEOM has been very useful in predicting the pumpability of HPC and the apparatus is about to go into commercial production. Larrard also draws attention to some problems encountered in testing for the compression strength of HPC in one of the French bridges and discusses the methods used to overcome these difficulties.

Larrard concluded that as the knowledge of HPC increases, the range of attainable properties will increase. In the immediate future Industry will want to use super-workable concrete, HPC with low heat of hydration, HPC with ultra-high strength and ductibility etc. Constant interaction between Industry and research will continue and technology transfer is critical for the success of future concretes.

The discussion of the paper by Larrard explored the issues associated with the definition of HPC. Some contributors felt that HPC can be achieved by conventional mixing techniques whereas others felt that fibres must be included in order to produce acceptable HPC. This issue is similar to the difficulty encountered with the question of where to draw the line between normal strength concrete and high strength concrete is posed. The second theme discussed was associated with the issues related to serviceability and, in particular, durability. Since HPC is claimed to have good durability as well as high strength some questions were posed regarding the level of current knowledge of the state of structures where HPC has been used. It was reported that some carbonation tests, including accelerated correlation tests, have been conducted in some cases and the initial results are encouraging.

In the general discussion Larrard had an opportunity of expanding on some of the points made in the written paper. There are problems for the unwary when testing cylinders for evaluating compressive strength of HPC since greater care is required to provide appropriate capping of the cylinders and also in ensuring that the platens are parallel to the loading faces. The mixing time of 4 minutes reported by Larrard (since the superplasticizer is added in two parts) drew the comment that this would be a problem in North America practice where 2 minutes mixing time was the norm. During the discussion it was reported that the software package for use in design would be a very useful tool for use in Universities to make students aware of the mix design process. The limitations of the software in terms of use by engineers using variable local aggregates was also discussed and the view was expressed that the package is a useful tool only for the first approximation of mix details.

4. CONCRETE CREEP AND SHRINKAGE PREDICTION MODELS

The paper by Bazant and Baweja, entitled "Concrete creep and shrinkage prediction models for design codes: recent results and future directions", provides an up-to-date account of the current situation in this important area where technology transfer has successfully taken place over a number of years. In this paper the authors present improved and simplified prediction models for creep and shrinkage together with a simplified expression for the empirical parameters, representing the influence of the composition and strength of concrete. The paper also introduces a new expression for additional creep due to drying and the difficulties encountered with creep/shrinkage predictions based on short-time test data are explored. The paper provides a comprehensive review of very detailed work and only the significant aspects of the new results are considered here.

The main thrust of the work reported by the authors has been conveniently summarised by them as follows: "A realistic and accurate prediction of creep and shrinkage of concrete is a formidably difficult problem of great complexity, in which progress has been hard to achieve and has been coming only gradually. Because of the importance of the problems for durability and serviceability of concrete structures, effective transfer of the latest improvements to structural engineering practice is of paramount importance. The present paper, in keeping with the goals of the present symposium, is intended to help this transfer by summarising the basic guidelines for creep and shrinkage prediction, recently formulated by RILEM Technical Committee 107, and by presenting the latest improvement of the creep and shrinkage prediction model, which has been achieved at Northwestern University"

It is not possible to review in detail the paper by Bazant and Baweja. Hence this report will highlight only the innovative aspects of the paper. The current work at Northwestern represent the third major development in creep and shrinkage prediction models following earlier work on the BP model (1978) and more recently the BP-KX model (1991). The improved version of the model reported in the paper follows the guidelines formulated by RILEM Committee 107 to a greater extent than the earlier models.

Modern concretes often have additives such as admixtures, superplasticizers and pozzolanic materials. Although they enhance the properties of concrete, their effects on shrinkage and creep are not known with certainty. Therefore, for creep sensitive structures using specialised concretes, short-term testing to determine material parameters is useful. On the other hand, general empirical formulas for composition parameters for concrete with additives are difficult to formulate and tend not to be very reliable. The paper reports on a sensitivity analysis in this area which showed which empirical parameters are important and which are not. This made possible considerable simplification of the formulas for the effect of composition.

The paper draws particular attention to the need for a statistical evaluation of the proposed formulas, based on results reported in the literature. The need to suppress bias involved in the selection of specimen ages, test durations and reading times by the researcher is stressed by the authors. The statistical approach used in the paper offsets the bias caused by the crowding of data points in some regions of the space of load duration and age at loading, and sparsity of data in other regions.

The authors are to be commended for drawing attention to potential problems in evaluating the material parameters (q_1 , q_2 , q_3 and q_4). It is possible for linear regression to yield negative values for one or more of these parameters which is clearly unacceptable. The authors suggest that the difficulty can be overcome by hand smoothing the data before performing the regression analysis. This practical approach in the middle of a theoretical paper was most reassuring!

The discussion of the paper presented by Bazant concentrated on two main topics, one related to shrinkage and one related to creep. In presenting his paper, Bazant had drawn attention to the problem of evaluating long-term shrinkage from short-term tests of 1-3 months duration. He proposed that future shrinkage studies should record weight loss with time as well as the shrinkage results. The prediction of long-term shrinkage would be improved if (at the conclusion of the shrinkage study) the test specimens were oven dried to determine the final weight of the test specimen upon full removal of the water. A number of the objections were advanced against this notion of oven drying since there will be a number of significant changes to the structure of the concrete and it is not representative of reality. In response Bazant assured the questioners that the oven heating was carried out simply to determine the final dry weight of the test specimen. Finally in the discussion of the shrinkage model it was pointed out that the test results shown in the paper were all for small scale specimens. In response Bazant reported that a range of test specimen sizes (up to 1m) had been used to derive the shrinkage model.

The discussion of the creep model was limited in scope and concentrated on the composition of the concrete used. Earlier presentations had reported on new developments in concrete whereby additions and admixtures have been used to produce HPC. Bazant reported that a wide range of strengths (3000-10000 psi or approximately 20 - 70 N/mm²) had been used in describing the creep model and that the use of admixtures etc. was outside the control of the researchers. It was also noted that the notions used by the designer at the design stage may not occur in practice and that changes often occur between design and manufacture of the concrete.

5. ENGINEERING OF CEMENT-BASED COMPOSITES

The paper by Marikunte and Shah, entitled "Engineering of cement-based composites", reviewed the improvements in the tensile strain capacity of cement-based materials due to the incorporation of fibre reinforcement. Whereas low fibre volumes (< 1%) have been successfully used in bulk concrete construction, new processing techniques allow thin-sheet products with up to 15% fibre volume to be manufactured. Fibres in such large quantities fundamentally alter the nature of the cement-based matrix, and the inherent strength and strain capacity of the matrix itself are significantly enhanced. Furthermore, new processing techniques, reduced water-cement ratio and incorporation of organic and inorganic materials have resulted in less porous materials with improved performance. The paper is broadly based and reviews recent advancements in processing technologies, mechanical behaviour, toughening mechanisms, interface properties and applications of fibre reinforced cement-based composites.

The addition of large fibre volume requires the use of special processing techniques and some current production methods are reviewed in the paper. In particular, the authors report on the new extrusion process (developed recently at the NSF Center at Northwestern University) which allows high fibre volumes of short fibres to be incorporated into the cement matrix. One advantage of this technique is that the composites are formed under high shear and compression forces. The flexibility of the process allows various shapes (I-section, channels, pipes, hollow and solid tube) to be manufactured.

The paper also reports on some experimental techniques used to gain a better understanding of the performance of cement-based composites. Recent advances in instrumentation have made it possible to test tension specimens under closed-loop stable conditions and crack propagation in high-volume-fibre-reinforced cement-based composites has been studied by quantitative optical microscopy. Also laser holographic interferometry has been used to quantitatively measure surface displacements (strains) of fibre-reinforced cement-based composites in uniaxial tension. In another study, Moire interferometry has been used to study the progressive debonding of continuously aligned fibres in a cement matrix.

The main advantage of high volume fibre reinforcement is the enhancement in both strength and ductility. With such a high fibre volume concentration, microcracking is stabilised, and a homogenous distribution of microcracks can be found even at very high strain levels (1% strain, which is about two orders of magnitude greater than the strain localisation of plain concrete). The authors, in looking to the future, suggest that such materials can lead to a new class of construction materials. As an example, they quote the case where the bending capacity of a compacted reinforced composite (made of cement, silica fume and steel microfibres) was observed to be an order of magnitude higher than that of an equivalent reinforced concrete beam.

In presenting his second paper, Shah expanded on some of the issues reported in the written paper. In particular, a comparison was made between the use and properties of low fibre and high fibre volumes. High fibre volumes requires the use of different manufacturing techniques to that used for low fibre volumes where conventional mixing techniques can be employed. Irrespective of the techniques used in manufacture, full attention must be given to workability. Shah also addressed the issue of toughness evaluation and progress to date on the study of the influence of fibre parameters on toughness. The

consensus view was that both low fibre and high fibre volumes have a role to play in the use of FRC composites. For example, low fibre volume is used where the control of plastic shrinkage cracks is important. Low fibre volumes have also been used successfully to resist spalling due to impact loads and to control cracking due to concentrated wheel loads on ground floor slabs in warehouses, etc. On the other hand, there are situations where both enhanced strength and toughness are required.

During the discussion a number of contributions were made drawing attention to the increasing use of FRC composites. Significant progress has been made in this field by Spanish companies and some of their products have been exported to other countries. The paper by Shah had reported on some of the current methods of manufacture of FRC components. Comments made by delegates showed that the review given in the paper was not comprehensive and that other methods of manufacture were in commercial use. Nevertheless, considerable interest was shown during the discussion to the pulltrusion method of manufacture developed at Northwestern University.

The final issue discussed was the role of bond in enhancing toughness properties. In the case of low fibre volumes, bond has been increased mechanically by using crimped fibres, hooded-end fibres etc. Such techniques do not lend themselves to high volume fibre composites where the toughening mechanisms is of a different nature.

6. DESIGN FOR DUCTILITY

The paper by Bache, entitled "Design for Ductility" was intended to demonstrate to practising engineers how the concepts of fracture mechanics can be used effectively in the future design of reinforced concrete members. The design principles reported by Bache have been used successfully in connection with high strength and ultra high strength concrete and should now become more widespread with conventional materials. To achieve this goal it is necessary for the concepts of fracture mechanics to be incorporated in codes and standards which will only occur when the code writers are familiar with the relevant knowledge of fracture mechanics. Hence, Bache, quite rightly, identifies the need for researchers to explain the advantages of the use of fracture mechanisms to practising engineers. His paper goes a long way to achieving this goal and is a very good example of how to encourage the practising engineer to take an interest in current research work in this rapidly developing area.

One of the simplest but very significant notions arising from the application of fracture mechanics to concrete is that of the degree of ductility/brittleness of various concretes. This notion has been developed by Bache via the use of brittleness numbers. Various research workers have developed a number of brittleness numbers based on different combinations of the tensile strength, f_t , the fracture energy, G_F , the modulus of elasticity, E , and a characteristic dimension, L . Perhaps the best known of these is the characteristic length of material, ℓ_{ch} , which is given by EG_F / f_t^2 . ℓ_{ch} values have dimensions of length (m) but do not include the effect of structural size i.e. ℓ_{ch} may be considered as a material characteristic length. On the other hand, the dimensionless brittleness number used by Bache is defined as Lf_t^2 / EG and thus includes an additional term (L) which is a characteristic dimension for the member under consideration. This definition of brittleness shows clearly which parameters are significant and how the design of more ductile materials should be approached. In particular, it is clear that in the development of high strength concrete, the increase in EG_F / L must be similar to the increase in f_t^2 . Of the three parameters in the ratio EG_F / L the one that can be changed by the greatest amount is G_F . Bache reports on the fracture energy being changed from approximately 100 N/m to 10,000 - 30,00 N/m by the incorporation of 4 → 10% (volume) fibres in the matrix of CRC. The concept of brittleness numbers may also be used in model testing using small-scale tests; Bache gives an example whereby a 10mm thick plate of fine mortar can be used to model the behaviour of a 300 - 500mm thick runway.

The second part of the paper by Bache gives a number of examples of the use of the concepts of fracture mechanics during the development of strong and durable reinforced concrete members and structures. The essential materials used are very strong, durable binders together with densely packed, fine and ultra-fine particles - normally Portland cement and micro-silica. These are combined with aggregates and fibres to produce strong and ductile composite materials with compressive strengths ranging from 150 to 320 N/mm². Typical examples of components made with such concretes are described and include (a) top section of stacks for a cement factory, (b) feed shovels for cement mills, (c) hollow, prestressed catenary supports, (d) strong CRC beams and (e) thin walled CRC beams. The relative brittleness numbers (based on $EG_F / f_t^2 = 1$ for normal reference concrete) for the above components were 4.9, 14, 0.32, 27 and 19 respectively.

Having developed some of the simplest and most significant notions of the application of fracture mechanics to concrete and successfully applied the concepts in practice, Bache draws attention to three areas of future activity. Firstly, fracture mechanics should be known better and should be taught more widely. Secondly, existing practice should be analysed using the concepts of fracture mechanics. Finally, new codes based on the concepts of fracture mechanics should be developed.

Due to the unavoidable absence of Bache from the Conference, his paper was summarised by the author of this Report. The main thrust of the paper by Bache was the usefulness of brittleness numbers in appreciating the design requirements when using HPC. Most of the discussion period concentrated on the most appropriate brittleness number to give the practising engineers. Brittleness numbers vary from those which are based solely on the material properties of tensile strength, f_t , Young's Modulus, E , and fracture energy, G_F , e.g. the characteristic length definition which is given by EG_F / f_t^2 to those which include also the effect of size and test specimen. The Brittleness number given by Bache is a combination of only the characteristic length of the material and the test specimen size i.e. the brittleness number is given by $f_t^2 L / EG_F$. Although there was agreement between the contributors regarding the information gained by the use of the various proposed brittleness numbers, there was a difference of opinion in terms of which brittleness number to recommend to Industry.

7. CONCLUDING REMARKS

All five papers discussed above describe good examples of successful technology transfer. The methods used vary from the institutional level to the personal level. At the institutional level, the NSF Center at Northwestern University and LCPC at Paris provide good examples of intervention at National level in order to encourage technology transfer. At the other end of the scale, the consistent drive by Bazant and his co-workers at Northwestern University to improve their creep and shrinkage models shows how individuals can achieve success with technology transfer. Similarly, Bache has been successful over a number of years in utilising knowledge gained by the international fracture of concrete community to the advantage of the construction industry in Denmark. Irrespective of the methods used for technology transfer, success is assured where there is a meeting of minds between the researcher and the practising engineer over a common problem.

Despite the good examples of technology transfer reported in Session II (and in other Sessions), the general view prevailing at the Workshop was that there was some room for improvement in this area. Some participants felt that good technology transfer should be the norm rather than the exception. Whereas researchers feel that practising engineers do not want to listen, practising engineers feel that researchers do not communicate well outside their peer group. Perhaps the poor communication is due to a difference in approach to marketing. Marketing is important to both groups of engineers since both wish to sell their knowledge, expertise and track record to gain further funding (research grants or construction projects).

It is the view of the reporter here that some of the perceived problems with technology transfer arise due to the outdated methods used to procure constructed facilities. It is not in the interest of a design engineer to innovate with new and cheaper methods of construction if the design fee is based on a percentage of the total cost of a project. In the case of a contractor, success is proportional to the level of risk taken at the tender stage. Perhaps, innovation, with its associated higher incidence of technology transfer, would flourish better if designers and contractors could combine more often to create consortia to provide a design and construct contract to carry out a scheme for a fixed price.

Report on
Session III: Long Term Performance of Structures

by F. Massazza
Italcementi, Italy

**International RILEM Workshop on
TECHNOLOGY TRANSFER OF THE NEW TRENDS IN CONCRETE
ConTech'94**

Session III Long Term Performance of Structures: Durability, Quality and Testing

Chairs: E. Vázquez (UPC, Spain) & A.-M. Paillere (LCPC, France)
Reporter: F. Massazza (Italcementi, Italy)

1, Durability of concrete is an example of the lack or limited transfer of scientific findings to technology. This despite the fact that innumerable laboratory studies and in-depth analyses of damaged works have allowed us to identify the causes of structure deterioration and to establish the criteria which are necessary to guarantee a long life-in-service of concrete structures.

The contributions presented at Session III have confirmed that concrete durability is still a not completely solved problem.

According to ANDRADE "...the amount of concrete structures presenting insufficient durability is increasing, being the corrosion of reinforcement the main distress observed". As a consequence, "it is realized nowadays that the major portion of the funds allocated to infrastructures tends to be spent on the maintenance and rehabilitation" (OHTSU).

Undoubtly "materials technology has developed dramatically during the past decade" (...) however, "there is a disharmony between possibilities within material's performance and practical achievements of present day construction industry" (ROSTAM).

During the discussions, it was however underlined that many concrete structures have been giving excellent results in terms of durability or service life. It is not by chance that, in spite of durability problems, many important structures are nowadays designed and built with concrete. An outstanding example of concrete application is The Great Belt Link (in Denmark) illustrated by ROSTAM during the workshop.

The conclusions that can be drawn from the discussion can be summarised as follows:

- in many cases, concrete is not durable structure thus resulting in a short service life,
- any defect of concrete structures depends on specific causes,
- the currently available knowledge permits the manufacture of durable concrete for long life constructions.

The results presented and the discussions held both after the session and during the meeting have shown that concrete deteriorates when the following conditions occur simultaneously:

- the environment is aggressive,
- rules of good practice in terms of design and construction are disregarded.

This means that also in an aggressive environment concrete can have a long life provided that it is well designed and executed, but it also indicates that damage of concrete is likely to occur also when environmental conditions are not severe.

The most common factors causing damage of concrete and their mechanism of action are well-known. They are:

- water (leaching of lime),
- oxygen (corrosion of reinforcement),
- carbon dioxide (carbonation and subsequent corrosion of the reinforcement),
- chlorides (leaching of lime and corrosion of the reinforcement),
- sulphates (concrete swelling and crumbling)
- reactive aggregates,
- freezing and thawing (concrete swelling and crumbling).

Hundreds of papers have proved that for the purpose of preventing or reducing the effects of environmental attacks, one should follow a few simple rules; namely,

- the concrete must be dense and compact,
- the type of cement used must be chosen on the basis of the attacks envisaged,
- in some cases special admixtures can prevent damages,
- reinforcement cover must be appropriately thick.

These rules are so simple that it never ceases to astound us that the durability of concrete poses a world-wide problem and not just a remote risk. Nevertheless, all studies carried out on the durability of concrete have confirmed that deterioration is the consequence of not fully complying with these simple rules.

2. Before proposing remedies suitable to guarantee durability, it is necessary to explain why these rules of good practice are often disregarded. From a general point of view, the reasons of this negligence, distinct but strictly connected, have an educational and economic background.

During their academic courses, many civil engineers receive little or no education on the properties of cement and concrete.

As a consequence, designers put most emphasis on the structural needs of construction and pay very little attention to the problems of durability. Moreover, they are not able to transfer to work inspectors and building site staff the correct knowledge and the instructions necessary to obtain good and durable concrete to the most inspectors and building site staff.

The introduction of numerical calculation into structure designing has facilitated construction design but has drawn engineers' attention away from the actual properties of building materials.

The lack in education appears, of course, also among customers, standard officers and controllers.

Most construction industry is very sensitive to innovation costs and they generally welcome new technologies if these are to reduce costs but reject them when the aim is solely to improve concrete performances. Some examples can better highlight this behaviour.

Some years ago, PICs (Polymer Impregnated Concretes) appeared as a new product susceptible of large utilization. However, their applications have been

very limited since costs were considered too high in spite of the high performances attainable.

In many cases, superplasticizers were used not for improving concrete performance but for reducing the cement content.

Over the last fifty years, strength and quality constancy of cement have been improving dramatically. These improvements, however, have been used for reducing the cement content rather than for improving concrete performances, and durability in particular.

It is worth remembering that reducing the cement content requires a higher water/cement ratio for imparting the same workability to concrete.

3. In reviewing the reasons that often hinder the transfer of scientific and technical innovation from journals and books to the building sites, we can see that concrete durability and a long life-in-service of concrete structures can easily be attained provided that both the designers and the builders comply with all well-established construction rules and regulations.

In his state-of-the-art review, NILSSON proves that all technical and scientific information necessary to manufacturing a durable concrete and long life structures does exist, the only problem being its practical application.

In general, technical schools and universities should become increasingly aware of the basic importance of courses centered on the science and technology of building materials.

Scientific and technical associations should promote meetings, conferences and courses dedicated to disseminating innovation among all the people involved at any level of the construction industry.

In order that concrete is made according to the appropriate rules of durability, builders must have detailed standards and codes of good practice available and be subjected to stricter controls. The diffusion of the Quality Assurance System, mentioned by HENRICHSEN, and the improvement in non-destructive and in-place testing of concrete, as specified by OHTSU, could strongly contribute to solving durability problems affecting concretes and to guaranteeing a long life-in-service to concrete structures.

Research institutions, both public and private, have been contributing greatly in the past to explaining the causes of deterioration by suggesting measures for preventing concrete diseases and construction failure. Nevertheless, they can still actively participate into studies on durability by proving that technical and economic aspects are compatible.

Report on
Session IV: Manufactured Components and Construction

by R.F.M. Bakker
Cementfabriek IJmuiden (CEMIJ), The Netherlands

Technology transfer

Manufactured components and construction

When discussing technology in the field of concrete structures one can think of three different technologies which are equally important:

- concrete technology: the area of the material specialist
- design technology: the area of the civil engineer and the architect
- execution technology: the area of the concrete producer/contractor

Transfer of knowledge should go from one to the others and vice versa in a continuous process.

The designer should be told what the properties are of new materials including costs to be able to find out where the new materials could be used to make cheaper or better structures. In addition he may see new design possibilities e.g. slender structures with high strength concrete.

The concrete producer/ contractor should be asked by the designer or the material specialist whether he can produce and handle the materials in practice.

Finally the three partners in the process should agree on the possibilities of the new development leading to economic solutions.

However, these three partners are not the only decisionmakers in the process of creating a concrete structure. In figure 1 an overview is given of the possible parties involved in the process starting from raw materials ending with the final structure.

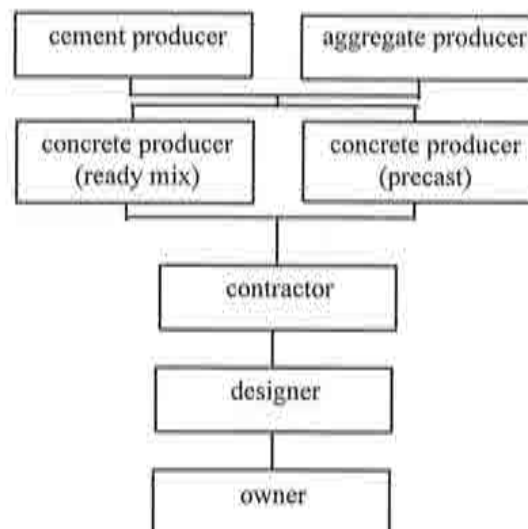


Figure 1: Parties in the decision making process

In general the designer will represent the owner and translate the wishes of the owner into a design. Next to the wishes of the owner the designer should take the legal requirements into account as well as requirements from e.g. insurance point of view. Requirements on fire resistance are often not only legal based but the level may also influence the insurance premium.

Finally more and more questions are raised on environmental and labour aspects leading to new legal or governmental requirements.

Perhaps one could say that the new trends in concrete technology are recycling of waste materials and environmental and health aspects of existing and new materials. For instance, more and more the use of asbestos is restricted.

In the following it is analysed for each of the contributions whether the above mentioned aspects are dealt with.

1. Development and use of steel fibre in concrete - by A. Skarendahl

Concrete technology: It is stated that "steel fibre concrete as a material is quite well understood". The first question then is : does the designer know in what cases he can use this material for a better or cheaper construction?

The second question is : are contractors able to make the product at a reasonable price?

The last question can be answered positive. It is stated that: "substantially savings in cost are achieved mainly through increased productivity"

This leaves us with the first question. Why is it not used more by the designer? The paper does not give a clear answer to this question. However from the examples given it seems to be a matter of economy. The interesting fields of application are more or less covered.

One potential market for the material is given:

steel fibre shotcrete in shells. From the paper it is not clear what the economic advantages are and whether these advantages are in the design or the execution.

Co-operation between designer and contractor should give the answer whether economic solutions are feasible.

In his presentation the speaker made clear that not only the material has to be developed but also the structural use, the production technique and the application. As goals (better performance) were mentioned cost, safety and flexibility.

Points of future research mentioned were limit of proportionality, residual strength and crack control. Different techniques of fibre addition were shown.

During the discussion it became clear indeed that the possibilities of the material have to be analysed from case to case. General answers are not possible. Some designers at least should look for new applications that can serve as examples for others. Guides and codes can only be developed if there are practical examples. If the designer waits for codes we are ending up in a vicious circle.

With respect to quality control of the material a question was raised about distribution of fibres. According to speaker this could be done by a cover meter.

The preferred method of applying the steel fibre shotcrete was by the wet technique because of easy remote control.

A further question was raised about corrosion of the fibres in steel fibre shotcrete. It was stated that the corrosion was limited to the surface giving however a freckled surface. In case this is not estetical wanted an additional layer of fibre free shotcrete could solve this problem.

Analysis

Further development of steel fibre shotcrete seems to be a matter of use of the properties of the composite material by the designer. The only question than is: when is it economical feasible? Legal or environmental problems should not be of any hindrance because one is dealing with known basic materials.

2. Development of environmental concrete products - by J.A. Fifield

The use of the word environmental to sell products is increasing. Perhaps in a few years no product will be sold without a green advertisement, rightly or wrongly.

The paper deals with two different opportunities within the environmental care: recycling of concrete and other waste materials in concrete and utilising concrete structures to prevent contamination of ground water with liquid waste.

With respect to the first opportunity it should be realised that everybody is happy when the environment is saved as long as the neighbour pays for it. Experience has shown that the use of recycling materials is only practised if the product with "second hand" materials (secondary materials) is cheaper than the product with "virgin" materials (primary materials).

This complies with, as it is mentioned in this paper, "the successful products are cheaper than the regular one".

The above applies to recycling of old concrete and bricks.

For totally new products e.g. concrete based upon waste wood questions about durability are raised. As we are intending to build for decades, to sort out the performance of new products with respect to durability will take many years. The need for by preference international performance based tests is obvious. Here we come to a fundamental problem: performance tests for durability do not exist.

The idea has been developed that in state of descriptive requirements performance requirements should be followed. The idea being simple and on hand logic, however, for building materials this is for the time being fundamental impossible. The bottleneck is the performance test.

A performance test should by definition give the behaviour of the product under investigation in the circumstances met in practice. For durability requirements this would mean decades of testing. To overcome this problem one could develop accelerated tests but also these tests should be checked whether they predict the real world. The call for Third party control (what party ?) can not be a solution. This would mean that it is a matter of a certain party and not an independent, agreed performance test. Within CEN the European standard organisation several committees are trying to develop performance tests.

A performance test should contain the following elements:

- a well defined reproducible test method
- criteria that determine whether a product is sufficient durable for the intended use.

The problems encountered so far are:

- the inter laboratory variations which make it difficult to state absolute criteria
- the values that predict the behaviour for different environments.

It will take many more years before these problems are solved.

In the mean time one should decide on available practical experience (both in laboratory and on site) in combination with theoretical or model based considerations ("scientific belief"), as always has been done.

What about the second opportunity: the use of concrete as a material to prevent contamination?

The technical knowledge with respect to design, materials and execution is available. The opportunity lies in making use of the existing technology in new fields of application because of new demands e.g. use of concrete in agricultural environment or at petrol service stations to prevent contamination of the soil with fertilisers and gasoline respectively.

The only problem then could be that the knowledge is not known by the person who needs it. This is a matter of transfer of old technologies and not of new ones. The crucial factor is then interdisciplinary: education, one of the first responsibilities of technical universities.

During the discussion a question was raised how to ensure constant dosage of fine particles. The answer was simple: by quality control. Other questions were less related with the technology and the answer in principle was: we are looking for know how (do it) and not for theoretical considerations.

Analysis

The mayor problem with respect to recycling of materials seems to be the durability of the " new" products. The second problem is the price performance relation. Often the cost of upgrading waste materials is higher than the cost of producing virgin materials. This price can only be influenced by a negative price of the waste. The general trend of dump costs are increasing. These costs can be used to upgrade the waste. An additional possibility is the requirement of the authorities to prescribe the use of second hand materials wherever possible. Occasionally this is already been done in the Netherlands.

3. Structural aspects of high strength concrete - by J.J. Jensen

It is stated that the "basic knowledge of high strength concrete has increased the past decade and practical experience has been gained through design and construction". This is the right approach: the three technologies should be developed simultaneously to prevent to be to academic because of lack of practical and design feed back.

The bottle neck here is stated to be the implementation in codes. Here we see clearly the benefit of codes: to make the experience of some available to all. Codes are clearly efficient means to fix and spread technological know how.

It is stated that economics have favoured a continuous increase in use. However this statement is not made explicit by calculations. To convince or educate other designers examples should be given how to make economically advantage of these "new" product.

During discussion clear answers were given for the following questions:

Why is there a limit in Eurocode of 100 MPa.

Answer: the oil industry does not want to go further.

What is the fire resistance of polypropylene fibres?

Answer: the fibres are intended to make pores after melting and burning to let the water out of the concrete to prevent spalling.

What about durability (strength loss)? What is the longest experience?

Answer: The ekofisk platform.

Analysis

There seem to be no environmental or other non technical problems to prevent the use of high strength concrete. On the contrary additional less promoted advantages of high strength concrete are production technological advantages:

- next to the high strength (after 28 days) there is also a relative high strength the following day which means early demoulding.

- the mix is very fluid at least if properly designed which means no or nearly no compaction.

Not only the structural advantages but also the architectural possibilities should be shown to architects.

The interaction between architectural design, structural design and execution possibilities should create new possibilities.

4. New manufacturing technology for high quality precast concrete components - by R. Taivalkoski

This paper deals with improvements of price performance of existing products using techniques from other sciences like robotisation and information technology.

Decreasing of cost is realised amongst others by producing more constant products with less people.

A good example of utilisation of knowledge and technology of other disciplines in concrete production.

In his presentation the speaker mentioned the development of a new type of mixer. During discussion he could not yet give detailed information but he expected that after two month information would be available.

Analysis

This is an example of the always existing "trend" to look for cheaper and more constant products that already have proven their "right of existence".

5. Strengthening and retrofit of existing concrete bridges and building - by F. Seible

In this paper different problems are dealt with.

Repair of bridges because of well known durability problems , redesign and repair of bridges because of overloading and redesign and repair of bridges because of earthquakes.

In all these cases the question is : is it a design problem, a material problem , an execution problem or a combination of these?

Again it is clear that separation of these aspects are difficult. Design, material and execution are interacting with each other. The last mentioned problem: redesign to prevent damage because of earthquakes is dominantly a design problem.

The design methods have to be verified in practice to make sure that a real technology has been developed. However one of the problems with experiments in practice is the uncertainty where and when a suited earthquake will take place. We have to take our resort to simulation of practice on a scale as close to reality as possible as has been done. At the same time design, materials and execution problems are tackled.

In his presentation speaker mentioned that from about 500.000 bridges about 40 % were insufficient and needed either repair, strengthening, seismic upgrading or renewal.

During discussion it was asked whether the damage was mainly caused by corrosion.

Answer: This is regional different; in the east corrosion is dominant, in the west earthquake is the major problem.

A further question was raised about size effects.

Answer: by preference tests were full scale tests but never less than 1/2 scale.

Quasi static tests were seen as more critical than the real time dynamic tests. Conclusions would be therefore on the safe side.

A further question was raised about the fire resistance of epoxy coatings.

Answer: the primary goal is to make things structural safe; overloading and earthquakes will not happen at the same time as fire.

Analysis

This contribution is totally different from the other contributions because it deals with problems of existing concrete structures. In so far it is also not a new trend. If a structure is no longer safe it should be repaired or replaced.

The new development lies in the use of relatively new materials and in new design approaches. Materials and design are than tested in a realistic way.

The paper can be seen as a nice example the way technology development should be done: making use simultaneously of a scientific and practical approach.

Discussion on the technology transfer process.

When discussing the item technology transfer process two questions arise:

- what is meant with technology ?
- from who to whom technology transfer is thought off?

Let us start with a definition on technology.

Technology is the knowledge to make things for practical use (in general things to sell).

This is the essence of most definitions found in dictionaries. Not all knowledge is therefore technological knowledge. One could call all non technological knowledge science.

It should be realised that science can evaluate into technology. In many cases spin-off technology or serendipity may lead to important developments for mankind.

As a consequence transfer of scientific knowledge can be as valuable as transfer of just technology.

One may wonder after having read the papers and heard the discussions whether this was what was meant: how to transfer scientific knowledge into technological knowledge.

It should be realised that only a part of new science can be transferred into technology because of economical barriers. A technological solution must give a good price performance relationship. Sooner or later somebody has to pay for it.

Perhaps today more important than transfer of new science and technology is the transfer of existing science and technology. The risk of inventing wheels is not at all improbable if one is not aware what is going on in other countries. The largest barrier to technology transfer is no doubt the language.

All what is written in languages that one is not familiar with is inaccessible. The best way to transfer knowledge is to write, read and speak more languages.

Here lies in my opinion the primary task of Universities to keep hold of existing knowledge and transfer this knowledge to the new generation of engineers.

Finally, if a university wants to develop new technologies it is a must to contact possible users before starting research and not after. It is more efficient to have comments before than after the work has been done.

Report on
Plenary Session: Technology Transfer: Case Studies, Experiences
and Panel Discussion on "The Technology Transfer Process"

by Ravindra Gettu
Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

The plenary session started with a brief presentation of the activities of one of the workshop sponsors, the Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, which is an autonomous center of the Spanish Ministry of Industry. It is dedicated to the technological development of industry and promotes industrial research and development (R&D) projects that are pre-competitive, directly yield technical developments and innovative. Technology transfer is further aided through help rendered to industry by providing information about research programs, by suggesting partners for collaborative research projects, and by supporting the assimilation and commercialization of the results.

The lecture "Role of the Industry in Technology Transfer: Dragados' Experience in EU projects" presented by J.M. Morón García (see text included in this publication) summarized the participation of the Dragados group (including a major construction company) in joint European Union (EU) projects. Their involvement in R&D projects was motivated by the need for developing infrastructure, new methodologies and products, for preparing the company for the requirements of the future (environmental conservation, user comfort, quality assurance and job-site safety), for interacting with other companies and for training technical personnel.

During the discussion of the paper, Morón García stated that the experience of Dragados in joint industry-university projects has been positive and that the company now spends about 0.7% of its total budget on R&D. Shah mentioned that this was comparable to most countries of Europe and North America where the construction sector spends only a small amount, about 1% of its budget, on R&D. de Andrés added that in Spain the ratio of public/private funding for research was generally big and more so in the construction sector. Mieres defended Spanish industry saying that though construction companies do not conduct basic research they are involved in significant developments, which should be considered as R&D. Moreover, he added that there is no motivation in the construction sector in Spain for innovation. Morón García also noted that R&D is useful only if it is and can be implemented. Furthermore, Albajar was of the opinion that there is considerable high quality focussed research being conducted by Spanish industry. de Andrés agreed with this but stated that such research was not always put in a form in which it could increase the technological development of the entire industry.

The paper "Technology Transfer: Stick or Carrot?" presented by S. Rostam gave a general idea of the technological needs of the European industry. The two prevalent modes of technology transfer are through informal personal contact and through a two-step approach involving "gate-keepers". The function of the gate-keeper, which is an agency dedicated to promoting technological developments or a division of a company, is to gather and transform research results for implementation. Such intermediaries have to be nourished since theory and practice are coupled very loosely, and the scientific literature is not consulted continuously nor is it in a form that can be understood easily by the industry. Professional groups can also aid technology transfer by being multi-dimensional (i.e., helping both scientists and industry), and by documenting new developments and by organizing workshops/courses for transferring research results to industry.

The solutions for the problems existing in industry have to be multi-disciplinary and involve several sectors. For example, for designing durable structures, the geometry of the structures should be robust (requiring the coordination of engineering and architectural efforts), the concrete composition and preparation should yield a material with low permeability, the construction should ensure adequate cover, overall quality assurance should be emphasized, and the inspection and maintenance procedures should be thorough.

Several methods to force technological development ("the stick") were proposed: the provision of design codes that incorporate new developments, structural requirements with means of verification and the elimination of contract selection based on the lowest bid in order to improve the critical construction phase. The low bid syndrome leads to a lack of motivation/incentive for high quality and can be eliminated only at the initiative of owners (needing changes in public and international procedures). As further incentives ("the carrot"), it was suggested that performance specifications be provided based on specific requirements, testing, acceptance/rejection criteria and a bonus/penalty system.

The need for an emphasis on quality during the service life was reiterated. The quality of structures can be high only when the owners require it and pay for it. For this the owners should be "educated" by the researchers and industry, and pressured by public opinion and the press in order to surpass political priorities.

The presentation also reviewed the recent Brite-EuRam Workshop on Concrete Technology that was chaired by Rostam. The results of 23 projects funded by the European Community were summarized in that workshop under 6 topics covering the whole life cycle of concrete structures: raw materials, mix design, fabrication, service life, durability and demolition. Rostam was of the opinion that there was insufficient work on the material preparation and execution processes (i.e., mixing, casting, curing).

For the future, Rostam advised researchers that technological needs can be met only by treating realistic problems, by simplifying research results and putting them in an operational form, and by educating the owners and workers to distinguish between different (e.g., high and low quality) concretes. In general, it was pointed out that technology transfer can be successful when research aims to solve a well-defined problem and the solution is implemented.

The paper "Technology Transfer in the Field of Concrete - The Barcelona Experience" presented by A. Aguado outlined the projects of the Barcelona School of Civil Engineering that have resulted in technology transfer and the mechanisms used by that group for interacting with industry. Finally, a model was proposed for product-specific research leading to successful technology transfer, where the problem or potential product is identified through discussions with industry and the research is developed initially with public funds and later with a more active gradually increasing industry participation. It was concluded with the observation that the university has an obligation to be in constant dialogue with the industry.

The paper "Technology Implementation", written by J. Skalny and M. Majesky, was summarized by R. Gettu. The work listed the various barriers to technology transfer that exist within the research group, within a company and in society. It is stated that technology implementation is successful when the motivation is high, the complexity is low, the physical distance is small and the communication is high. The authors propose certain measures to be adopted by universities, government agencies and companies for improving technology implementation, including practice-oriented engineering education, better market research, continuing education of industry and incentives for industrial innovations.

The panel discussion on the Technology Transfer Process was moderated by S.P. Shah, with A. Aguado, M.C. de Andrés, R. Bakker, B. Barr, F. Massazza, and S. Rostam as panelists. The discussion brought out several important opinions regarding applied research and technological development. The points of view varied considerably depending on the vocation and expertise of the individual. Significant differences of opinion exist on many issues. The comments of Bakker, de Andrés, Shah, Aguado, Rostam, Rodríguez, Paloma, Bautista, Mieres, Andrade and others showed there is no consensus on what is considered to be a new trend or applied research. Industry is often uninterested in the topics targeted by scientists for research and in the results that they consider to be applicable in practice. It sometimes appears that instead of identifying a problem and finding the solution, researchers search *a posteriori* for a problem that may be solved by their investigation. Also, the results are not put in a form (e.g., in journal articles) that can be assimilated easily by the industry. On the other hand, industry seems to have short-term benefits as the only goal and does not exhibit an ability to change with technological, societal and political developments. Most of the academic researchers were of the opinion that industry should approach the universities with their problems and not wait until the latter find all the solutions. However, as pointed out by Andrade, the gaps can be bridged by having frequent meetings, where both researchers and industry can participate and establish a dialogue.

Aguado stated that the industry often suppose that researchers are interested in technological development only when the work is funded by them. On the contrary, considerable applied research is conducted with public funds that are obtained due to the initiative of the universities. Shah also noted that research can be basic or applied. While basic research is not directly used in practice, it leads to further developments and possible industrial exploitation. Therefore, scientists who are engaged in relevant basic research should not be criticized but encouraged.

Rostam, Gettu and Monteiro suggested that laboratories should be involved in testing for industry as this also serves to understand their necessities better due to the continuous contact with practising engineers. In this manner, the industry can be gradually exposed to new technologies. Gettu, Young, Ohtsu and Skarendahl were of the opinion that continuing education programs organized by universities could be effective mechanisms for technology transfer. Above

all, the researchers should realize their obligation towards developing technology that can be eventually applied and, as stated by Bakker and Paloma, identify the means for sharing the developments with industry, for example through education and meaningful publications.

The usefulness of gate-keeper agencies was again emphasized by Rostam, Borf and Andrade. Their purpose is to help companies, especially smaller enterprises, in accessing recent developments. Barr suggested that professional societies could and should also perform this function. Massazza stated that technology transfer would increase when simple standards are made available to industry.

The owner's responsibility for implementing innovations and high quality in construction was reiterated by Shah, Barr, Aguado and Rodríguez. The system of contract selection in the construction sector through the lowest bid is not used in other high priority sectors such as aerospace. This system only satisfies short-term goals and does not provide incentives for innovations or high quality. The result is that quality is sacrificed for reducing the cost. Bakker was of the opinion that the owners were not always to blame. He and Massazza suggested that designers and engineers should be educated to give importance to durability and quality. Also, Bakker mentioned that the negative results (i.e., the failures) of research should also be published so that industry understands the dangers of using inadequate technology.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN EL CAMPO DEL HORMIGÓN: LA EXPERIENCIA DE LA E.T.S. ING. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA

A. AGUADO y R. GETTU

Departamento de Ingeniería de la Construcción
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Resumen

Este artículo presenta una revisión de los temas de transferencia de tecnología en el campo del hormigón desarrollados en el entorno de la Cátedra de Hormigón de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Esta revisión se hace, en primer lugar, analizando la evolución histórica seguida en la que se explican los factores que han influido en la misma y, en segundo lugar, dicha evolución se ilustra con diferentes ejemplos. En ellos se muestra un amplio abanico de tipos de actuación, si bien no son todas las que se han producido en la citada Escuela. Asimismo se presenta una visión de como entendemos debe hacerse la investigación y la transferencia de la misma, entre la Universidad y la Empresa.

1 Introducción

Tradicionalmente, España como colectivo y, salvo excepciones personales, ha sido un país receptor de investigación y transferencia de tecnología extranjera y, en cierta medida, lo sigue siendo. Si esta situación general se detecta en todos los sectores industriales, aún es más acentuado en el campo de la construcción por las propias características de dicho sector industrial (carácter nómada, elementos poco repetitivos, trabajo al aire libre, etc.).

Ahora bien, en los últimos 15 años se ha producido un cambio de tendencia como consecuencia de diversas actuaciones a nivel político. Entre estas actuaciones cabe reseñar dos de especial relevancia en lo que ahora nos ocupa. Estas actuaciones son:

- Ley Orgánica de Reforma Universitaria (LRU). Esta ley aprobada en 1984 ha permitido y potenciado la transferencia de tecnología de las Universidades al mundo empresarial. Consecuencia de dicha ley es la aparición en todas las universidades españolas de Oficinas de Transferencia de Tecnología.

- Incorporación de España a la Comunidad Europea. Este hecho ha permitido, tanto al mundo empresarial como al mundo científico, acceder a distintos proyectos europeos de carácter eminentemente industrial y, lo que es más importante ha supuesto y está representando un cambio de mentalidades sobre la investigación en ambos mundos.

Estos planteamientos han encontrado en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona un buen caldo de cultivo. Ello se debe en gran medida a la decisión del profesor José Antonio Torroja que, al crear la citada Escuela en 1974 y como primer director de la misma, potenció la incorporación de profesores jóvenes con una trayectoria fundamentalmente de tipo investigador.

En este año académico en el que se celebra el XX aniversario de la Escuela una mirada hacia atrás muestra que los avances logrados han sido muy importantes situando a la misma como uno de los centros punteros de investigación, tanto a nivel nacional como a nivel europeo. Este fenómeno es conocido en ciertos ambientes como "fenómeno Barcelona".

El objeto de este artículo es presentar la evolución seguida en dicha Escuela sobre transferencia de tecnología dentro del entorno de tecnología del hormigón, así como mostrar diversos ejemplos de dicha transferencia que se realiza en dicho entorno. Este análisis permite mostrar una visión de como debe realizarse la investigación y transferencia de la misma entre universidad y empresa.

2 Evolución histórica

Los comienzos (Años 1974-1983)

Los diez primeros años de la Escuela, supuso un período muy importante en lo que representa formación de los profesores tanto desde el punto de vista docente (preparación de programas lectivos) como desde el punto de vista investigador (realización de las propias tesis doctorales).

En dicho período, años 70 y principio de la década de los años 80, existía entre la Universidad y la Empresa un gran desconocimiento mutuo y que en el mundo de la Ingeniería Civil era un abismo, ya que tanto en las Escuelas de Ingeniería Civil como en las empresas constructoras, etc, no existía ninguna tradición sobre temas de investigación, aunque existía alguna excepción tal como el Instituto Eduardo Torroja.

Las consecuencias claras de este caminar disjunto, sin comunicación mutua, era la práctica inexistencia de relaciones, o bien las pocas que había se centraban fundamentalmente en temas de ASISTENCIA. Los escasos trabajos de asistencia de dicho período fueron del tipo de dictámenes de daños en estructuras.

En el año 1981, tras la lectura de las tesis doctorales de los profesores AGUADO (1980) y MARÍ (1981) dirigidas por el Prof. MURCIA sobre análisis no lineal de estructuras de hormigón, se produjo un hecho determinante en la evolución posterior. En dicho año, la empresa INYPSA, después de leer un artículo consecuencia de la 1ª de las tesis citadas. (Aguado y Murcia, 1981), se puso en contacto con la Cátedra de Hormigón para realizar un estudio sobre el comportamiento no lineal de la estructura del edificio de control de la Central Nuclear de Ascó (Grupos I y II).

Este trabajo permitió utilizar las herramientas utilizadas en la investigación para resolver un complejo problema de ingeniería (Ejemplo 1) y eso, a pesar de las dificultades de la época respecto a temas informáticos, falta de experiencias previas, etc.,. Por otro lado, este trabajo que requirió 3 años en el desarrollo de sus distintas etapas supuso la incorporación de nuevos elementos en el equipo de trabajo y que con posterioridad se incorporaron como profesores de la Universidad o bien como técnicos en empresas.

La consolidación (Años 1984-1991)

El trabajo citado, aparte del carácter pionero citado, sirvió para abrir puertas dentro del Sector Empresarial y hacer que este volviese su mirada hacia la Universidad, con naturalidad, si bien no exenta aún de ciertos recelos. Ello permitió participar en otros trabajos aunque aún con una fuerte componente de asistencia.

En este período la investigación conjunta entre Universidad y Empresa era inexistente. Los temas de investigación se fijaban desde la Universidad por interés de las personas que participaban en los mismos. Ahora bien, ello no quiere decir que las opiniones e intereses de empresas no se escuchasen y que, en consecuencia, pudiesen influir en algunas de las líneas de investigación iniciadas en ese período.

Como ejemplos de temas iniciados por motivación propia de la universidad están: hormigones de polímeros, comportamiento de puentes frente la acción térmica ambiental, comportamiento triaxial y a fatiga de hormigones, comportamiento de losas postesas, mientras que entre los temas iniciados como consecuencia de estimarse de interés por la motivación que transmitía las empresas están: hormigones porosos, depósitos de hormigón pretensado, descimbrado en tempranas edades.

La financiación de la mayoría de estos temas de investigación eran con fondos públicos provenientes de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (Proyectos 0841/81, 2628/83, 2629/83, 0321/85, 0195/86, 0851/87, 0506/89. El hecho de una falta de tradición de investigación en el campo de la Ingeniería Civil en España, no fue un impedimento sino por el contrario, facilitó la concesión de dichos proyectos.

La difusión de los resultados de estos proyectos de investigación básica dentro del mundo profesional en la segunda mitad de la década de los 80, sirvió como base para nuevos proyectos de investigación, si bien en este caso con una componente más aplicada y con financiación del Sector Privado. En este entorno se sitúan los trabajos realizados para: el Sector Eléctrico dentro del Programa de Investigación Electrotécnico (Apartado 4.2), el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (M.O.P.U.) (Apartado 4.3), el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (I.E.C.A.) (Apartado 4.4), Fomento de Construcciones y Contratas, S.A. (F.E.C.S.A.) y ESTEYCO (Apartado 4.5).

En este período, en las tesis doctorales entre cuyos objetivos estaban "Consideraciones de diseño", se utilizó una fórmula que se considera muy útil. En ella, dado que desde la universidad no se actúa como proyectistas, antes de iniciar las tesis se hace una ronda de conversaciones con destacados especialistas del mundo empresarial especialistas en el área de la que se ocupaba la tesis. Esta fórmula ha permitido un transvase de tecnología en ambas direcciones. En 1^{er} lugar del mundo profesional a la Universidad y tras la tesis, de la Universidad al mundo profesional.

Este último transvase es muy productivo ya que se hace sobre unos especialistas ya receptivos dado que han participado en cierta medida en el tema, por lo que los resultados de la investigación son fácilmente asumidos por el mundo profesional.

Cabe señalar, para finalizar este período de consolidación, que durante el mismo se construye los edificios de la nueva Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona en el que se incluye el Laboratorio de Tecnología de Estructuras. El equipamiento del mismo se hace fundamentalmente por fondos provenientes de los proyectos antes citados y bien, otros fondos provenientes de los proyectos antes citados y bien, otros fondos para infraestructura provenientes de la Administración Estatal (Ministerio de Educación y Ciencia) o de la Administración Autonómica (Generalitat de Catalunya). Así pues dicho período se cierra con unos satisfactorios equipamientos, tanto en la vertiente experimental (Laboratorio Tecnología de Estructuras) como en la vertiente numérica (Centro de Cálculo de la E.T.S.I.C.C.P.), para dar respuesta satisfactoria a la demanda existente.

3. El proceso de transferencia de tecnología

Una vez consolidado el equipo de trabajo dentro del sector profesional y superadas las reticencias iniciales que pudiesen existir en dicho sector, se abre una etapa de expansión. Ahora bien en esta expansión se juega la baza fundamentalmente de la investigación, abriendo líneas de investigación, con la incorporación directa de la empresa en la misma. Esta incorporación no es simple ni inmediata sino que ha estado, y en muchos casos está, precedida por la creación de una cultura de investigación dentro del mundo empresarial, lo cual no deja de ser una labor de apostolado. Ello significa de hecho en con frecuencia hay que actuar de empujador de temas y tirar de las empresas.

En esta decisión (abrir camino) ha influido, que si bien el rendimiento a corto plazo no es elevado, tal como puede verse en la figura 1, si que a largo plazo el rendimiento (medido según diferentes criterios) puede ser muy importante tanto a nivel individual como a nivel institucional. En dicha figura puede verse que en las primeras etapas de investigación de un tema los esfuerzos son importantes si bien los rendimientos son bajos, incrementándose estos a partir de un cierto porcentaje (del orden del 25 %), para volver a disminuir a partir de que la investigación en dicho campo está muy avanzada (del orden del 75 %). La voluntad política de nuestro equipo es trabajar en ese 25 % inicial acompañados por las empresas participes de dicho planteamiento.

Al observar esta figura, se puede deducir que la financiación de la investigación que se encuentra antes del 25 % y después del 75 %, debe contar con ayudas públicas, mientras que la financiación de la etapa comprendida entre el 25 % y el 75 % será financiada básicamente por el mundo empresarial. La menor participación económica de ésta en las otras etapas no quiere, ni debe significar una ausencia del mismo mediante aportación de ideas, comunicación, divulgación, etc.

La citada incorporación de las empresas se hace por aceptación de las mismas a partir de una idea de la universidad (es de destacar la receptividad creciente de la empresa a ideas de investigación provenientes de la universidad en España) o bien, por la propuesta de la idea directamente por parte de la empresa con la participación de la universidad, proponiendo la solución para un nuevo producto.

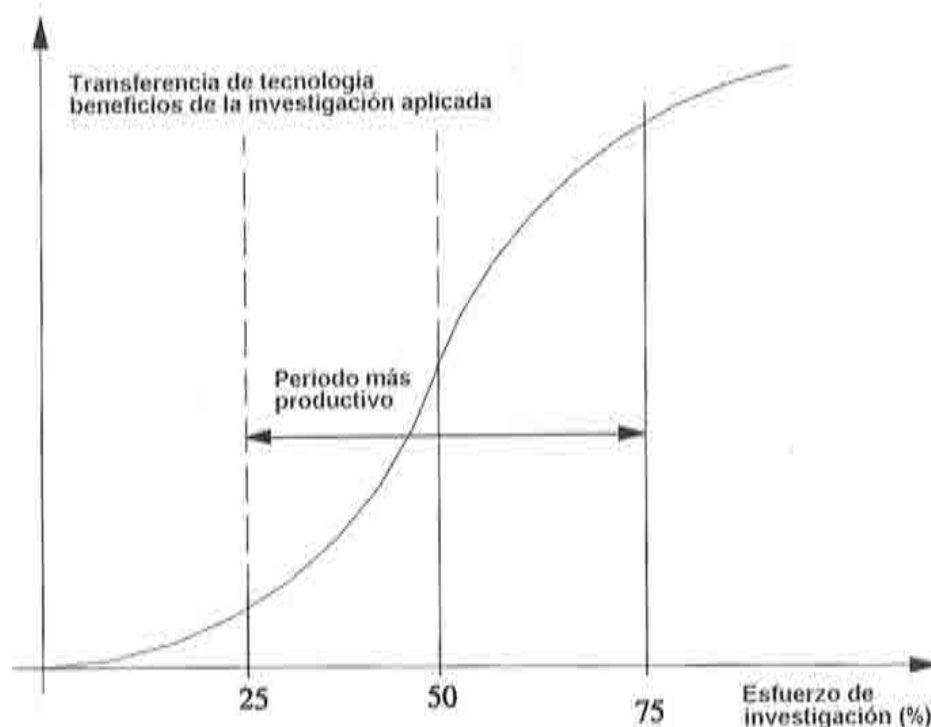


Figura 1. Evolución del rendimiento de la investigación con el avance del conocimiento en la misma.

En general, el éxito de la primera vía de iniciativa suele ser menor que el correspondiente a la segunda vía. Ello es debido a las diferentes planteamientos y posturas de las dos partes. Algunas veces se critica a los centros de investigación por tratar de convencer a las empresas de que hay un problema donde en realidad no existe. En cualquier caso, en España se está produciendo un importante cambio de mentalidad en el mundo empresarial en relación a la investigación aplicada. En dicho cambio han influido diversos factores tales como:

- Beneficios en cuanto la repercusión positiva de la investigación en temas de imagen de empresa.
- Reducción de costes por la ayuda financiera de fondos provenientes de la Comunidad Europea, el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y el Centre d'Informació i Desenvolupament Empresarial (CIDEM).
- Posibilidad de conocer y ampliar mercados internacionales a través de los contactos que se establecen con socios industriales de otros países.
- Beneficios técnicos directos como consecuencia de los resultados de los proyectos de investigación.

Hay que señalar aquí el importante beneficio que desde este punto de vista ha representado la reciente incorporación de España a la Comunidad Europea y que esta, haya seguido una política de investigación entre empresas y universidades en clara competencia con el mercado japonés y

de USA. Este esfuerzo inversor, superior al existente en España, sirve para tirar, en cierta medida, del mundo empresarial español más receptivo y competitivo. Este efecto, entendemos es claramente extrapolable a otros países en vías de desarrollo, por lo que la incorporación de los elementos más activos de los mismos a redes internacionales de investigación puede ser un motor de la investigación en sus respectivos países. A este planteamiento responde ciertos programas existentes en la C.E. y en la administración española.

Para absorber este incremento de la demanda por parte del mundo empresarial, en las condiciones actuales de la universidad (crecimientos prácticamente nulos en relación al personal), es preciso potenciar la figura del becario que realiza su tesis doctoral. Este becario puede ser procedente del mercado nacional o bien del mercado exterior, si bien en ambos casos se pretende que su tesis doctoral la realice en el entorno del proyecto de investigación en el que se integre.

En el primero de los casos, el número de becarios está limitado por: las condiciones de mercado, la dificultad de promoción dentro de la universidad, etc. No obstante siguen existiendo becarios dispuestos a un período de formación mayor a través del doctorado para su incorporación posterior al mundo empresarial. En la experiencia de los últimos 15 años, alrededor del 30 % de doctores formados en el grupo se han incorporado con posterioridad al mundo empresarial. Asimismo en los proyectos conjuntos con la empresa se intenta que algún técnico de la empresa, incorporado al proyecto, pueda hacer su tesis doctoral dentro del mismo. Existen precedentes de ambos tipos de doctores resaltando el hecho de un cambio de posición al respecto en el mundo empresarial. Así en el momento actual, el título de doctor no significa un elemento extraño en la empresa sino un valor en alza, tanto a nivel personal como a nivel empresarial.

En cuanto al mercado exterior, es decir, becarios provenientes de otros países, la situación actual es mucho más favorable que la descrita para el mercado nacional. Estos becarios con financiación provenientes de fondos de sus propios países, de la administración española o de los propios proyectos se incorporan a los proyectos de investigación donde realizan su tesis doctoral para con posterioridad regresar a su país de origen, habiéndose cerrado hasta la fecha el ciclo en dos casos.

Esto de hecho ha significado una internacionalización del equipo de investigación, no sólo por la incorporación de becarios de diferentes países sino por la acogida a profesores visitantes de otras universidades, la incorporación de investigadores de otros países así como la participación en proyectos europeos con la participación activa tanto de empresas como de otros equipos de investigación (ejemplos 4 y 6).

Si con anterioridad hemos hablado de los aspectos humanos de la investigación es necesario hacer algunas consideraciones sobre los temas de investigación. En la aceptación de trabajo en un tema de investigación proveniente del mundo empresarial se tiene en cuenta principalmente, la novedad y el interés del mismo, según lo expuesto anteriormente (fig 1) así como que los resultados del mismo sean publicables desde el punto de vista científico.

En cualquier caso, en los proyectos conjuntos con las empresas, se intenta mejorar los rendimientos de la investigación a corto y medio plazo, para que dichos resultados sirvan como motor de nuevas propuestas de proyectos de investigación conjuntos. Este planteamiento sigue la filosofía actual existente en la Comunidad Europea recogida en el 4º Programa Marco de Investigación y que se refleja en la figura 2 (García Arroyo, 1994). En ella puede verse, que se pretende hacer ciclos más cortos de innovación, decreciendo el tiempo de vida de la inversión

para que aumente el retorno, lo cual conlleva un mayor esfuerzo inversor inicial.

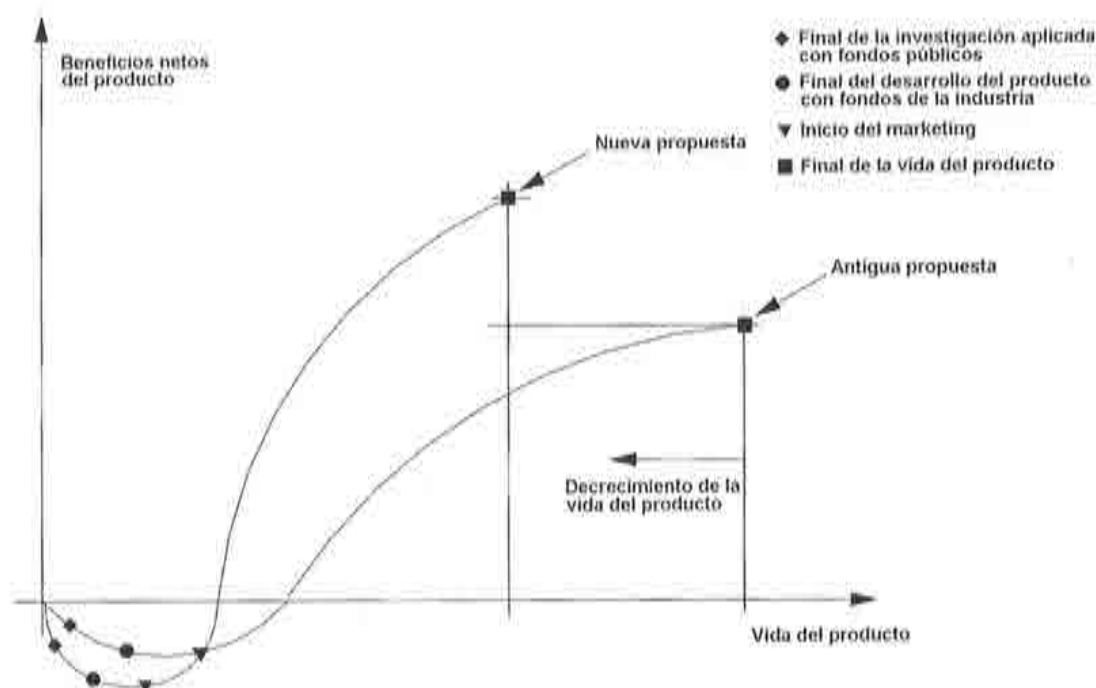


Figura 2. Inversiones y retorno a lo largo del tiempo según propuesta C.E.

No toda la transferencia de tecnología se está haciendo desde el punto de vista investigador sino que hay también una componente docente en la misma. Esta componente, aparte de los cauces clásicos de cursos de especialización, programas de máster u otros similares, se hace a través de cursos a medida bajo pedido del mundo empresarial. Como ejemplo, está un curso realizado para Ciment Catalá (Agrupación de empresas cementeras catalanas) en la primavera del año 1992. En dicho curso de una duración de 60 horas se impartieron diferentes temas relacionados con el hormigón como material estructural, aplicaciones de hormigón, hormigones especiales, etc., El público asistente eran técnicos de producción, laboratorio y comercialización de distintas empresas cementeras ubicadas en Cataluña. El resultado fue satisfactorio por ambas partes.

Otro aspecto a reseñar en este proceso de transferencia, es la asistencia técnica a través de los laboratorios existentes. En el Laboratorio de Tecnología de Estructuras de la U.P.C. se están llevando a término diversos trabajos de tipo no rutinario o bien trabajos que impliquen desarrollos de productos o bien de técnicas de ensayos no normalizados. Esto da una buena visión de los problemas técnicos planteados por la industria y del retraso existente entre investigación y práctica.

4 Casos estudiados

4.1 Análisis estructurales para la Asociación Nuclear Ascó (ANA) y C.N.Vandellòs II

Para ANA se han realizado diversos trabajos en los últimos trece años que demuestran una importante continuidad en el desarrollo de la actividad conjunta. Tal como se ha dicho, esta

relación se estableció inicialmente para el estudio del comportamiento no lineal de la estructura del edificio de control de la Central Nuclear Ascó. Para su resolución se utilizaron los métodos y herramientas numéricas desarrolladas en las tesis doctorales de los profesores Aguado y Mari. Los resultados de los estudios presentados al consejo de expertos del Consejo de Seguridad nacional fueron satisfactorios quedando resuelto el problema planteado.

Con posterioridad, y en base a las relaciones previas establecidas se han hecho diversos trabajos de asistencia sobre: consideración del método de ultrasonidos para analizar la evolución estructural del citado edificio, vigilancia del pretensado del edificio de contención (distintas etapas), influencia de las fugas de grasa de las vainas en el comportamiento estructural de este mismo edificio.

Asimismo para la Central Nuclear Vandellós II se realizó, a petición de los técnicos de la misma, un estudio experimental sobre la caracterización mecánica y diferida (retracción y fluencia) del hormigón empleado en el edificio de contención de la misma. Este trabajo fue muy significativo ya que de hecho constituyó el 1^{er} trabajo de carácter experimental realizado para la industria. Este trabajo, si bien tenía poca componente de investigación sirvió para poner a punto una técnica y equipos que se utilizaron con posterioridad para la realización de distintas tesis doctorales.

4.2. Estudio de presas de hormigón para FECSA

Con la empresa Fuerzas Eléctricas de Cataluña S.A. (FECSA) se ha participado tanto en temas de investigación como en temas de asistencia. Entre los primeros están los proyectos del Programa de Investigación Electrotécnico (PIE) "Nuevos materiales y tecnologías de reparación de obras hidráulicas de hormigón. PIE nº 12005" y la propuesta del proyecto "Sistema modular para el diagnóstico de daños por expansión en presas y actuaciones de reparación". Ambos proyectos tocan desde distintos puntos de vista el comportamiento de presas de hormigón durante la vida en servicio de las mismas.

Dentro de los temas de asistencia se han abordado temas tales como: dictamen sobre la causa de fisuras en el hormigón que envuelve las turbinas de la central reversible de Estany-Gento Sallente (en cuyo desarrollo se empleo con éxito técnicas de ultrasonidos in situ para estimación de fisuras), dictamen sobre el comportamiento expansivo del hormigón de las presas de Graus y Tabescán. En cualquiera de estos dictámenes, la componente de investigación es importante sin perder de vista el aspecto ingenieril de los mismos.

En el estudio correspondiente a las presas de Graus y Tabescan se aborda, por un lado, el tema de modelos de comportamiento a nivel microestructural, López *et al* (1994) y por otro lado, el tema de modelización numérica de la degradación del hormigón a partir de las características de los componentes y de las condiciones termotrigrométricas de la explotación. En estos trabajos la empresa no sólo consigue conocer las causas de los problemas existentes sino también criterio para la actuación posterior en la explotación de las presas, con el consiguiente ahorro económico.

4.3 Trabajos relativos a la preparación de códigos

Como consecuencia de los resultados expuestos a la comunidad profesional de la tesis del profesor Mirambell (1987), los técnicos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)

entendieron que los mismos podrían formar parte de una futura normativa española y/o europea sobre acciones térmicas en puentes. Para ello se establecieron dos convenios entre el citado ministerio y la UPC, bajo la dirección del prof. Mirambell, que acabaron con la redacción de un documento que ha servido de base para la propuesta normativa actual del citado ministerio sobre este tema MOPT (1993).

Recientemente, el grupo de puentes, dirigido por el profesor A.C. Aparicio, ha estudiado la utilización del pretensado exterior, en un proyecto (DGICYT PB90-0612) financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) y en diversos convenios con el mundo empresarial. Los resultados de esta investigación, tales como la tesis doctoral de Ramos (1994), han sido la base de unas recomendaciones, hechas por la Asociación Técnica Española del Pretensado (A.T.E.P.), cara al proyecto y construcción de puentes con pretensado exterior.

En una línea paralela, el profesor A.R. Marí ha sido el coordinador de un grupo de la A.T.E.P. encargado de desarrollar unas recomendaciones para el proyecto de losas pretensadas con armaduras postesas no adherentes para su aplicación en forjados de edificación. En esta línea se ha contado con la colaboración de la Empresa Fomento de Construcciones y Contratas (FCCSA) en el desarrollo de los ensayos que avalaron dichos trabajos, incluidos en la tesis doctoral de Martínez-Abellá (1994) y de un proyecto de investigación sobre este tema (DGICYT, PB87-0851).

4.4 Trabajo sobre hormigón poroso modificado con polímeros

A partir de las consultas realizadas con expertos del mundo profesional y de los resultados obtenidos en el proyecto CICYT2628/83 publicados en las revistas técnicas, los técnicos del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) se pusieron en contacto con nuestro equipo de trabajo para desarrollar un hormigón poroso modificado con polímeros para su aplicación como capa de rodadura en firmes rígidos.

Tras unos primeros trabajos, este tema derivó en un proyecto europeo del programa BRIT- EURAM BE-3415 "Optimization of the surface properties of concrete roads in accordance with environmental acceptance and travel safety". En dicho proyecto, recientemente finalizado, han participado equipos de Alemania, Holanda y España. Por esta última han participado además del IECA y la UPC ya citados, las empresas GEOCISA y DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES S.A., habiéndose realizado la construcción de un tramo experimental en un ramal de la autovía M-40 en Madrid. Los resultados sobre el comportamiento a fatiga de dichos hormigones puede verse en Josa *et al.* (1994) y Pindado *et al.* (1994)

4.5. Producción industrial y utilización de hormigones de alta resistencia

En ese abrir líneas descrito con anterioridad, a partir de la incorporación del primer becario extranjero en 1988 y con fondos de proyectos de la DGICYT, se empezó a trabajar en hormigones de altas prestaciones. Nuevamente la difusión de resultados, Oliveira (1992), y la confianza en nuestro equipo de trabajo por parte del sector profesional, nos permitió participar en una obra pionera en España de Hormigón de Alta Resistencia ($f_{ck} = 80$ Mpa).

Dicha obra son dos pasarelas peatonales de hormigón pretensado ubicadas en Montjuïc (Barcelona), para dar acceso a las instalaciones deportivas donde se celebraron los Juegos

Olímpicos de Barcelona, Rui Wamba *et al.* (1993). Dado el carácter singular de la obra y la falta de experiencias previas en España, Las empresas ESTEYCO como participante en el proyecto y en la dirección de obra así como FOMENTO DE CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS S.A. como empresa constructora se dirigieron a nosotros para que desarrollásemos las dosificaciones a emplear y marcásemos las directrices respecto al sistema constructivo. De dicha experiencia se ha hecho una publicación resumen de la participación de la UPC Aguado *et al.* (1994) que se hace circular entre los jefes de obra de FCCSA.

La colaboración industrial en el área de H.A.R. ha ido aumentando debido al continuado interés de FCCSA y de otras compañías. Este interés no es sólo en el tema específico de las altas resistencias sino también en el de altas prestaciones en general. Por otro lado, este interés se ha plasmado en proyectos conjuntos de transferencia de tecnología financiados parcialmente por el programa PETRI del Ministerio de Industria, como es el caso de un proyecto encabezado por Cementos Molins. El objeto del mismo es ayudar a las plantas de hormigón preparado del citado grupo a mejorar los procesos y técnicas de producción para dar respuesta satisfactoria a las nuevas generaciones de hormigones de altas resistencias. Este reto incluye la necesidad de emplear materiales de la zona, sistemas convencionales de amasado, transporte y control, así como tener presente la formación del personal.

En ese desarrollo del grupo de trabajo se combina la investigación básica con una investigación aplicada orientada al producto, Gettu *et al.* (1993), en la que se optimizan los parámetros principales que satisfacen los requisitos del producto. Para hacer esto, técnica y económicamente realizable, se ha de definir cuidadosamente las relaciones coste, beneficio y composición-prestación. Este planteamiento se está llevando a cabo en un proyecto multidisciplinar EC-CRAFT, coordinado por Matiere (una empresa francesa de prefabricación) en el que se utilizan una nueva adición para obtener hormigones de altas prestaciones.

4.6. Temas térmicos en presas de hormigón

Como una extrapolación de los trabajos anteriores en el campo del comportamiento térmico de estructuras y tras constatar, mediante conversaciones con técnicos de distintas empresas eléctricas y Confederaciones Hidrográficas, las lagunas existentes sobre el comportamiento térmico de presas de hormigón frente a la acción térmica ambiental se intentó apoyar en el conocimiento de este tema mediante la tesis del profesor Agulló (1991).

Los resultados de la misma sirvieron para ahondar en dicha línea si bien extrapolando a la fase de construcción. Este trabajo se desarrolla en la actualidad financiado por la DGICYT PB90-0611 "Comportamiento térmico de presas de hormigón" y por un convenio existente entre la UPC e INARSA y JUNTA DE AGUAS. En la actualidad, los resultados de la investigación se están utilizando en la construcción de la presa de la Llosa del Cavall (Presa bóveda de 128 metros de altura) y en los temas de instrumentación térmica de la misma. Dentro de este contexto y, en lo que hace referencia a la etapa de construcción, se ha desarrollado una tesis doctoral, Calmon (1995), en la que se inciden tanto en la distribución de temperaturas como en los aspectos tensionales asociados a las mismas.

5 Consideraciones finales

De lo expuesto en los apartados anteriores, y en relación a la investigación aplicada que aquí se plantea, se trasluce que situaciones como: dejar toda la inversión de la investigación para la empresa o dejar que las ideas de investigación provengan únicamente de la universidad, no resultan satisfactorias ya que o bien no se hace o bien se aleja de la realidad. En consecuencia, entendemos que la solución óptima para un mejor rendimiento en los que se reducen los tiempos de retorno, pasa por un caminar conjunto entre ambas partes basado en las siguientes etapas:

- La idea debe proceder básicamente del mundo empresarial si bien puede, y debe, darse forma conjunta con la universidad.
- Las inversiones iniciales deben proceder de forma significativa de la financiación pública sin excluir, evidentemente, las aportaciones empresariales.
- Durante el desarrollo de esta fase de la investigación convendría que existiese un diálogo fluido entre los investigadores (productores de la investigación) y los técnicos de las empresas (aplicadores de los resultados de la investigación).
- Con posterioridad a estas fases, una vez demostrada la viabilidad del tema que se investiga, debe venir una etapa de mayor involucración de la empresa. Esta involucración debería ser tanto económica como técnica, cara a una mayor profundización y extensión de los resultados. En definitiva se trata de llevar a la práctica los resultados de la investigación con la comercialización y desarrollo de los productos resultantes.

El proceso descrito, que de forma esquemática con un diagrama de flujo se presenta en la figura 3, está en línea con lo expuesto en la anterior figura 1, en la que a medida que avanza el porcentaje del conocimiento la participación de la universidad debe disminuir, incrementándose el papel de la empresa en la investigación. En todo momento la participación conjunta de la universidad y la empresa debe ser del 100 %, esto es, se pretende que sean complementarias.



Figura 3. Esquema del proceso ideal de transferencia de tecnología

Este modelo puede verse modificado, no tanto desde el punto de vista conceptual, sino desde el punto de vista más cuantitativo, por el tipo de producto resultante de la investigación. Así si el

producto resultante es susceptible de patentar con unas perspectivas favorables de comercialización, en general, es la empresa quien realiza la investigación (hoy en día al 100 %). Este planteamiento es en nuestra opinión erróneo ya que si bien debe ser la empresa quien lleve la voz cantante en el tema, alcanzará un mejor resultado conociendo en profundidad las posibilidades que le puede tener el mismo y estas posibilidades se las da, en principio, con mejor método la universidad.

En resumen, se trata de superar las reticencias del secreto profesional dado que en la actualidad cualquier producto tiene un tiempo de vigencia escaso ya que a partir de 18 meses a 2 años es susceptible de tener en mercado una copia del mismo con otra patente; es decir, se trata de ser competitivo, entre otros factores, por la innovación tecnológica y esta se consigue básicamente con la investigación y para que esta resulte económicamente razonable dentro de las estructuras actuales de las empresas debe hacerse de forma conjunta con la universidad.

Si bien hemos estado hablando de universidad empresa no hay que olvidar que la Universidad, como productora de investigación es una empresa y, en consecuencia, en el trabajo que realiza debe seguir los criterios de calidad existentes en las mismas. Entre estos criterios, hoy en día tiene gran vigencia aquel que señala que la calidad de una empresa se mide por la calidad de sus clientes y la fidelidad de los mismos. En consecuencia, entendemos que ese criterio empresarial debe estar asimismo vigente para el trabajo realizado desde la universidad.

Para finalizar hay que recordar que una conclusión importante de la relación de transferencia de tecnologías entre universidad y empresa es que al firmar un convenio, la empresa vela por su inversión y con ello impide la posible acomodación que se podría producir en la universidad sin esa presión.

Agradecimientos

Las actividades presentadas en este artículo no habrían sido posibles sin la colaboración de numerosas personas, empresas e instituciones a las que queremos mostrar nuestro más profundo agradecimiento. Ahora bien, dado que la relación sería muy numerosa y no podemos citar a todos, permitásenos hacerlo a los más próximos y que durante alguna etapa han estado o están relacionados con nuestro entorno. Entre ellos están los profesores Murcia, Marí, Mirambell, Roca, Agulló, Martínez, Vives y los becarios que han hecho la tesis doctoral en nuestro entorno. El trabajo sobre pretensado externo lo han desarrollado los profesores A.C. Aparicio, J.R. Casas y G. Ramos.

Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento a la Generalitat de Catalunya por la ayuda que nos ha concedido dentro de la convocatoria de 1994 de Grupos de Calidad y que ha contribuido para la celebración de CONTECH' 94 y la edición de los libros correspondientes a dicho evento.

Referencias

AGUADO, A. (1980)

"Estudio del análisis no lineal de estructuras de hormigón mediante superposición de problemas lineales en deformaciones". Tesis doctoral. E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

AGUADO, A y MURCIA, J. (1980)

"Aplicación del método de las deformaciones impuestas para analizar el comportamiento no lineal de estructuras hiperestáticas de hormigón". Rev. Hormigón y Acero nº 137.4º trimestre

AGUADO, A. (1994)

"Una experiencia en hormigón de alta resistencia: Enseñanzas de la misma". Memoria final del convenio suscrito entre UPC y FCCSA, ESTEYCO relativo a la construcción de las pasarelas de Montjuïc en hormigón de alta resistencia.

AGULLÓ, L. (1991)

"Estudio térmico en presas de hormigón frente a la acción térmica ambiental". Tesis doctoral. E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

CALMON, J.L. (1995)

"Estudio térmico y tensional en estructuras masivas de hormigón. Aplicación a las presas durante la etapa de construcción". Tesis doctoral. E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

GARCÍA ARROYO, A. (1994)

"Presentación del 4º Programa Marco de la Comunidad Europea". Bellaterra, Universidad Autónoma de Barcelona. Junio

GETTU, R., AGUADO, A., and PACIOS, A. (1993)

"Need for application-oriented high-performance concretes". International Symposium on Innovative World of Concrete (IWC-93). (Bangalore), Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi (India). 5 pp. 3-299/3-303.

JOSA, A., ONSTENK, C., JOFRE, C., EICKSHEN, E. and AGUADO, A. (1994)

"Porous top-layer for concrete pavements: Laboratory study and Structural analysis". Paper for the Brite-Euram Workshop on Construction and Concrete Across Borders. Odense (Denmark). Junio 1994. pp. 205-215.

LÓPEZ, C.Mª., AGUADO, A. y CAROL, I. (1994)

"Numerical studies of two gravity dams subjected to differential expansion of the micro-structure". Dam Fracture and Damage International Workshop. Chambéry (France). 16-19 March 1994. Ed. by A.A. Balkema Publishers. pp. 163-168.

MARÍ, A.R. (1981).

"Análisis de estructuras de hormigón armado y pretensado en teoría de segundo orden". Tesis doctoral. E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

MIRAMBELL, E. (1987).

"Criterios de diseño en puentes de hormigón frente a la acción térmica ambiental". Tesis doctoral. E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

M.O.P.T. (1993).

"Acciones térmicas a considerar en el proyecto de puentes de carreteras". Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Dirección General de Carreteras. Serie Normativas. Pliego de construcción. 42 pág

OLIVEIRA, M.O.F. (1992)

"Fatiga y microfisuración en hormigones de alta resistencia". Tesis doctoral. E.T.S.I.C.C.P. Barcelona.

PINDADO, M.A., AGUADO, A., JOSA, A. and ONSTENK, E. (1994).

"Laboratory study of fatigue of polymer modified porous concrete for its use as top layer of concrete pavements". Presented at the 1994 ACI fall convention October 23-28, 1994 in Tampa.

RUI-WAMBA, J., AGUADO, A., OLIVIER, M. and BELLOD, J.L. (1993).

"A non standart structure on high-strength concrete" on High-Strength Concrete 1993, 20-24 June, Lilliehammer, Norway. Vol n°1 pp 437-448. Sponsored by NB-SINTEF-NSF-FIP-CEB-ACI.

Resumen Sesión I

Realizado por
F. Martínez, Universidad de La Coruña

CONFERENCIA DE APERTURA

§ S.P. Shah (NSF ACBM Center, USA): *Tendencias actuales en la ciencia y tecnología del hormigón*

El consumo de hormigón en los USA se eleva a las 2 Tm/persona/año, aunque todavía quedan por conocer numerosos aspectos concernientes a la durabilidad, a la forma de rotura y a la microestructura de este material.

El objetivo del *NSF Science and Technology Center for Advanced Cement-Based Materials* (ACBM) es el desarrollo de hormigones de altas prestaciones y de materiales de base cementosa, incidiendo principalmente en aspectos relativos a su química, su microestructura, su micromecánica y a sus propiedades estructurales ingenieriles. El uso de estos materiales va más allá de la Ingeniería Civil encontrándose aplicaciones eléctricas, acústicas y mecánicas.

La prestación que poco a poco se impone, por encima incluso de la resistencia, es la durabilidad. Ésta va asociada siempre a una baja permeabilidad, lo que implica conocer la estructura porosa y los métodos para determinarla y, en especial, determinar cómo alterar dicha estructura porosa a partir de nuevos procesos y nuevos componentes.

El método tradicional para conocer la estructura porosa es el porosímetro de intrusión de mercurio, cuyos resultados son muy discutibles por la necesidad de un alto vacío que elimina el agua del material. El Centro ACBM utiliza tres métodos que no vacían el agua de los poros y dan mejores resultados:

1. Relajación por resonancia nuclear magnética. Tras llenarse los poros de agua se genera un impulso nuclear magnético y se mide la relajación de la energía, lo que permite estimar una distribución de los poros.
2. Escaneo ambiental mediante microscopio electrónico, que no precisa la producción de vacío y, por tanto, la eliminación del agua.
3. Espectroscopía de impedancia, que permite medir cambios en la microestructura de los hidratos del cemento. Se llega así a relacionar microestructura, permeabilidad y conductividad.

Hay dos proyectos fundamentales en el desarrollo de materiales resistentes y duraderos: los cementos DSP (matrices de cemento densificadas con partículas pequeñas) y los cementos MDF (cementos libres de macrodefectos). En ellos se estudian, además de la microestructura, los fenómenos relativos a los cambios de rigidez tras el pico de rotura y las propiedades de la fractura. Éstas se abordan mediante métodos de emisión acústica, de holografía láser más análisis digital de la imagen y de interferometría bidimensional electrónica. Estos materiales pueden ganar ductilidad con la adición de fibras, lo que aumenta su resistencia a tracción. Mediante métodos novedosos como el de extrusión se puede llegar a adicionar hasta un 15% de fibras. Los materiales cementosos experimentan con estas adiciones cambios notables, que permiten modificar, por ejemplo, la rama post-pico.

Los programas de investigación y la interacción industrial se realizan en el Centro ACBM dentro de cuatro áreas de transferencia de tecnología:

1. Programas de afiliación industrial: diseñados para grandes industrias, éstas reciben del Centro

la posibilidad real de investigar, los resultados de las investigaciones, la organización de congresos específicos y el acceso a las universidades. Su aportación se traduce en medios económicos e infraestructura y personal de apoyo, ya que a estas industrias les resulta más económico investigar a través del Centro. Esta colaboración permite a ambas partes mantener un contacto directo sobre los problemas reales que existen en la industria, lo que implica realizar una investigación de inmediata aplicación.

2. Pequeñas sociedades de negocios: dirigidos a pequeñas industrias que no tienen capacidad de investigación. A cambio de una pequeña aportación estas empresas reciben seminarios sobre temas que ellas mismas solicitan.
3. Interacción con agencias públicas, que combina una doble vertiente:
 - la cooperación con organismos públicos, tales como DOT o ITI, y la propuestas de investigaciones a agencias como ATP, NIST y SBIR.
 - el trabajo conjunto con organizaciones técnicas como ACI, ACS, MRS, ASTM, ACPL, de las que son miembros activos los investigadores del Centro.
1. Comercialización: hasta seis resultados de investigación se han convertido en productos con gran potencial de investigación. Asimismo, se han formado consorcios dirigidos a fomentar programas de comercialización.

SESIÓN I (*presiden los profesores Gállego y Calavera*)

§ H.-W. Reinhardt (Univ. Stuttgart, Alemania): *Relación entre la microestructura y las prestaciones estructurales del hormigón.*

El hormigón tiene propiedades agrupables en dos campos: el físico y el estructural. El ingeniero estructural atiende principalmente a los fenómenos observables en la macroescala, mientras que el ingeniero de materiales se centra en el ámbito de la microescala. Realmente, las propiedades microestructurales determinan claramente las macroestructurales.

Los componentes del cemento Portland son básicamente C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF , que reaccionan con el agua para dar los hidratos CSH y CH (a partir de los silicatos cálcicos) y Af_i (ettringita) y Af_m (monosulfato) a partir de los aluminatos y el hierro, y siempre con el sulfato cálcico que se añade para controlar el proceso. El CH tiene una estructura cristalina hexagonal bien definida, a diferencia del CSH, gel poco cristalino para el que la relación C/S cercana a 1.2 - 2.3 (varía con el tiempo disminuyendo la relación hasta llegar a un material más estable). La Af_i forma barras hexagonales y se crea al comenzar la hidratación, mientras que el Af_m se genera a más largo plazo en forma de placas hexagonales. La adición de humo de sílice reduce C/S a 1.0 - 1.2, quedando las cadenas de CSH con mayor longitud.

La microestructura de la pasta de cemento hidratada (HCP) se desarrolla en diversos estadios: preinducción, inducción, período medio y período final. En el desarrollo microestructural de un grano de cemento se distingue entre un producto "exterior", que crece inicialmente en el espacio ocupado por el agua, y un producto "interior", que se desarrolla en el interior del grano. La relación C/S varía en estos productos con el tiempo. La adición de humo de sílice incrementa el volumen de material embebido en el producto exterior, lo que lleva a una densificación de la

pasta y a un aumento de resistencia.

La porosidad en la HCP se encuentra en el gel y en los poros capilares, cuyo espacio depende del grado de hidratación y de la relación inicial agua/cemento (a/c). Éstos se deben a la contracción del agua químicamente adherida y al exceso de agua evaporable no utilizada durante la hidratación (mayor cuanto mayor sea a/c). La porosidad es proporcional a la resistencia, aunque la aquélla no queda suficientemente caracterizada por los tamaños de los poros, cuya mayor frecuencia se establece en el intervalo 40 - 80 nm. A partir de las funciones de distribución de los tamaños de los poros se puede predecir la permeabilidad y la difusión.

Se considera la HCP como una fase con interfaces con las adiciones minerales, los áridos, las fibras y las armaduras. Todos ellos son discontinuidades en la HCP. Los enlaces iónico-covalentes determinan la resistencia INTRapartícula, mientras que las fuerzas de Van der Waals y los puentes de H otorgan la resistencia INTERpartícula. El humo de sílice se disuelve en el producto exterior del grano de cemento, mientras que las otras adiciones minerales tienen al principio débiles interfaces que se densifican con el tiempo. La interface con el árido (de unos 40 - 100 μm) es más porosa que la HCP, tiene más CH y posee fisuras cerca del árido por la incompatibilidad de deformaciones entre ambos componentes.

El comportamiento tensión-deformación (σ/ϵ) a compresión se caracteriza por tres estadios: el primero, hasta 0.3 veces la resistencia, se puede considerar cuasielástico; el segundo, hasta 0.8 veces la resistencia, ve mayores ϵ que en el caso lineal; en el tercero, hasta el pico de la curva, la ϵ es claramente no lineal y, por último, se observa una rama de softening. Existen relaciones (Hirsch) que permiten acotar E_c en función de los volúmenes y módulos de la pasta y los áridos. En cuanto al desarrollo de las fisuras, en un hormigón normal se activan primero los defectos grandes y luego los pequeños, mientras que en un hormigón de alta resistencia se activan todas las fisuras a la vez. Por ello, de conseguir un material cementoso más homogéneo y con defectos muy pequeños se obtiene una íntima adherencia y una baja porosidad. Se habla entonces de dos materiales nuevos: los cementos DSP y los MDF. En los primeros se introduce entre los granos de cemento (15 μm) microsílíce (0.5 μm), alcanzándose resistencias de hasta 220 MPa. En los segundos se une al cemento y al agua un polímero soluble en agua, lo que permite llegar resistencias de hasta 500 MPa. Para mejorar la ductilidad debe añadirse fibras.

El comportamiento a tracción exhibe una rama lineal hasta alcanzarse la resistencia y una rama softening hasta la separación de las caras de la fisura. Esta última rama encuentra su explicación en la pérdida de adherencia, la fricción y los puentes generados entre las fisuras.

Discusión.

En primer lugar hay una intervención acerca de la interface hormigón-acero, no tratada en esta ponencia. Se destaca que el espesor de esta capa con porosidad es del orden de los 20 μm y que el CH no se adhiere al acero. A continuación el Sr. McCurrich trata el tema del curado y de su importancia respecto a la durabilidad. Se plantea asimismo si el curado afecta exclusivamente a la capa superficial del hormigón, dependiendo el curado interno del contenido de agua de la mezcla. El ponente recalca lo vital del curado en caso de temperaturas altas y ambiente seco. Como ejemplo, en el Norte de Europa, con temperaturas bajas y humedades relativas altas, se consiguen buenos hormigones sin necesidad de curado. Se cuestiona también la relación del curado con el tiempo de permanencia en el encofrado.

El profesor Bazant insiste a continuación en la importancia de caracterizar la interface árido-pasta para conocer los límites de resistencia efectivos en los hormigones de alta resistencia. Posteriormente, el profesor Calavera se ratifica en que el único medio de realizar un estudio de resistencias efectivo es atender a la microestructura del hormigón, teniendo en cuenta la presencia de fisuras y el estado de carga. Destaca el hecho de que se dan casos de estructuras de hormigón de 40 ó 50 años de edad que han sufrido hundimientos, descubriéndose que tal hormigón tenía una resistencia de 5 MPa. El ponente responde que estas situaciones deben responder obligatoriamente a casos de degradación del material, ya que estudios relativos al comportamiento del hormigón a lo largo de 50 años coinciden en apuntar que la resistencia del hormigón siempre aumenta. El profesor Calavera matiza que las situaciones expuestas se dieron en hormigones que siempre fueron de muy baja calidad, opinando entonces el ponente que probablemente la degradación se hubiese debido a un desmesurado tamaño de los poros. Concluye el diálogo el profesor Calavera expresando su deseo, compartido por el profesor Reinhardt, de encontrar una aplicación directa a la macroestructura de los estudios microestructurales. Es decir, debe llegar a conocerse la cercanía a la rotura a partir del conocimiento de la microestructura.

Interviene el Sr. Rostam destacando que lograr un hormigón con más densidad de partículas implica lograr un material con más calidad y a la vez más resistencia. El grado de microfisuración es inversamente proporcional a la resistencia, algo en lo que se está trabajando en Noruega. Concluye el coloquio el profesor Reinhardt apuntando que tal relación aun no la han conseguido, y que sería deseable hacer una exhaustiva recopilación de información para poder evaluarla con precisión .

§ P.-C. Aïtcin (Univ. Sherbrooke, Canadá): *Aditivos del hormigón: componentes clave del hormigón moderno.*

El uso de aditivos en el hormigón para mejorar sus propiedades es una práctica con muchos años de edad. Así, los romanos empleaban sangre y huevos, los constructores de catedrales utilizaban aceite y antes de la II Guerra Mundial se añadía polvo de carbón. Hoy en día se acepta que los aditivos son necesarios pero debe conocerse con profundidad la interacción cemento/aditivo y aditivo/aditivo, así como modificar las normas para que se incorporen con más rapidez los beneficios del avance tecnológico.

La terminología empleada en la nomenclatura de los aditivos es complicada y lleva a la confusión. Entre las causas principales podemos destacar el hecho de que las patentes sean secretas, el uso habitual de subproductos industriales, de acción multifuncional, y el desconocimiento de la forma de actuar de estos compuestos. Una clasificación racional, atendiendo a los efectos de los aditivos, distingue básicamente dos grupos de aditivos, los que tienen efectos físico-químicos sobre la reacción de hidratación y los que actúan sobre las propiedades del hormigón fresco y/o endurecido. Dodson propone cuatro categorías: 1) dispersantes del cemento en la fase del hormigón, 2) alterantes de la velocidad normal de hidratación del cemento, en particular de la fase C_3S , 3) reactivos con los subproductos del cemento hidratado, tales como álcalis y $Ca(OH)_2$ y 4) no reactivos con el cemento o los subproductos.

Para obtener un hormigón duradero y estable contra las agresiones externas es necesario reducir

su porosidad y permeabilidad. El factor de control es la relación a/c . Este hormigón debe, pues, ser trabajable con una relación a/c baja, lo que obliga a emplear un agente dispersante eficiente. Mezclando agua y cemento en una relación $a/c < 0.4$ es imposible obtener un cono superior a 100 mm, mientras que la mezcla (con $a/c = 0.3$) en unión de un superfluidificante puede dar lugar a un cono superior a 200 mm. Una pasta de cemento con $a/c = 0.65$ tiene las partículas de cemento muy alejadas entre sí, por lo que los productos de hidratación se desarrollan a mayor distancia quedando agua remanente entre ellos y generando vías de entrada de agentes de agentes externos. Por contra, un hormigón con $a/c = 0.25$ tiene sus partículas de cemento muy cercanas unas a otras, lo que implica una microestructura dura y densa ya que los productos de hidratación llenan el vacío entre las partículas de cemento.

Los granos de cemento tienen en su superficie gran número de cargas eléctricas insaturadas, lo que induce una tendencia a flocular cuando entran en contacto con el agua. Los grumos atrapan el agua que serviría para fluidificar la mezcla. Los agentes dispersantes impiden la floculación y lubrican el hormigón. La interacción entre el cemento y el superplastificante establece un efecto físico y otro químico. El primero actúa dispersando el polvo fino no cementoso a través de la adsorción de la molécula del superplastificante en las partículas de cemento por fuerzas electrostáticas y de Van der Waals, y mediante la carga de la superficie que induce fuerzas repulsivas entre las partículas. El efecto químico es una reacción de los sulfonatos del superplastificante con el C_3A , si aquéllos tienen molécula corta. Un superplastificante eficiente, pues, debe tener un alto grado de sulfonación, lo que implica que tiene muchos puntos activamente eléctricos de cara a dispersar las partículas de cemento, y la mayoría de sus moléculas deben ser cadenas de alto peso molecular.

Últimamente se dan algunos problemas de compatibilidad entre cemento y aditivo, en especial en hormigones con baja a/c . Este tipo de hormigones tiene más C_3A por unidad de volumen y menos agua donde los iones sulfato pueden disolverse para neutralizar el C_3A y formar ettringita. Estas situaciones se suelen dar en las plantas de cemento que han optimizado el contenido de sulfato de calcio pensando en hormigones con relaciones a/c más altas (alrededor de 0.5). Actualmente no es posible desarrollar sulfonatos de polinaftaleno o polimelamina que trabajen con un cemento Portland en cualquier relación a/c , dada la gran variabilidad de la velocidad de solubilidad de los diferentes sulfatos de calcio usados para controlar la colocación de los cementos comerciales. Lo ideal es desarrollar un superplastificante que se ajuste al cemento en cuestión, lo que implica una interacción entre el fabricante del hormigón, del cemento y el usuario. Ésto hasta ahora no ocurría porque había pocas aplicaciones con hormigón de altas prestaciones, pero con su mayor uso será cada vez más frecuente ver estudios de optimización de la combinación cemento/superplastificante para bajas relaciones a/c . Asimismo, los productores de cemento observarán que no es difícil ni costoso ajustar la velocidad de solubilidad de los sulfatos y su control. Todo ello implica el considerar los aditivos como componentes fundamentales de un hormigón duradero. Su papel no es el de mejorar un hormigón malo, sino el de hacer mejor un hormigón ya de por sí bueno. Todavía hay muchos ingenieros que recomiendan usar relaciones a/c altas cuando lo necesario sería exigir hormigones impermeables con una baja relación a/c y aprovechar del mejor modo la ganancia de resistencia obtenida.

La inclusión de burbujas de aire se suele asociar a la idea de mejorar la respuesta del hormigón a los ciclos hielo-deshielo. Su efectividad obliga a utilizar relaciones a/c en el rango 0.4 - 0.55. La introducción de aire disminuye la resistencia del hormigón (un 5% por cada 1% de aire) pero tiene un efecto beneficioso en su reología y trabajabilidad (se aumenta el cono). En un futuro los

hormigones de altas prestaciones contendrán aire en un 3 - 5% para mejorar su trabajabilidad, lo que incidirá en la calidad de los recubrimientos y por tanto, indirectamente, en la durabilidad.

Discusión.

La breve discusión, con las intervenciones principales del profesor Reinhardt y de la profesora Paillère se centra en reiterar nuevamente las ventajas que supone reducir la relación a/c de un hormigón, dada la disminución de permeabilidad que se observa. A continuación se plantean las dudas acerca del ensayo ASTM C 666 sobre la resistencia ante los ciclos hielo/deshielo, que el ponente considera demasiado severo. Por último se comenta la experiencia francesa en el uso de aditivos, recalándose algunos problemas de compatibilidad habidos con los superfluidificantes. El ponente propone recurrir en estos casos a un análisis químico exhaustivo que determine la bondad del aditivo empleado.

§ P.J.M. Monteiro (Univ. California, USA): *Análisis de las prestaciones del mortero de áridos ligeros.*

Recientemente Monteiro et al. crearon un nomograma para determinar las proporciones de la mezcla de hormigón para obtener distintas prestaciones. La industria de los áridos ligeros (LWA) tiene interés en aplicar este método para optimizar la cantidad de LWA y adiciones minerales (cenizas volantes y humo de sílice) que deben emplearse en hormigón ligero. El nomograma se basa en tres estudios: la ley de Abrams (que relaciona la resistencia con la relación a/c), los trabajos de Lyse (que relacionan la consistencia y la razón a/c de distintas mezclas con los mismos materiales) y la ley de Molinari (que relaciona el ratio árido/cemento con el contenido de cemento).

En los estudios experimentales se emplearon LWA simples, LWA combinados (tratados con humo de sílice, cenizas y diatomita), arena normalizada ASTM C 33 (con un módulo de finura 3.09 y una densidad de 2650 kg/cm³) y un agente superplastificante según ASTM C 494. Se realizaron cuatro series de forma que todas las mezclas tuviesen la misma consistencia:

- SERIE 1: Mezcla de control con arena, cemento (1 parte), agua y aditivo (0.0025 partes).
- SERIE 2: Mezcla de LWA simple (0.16 partes), arena, cemento (1 parte), agua y aditivo (0.0025 partes).
- SERIE 3: Mezcla de LWA simple (0.16 partes), diatomita (0.027 partes), cemento (1 parte), agua y aditivo (0.0025 partes).
- SERIE 4: Mezcla de LWA compuesto (0.364 partes), arena, cemento (1 parte), agua y aditivo (0.0025 partes).

Se realizaron los siguientes ensayos: resistencia a compresión sobre probetas cilíndricas de 4" × 8" según ASTM C 39, resistencia a tracción sobre las mismas probetas según ASTM C 496, resistencia a flexión según ASTM C 78, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson según ASTM C 469, curvas σ/ϵ mediante extensómetro de base 4" y con velocidad de carga de 7.2"/s, absorción de agua según ASTM C 642, permeabilidad según AASHTO T 277, profundidad de carbonatación (medida a 7, 28 y 91 días) y, por último, examen de secciones al microscopio electrónico. El análisis de los resultados muestra las siguientes características:

- Relación *(densidad)/(resistencia a compresión a 28 días)*: las mezclas 2, 3 y 4 pierden densidad a medida que aumenta la resistencia ya que esto implica una reducción de la a/c y, por tanto, al crecer la cantidad de cemento para la misma agua, aumenta el porcentaje de LWA. Por otra parte, las mezclas 2 y 3 tienen menor densidad y resistencia que la mezcla 4 debido a la presencia de los materiales puzolánicos añadidos en la última mezcla.
- Relación *(contenido de cemento)/(resistencia a compresión)*: la mezcla 4 requiere menos cemento que las otras para una misma resistencia debido a la presencia de humo de sílice. El hecho de contar, además, con cenizas volantes conlleva que el aumento de resistencia sea mayor entre 7 y 28 días que entre 1 y 7, como ocurre para las otras tres mezclas.
- Relación *(contenido de cemento)/(resistencia a tracción)*: apenas varía en las mezclas 2, 3 y 4, siendo mayor en esta última.
- Relación *(contenido de cemento)/(permeabilidad)*: por la presencia del humo de sílice la mezcla 4 fue la de menor permeabilidad.
- Relación *(a/c)/(resistencia a compresión)*: las mezclas 2 y 3 indican que el LWA no aumenta la resistencia del mortero. Sin embargo, el humo de sílice hace que la mezcla 4 sea la de mayor resistencia para una misma a/c.
- Relación *(a/c)/(resistencia a tracción)*: pueden las mismas observaciones que para el apartado anterior.
- Relación *(a/c)/(permeabilidad)*: la mezcla de menor permeabilidad es la 4. Las mezclas 2 y 3 tienen menor permeabilidad que la 1 por la mejor zona de transición entre la pasta y el LWA.
- Relación *(resistencia a compresión)/(módulo de elasticidad)*: el mayor módulo lo presenta la mezcla 1. Las otras tres aumentan su módulo hasta una determinada resistencia, luego hay un descenso.
- Microscopía: la fisuración se produce a través del LWA. La zona de transición con el LWA es de buena calidad, y mejora con adiciones puzolánicas.

Por lo tanto, a modo de conclusiones, puede decirse: 1) la pasta de cemento tiene menor zona de transición con el LWA que con la arena natural, y además tiene mejores propiedades mecánicas y menor permeabilidad; 2) la adición de materiales puzolánicos mejora las resistencias a compresión, tracción y flexión; 3) el LWA reduce el módulo, aunque ello se ve compensado por el menor requerimiento de cemento. Para evitar la reducción del módulo para una resistencia dada se recomienda no superar el 17-19% de LWA.

Discusión.

En la discusión posterior destacan las intervenciones de los profesores Gettu, Reinhardt, Andrade y Shah. La conversación se centra en la limitación de la corrosión del acero embebido en el hormigón como armadura. Para evitarla se plantea el empleo de aceros de fase dual, que reducen la corrosión, y en la imposibilidad, por razones económicas, de usar aceros inoxidable. El pequeño debate concluye con el comentario del ponente anunciando próximas investigaciones sobre aspectos de la fisuración y la energía de fractura.

§ J.F. Young (Univ. Illinois, USA): Ingeniería de los nuevos materiales de base cementosa para nuevas aplicaciones.

En los últimos 20 años se ha controlado la composición y se ha modificado la microestructura de los materiales cementosos hasta hacerlos más resistentes y menos porosos, cada vez más similares

a materiales cerámicos:

Los materiales avanzados de base cementosa han evolucionado en tres líneas: 1) sistemas de grupos de partículas densas (cementos DSP); 2) composites de cemento-polímero reactivo (cementos MDF); 3) composites reforzados con alto volumen de fibras. Se tratan los dos primeros.

A partir de los años 50 se intentó densificar los componentes de la pasta, para lo que era preciso contar con un componente de un tamaño de micras. Se pensó así en el humo de sílice, un subproducto de la industria del silicio, y la empresa danesa Aalborg Portland A/S creó el primer cemento DSP. Tales cementos tienen gran homogeneidad debido a: a) la reducción del tamaño de los cristales y menor presencia de $\text{Ca}(\text{OH})_2$; b) la eliminación de la zona interfacial de transición en las superficies de los áridos; c) la baja porosidad y la reducción del tamaño medio del poro. Pueden obtenerse otros materiales densos mediante curado en autoclave (más productos cristalinos), cambiando la matriz de silicato cálcico a aluminato cálcico, a través de un fuerte secado o mediante curado a presión. Las resistencias a compresión llegan a superar los 300 MPa, produciéndose la rotura por el árido a menos que se utilicen áridos sintéticos. Estos materiales presentan una baja ductilidad, que puede mejorarse con fibras, y una reducida permeabilidad.

En cuanto al composite de cemento-polímero reactivo, a principios de los 80 el ICI desarrolló un cemento libre de macrodefectos (MDF) a partir de una mezcla de cemento hidráulico y un polímero soluble en agua. Se creía, aunque no es del todo correcto, que el polímero actuaba eliminando los macrodefectos. La reacción del polímero se produce durante el proceso y durante el desarrollo de la microestructura (tras la desaparición del agua). En el proceso se crea una pasta viscoelástica a la que se da forma con un molde a presión o por extrusión. En esta fase se observan uniones débiles de las cadenas de polímeros con los productos iniciales de hidratación del cemento. La fase adherente está formada por dos matrices interconectadas: la primera es una débil cadena polimérica y la segunda es una región interfase que en sí misma es un nanocomposite de los productos de hidratación del cemento y el polímero. Las propiedades mecánicas alcanzadas por los cementos MDF son asombrosas: resistencias a compresión superiores a 500 MPa, módulos del orden de los 50 GPa, resistencias a flexión de más de 250 MPa y densidades de alrededor de 2400 kg/m^3 . La fragilidad puede solventarse mediante el refuerzo con fibras. Una desventaja ha limitado el desarrollo de estos productos, a saber, la relativa sensibilidad a la humedad que ocasiona pérdidas de resistencia, en un proceso que se inicia con la adsorción de la humedad por parte del polímero, prosigue con su debilitamiento y finaliza con la destrucción de la interfase. En un futuro se espera reducir la citada sensibilidad.

La comercialización de los cementos DSP y MDF es lenta. En el primer caso la velocidad es algo mayor (se conocen bastantes aplicaciones) dado que se emplea la tecnología habitual, aunque los costes iniciales son altos y hay carencia de normativa. En el segundo caso sólo se conoce una aplicación que ya no está en producción. Ayudan a la implantación de estos materiales sus buenas propiedades medioambientales, entendiéndose por ello su fácil y limpia destrucción y la baja energía consumida en su fabricación.

Los cementos DSP nacieron a finales de los 70 y al cabo de 10 años Densit A/S era una empresa, filial de la mencionada Aalborg Portland, que generaba beneficios. Otras empresas europeas, americanas y japonesas han producido estos materiales con aplicaciones en la industria refractaria, en las plataformas petrolíferas, en la construcción de moldes para prototipos, en el

modelado de composites para la industria aeroespacial y en el conformado de paneles de acero.

Las experiencias comerciales han demostrado que los elementos imprescindibles para desarrollar aplicaciones exitosas son los siguientes: desarrollar una estrategia a largo plazo, concentrar el producto en pequeñas aplicaciones, asumir iniciales reveses técnicos y económicos, poseer un sólido conocimiento técnico del material, analizar cuidadosamente el mercado y cooperar con la universidad en la transferencia de tecnología. Es de destacar que debe abandonarse la idea de que los nuevos materiales son hormigones clásicos mejorados, ya que éso es sin duda la principal barrera al avance de la nueva tecnología.

Discusión.

La discusión comienza con la intervención del Sr. Massazza, que hace mención de los hormigones impregnados de polímeros (PIC), que no han sido comentados por el ponente. Éste responde que por falta de tiempo no han cabido en su presentación, aunque está probada su gran durabilidad. El Sr. Calleja plantea si el hecho de utilizar superplastificantes en los cementos aluminosos, con o sin humo de sílice, puede reducir o modificar la conversión química clásica del producto de hidratación correspondiente. Responde el ponente que tal investigación no ha sido desarrollada. A continuación se pregunta si los materiales densos tienen una adecuada respuesta al fuego. El ponente aconseja tomar las debidas precauciones ante un tema que todavía debe analizarse. Se suscita, por último, el problema de la retracción de los cementos MDF. El ponente observa que actualmente la cantidad de polímero para luchar contra la retracción es del 7%, porcentaje que eleva los costes de producción. En el futuro se minimizará este porcentaje a un 3% aproximadamente.

DISCUSIÓN GENERAL (*preside el profesor Calavera*)

El Sr. Calleja plantea al profesor Reinhardt una cuestión sobre la interface entre el árido y el cemento. La diferencia entre el árido silíceo y el calcáreo se encuentra en que los parámetros cristalográficos del Ca(OH)_2 y el CaCO_3 son muy distintos. Puesto que la interface es una zona de prolongación de una estructura en otra se observa que se obtiene una resistencia más alta en el caso de áridos calcáreos que en los silíceos. El profesor Reinhardt contesta que también depende del tamaño del árido, aunque en partículas pequeñas sí es cierto, ya que el material calcáreo es similar a la matriz y se producen enlaces físicos y químicos.

El Sr. López Sáiz lleva la conversación al campo de la construcción, en manos de empresas con trabajadores generalmente poco cualificados. En la investigación no se suele tener en cuenta este parámetro ni la lentitud de las normativas en aplicar los resultados. También cuestiona, desde el punto de vista del constructor, la posibilidad de obtener beneficios con los nuevos materiales. El profesor Shah resalta lo interesante del comentario y compara la situación a la de la industria farmacéutica, mucho más desarrollada y con mayor investigación. Opta, no obstante, por la alta tecnología como motor del desarrollo, aunque eso implique un desfase en los trabajadores y en la normativa.

La profesora Andrade confirma la lentitud de la normativa, fruto de la necesidad del consenso para que aquélla vea la luz. En relación a ésto plantea a los profesores Reinhardt y Monteiro cómo

a su juicio debe tratarse la permeabilidad del hormigón en una norma, y si esto puede garantizar la durabilidad en general. El profesor Reinhardt comenta el caso de Alemania en donde se utiliza el ensayo de penetración de agua, cuyo objetivo es el de controlar la permeabilidad. Es posible que se elimine dicho ensayo porque aporta muy poco en relación a la durabilidad. Quizá otros tests, como el de permeabilidad de superficie y el de presión de agua dentro del hormigón seco, con una adecuada correlación empírica, sean más adecuados. Finaliza aceptando la duda de que exista un único ensayo que pueda predecir o garantizar la durabilidad.

El profesor Gálligo habla de la introducción del ensayo de permeabilidad en España, que sólo analizaría el problema físico habiendo muchos más factores. Podría plantearse un test sencillo acerca de la relación a/c en el hormigón, que podría dar más luz al problema de la durabilidad. El profesor Reinhardt indica, no obstante, que hace 20 años se hicieron ensayos de este tipo sobre hormigones con distintas relaciones a/c y diversos grados de hidratación, obteniéndose resultados poco exactos.

El profesor Palomo plantea dos cuestiones. La primera, al profesor Young, sobre el interés de los nuevos materiales y sobre la posibilidad de que sustituyan al hormigón, que resulta caro en términos económicos (gran gasto de energía) y ecológicos (emisión alta de CO_2). La segunda, al profesor Reinhardt, sobre su modelo con respecto a la resistencia y la posibilidad de trasladarlo al daño. El profesor Young indica que será difícil todavía ver los nuevos materiales en la construcción, aunque son los mejores energéticamente hablando. El objetivo actual debe ser el reducir la masa de hormigón, que aunque hoy en día se puede considerar barato, debe serlo más. El profesor Reinhardt comenta que el modelo involucra los componentes de la mezcla, incluidos cenizas volantes y humo de sílice, y las fuerzas de la matriz como parámetros. Desconoce si se llegará al planteamiento propuesto y reconoce que deberían realizarse todavía ensayos de rendimiento del modelo.

El profesor Gettu plantea al profesor Young si sería posible diseñar una microestructura en lugar de obtenerla como un resultado de la investigación. El profesor Young duda de la facilidad en rentabilizar esta idea. A continuación insiste en las dudas que todavía suscitan los primeros momentos de vida de la mezcla de hormigón en cuanto a su microestructura.

La profesora Andrade suscita el tema de la retracción de los hormigones de alto rendimiento. El profesor Young responde preguntándose acerca de la bondad de un cemento no reactivo. Un buen cemento Portland no tiene mucha retracción y sus problemas más críticos son las microfisuras. Por el contrario, los cementos no reactivos resultan muy caros.

De este modo finaliza la discusión general.

Resumen Sesión II

Realizado por
L. Agulló, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

SESIÓN II. COMPORTAMIENTO MECÁNICO: CARACTERIZACIÓN, MODELIZACIÓN Y DISEÑO

F. de LARRARD:

High-performance concrete: from the laboratory to practical utilization

En esta comunicación se presentan distintos aspectos relativos al hormigón de altas prestaciones (rango de resistencias entre 50 y 100 MPa) tanto en lo que se refiere a las aplicaciones de este material en Francia como a cuestiones asociadas a la investigación y transferencia de tecnología al sector industrial.

En primer lugar se realiza una revisión de diferentes aplicaciones prácticas de este material, recogiendo la experiencia francesa al respecto; en ésta se refieren los aspectos más relevantes en relación a la utilización de este material en diferentes estructuras civiles (principalmente puentes de distinto tipo) y de edificación, incidiendo en cada caso en los motivos de su utilización.

Seguidamente se exponen las principales características de los materiales componentes de un hormigón de altas prestaciones haciendo énfasis en el humo de sílice como elemento diferenciador en relación al hormigón convencional, así como aspectos relativos a la producción, puesta en obra y control del material.

A continuación se presentan algunos resultados relativos a la transferencia de tecnología para el sector industrial fruto de investigaciones en este campo desarrolladas en el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris. Estos se refieren a un programa de ordenador de aplicación de cara a la optimización de los componentes de la mezcla, un método para optimizar la cantidad de superplastificante, un equipo para la caracterización del comportamiento de la masa fresca del hormigón basado en el análisis de tensiones tangenciales y, finalmente, un equipo para el refrentado de probetas utilizando la arena como material de refrentado.

Z. P. BAZANT and S. BAWEJA:

Concrete creep and shrinkage prediction models for design codes: Recent results and future directions

En la presente comunicación se expone un nuevo modelo para la predicción del comportamiento diferido del hormigón en términos de las deformaciones de retracción y fluencia experimentadas por el material, proponiéndose en el mismo expresiones simplificadas para representar los parámetros más significativos que rigen las deformaciones diferidas del hormigón. Esta simplificación es fruto de un análisis multivariante de las distintas variables que intervienen en el problema, cuyo resultado permite una priorización de su influencia relativa, y en consecuencia, determinar cuáles de ellas son las variables principales. También, se revisan los fundamentos de las formulaciones propuestas en distintos códigos y recomendaciones; en particular, en forma de anejo, se presentan las recomendaciones del Comité TC-107 de RILEM.

Asimismo, se realiza una comparación en términos estadísticos de las predicciones del modelo propuesto para la retracción, fluencia básica, fluencia de secado y efecto de la temperatura en la fluencia básica con las predicciones que se obtienen para estas variables siguiendo las formulaciones del CEB europeo y del ACI americano.

Por otra parte, se incide también en la necesidad de la experimentación como vía principal para la mejora de los modelos teóricos de predicción en el sentido, fundamentalmente, de acotar cada vez mejor los parámetros que intervienen en los modelos. Así, se pone de manifiesto la abundancia de resultados experimentales en tiempos cortos mientras que los resultados concernientes a ensayos de larga duración son escasos, y en cualquier caso poco numerosos en relación a los anteriores.

S. MARIKUNTE and S. P. SHAH: Engineering of cement-based composites

La presente comunicación constituye una exhaustiva y actualizada revisión de los aspectos más relevantes en relación la utilización de fibras en el campo de los materiales compuestos de base cemento.

En primer lugar se exponen los tipos de fibras habitualmente utilizados y las respectivas características básicas de cada uno de ellos, haciéndose incapié en la influencia que tiene el porcentaje de las mismas que se incorpore en la mezcla en relación a la ductilidad y el comportamiento postpico del material resultante. Seguidamente se reseñan distintos procesos de fabricación industrial del material compuesto según sea el tipo, el tamaño y el contenido de fibras empleado.

A continuación se presentan diferentes facetas relativas a la caracterización del comportamiento de estos materiales mediante ensayos de laboratorio, tanto en lo que se refiere a aspectos reológicos como mecánicos. En este sentido, y para estos últimos se enfatiza en el control de desplazamiento en el ensayo.

Con posterioridad se exponen conceptos asociados a la microestructura como son los relativos a los mecanismos que permiten el desarrollo de la tenacidad de estos materiales y el comportamiento mecánico en la interfase de la matriz cemento-fibra. Asimismo se presentan diferentes modelos de fractura de aplicación a estos materiales compuestos.

Finalmente, junto a unas tendencias de futuro en el empleo de estos materiales marcadas, principalmente, por su buen comportamiento mecánico y gran ductilidad, se presentan distintos campos de aplicación para los mismos.

**H. H. BACHE (presentada por B.I.G. BARR):
Design for ductility**

En esta comunicación se exponen los principios generales del proyecto y cálculo de elementos de hormigón armado y pretensado desde el punto de vista de la ductilidad, basándose en la mecánica de fractura; en este sentido, la mecánica de fractura constituye una herramienta básica para el cálculo de materiales de matriz frágil como son los hormigones.

Se presenta un criterio para caracterizar la fragilidad de la rotura en función de parámetros que tienen en cuenta la relación entre la deformación de la zona fisurada y la deformación elástica del elemento, y la relación entre la energía disipada en la zona fisurada y la energía elástica del elemento.

Este criterio se aplica, a modo de ejemplo a diferentes materiales como son hormigón convencional, hormigón reforzado con fibras metálicas, hormigón con DSP (Densit) y CRC ("Compact Reinforced Composite", resistencia a compresión entre 150 y 320 MPa, resistencia a tracción entre 8 y 15 MPa) y a distintos elementos estructurales como chimeneas, palas para la molienda del clinker, soportes huecos y vigas pretensadas y losas drenantes.

DISCUSIÓN GENERAL DE LA SESIÓN

A la luz de los contenidos expuestos en las ponencias presentadas se suscitaron distintas cuestiones en forma de preguntas a los ponentes y de intervenciones libres por parte de los asistentes. A continuación se resumen las ideas generales en relación a estas cuestiones.

- En relación al hormigón de altas prestaciones/ alta resistencia.

Cuestiones asociadas a la definición de este material; en este sentido el rango de resistencias para que un hormigón sea calificado como tal debe ir asociado a la aplicación que se pretenda para el mismo en cada caso.

Tendencia a considerar hormigones de altas prestaciones en donde otras características, como por ejemplo la durabilidad, tengan entidad propia frente al único referente habitual de la resistencia.

Aspectos relativos a la incorporación del superplastificante en la mezcla. Esta incorporación puede hacerse en distintos escalones del proceso (p.e. planta y obra), si bien ello dependerá en cada caso del amasado que se realice (p.e. en Francia no es usual el amasado durante el transporte, mientras que sí lo es en otros países europeos). En este sentido, para el amasado en planta la experiencia francesa pone de manifiesto la idoneidad de una primera incorporación de una parte del plastificante en el agua antes del mezclado en seco y el resto al final del proceso de mezcla, disminuyendo la velocidad de amasado, con un tiempo total entre 3 y 5 minutos. En cualquier caso es recomendable un estudio previo en función de los condicionantes que se tengan en una

situación concreta.

No idoneidad de la medida de la consistencia mediante el tradicional ensayo de asentamiento del cono de Abrams y necesidad de adoptar un nuevo ensayo de aceptación general que permita caracterizar adecuadamente el comportamiento en fresco del hormigón de altas prestaciones.

Para cada utilización se precisa una optimización del material en todas sus etapas, desde la selección de los materiales componentes hasta el curado del hormigón colocado en la estructura.

En cuanto al control de calidad para estos hormigones se sugiere ampliarlo a los componentes y al proceso de fabricación y al transporte, puesta en obra y curado, además del control convencional de resistencia a compresión de probetas.

No existe unanimidad en el material ni en el sistema emplear para el refrentado de probetas cilíndricas de cara a la sistemática del control de resistencia en obra. En este sentido tampoco existe unanimidad sobre el tipo de probeta a utilizar en el control (cúbica o cilíndrica).

En relación a la ductilidad de estos hormigones y, en particular respecto al diseño frente a acciones sísmicas de elementos estructurales, en donde se requiere una mayor ductilidad, se cita la solución adoptada en los pilares de dos edificios de E.E.U.U. en el sentido de confinar el hormigón mediante camisas metálicas de cara a mejorar la ductilidad del elemento. No obstante, en relación a la ductilidad se matiza también el hecho de que esta característica la aporta fundamentalmente el acero de la armadura, tanto en lo que concierne a la cuantía como a su disposición en el elemento estructural, siendo en este sentido primordial incidir en los aspectos de diseño para alcanzar la ductilidad que se precise frente a acciones repetidas.

Respecto a la durabilidad, y particularmente en lo que concierne a la carbonatación se expone la escasez de resultados en esta línea, si bien la experiencia francesa parece indicar que las bajas relaciones agua/cemento empleadas junto a una compactación adecuada han hecho que hasta el momento no se hayan presentado problemas relevantes en esta línea.

- En relación a los modelos de predicción de la retracción y fluencia del hormigón

En lo que se refiere a la aplicación de los modelos propuestos al hormigón de alta resistencia se pone de manifiesto que si bien teóricamente son válidos para este material, no se dispone de una amplia calibración de carácter específico de los parámetros que configuran los modelos.

Respecto al calentamiento de la muestra hasta 110°C para la eliminación del agua en la misma de cara a la evaluación de la retracción a largo plazo, se exponen opiniones en distintas líneas. Por una parte, la que sostiene que los cambios que se producen en la microestructura no son relevantes pues la muestra se deshecha posteriormente, mientras, por otra parte, se propone la estimación de la pérdida de agua por métodos teóricos.

- En relación a los compuestos con base cemento

Cuestiones asociadas a la influencia del tipo de fibras, metálicas/no metálicas, en la resistencia frente a impactos. Las respuestas son comparables, siendo otros parámetros como proceso de fabricación, tamaño, otros, los que pueden incidir en una respuesta diferenciada.

En referencia a las diferencias que pueden presentarse en resultados de ensayos para un mismo volumen y tipo de fibras, éstas pueden imputarse a una distinta dispersión y homogeneización de las fibras en la mezcla.

- En relación a aspectos asociados a la fragilidad

Se destaca en esta línea la influencia del factor escala en relación a la extrapolación de los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio sobre probetas a elementos estructurales de tamaño superior. En este sentido, se hace énfasis en la necesidad de poner a punto procedimientos de ensayo que permitan independizar la influencia del tamaño de la probeta ensayada en los resultados de los mismos.

Resumen Sesión III

Realizado por
P. Roca Fabregat, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

CONTECH 94

ACTA DE LA SESSION N. III SOBRE "PRESTACIONES A LARGO PLAZO DE LAS ESTRUCTURAS: DURABILIDAD, CALIDAD Y ENSAYO" (*LONG TERM PERFORMANCE OF STRUCTURES: DURABILITY, QUALITY AND TESTING*).

En esta sesión intervinieron L. O. Nilsson, M. C. Andrade, S. Rostam, A. Henrichsen y M. Ohtsu. Actuaron como vocales de mesa E. Vázquez y A. M. Paillère, y como secretario F. Massaza.

E. Vázquez inició la sesión presentado a A. M. Paillère y a F. Massaza. A continuación invitó a L. O. Nilsson, quien inmediatamente dió comienzo a la primera intervención de la sesión.

Intervención de L. O. Nilsson

L. O. Nilsson impartió una conferencia sobre "La relación entre la composición, el transporte de humedad y la durabilidad de hormigones convencionales y nuevos" (*The relation between the Composition, Moisture Transport and Durability of Conventional and New Concretes*). Conclusiones notables de su conferencia fueron: (1) Constatar la relación entre la humedad y la (pérdida de) durabilidad; (2) la posibilidad real de predecir la distribución de la humedad en un elemento de hormigón; y (3) disponer a tal efecto datos precisos sobre las propiedades del material relacionadas con el transporte de humedad, las condiciones microclomáticas y el funcionamiento y la cinemática de las reacciones físicas involucradas.

El debate que siguió a esa exposición versó sobre influencia de la adición de micro-sílice en el contenido de humedad, interviniendo en él J. F. Young y L. O. Nilsson. A modo de respuesta, este último indicó que, según sus observaciones, la adición de micro-sílice realmente influye muy poco, siendo este efecto incluso imposible de medir.

A. M. Paillère se interesó por el contenido de sílice considerado en los trabajos de L. O. Nilsson, indicando que el 25% al que se alude en la conferencia es claramente superior al 10% usualmente considerado como máximo admisible. Según Nilsson, se aceptó este porcentaje por tratarse de un experimento, sin observarse como consecuencia ningún efecto inesperado.

J. F. Young comentó que, según su entender, no todo el 25% debió aprovecharse, pues no toda la sílice se consume en tales reacciones. Nilsson confirmó este punto de vista.

Intervención de C. Andrade

A continuación presentó su conferencia M. C. Andrade, la cual versó sobre "La cuantificación de la durabilidad: Protección del acero de armar ante la corrosión" (*Quantification of Durability of Reinforcing Steel*). A través de sus explicaciones, M. C. Andrade presentó brevemente el estado del arte en la metodología para la predicción de la vida útil tanto en nuevas estructuras como en estructuras existentes, dando cuenta de la existencia de métodos simplificados y métodos refinados, siendo esta última categoría tratada con mayor detalle. Se revisaron ciertos modelos reconocidos por relativos a los fenómenos de carbonatación y de penetración de iones cloruro.

Finalmente, M. C. Andrade expuso lo que a su juicio son las necesidades de investigación más importantes en este campo. Entre éstas se encuentran: el mayor conocimiento de los coeficientes D de difusión y C_s de concentración, tanto de dióxido de carbono como de iones cloruro; la formulación de modelos de difusión de dióxido de carbono o iones cloruro más generales; y la evaluación de la vida útil de estructuras envejecidas (no de nueva planta).

A través de la discusión se consideraron algunas de las dificultades que subsisten para abordar de manera realista la predicción de la vida útil mediante modelos refinados. Entre éstas cabe destacar: La dependencia entre los coeficientes de difusión y las concentraciones, aspecto poco conocido; el hecho de que efectos de piel puedan influir muy fuertemente en el valor de los coeficientes de difusión; el conocimiento de las concentraciones alcanzables en el seno del hormigón, existiendo aspectos que si bien se conocen satisfactoriamente en el caso de soluciones, son sin embargo menos conocidos en hormigón. Se incidió en la importancia de la acumulación de datos y su uso estadístico. Se insistió asimismo en la importancia del tipo de cemento, cuya influencia en la durabilidad del refuerzo puede ser notoria frente al fenómeno de difusión de iones cloruro.

Intervención de S. Rostam

S. Rostam presentó su comunicación acerca de "Proyectar para la Durabilidad" (*Design for Durability: The Great Belt Link*), ilustrando los conceptos involucrados por esta idea a través de las disposiciones al efecto consideradas en el proyecto de El "Great Link Belt".

En la discusión se plantearon los siguientes aspectos: (1) La posible influencia de los separadores de plástico en el proceso de corrosión del acero, opinándose que éstos pueden promover la corrosión, ante lo cual S. Rostam puntualizó que en la obra tratada sólo se utilizaron separadores de hormigón, siendo por otra parte conveniente que tales separadores presenten una superficie rugosa y procediendo por ello desaconsejar los separadores obtenidos por extrusión. (2) El uso de microsílíce, con la doble finalidad de mejorar el recubrimiento y dotar de mayor impermeabilidad al hormigón. (3) El color del hormigón resultante, y la certeza de la posible mejora del aspecto del hormigón a través del control de su composición y aditivos.

Intervención de A. Henrichsen

La comunicación de A. Henrichsen versó sobre "La calidad de las estructuras de hormigón" (*Quality of Concrete Structures*), tratándose en ella fundamentalmente la necesidad de insistir en los requisitos relacionados con el Control de Calidad y la Garantía de Calidad. Ello se revisó para distintos tipos de hormigón en función de aspectos relacionados con su producción y del ambiente tipo, según nivel de agresividad.

A. Henrichsen insistió en las diferencias que mantiene el hormigón obtenido en laboratorio con el hormigón puesto en obra, especialmente en el caso de aquéllos de alta resistencia. Consecuencia de ello, y de otros factores, es un cierto desconocimiento de la auténtica durabilidad de las grandes obras realizadas en Europa.

Durante la discusión se comentó que gran parte de este desconocimiento (o de las dificultades que encierra el conocimiento de la durabilidad) se halla producido por el vasto uso realizado de aditivos y de los problemas de ejecución que ello conlleva.

Se apuntó que, al lado del hormigón de alta resistencia, debería dedicarse gran parte del esfuerzo de investigación al mejor conocimiento del hormigón convencional, mayormente utilizado con gran diferencia. En particular, debiera ahondarse en el conocimiento de la resistencia del hormigón convencional a cortas edades. Por otra parte, ciertas medidas de corto alcance, tales como la reducción de la cantidad de cemento, podrían optimizar considerablemente las prestaciones del hormigón normal, pudiéndose incluso hablar de "hormigones normales (o convencionales) de altas prestaciones (o resistencia)". Asimismo, debe ahondarse en el estudio de la durabilidad de hormigones convencionales, apuntándose en este sentido que las futuras normas europeas van a incluir prescripciones acerca de este extremo.

Intervención de M. Ohtsu

A continuación, M. Ohtsu impartió su conferencia sobre "Nuevas tendencias en el uso de ensayos no destructivos y de ensayos in situ en estructuras de hormigón" (*New Trends in Nondestructive and In Place Testing of Concrete Structures*). M. Ohtsu presentó diversas técnicas de tipo no destructivo, describiendo sus posibilidades y limitaciones actuales.

El posterior debate giró alrededor de la fiabilidad de los ensayos basados en la emisión y medición de ultrasonidos, vistas las dificultades que genera el carácter muy local de las mediciones realizables mediante este ensayo. M. Ohtsu comentó que resulta más recomendable utilizar ultrasonidos de menor frecuencia a efectos de conseguir detectar posibles daños en áreas significativas.

Discusión general

En la discusión general intervinieron, además de los conferenciantes de la sesión, A. M. Paillere, F. Massaza y J. Rodríguez.

A. M. Palliere procedió en primer lugar a presentar el borrador del documento CEN/TC104/SC1TE1 EN206. En este documento, relativo a hormigones ordinarios, se plantearán tratamientos estadísticos para la valoración de la durabilidad en función de datos acumulados de respuesta. Se comentan asimismo los principales datos que serán tenidos en cuenta en este planteamiento, relativos al medio ambiente, concentración de cloruros, efectos hielo-deshielo i ataques químicos. Ciertos aspectos, como la tabla de recubrimientos mínimos, función del ambiente, dependerá de las condiciones de cada país.

Se discutió la idoneidad de considerar criterios de recubrimiento distintos para hormigón prefabricado y hormigón moldeado in situ, observándose que no es fácil concluir al respecto. En una mayoría de países europeos no se establece distinción alguna entre ambos tipos.

Finalmente, F. Massaza, tras agradecer la participación de los conferenciantes, pasó a exponer los resultados de la sesión. A su juicio, éstos son: (1) La durabilidad es el principal problema del hormigón, tal y como se desprende de todas las contribuciones de la sesión; (2) dentro de los factores que atañen a la durabilidad, el principal problema es la corrosión; (3) existe cierto desfase entre las posibilidades del hormigón abiertas por la investigación y los logros prácticos alcanzados por la industria; (4) a pesar de los citados problemas, el hormigón sigue siendo un material preferido para aplicaciones concretas muy importantes; (5) el

hormigón puede ser durable. La tecnología y el estado del conocimiento actuales permiten generar hormigones adecuados, muy durables. No obstante, tal vez deba concluirse que este conocimiento no ha merecido un uso real, tal vez debido a que las recomendaciones recogidas en la normativa resulten demasiado complejas. Las normas son necesarias, pues constituyen el puente entre el conocimiento científico y el uso práctico. La difusión de los sistemas de garantía de calidad y el desarrollo de las técnicas de ensayo no destructivo podrían contribuir a resolver la durabilidad. La transferencia del conocimiento científico hacia una práctica operativa exige pues una mejora de las normas. Asimismo, es preciso hacer más énfasis en la educación a todos los niveles. Según Henrichsen, el hormigón puede diseñarse para una vida de 100 años. En su opinión (la de F. Massaza), puede incluso diseñarse para una vida de 1000 años (siempre y cuando exista adición de puzzolanas, como en los morteros romanos). A la vista del conocimiento existente, es sorprendente que en la práctica aún no sea posible preparar un hormigón estructural muy durable, y sin embargo se invierta tanto en mantenimiento y rehabilitación. Es preciso propagar la información, mejorar la educación y mejorar la normativa.

Resumen Sesión IV

Realizado por
P. Roca Fabregat, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

ACTA DE LA SESION N. IV SOBRE "PRESTACIONES A LARGO PLAZO DE LAS ESTRUCTURAS: DURABILIDAD, CALIDAD Y TECNICAS DE ENSAYO" (*"LONG TERM PERFORMANCE OF STRUCTURES: DURABILITY, QUALITY AND TESTING"*)

Fueron conferenciantes de esta sesión A. Skarendahl, J. A. Fifield, J. J. Jensen, R. Taivalkoski y F. Seible. Actuaron como vocales de mesa A. C. Aparicio y J. Rodríguez, y como secretario R. M. F. Bakker.

Intervención de A. Skarendhal

Tras la presentación realizada por J. Rodríguez, A. Skarendahl inició su conferencia sobre "Desarrollo y uso de hormigón proyectado con fibras de acero" (*Development and use of steel fibre shotcrete*). De sus explicaciones, que incluyeron comentarios relativos a producción, industrialización, control, durabilidad y aplicaciones; destaca la presentación de las más importantes necesidades de investigación; centrándose éstas en: (1) la necesidad de establecer procedimientos para la evaluación de los parámetros resistentes más importantes y su uso en el proceso de diseño; (2) el desarrollo de un método para la evaluación de la distribución de fisuras; (3) el estudio del conocimiento de la reología del hormigón fresco en condiciones de bombeo y proyección; (4) la reducción del rechazo y la formación de capas de mayor grosor minimizando la introducción de aceleradores de fraguado; (5) optimización del tipo de fibra y de su cantidad atendiendo al tipo de maquinaria utilizada para la colocación del hormigón; y (6) mejorar la durabilidad.

En la discusión se trató sobre la posibilidad de utilizar hormigón proyectado para la construcción de distintos tipos estructurales (muros y sótanos); de la posibilidad de utilizar distintos tipos de fibras, especialmente de aquéllas de gran longitud, apuntándose que es posible el uso de fibras de hasta 200 mm, si bien la correspondiente tecnología aun no está muy desarrollada; de la existencia de métodos de diseño bien asentados y de la conveniencia de editar en un futuro posibles manuales de uso.

La tecnología del hormigón proyectado se presentó como un ejemplo de lo que, a la vista la estrecha relación existente entre investigación y práctica industrial, debería ser la tecnología del hormigón en general.

Intervención de J. A. Fifield

La segunda intervención de la sesión corrió a cargo de J. A. Fifield, y versó sobre el "Desarrollo de productos de hormigón acordes con el medio ambiente"

(*Development of Environmental Concrete Products*). Trató del impacto medio ambiental de los procesos de fabricación y de la búsqueda de posibilidades de reciclaje. Las explicaciones se articularon a través de la discusión de diversos casos reales.

Durante la discusión se plantearon algunas de las dificultades que conlleva el reciclaje del hormigón y, en particular, la separación de fases sólidas y líquidas. Se trató de las dificultades que plantea la lixiviación.

Intervención de A. J. J. Jensen

A continuación, J. J. Jensen inició su conferencia sobre "Aspectos estructurales de los hormigones de alta resistencia" (*Structural Aspects of High Strength Concretes*). Sus explicaciones se articularon principalmente a través de los logros obtenidos en el desarrollo de plataformas off-shore. Asimismo, discutió el caso de puentes y de estructuras de edificación.

En la discusión se abordaron distintos puntos, destacando:

- El concepto de hormigón de alta resistencia y su relación con el límite de 100 MPa. Actualmente, esta cantidad no constituye un límite técnico, sino una definición.
- La inadecuación de los códigos o normas generales, que no son aplicables para estos hormigones.
- El problema de la fragilidad, aspecto que se acusa de forma muy importante con el aumento de la resistencia. Las pertinentes reducciones de resistencia en función de este aspecto, y su tratamiento por parte de normas específicas.
- La resistencia al fuego y los problemas que puede ocasionar el uso de fibras de polipropileno, fundibles. Además, estas fibras pueden simplemente relajar su tensión de manera sensible por efecto del fuego. La necesidad de permitir la salida del agua a través de cierta porosidad y el peligro de que un fenómeno de desconchamiento adquiriera un carácter explosivo, dada la rigidez del material. Puede afirmarse que a mayor resistencia, más débil es el hormigón ante el fuego debido al más alto contenido en silicato tricálcico del cemento utilizado, aunque ello podría quedar compensado por otros aspectos.
- En relación a la durabilidad, la experiencia acumulada en estructuras off-shore es muy positiva (principalmente debido al gran nivel de control durante ejecución), así como en diversas estructuras antiguas. El resultado es más ambiguo en puentes

sitos en ambientes costeros.

Intervención de R. Taivalkoski

La intervención de R. Taivalkoski se intituló "La nueva tecnología de fabricación de elementos de hormigón prefabricado de gran calidad" (*New Manufacturing Technology for High Quality Precast Concrete Components*). En primer lugar, se presentó la compañía PARTEK, mencionando su campo de actuación técnico y geográfico. A continuación, el conferenciante expuso la última evolución de la tecnología asociada al hormigón prefabricado, presentando ejemplos de organización de la producción y posibilidades de mecanización. A modo de conclusión, se comentaron ampliamente sus posibilidades actuales y futuras.

Intervención de F. Seible

F. Seible trató sobre "Refuerzo de edificios y puentes de hormigón existentes" (*Strengthening and Retrofit of Existing Concrete Bridges and Buildings*), describiendo diversas técnicas de reparación desarrolladas en California, junto con la experimentación llevada a cabo en laboratorio y las aplicaciones reales. El conferenciante distinguió entre "Reparación", aplicable a edificios dañados por efecto del envejecimiento de los materiales, "Refuerzo", introducido al efecto de aumentar la sobrecarga admisible, "Adaptación" (Retrofit), aplicable a construcciones mejoradas o adaptadas a resistir un sismo, y "Renovación" (Renewal), implicando la sustitución de elementos o sistemas. Destacó la necesidad de nuevas herramientas analíticas, lo que a su vez exige una mayor experimentación. Finalmente, apuntó la necesidad de desarrollar una tecnología estándar para la rehabilitación.

A través de la discusión se abordaron los siguientes puntos:

- La importancia de los procesos de corrosión en el deterioro de puentes. F. Seible apuntó que la preocupación ante la corrosión depende fuertemente de la localización dentro de E.E.U.U; en el Este preocupa principalmente la corrosión; en el Oeste domina el Sismo; en ambos casos aparece el aumento de las cargas de tráfico como aspecto que exige un refuerzo estructural. No se dispone de estudios a muy largo plazo sobre el efecto de la corrosión.
- Z. Bazant planteó su preocupación sobre la importancia de la fragilidad — insuficiente ductilidad a nivel estructural—, magnificada por un efecto de escala. En este sentido, opinó que la realización de ensayos sobre modelos reducidos podría, incluso considerando factores de escala, ocultar la auténtica fragilidad de

las estructuras a escala real. A ello, F. Seible contestó que, en la medida posible, los ensayos se realizan a escala real, lo cual es factible en pocos casos.

- El comportamiento ante el fuego de los elementos de refuerzo presentados (de fibra de carbono o vidrio). Principalmente, se instalan en pilas de puente donde el fuego no resulta preocupante. Además existen resinas especiales o bien elementos de protección, resistentes al fuego.
- La ejecución del refuerzo. Su ventaja radica en la gran sencillez de ejecución, lo cual lo hace interesante incluso ante soluciones materialmente más económicas, pero de más difícil instalación.

Discusión general

En primer lugar, el presidente de mesa invitó a J. N. Mieres (de Cubiertas y Mzov, S.A.) a impartir unas breves explicaciones sobre la aplicación práctica del hormigón proyectado por vía húmeda y las diversas experiencias reales. J. M. Mieres comentó las características de los hormigones utilizados, los rendimientos y resultados en general obtenidos.

Z. Bazant insistió sobre los efectos de escala en relación con la fragilidad de las estructuras, a propósito de la discusión abierta tras la exposición de F. Seible. Apuntó la importancia de este efecto ante posibles imperfecciones y de la cantidad de energía acumulada en caso de sismo. F. Seible comentó que precisamente por este motivo se ensayan sistemas estructurales completos (edificios en su globalidad). Sin embargo, ciertamente, en un experimento de laboratorio, no todos los aspectos de una estructura real quedan bien recogidos, resultando por ello preciso contar con modelos muy sofisticados, capaces de simular los mencionados problemas.

Ante la petición de S. P. Shah, J. J. Jensen mostró una serie de diapositivas sobre impactos en estructuras off-shore, así como de efecto de filtraciones y presión de agua. Describió los métodos de cálculo utilizados ante impacto, según MS 3473, CEB 187.

Otros puntos tratados fueron:

- En relación a la fragilidad del hormigón de alta resistencia, la posibilidad de que, considerando este aspecto en el cálculo, sea posible sin embargo diseñar sistemas estructurales suficientemente dúctiles.

- En relación a la durabilidad del hormigón proyectado, la importancia del proceso de corrosión; este dependerá fuertemente de la posible tendencia a la exfoliación de este hormigón, ante lo cual es conveniente diseñar hormigones con capas bien adheridas y resistentes. Utilizando hormigones adecuados, la corrosión no es un problema, incluso en medios agresivos, habiéndose observado un correcto estado en construcciones de más de 25 años.
- La necesidad de transferir conocimiento, antes que nueva tecnología. De hecho, existe una carencia de conocimiento básico sobre materiales, fruto en parte de las carencias propias de la formación del ingeniero.
- Sobre las dificultades de aceptación que en Europa se tiene hacia materiales provenientes del reciclaje. En este sentido, los E.E.U.U. se hallan en una posición más delantera.
- La importancia de las uniones en la prefabricación y su relación con las nuevas tecnologías de la producción. A pesar de que la industria fabrique los componentes, su diseño, y la tecnología asociada, deben hallarse enmarcados en una concepción global.

Finalmente, R. F. M. Bakker procedió a realizar un resumen de la sesión, refiriéndose principalmente al significado de la palabra tecnología y su relación con el conocimiento, partiendo de la necesidad de hacer posible un uso práctico de éste. Las dificultades encontradas en este sentido pueden deberse a una falta de entendimiento entre las partes protagonistas (proyectistas, industriales, constructores) o bien a limitaciones derivadas de los costes.

Resumen Sesión Plenaria y Coloquio General

Realizado por

A. Aguado, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

Para finalizar CONTECH'94, se celebró una sesión plenaria titulada "Transferencia de Tecnología: Casos estudiados, experiencias" seguida de un coloquio general "El proceso de transferencia de tecnología". El objeto de ambas actividades era dar a conocer las experiencias previas en este campo a diferentes niveles (USA, CE, España y Barcelona), para que sirviesen de base, tras una reflexión conjunta, para analizar las posibles vías de actuación futuras.

La Sesión Plenaria comenzó con una breve presentación por parte de Sr. **J.L. Groba**, de las actividades del **Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)**, patrocinador de esta Sesión. El CDTI es un centro autónomo del Ministerio de Industria español dedicado, entre otras actividades, al desarrollo tecnológico industrial y a la promoción de proyectos de Investigación y Desarrollo(I+D) industrial. Dichos proyectos tienen un carácter pre-competitivo en relación directa con el desarrollo tecnológico y la innovación. Asimismo, el CDTI ayuda al mundo industrial mediante la presentación de información sobre programas de investigación, la colaboración en la búsqueda de socios para los proyectos de investigación y la divulgación de los resultados. El CDTI también puede dar soporte económico a estos proyectos mediante ayudas económicas de diverso tipo (créditos blandos, etc.).

A continuación, y como representante del CDTI para contar la experiencia española, intervino Sr. **J.M. Morón García**, él cual presentó la ponencia titulada "**Role of the Industry in Technology Transfer: Dragados' Experience in EC projects**" (El texto de esta ponencia se encuentra en el presente documento). En la misma se resume la experiencia del grupo **DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A.** en algunos de los proyectos de investigación en los que ha intervenido, financiados por la Comunidad Europea, sobre temas asociados al campo del hormigón.

En su ponencia, el Sr. Morón García comentó que la incorporación del grupo Dragados a los proyectos de I+D estaban motivados por la necesidad de desarrollar infraestructuras, nuevas metodologías y productos, de cara a preparar la empresa frente a los requisitos del futuro (conservación ambiental, comodidad de los usuarios, garantía de calidad y puestos de trabajo seguros), la competencia con otras empresas y la necesidad de formación continuada del personal técnico.

En el coloquio que siguió a la ponencia, debido a un viaje del ponente que requirió modificar el programa, el Sr. Morón García declaró que la experiencia del grupo Dragados en proyectos conjuntos centros de investigación-empresa ha resultado positiva y, que en consecuencia, la empresa invierte en la actualidad un 0,7 % de su presupuesto global en temas de I+D. El prof. Shah indicó que estas cifras son comparables con las correspondientes a los países punteros en Europa y Norte América, donde el sector de la construcción invierte un poco más, en el entorno del 1%.

Desde otro punto de vista, la intervención de la Sra. de Andrés, en respuesta a una pregunta del Prof. Alavedra sobre la financiación pública, matizó que en España la relación entre fondos públicos y privados destinados a investigación es grande (claramente favorable al sector público) y que la misma es aún mayor en el sector de la construcción. Como contraposición, el Sr. Mieres mostró otro punto de vista del mundo empresarial español en estos temas, indicando que en los mismos se realiza diferentes temas de desarrollo y resolución práctica de problemas en obra, aunque estos no suelen estar incluidos en proyectos de investigación como tales, si que deberían considerarse como actividades de I+D. Asimismo señaló que las empresas no tienen

motivación por la innovación, desde el prisma de proyectos como tales, ante un mercado que difícilmente hacen rentables las inversiones en este campo (El texto complementario de esta opinión redactado con posterioridad, se encuentra en el presente documento). En esta línea y ampliando su intervención anterior, el Sr. Morón García indicó que la I+D en las empresas es útil sólo, si es o puede ser implantada.

Por su parte, el Sr. Albajar en su intervención señaló que la industria española está realizando un esfuerzo significativo en investigación e innovación. Con esta opinión, la Sra de Andrés mostró su acuerdo si bien declaró que esta investigación no era siempre puesta en forma tal que sirviese para incrementar el desarrollo tecnológico de la industria en general.

Con posterioridad, el Sr. S. Rostam presentó la ponencia titulada "**Technology Transfer: Stick or Carrot?**", en la cual se dio una idea general de la necesidad en tecnología de la industria europea. Los dos modelos de transferencia de tecnología que prevalecen en la actualidad son, en su opinión, los correspondientes a la transferencia a través de contactos informales o bien a través de una política de escalones en la que se incluye la figura de "gate-keepers". La función de esta figura, la cual puede estar cubierta por una agencia u otro tipo de empresa dedicada a la promoción de los desarrollos tecnológicos o bien a una división de una compañía, es reunir y transformar los resultados de investigación, propios o ajenos, para su implantación práctica en el mundo industrial. Tales intermediarios tendrían que tener conciencia clara de que la teoría y de la práctica son una pareja indisoluble si bien con frecuencia separada, y que la literatura científica no es consultada con frecuencia por el mundo industrial por lo que su papel debería permitir, poner al alcance de este y en forma comprensible, los resultados de las investigaciones recogidos en aquellos documentos.

En esta política escalonada, también se incluye la labor de grupos multidisciplinares formados, por ejemplo, por científicos y técnicos del mundo empresarial. En esta misma línea estaría la documentación de los nuevos desarrollos o bien, la organización de seminarios, como el presente, para transferir los resultados de la investigación a la industria.

En su opinión, la solución de los problemas existentes en la industria deben ser resueltos de forma multidisciplinar, involucrando en su resolución a diversos sectores. Así, por ejemplo, en el diseño de estructuras en las que se incluya un valor elevado de la vida útil en el proyecto de las mismas como es el caso de las estructuras del paso del Gran Belt (Dinamarca), en las que el Sr. Rostam ha participado (Vida útil de 100 años), el diseño de la estructura debería ser consistente con todos los requisitos que se le exigen a la misma (lo cual requiere un importante esfuerzo de coordinación entre ingenieros y arquitectos), unos materiales y unas dosificaciones que tras una satisfactoria materialización permitan obtener un hormigón con baja permeabilidad. En este mismo proceso la construcción deberá asegurar un adecuado recubrimiento de la armadura, y en conjunto asegurar la calidad de la obra, previéndose la inspección y el mantenimiento de la misma.

En el proceso de forzar el desarrollo tecnológico se pueden proponer métodos duros que estarían en línea con "el palo", tales como: preparación de códigos de proyecto que incorporen nuevos desarrollos, verificación estricta y con medios de los requisitos estructurales y la eliminación de los criterios de selección basados en la oferta más barata con el fin de mejorar la fase crítica de la construcción. La ley de la oferta más baja, puede conducir a una falta de motivación/incentivo por la alta calidad y sólo puede eliminarse por iniciativa de los propietarios

(en esta dirección es preciso introducir cambios en los procesos de selección públicos e internacionales). Como iniciativas blandas ("la zanahoria"), el Sr. Rostam sugirió la potenciación de criterios de aceptación/rechazo mejor definidos, la generalización de sistemas de beneficios/penalización por los cumplimientos e incumplimientos de los requisitos, potenciación de los ensayos y una mejor identificación de las prestaciones exigidas asociadas a una verificación de las mismas mediante requisitos simples.

Asimismo en la ponencia se resaltó la gran importancia de la calidad durante la vida en servicio de la estructura, insistiéndose en la idea de que la calidad de las estructuras sólo puede ser alta, si los propietarios la piden y, en consecuencia, pagan por ella. Para ello, los propietarios deberían ser "educados" por los investigadores y por la industria y, presionados por la opinión pública y la prensa con el fin de superar las prioridades políticas.

Esta ponencia, previamente presentada en el reciente "Brite-EuRam Workshop on Concrete Technology" celebrado en Odense (Dinamarca) en junio de 1995, se ha alimentado de las conclusiones que en él se aportaron. En dicho evento se presentaron los resultados de 23 proyectos de investigación financiados por la Comunidad Europea encuadrados en 6 temas que cubrían el ciclo completo de la vida de una estructura de hormigón: materias primas, dosificación, fabricación, vida en servicio, durabilidad y demolición. De la prospección de los trabajos realizados, se observó que hay lagunas en la preparación del material y los procesos de ejecución (tales como: amasado, colocación y curado).

Para el futuro, Sr. Rostam aconsejó que las necesidades en investigación y en tecnología sólo pueden conocerse por el tratamiento realista de los problemas, por la simplificación de los resultados de investigación cara a poner los mismos en forma de aplicación directa por parte del mundo industrial y por la educación de propietarios y trabajadores para diferenciar entre distintos hormigones (por ejemplo, alta y baja calidad). En general, se señaló que la transferencia de tecnología puede ser un éxito cuando la investigación se orienta a resolver problemas bien definidos y la solución se implanta con posterioridad.

Con posterioridad el Sr. A. Aguado presentó la ponencia titulada "**Technology Transfer in the Field of Concrete-The Barcelona Experience**". En la misma se hace una breve revisión histórica de los proyectos recientes de investigación desarrollados en el entorno de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona dentro del campo del hormigón. Asimismo se explican los mecanismos de transferencia de tecnología utilizados en los proyectos relacionados con la industria. Finalmente, se propone un modelo de transferencia de tecnología basado en una clara definición conjunta, entre los productores de la investigación y los receptores de la misma, de los objetivos de la investigación y de los productos que se pretenden conseguir con ella. Esto es, intentar integrar al receptor final de la investigación en las primeras etapas de la misma. En el modelo propuesto se considera que en las primeras etapas de la investigación deben estar financiadas por fondos públicos para, con posterioridad, contar con un gradual incremento en la participación de la industria. Ahora bien, aunque esta se incorpore a la investigación en segunda etapa, desde un punto de vista de aportación económica, no debe estar ausente de la misma en etapas previas en lo que representa definición de los objetivos. Por último, el Sr. Aguado transmitió la opinión de que la Universidad tiene la obligación de estar en continuo dialogo con la industria, lo cual redundará en beneficio del resultado final de la investigación. Dado el tiempo limitado que quedaba de esta sesión, el coloquio de esta ponencia así como el de la siguiente se integró en el coloquio final.

La última ponencia de esta sesión titulada "**Technology Implementation**" escrita por **J. Skalny** y **M. Majesky** fue presentada por el **Sr. R. Gettu**, debido a no poder asistir el Sr. Skalny ante un imprevisto de última hora. En la ponencia se hace una relación de diferentes barreras en el proceso de tecnología, existentes en los grupos de investigación, en las empresas y en la sociedad. Los autores consideran que la probabilidad de éxito de este proceso aumenta cuando la motivación es alta, la complejidad es baja, las distancias físicas son pequeñas y la comunicación es alta. Asimismo, en la ponencia se proponen ciertas medidas que deberían adoptar universidades, agencias gubernamentales y empresas para mejorar la implantación de los procesos de transferencia de tecnología. Entre estas medidas se incluyen mejoras en los planes educativos en ingeniería así como en el campo de la investigación, formación continuada en la industria e incentivos ante las innovaciones industriales.

El coloquio general titulado "**El proceso de transferencia de tecnología**" fue moderado por el Sr. Shah y en el mismo participaron como ponentes **A. Aguado**, **M.C. de Andrés**, **R. Bakker**, **B. Barr**, **F. Massazza** y **S. Rostam**. El coloquio sacó a la luz diferentes opiniones respecto a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico. Los diferentes puntos de vista variaban, lógicamente, en función de la experiencia y procedencia del que emitía los mismos. En cualquier caso existieron significativas diferencias en las opiniones emitidas. Así, los comentarios de Bakker, de Andrés, Shah, Aguado, Rostam, Rodríguez, Paloma, Bautista, Mieres, Andrade y otros mostraron que no hay consenso sobre cuáles son los pasos a seguir en los temas relativos a la investigación aplicada.

Dentro de esta postura, la industria frecuentemente está poco interesada en los temas de investigación propuestos por los científicos y considera que los resultados obtenidos como consecuencia de estos proyectos son poco aplicables en la práctica. Algunas veces parece que en lugar de identificar un problema y buscar una solución, los científicos buscan *a posteriori* un problema que pueda ser resuelto con los resultados de la investigación que han realizado. Asimismo, desde el punto de vista industrial se estima que los resultados son difundidos en un formato fácilmente asimilable por el mundo industrial (por ejemplo, artículos en revistas científicas).

Desde la postura de los investigadores, se considera que la industria busca beneficios a muy corto plazo como única meta, no teniendo la versatilidad necesaria para adaptarse a los cambios técnicos y sociales que se requieren en una planificación a más largo plazo. Asimismo, la mayoría de los investigadores estiman que la industria debería acercarse a los centros de investigación con sus problemas y no esperar hasta el final para encontrar la solución a sus problemas. Sin embargo, tal como señaló Sra. Andrade, las distancias entre ambas posturas pueden acercarse a través de reuniones frecuentes, donde participen ambas partes y puedan establecerse un fructífero diálogo.

Aguado señaló que la industria cree con frecuencia, que los investigadores sólo están interesados en temas de desarrollo tecnológico cuando el trabajo está financiado por la misma. Sin embargo, hoy en día, una cantidad considerable de la investigación aplicada se desarrolla con fondos públicos obtenidos por iniciativas de los centros de investigación y con un pobre rendimiento de los mismos, por parte de la industria, debido en cierta medida al divorcio existente entre ambas partes. Sr. Shah recordó que la investigación puede ser básica o aplicada. Ahora bien, aún cuando la investigación básica no es directamente utilizada en la práctica, ella conduce a fomentar desarrollos para su posible aplicación industrial. Por lo tanto, los científicos que están

realizando aportaciones importantes en la investigación básica no sólo no deberían ser criticados sino que deberían ser animados y reconocidos en su labor.

Por otro lado, Rostam, Gettu y Monteiro sugirieron que los laboratorios deberían involucrarse en ensayos para la industria, lo cual permitiría conocer mejor las necesidades de la misma debido a los continuos contactos con los ingenieros procedentes del mundo industrial; de esta manera la industria podría estar gradualmente receptiva a nuevas tecnologías. Gettu, Young, Ohtsu y Skarendahl fueron de la opinión que los programas de educación continuada organizados por las universidades podrían ser un mecanismo efectivo de transferencia de tecnología. Bakker y Paloma señalaron que sobre todo, los investigadores deberían darse cuenta de su obligación hacia el desarrollo tecnológico, que eventualmente fuese aplicado e, identificar los medios a través de los cuales compartir los desarrollos con la industria, por ejemplo, a través de publicaciones.

Rostam, Bori y Andrade, insistieron en la utilidad de las agencias de intermediación "gate-keeper". El objetivo es ayudar a empresas, especialmente las pequeñas y medianas, en lo que hace referencia al acceso de las mismas a los recientes desarrollos. Sr. Barr sugirió que las sociedades profesionales podrían y deberían hacer también esta función. Sr. Massazza opinó que la transferencia de tecnología podría incrementarse con la propuesta de normativas simples que estuviesen disponibles por parte de la industria.

Sobre las responsabilidades de los propietarios/promotores en la implantación de innovaciones y criterios de alta calidad en las obras insistieron Shah, Barr, Aguado y Rodríguez. El sistema de concesión de contratos utilizado frecuentemente en el sector de la construcción, a través de la oferta más baja, no es utilizado en otros sectores prioritarios, tal como el aeroespacial. Este sistema sólo satisface objetivos de corto plazo y no resulta de acicate para la innovación o altos niveles de calidad. El resultado es que la calidad es sacrificada en aras de una reducción de los costes. Sr. Bakker opinó que los propietarios/promotores no siempre son los culpables del tema. El y Sr. Massazza sugirieron que los proyectistas y los técnicos de las obras deberían concienciarse en la importancia de la durabilidad y la calidad. También, Sr. Bakker expresó que los resultados negativos de la investigación (tales como, los fallos) deberían asimismo publicarse, de forma tal que la industria entendiese los peligros del uso de una inadecuada tecnología.

INVESTIGACIÓN Y EMPRESA

AUTORES: D. JOSE L. GONZALEZ TRIGUEZ
Director de Calidad e Investigación
D. JUAN M. MIERES ROYO
Jefe Departamento I + D
CUBIERTAS Y MZOV, S.A
Av. de Europa, 18, Parque Empresarial La Moraleja
28100 - Alcobendas (Madrid)

INTRODUCCIÓN

El Departamento de I + D de CUBIERTAS Y MZOV ha tenido la oportunidad de participar en el "International RILEM Workshop on Technology Transfer of the Trends in concrete" Barcelona 7-9 Noviembre 1994. Este encuentro internacional de investigadores e industrias relacionadas con el hormigón ha sido altamente positivo. Había que decir que el nivel de conocimiento de la tecnología del hormigón por parte de las constructoras deja mucho que desear, olvidándonos en muchos casos de que hoy por hoy el hormigón simboliza el material, por consumo y costes, más representativo de nuestra industria, y que su buen o mal uso influye decisivamente en la calidad final de nuestra obra. El contacto con los últimos avances en tecnología del hormigón, nos hace constatar nuestras deficiencias y lo mucho que debemos de esforzarnos en cambiar el uso habitual que venimos dando a este material.

No sólo debemos de tratar este material con mayor conocimiento y rigor, sino que accediendo a los últimos avances podemos abrir el campo de utilización del mismo.

En el ámbito de la investigación se están produciendo importantes desarrollos en hormigones de alta resistencia, hormigones ligeros, patología, aditivos y no cabe ninguna duda que este tipo de encuentros son fundamentales a la hora de transferir todo su nivel de desarrollo a la industria de la construcción, que no debemos de olvidar es la razón última de todos nuestros esfuerzos.

Por todo ello y fruto de algunas cuestiones surgidas con motivo de esta reunión, donde se puso de manifiesto el distanciamiento existente entre investigadores y técnicos de la construcción, los responsables del Departamento de I + D de CUBIERTAS Y MZOV expresamos a continuación algunas de nuestras reflexiones, parte de las cuales ya se expusieron en aquel momento.

INVESTIGACIÓN Y EMPRESA

Estas líneas pretenden ser una reflexión en voz alta acerca de la realidad española, en lo que se refiere a la relación existente entre el estado actual de la investigación y su aplicación práctica en las empresas constructoras, desde el punto de vista de una constructora.

Antes de nada, reconocer la necesidad de ambas (investigación y aplicación práctica) y su sinsentido de la una sin la otra.

Nuestra empresa constructora CUBIERTAS Y MZOV, S.A., quizás sea una de las pocas en este país que poseen, dentro de su estructura, un Departamento de I+D, por lo tanto dentro del mismo vivimos los amores y desamores que tradicionalmente han existido entre el investigador y el ingeniero de pie de obra. También es esta circunstancia la que nos coloca en un lugar privilegiado para analizar las causa de los desamores que se producen.

Cuando inicialmente se creó este Departamento, dentro de un ambiente eminentemente práctico, la aceptación no fue muy entusiasta.

Había que preguntarse por los motivos y estos podrían ser:

- 1.- Falta de tradición en investigación en la empresa constructora.
- 2.- Un funcionamiento de obra que hace pensar en el día a día y no en una planificación a medio o largo plazo.
- 3.- Una gran libertad de actuación de los jefes de obra, que les lleva en muchas ocasiones a innovar y probar nuevos sistemas sobre la marcha.
- 4.- Falta de recogida de datos y resultado y falta de comunicación que impide sacar a la luz los éxitos y fracasos de estas innovaciones ya aplicadas.
- 5.- Un orgullo profesional que conduce a una actitud reservada ante el temor de descubrir limitaciones.

Todo esto hace que no se tenga una conciencia de que cada jefe de obra, si es bueno, lleva dentro de sí un investigador, desde el momento en que se pregunta si el método o los materiales que aparecen en proyecto no se podrían mejorar si se modificara algo, y esta pregunta le lleva al análisis y a la búsqueda.

La realidad que se encontró el Departamento de I+D ante la propia empresa, es la que se encuentran los centros de investigación (universidades, centros oficiales y privados, etc) ante el sector de la construcción.

Esta realidad está incrementada por la gran distancia que existe entre los centros de investigación y las constructoras, con una falta de comunicación que de no solucionarse fomentará aun más, por un lado:

- El escepticismo de los constructores
- El desanimo de los investigadores relacionados con el sector de la construcción

El ingeniero constructor se enfrenta a problemas concretos y quiere soluciones concretas y rápidas, y el investigador avanza con análisis y ensayos, disponiendo del tiempo que el proceso seguido requiere, careciendo en muchos casos de la información sobre lo que realmente demanda la ejecución y de los resultados que se producen en la aplicación de innovaciones a obras concretas.

Ante esta realidad no cabe la resignación, ni tampoco la crítica sin mas, sino que tras la reflexión se deben de proponer soluciones.

En Japón existió y existe, según un reciente viaje, este mismo problema entre los Institutos de investigación, propiedad de las constructoras (20.000 m² y 300 personas) y los centro de producción de obra. No obstante, ellos han creado una organización que hace de brazo transmisor entre los dos, y que está constituido por personal técnico procedente de obra y con inquietudes innovadoras. Este grupo de profesionales están involucrados dentro de las partes implicadas. Son los encargados de convertir los problemas de obra en proyectos de investigación y a su vez sacan de los centros de investigación los resultados obtenidos y los hacen realmente aplicables a obra.

En nuestro país, dada la lejanía física existente entre Centros de Investigación y Empresas Constructoras, deberíamos optar por una solución que salvara sus distancias y recelos.

Creemos positivo que las Universidades y Centros de Investigación, sacaran periódicamente una relación de sus proyectos con una pequeña memoria y los responsables de los mismos, con la forma de poder ser localizados, que esta documentación se enviara a las empresas constructoras y más concretamente a sus Departamentos de I+D o tecnología.

En el caso de nuestra empresa, CUBIERTAS Y MZOV, este Departamento tiene como función

la conexión entre estos proyectos y la problemática real diaria. Disponemos de una red de información que nos mantiene en contacto directo con los aproximadamente 600 centros de trabajo que hay repartidos en toda España y que ejecutan proyectos relacionados con todo tipo de materias dentro del sector de la construcción.

Además de esta circunstancia hemos creado un estrecho vínculo, fruto de un año, recibiendo sus problemas y tratando de dar soluciones rápidas (24 horas) mediante nuevos métodos constructivos o aplicando nuevos productos, que han hecho mucho más receptivos a los jefes de obra, que en este momento ya ven con mejores ojos las opiniones emitidas por este Departamento.

También sería recomendable la transmisión de información en sentido inverso, es decir, no nos podemos quejar los constructores de falta de aplicabilidad de los proyectos de investigación, si nosotros no damos información sobre nuestras necesidades reales, y en caso de aplicar alguna innovación dentro de un proceso constructivo, no informamos sobre el éxito o fracaso de dicha aplicación.

Siendo coherente con esta reflexión, este Departamento está elaborando un informe sobre puntos concretos donde la ejecución de proyectos constructivos están resurgiendo la creación de proyectos de investigación, que por otra parte debería tener un mayor apoyo en forma de subvenciones.

Este informe se enviará a Universidades y Centros de Investigación, intentando dar un paso que acerque a ambas partes.

Se trata de abrir las obras y sus resultados técnicos a los ingenieros implicados en proyecto de investigación que de esa forma puedan aprovechar los bancos de pruebas que representan las obras. Al tiempo esto será una oportunidad para que el ingeniero de obra, que en muchas ocasiones ha innovado sin ser consciente, empiece a ser considerado como una persona generadora de ideas y proyectos de investigación.

Creemos que esta estrategia nos podrá llevar, en un futuro no muy lejano, a una mayor rentabilidad de los esfuerzos que hasta la fecha se vienen realizando.