

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

# Caracterización de las propiedades del hormigón autocompactante asociadas al esqueleto granular

tesis doctoral realizada por:

Ana Carolina Parapinski dos Santos

dirigida por:

Antonio Aguado de Cea

Luis Agulló Fite

Barcelona, junio de 2010

Universitat Politècnica de Catalunya  
Departamento de Ingeniería de la Construcción

TESIS DOCTORAL



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ACKER, P. (2001) *“Micromechanical analysis of creep and shrinkage mechanisms”*, Proceedings of the Sixth International Conference on Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Other Quasi-Brittle Materials (Concreep6). Cambridge, E.E.U.U. pp 15-26.
- 2) ACKER, P.; ULM, F. J. (2001) *“Creep and shrinkage of concrete: physical origins and practical measurements.”* Nuclear Engineering and Design vol. 203, pp. 143-158.
- 3) AFGC (2002). *“Interim recommendations for use of Self-Compacting Concrete”*, July 2002, Association Française de Génie Civil.
- 4) AGRANATI, G. (2008) *“Estudio sobre la aplicabilidad de los modelos de cálculo de la fluencia y retracción al hormigón autocompactable”*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 411pp.
- 5) AGUILAR, C. y BARRERA, H. V. (2003) *“Hormigón autocompactante: de la investigación a la práctica”*. Revista BIT. julio 2003. pp.:27-30.

- 6) AİTCIN, P.C. (1999) "*Demystifying Autogenous Shrinkage*". Concrete International. Vol 21. Nº 11. Noviembre 1999, pp 54-56.
- 7) AL-MANASEER, A. LAM, J.P. (2005). "*Statistical evaluation of shrinkage and creep models*", ACI Materials Journal, vol. 102, no. 3.
- 8) ALMEIDA FILHO (2006) "*Contribuição ao Estudo da Aderência entre Barras de Aço e Concretos Auto-Adensáveis*". Tesis Doctoral. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 292 pp. (en Portugués).
- 9) AMBROSIA, M.D.; LANGE, D.A.; BRINKS, A.J. (2005). "*Restrained Shrinkage and Creep of Self-Consolidating Concrete*". Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp. 921-928
- 10) ASSIÉ, S.; ESCADEILLAS, G.; MARCHESE, G. (2003) "*Durability of Self-Compacting Concrete*" Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. pp 655-662.
- 11) BANFILL, P.F.G., (1981). "*A Viscometric Study of Cement Pastes Containing Superplasticizers with a Note on Experimental Techniques.*" Magazine of Concrete Research. Vol. 33.(114) pp 37-47.
- 12) BANFILL, P. (2003). "*The Rheology of Fresh Cement and Concrete- a Review*". Proceedings of the 11th International Cement Chemistry Congress, Durban, May 2003. Versión electrónica. 13pp.
- 13) BANFILL, P.; BEAUPRÉ, D.; CHAPDELAINE, F.; DE LARRARD, F.; DOMONE, P.; NACHBAUR, N.; SEDRAN, T.; WALLEVIK, O.; WALLEVIK, J.E. (2001) "*Comparison of concrete rheometers: International tests at LCPC (Nantes, France)*". NISTIR 6819 Editors: Chiara F. Ferraris, Lynn E. Brower. National Institute of Standards and Technology. 147 pp.
- 14) BARTOS, P.M.J. (2005). "*Towards new European Standards for Fresh SCC*", Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC'2005-China), pp. 25-44.
- 15) BARTOS, P.J.M.; SONEBI, M.; TAMIMI, A.K. (EDS.) (2002). "*Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests*," Cachan Cedex, France: RILEM.
- 16) BAŽANT, Z.P. (1988). "*Mathematical Modeling of Creep and Shrinkage of Concrete*", John Wiley & Sons, Chichester and New York.
- 17) BAŽANT, Z.P. (2001) "*Prediction of concrete creep and shrinkage: past, present and future*". Nuclear Engineering and Design. Nº 203, pp. 27-38.
- 18) BAŽANT, Z.P., BAWEJA, S. (1995) "*Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures — Model B3*", in collaboration with RILEM Committee

- TC 107-GCS, (RILEM Recommendation). Mater. Struct. (RILEM, Paris) 28 (6), 357–365; with Errata, Vol. 29 (March 1996), pp. 126.
- 19) BAŽANT, Z.P., BAWEJA, S. (1995b) “*Justification and refinement of Model B3 for concrete creep and shrinkage. 1- Statistics and sensitivity*”. Mater. Struct. 28 (7), 415–430 RILEM, Paris.
- 20) BAŽANT, Z.P., BAWEJA, S. (1995c) “*Justification and refinements of model B3 for concrete creep and shrinkage. 2. Updating and theoretical basis.*” Mater. Struct. 28 (8), 488–495 RILEM, Paris.
- 21) BAŽANT, Z.P., BAWEJA, S. (2000) “*Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures (Model B3)*”. In: AlManasseer, A., (Ed.), Creep and Shrinkage of Concrete, ACI Special Publication SP-194, (extended and improved version of Bazant and Baweja, 1995a,b,c). pp 85-100..
- 22) BAŽANT, Z.P.; WITTMANN, F. H. (1982) “*Creep and shrinkage in concrete structures*”. New York, E.E.U.U. ISBN 0471104094. 363 pp.
- 23) BAŽANT, Z. P., AND XI, Y. (1994) “*Drying Creep of Concrete: Constitutive Model and New Experiments Separating its Mechanisms*”. Materials and Structures, V. 27, No. 1, pp. 3-14.
- 24) BEAUPRÉ, D., MINDESS, S. (1998). “*Rheology of Fresh Concrete: Principles, Measurement and Applications*” Material Science of Concrete V. American Ceramic Society, USA. pp 149-190.
- 25) BENEDICT, D.E.; WORSFOLD, S.J. (2005) “*Economically Attractive Field Application for SCC*”. Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp.1055-1060.
- 26) BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO (2005) “*The European Guidelines for Self-compacting Concrete*”. Producido por el “European Project Group” con la participación de más de 50 expertos de diversas industrias europeas. Grupos responsables:. Disponible en:  
<http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
- 27) BILLBERG, P. (1999) “*Energy Modified Cement in SCC*”. Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 591-602
- 28) BONEN, D., DESHPANDE, Y., OLEK, J., SHEN, L., STRUBLE, L., LANGE, D., KHAYAT, K. (2007) “*Robustness of Self-Consolidating Concrete*” Proceedings of the 5<sup>th</sup>. International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Ghent, Belgium. pp 33-42.
- 29) BORSOI, A; COLLEPARDI, M.; COLLEPARDI, S.; CROCE, E. N.; PASUELO, A. (2006) “*Influence of Viscosity Modifying Admixture on the Composition of SCC*”. Eighth

- CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Sorrento, Italy. pp 253-261.
- 30) BOSILISKOV, V. (2003) "SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler". Cement and Concrete Research. Vol. 33. Nº9. pp 1279-1286
- 31) BRANSON, D.E., CHRISTIANSON, M.L. (1971). "Time-dependant Concrete Properties Related to Design-Strength and Elastic Properties." Creep and Shrinkage, SP 27-13, 257-277.
- 32) BROWER L.E., FERRARIS C.F., (2003) "Comparison of Concrete Rheometers" Concrete International. August 2003, pp 41-47.
- 33) BUI, V.K.; MONTGOMERI, D.; INKZAC I.; TURNER, K. (2002) "Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete" Cement and Concrete Research 32 1489–1496
- 34) BUI, V.K.; ATTIOGBE, E. (2008) "A Rapid Evaluation of Stability of Self-Consolidating Concrete" Proceedings of the Third North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete November 10–12, 2008, Chicago, EEUU, Cd-rom.
- 35) CARBONARI, G. (1996) "Comportamiento mecánico instantáneo y diferido del hormigón de alta resistencia". Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 199 pp.
- 36) CARBONARI, G.; GETTY, R.; AGUADO, A.; CARBONARI, B.M.T. (2002) "Retração e Fluência de Concretos de Alta Resistência: Análise Experimental". Semina: Ciências Exatas e Tecnológica, Londrina, Brasil, v. 23, n. 1, pp. 63-72. (en portugués)
- 37) CARLSWARD, J., EMBORG, M., UTSI, S Y OBERG, P. (2003) "Effects of Constituents on the Workability and Rheology of Self-Compacting Concrete". Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. pp 143-153.
- 38) CHAI, H. (1998) "Design and Testing of Self-Compacting Concrete" Tesis doctoral. Department of Civil and Environmental Engineering, University College London.
- 39) CHOPIN, D., FRANCY, O., LEBOURGEOIS, S., ROUGEAU, P. (2003). "Creep and shrinkage of heat-cured self-compacting concrete (SCC)", Proceedings of the Third International Symposium on Self Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. pp. 672-683.
- 40) COLLEPARDI, M., BORSOI, A., COLLEPARDI, S., TROLI, R., (2005). "Strength, Shrinkage and Creep of SCC and Flowing Concrete". Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp. 911-919
- 41) CUSSIGH, F.; SONEBI, G.; DE SCHUTTER, G. (2003) "Project Testing SCC-Segregation Test Methods". Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. pp 311-322.

- 42) CUSSIGH, F.; BONNARD V. (2004) "*Summary report of workpackage 3.3. Tests for resistance to segregation*" Testing SCC. GMT Construction. 10 pp.
- 43) DAVIS, R. E.; DAVIS, H. E.; AND HAMILTON, J. S. (1934) "*Plastic Flow of Concrete under Sustained Stress*" ASTM Proceedings, V. 34, No. 11, 1934, pp. 354-386
- 44) DE LARRARD, F., FERRARIS, C.F., SEDRAN, T. (1998). "*Fresh concrete: A Herschel-Bulkley Material*". Materials and Structures. Vol 31. N° 07, pp 494-498.
- 45) DE SCHUTTER, G.; AUDENAERT, K.; BOEL, V.; VANDEWALLE, L.; DUPOND, D.; HEIRMAN, G.; VANTOMME, J.; D'HEMRICOURT, J. (2003) "*Transport Properties in Self-Compacting Concrete and Relation with Durability: Overview of a Belgian Research Project*". Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. pp 799-807.
- 46) DE SCHUTTER, G.; BOEL, V. (2007) "*Self-Compacting Concrete Ghent, Belgium, 5th International RILEM Symposium, proceedings pro054*". RILEM Publications. 1198 pp.
- 47) DE SCHUTTER, G.; BARTOS, P.; DOMONE, P.; GIBBS, J. (2008) "*Self-Compacting Concrete*". Whittles Publishing. Escocia. 296 pp. ISBN: 978-1904445-30-2.
- 48) DOMONE, P.; CHAI, H. (1996) "*Design and testing of self-compacting concrete*", Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, pp. 223-236, P.J.M. Bartos, D.L. Marris and D.J. Cleland, ed. E&FN Spon, London.
- 49) DOMONE, P.; CHAI, H. (1997) "*Testing of binders for high performance concrete*" Cement and Concrete Research. Vol 27 issue 8. pp 1141-1147
- 50) DOMONE, P. (2000) "*Part VI: Mix Design*". Self-Compacting Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 174-SCC. Edited by Å. Skarendahl and Ö Petersson. pp-69-76.
- 51) DOMONE, P. (2007) "*A Review of the Hardened Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete*". Cement and Concrete Composites. Vol 19. pp 1-12.
- 52) EDAMATSU, Y., NISHIDA, N., OUCHI, M.(1999) "*A Rational mix-design method for self-compacting concrete considering interaction between coarse aggregate and mortar particles*". Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 309-320.
- 53) EFNARC (2002), "*Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*". EFNARC, Farnham, Reino Unido, 32p.
- 54) EMBORG, M. (1999). "*Rheology Tests for Self-Compacting Concrete – How Useful are they for the Design of Concrete Mix for Full Scale Production?*" Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden, pp 95 - 105.



- 55) ERIK, G. H.; PENTII, P. (1999) "*Properties of SCC – Especially Early Age and Long Term Shrinkage and Salt Frost Resistance*". Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 211 -225.
- 56) FAVA, C.; BERGOL, G.; GIANGRASSO, F.; ROCCO, C. (2003) "*Fracture Behaviour of Self Compacting Concrete*". Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. pp 629-636
- 57) FELEKOGLU, B.; TÜRKEL, S, BÜRLANT, B. (2007) "*Effect of the water/cement Ratio on the Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete*". Building and Environment. Vol. 42. pp 1795-1802
- 58) FERNANDEZ, M.R. (2003) "*Evaluación no lineal de los efectos estructurales producidos por las deformaciones diferidas del hormigón y acero.*" Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 326 pp.
- 59) FERRARIS, C.F., (1999). "*Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report*". Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, V. 104, N° 5, pp 461-478.
- 60) FERRARIS, C. F., MARTYS, N. S., (2003). "*Relating fresh concrete viscosity measurements from different rheometers*" Journal of Research of the National Institute of Standard and Technology. V108, N3, pp 229-234.
- 61) FERRON, R.P.D. (2008). "*Formwork pressure of self-consolidating concrete: Influence of flocculation mechanisms, structural rebuilding, thixotropy and rheology*". Tesis doctoral. Northwestern University. 293 pp.
- 62) GEIKER, M.R., BRANDL, M., THRANE, L.M., Y NEILSEN, L.F. (2002) "*On the Effect of Coarse Aggregate Fraction and Shape on the Rheological Properties of Self-Compacting Concrete*". Cement Concrete and Aggregate, vol. 24, pp 3-6.
- 63) GETTU, R., AGULLÓ, L. (2004) "*Estado del Arte del Hormigón Autocompactable y su Caracterización. (Parte 1)*" Cemento-Hormigón. N° 861. pp. 50-67.
- 64) GLANVILLE, W. H. (1930) "*Studies in reinforced concrete - III: The creep or flow of concrete under load.*" Building Research Technical Paper 12, Dept of Scientific and Industrial Research, London. 39 pp.
- 65) GOMES, P. (2002) "*Optimization and characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete*" Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 150 pp.
- 66) GOMES, P.; GETTU, R.; AGULLÓ, L.; BERNARD, C. (2002) "*Diseño de Hormigones Autocompactables de Alta Resistencia. Procedimientos para su dosificación y métodos de Caracterización*" Cemento-Hormigón, nº 832, pp. 30-42.

- 67) GÓMEZ, J.F.; MAESTRO, M.B. (2007) "*Determinación de las características mecánicas de un hormigón autocompactante H-30*". Cemento-Hormigón, N° 903, pp 52-65.
- 68) HAMMER, T. A. (2003). "*Cracking susceptibility due to volume changes of SCC.*" Proceedings of the Third International Symposium on Self Compacting Concrete, RILEM Proceedings PRO 33. Reykjavik, Iceland. pp. 553-557.
- 69) HAMMER, T. A. (2007). "*The Influence of Some Mix Design Parameters on Drying Shrinkage of SCC*". 5<sup>th</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Ghent, Belgium. pp 559-564
- 70) HARTMANN, C.T. (2002) "*Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland*". Disertación de Maestría, 210p, Universidade de São Paulo, Brasil. (en portugués).
- 71) HEIRMAN, G. Y VANDEWALLE, L. (2005) "*Shrinkage, creep and frost resistance of Self-Compacting Concrete*"; Proc. of the 3-day Int. Symp. on Sustainable Development of Cement and Concrete; Toronto; October 5-7.
- 72) HAIWANG, C.; TSAI, T. (2005) "*The application of Geometric Concept to Solve Algebraic Soution in DDMA Method*" Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp 1227-1234.
- 73) HOLSCHEMACHER, K. (2004) "*Hardened Material Properties of Self-Compacting Concrete*". Journal of Civil Engineering and Management. Vol. X. N° 4. pp 2061-266.
- 74) JACOBS, F.; HUNKELER, F. (1999) "*Design of Self-Compacting Concrete for Durable Concrete Structures*" Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 397-407.
- 75) JIANG, Z.; SUN, Z.; WANG, P. (2005) "*Autogenous relative humidity change and autogenous shrinkage of high-performance cement pastes*" Cement and Concrete Research. Vol 35. 2005. pp 1539-1545.
- 76) KAVANAUGH, B.P.; SCHINDLER, A.K.; BARNES, R.W. (2008) "*Creep Behavior of Self-Consolidating Concrete*". Proceedings of the Third North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete November 10–12, 2008, Chicago, EEUU. Cd-rom.
- 77) KHAYAT, K, H.; GHEZAL, A.; HADRICHE, M. S. (1999) "*Utility of Statistical Models in Proportioning Self-Consolidating Concrete*". Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 345-359.
- 78) KHAYAT, K., ASSAAD, J., MESBAH, H. (2003) "*Variation of Formwork Pressure with Thixotropy of Self-Consolidating Concrete.*" ACI Materials Journal, vol 100. January/February 2003, pp 29-37.

- 79) KHAYAT, K.H., MORIN, R., (2002). *“Performance of self-consolidating concrete used to repair parapet wall in Montreal”*. Proceedings of the First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete. Chicago, EEUU. pp 475–80.
- 80) KLEIN, N.S.; DE LA FUENTE, A.; AGUADO, A.; MASÓ, D. (2010) *“Hormigón ligero autocompactante con fibras para rehabilitación de forjados.”* Materiales de Construcción. Aceptado.
- 81) KLUG, Y; HOLSCHEMACHER, K. (2003) *“Comparison of the hardened properties of selfcompacting and normal vibrated concrete”*. Proceedings of 3rd international RILEM symposium on self-compacting concrete, Reykjavik, 2003, pp. 596-605.
- 82) KHRAPKO, M., (2005). *“Development of SCC containing quarry rock dust.”* Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and the Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Chicago, E.E.U.U, pp. 203-209.
- 83) KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.; WEIBE, D. (2001) *“Self-Compacting Concrete – Time Development of Material Properties and Bond Behavior”*. Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Tokyo, Japan. pp 507-516.
- 84) KOYATA, H., COMMAN C.R. (2005). *“Workability Measurement and Developing Robust SCC mixture designs”* Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and the Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Chicago, E.E.U.U, pp. 799-805.
- 85) LAKSHMIKANTAN, S. (1999) *“Comparison between current and future design models for creep and shrinkage”* Revue Française de génie civil, Vol. 3, no. 3, pp. 39-59.
- 86) LANA, M.J.L., (2003) *“Hormigón autocompactable”*. Rev. Colegio oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. Nº. 225.
- 87) LARANJEIRA, F. (2010) *“Design-oriented Constitutive Model for Steel Fiber Reinforced Concrete”*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 340 pp.
- 88) LOSER, L.; LEEMANN, A. (2009) *“Shrinkage and restrained shrinkage cracking of self-compacting concrete compared to conventionally vibrated concrete”*. Materials and Structures Vol. 42. pp 71-82.
- 89) LOWKE, D.; WIEGRINK, K.; SCHIESSL, P. (2003) *“A simple and significant segregation test for SCC”*, Proceedings of 3rd international RILEM symposium on self-compacting concrete, Reykjavik, 2003, pp. 358-366.
- 90) MASÓ, D. (2005) *“Hormigones autocompactables”*, en Gremi de Constructors d'Obres de Barcelona i Comarques. Associació Nacional de Fabricants de Formigó Preparat (ANEFHOP). Barcelona. (en Catalan).

- 91) MAZZOTTI, C.; SAVOIA, M.; CECCOLLI, C. (2007) "Comparison between Long Term Properties of Self-Compacting Concretes with Different Strengths". 5<sup>th</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Ghent, Belgium. pp 599-604.
- 92) MARQUARDT, I.; VALA, J.; DIEDERICHS, U. (2001) "*Optimization of Self-Compacting Concrete Mixes*". Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Tokyo, Japan. pp. 295-302.
- 93) MENGHAO, Q.N.; NI, B. (2005) "*Moisture Distribution in Cement Paste Considering Self-Desiccation*". Proceedings of the Fourth International Research Seminar Self-Desiccation and its Importance in Concrete Technology. Gaithersburg, Maryland, EEUU, Junio, 2005. pp 179-188.
- 94) METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (2008). "Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais" Editora Ibracon. 674pp.
- 95) MINDESS, S., YOUNG, F.J., DARWIN, D. (2003). "Concrete". Segunda edición. Prentice-Hall. 644 pp.
- 96) MOLINS, C.; AGUADO, A.; SALUDES, S. (2009) "*Double Punch Test to Control the Energy Dissipation in Tension of FRC (Barcelona Tests)*". Materials and Structures, vol 42. PP 415-425.
- 97) MORI, M. (2002) "*Aderência entre concretos Autoadensáveis de Alta Resistência e de Resistência Normal e armadura: Influência da Resistência à Compressão, Resistência à Tração e do Módulo de Elasticidade*" Informe Final correspondiente a los estudios de Pos-Doctorado. Universidad Politécnica da Cataluña. Agosto de 2002.
- 98) MOOSBERG-BUSTNESS, H.; LAGERBLAD, B.; FORSSBERG, E. (2004) "*The function of fillers in concrete*". Materials and Structures, Vol. 37 (march), pp 74-81.
- 99) MORTSELL, E., RODUM, E., (2001). "*Mechanical and durability Aspects of SCC for road structures*", Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, Tokyo, Japan. pp. 459-468.
- 100) NACHBAUR, L.; HADDAD, O.; WALLER, V.; VACHON, M. (2005) "*Extension of Concrete Equivalent Mortar (CEM) Method to Self-Compacting Concrete*". Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp 1235-1242.
- 101) NAVARRO, J., M., V. (2006) "*La experiencia práctica de FCCSA. Ronda de la Hispanidad en Zaragoza y Variante de Navia.*" Curso Hormigones Estructurales Especiales y Autocompactables. IIR. Madrid. 2 de noviembre de 2006.
- 102) NAWA, T., HORITA, T. (2004) "*Autogenous Shrinkage of High Performance Concrete*" Proceedings of the International Workshop on Microstructure and Durability to Predict Service Life of Concrete Structures. Sapporo, Japan, Feb. 2004

- 103) NEVILLE, A.M. (1995). "*Properties of Concrete*", 4th ed., Longman Group, Londres, Inglaterra. 844 pp.
- 104) NIELSON, I., WALLEVIK, O. (2003) "*Rheological Evaluation of Some Empirical Test Methods – Preliminary Results.*" 3rd International Symposium RILEM on Self-Compacting Concrete, Iceland, pp 59-68.
- 105) NUNES, S.; FIGUEIRAS, H; COUTINHO, J.; FIGUEIRAS, J. (2005) "*Método para Definição da Composição de Betão Auto-Compactável*" Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 2, nº 1, pp 1-11. (en portugués)
- 106) NUNES, S. (2001) "*Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades*" Disertación de Maestría. Universidade do Porto. Septiembre de 2001.
- 107) OZAWA, K., MAEKAWA, K., OKAMURA, H. (1990) "*High Performance Concrete With High Filling Capacity*" Proceedings of RILEM International Symposium on Admixtures for Concrete: Improvement of Properties. Barcelona, pp. 51-62.
- 108) OZAWA, K., OUCHI, M. (2001) "*Proceedings of The Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, Tokyo, Japan*". Ed. COMS Engineering Corporation 742 pp.
- 109) OKAMURA, H., OZAWA, K. (1994) "*Self-Compactable High Performance Concrete*". International Workshop on High Performance Concrete. Bangkok, Thailand. American Concrete Institute. Pp 31-44.
- 110) OKAMURA, H. (1997) "*Self-Compacting High-Performance Concrete*". Concrete International, Vol. 19, Nº 07, pp 50-54.
- 111) OKAMURA, H., OUCHI, M. (1999) "*Self-Compacting Concrete. Development, Present use and Future*". Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 3-14.
- 112) OKAMURA, H., OZAWA, K., OUCHI, M. (2000) "*Self-Compacting Concrete*". Structural Concrete. Nº 1. Vol. 1. pp 3-17.
- 113) OUCHI, M., HIBINO, M., OKAMURA, H., (1997) "*Effect of Superplasticizer on Self-Compactability of Fresh Concrete*" Transportation Research Record. Vol. 1574, pp 37-40.
- 114) PACIOS, A.A. (2003) "*El hormigón autocompactable: tecnología sostenible para el sector de la construcción*". Hormigón y acero. nº 228-229. pp 143-148
- 115) PACIOS, A.A; GONZALES, D.; ESCRIVÁ, J.M.; CLIMENT, V. (2008) "*Relationship Between SCC Specification and Casting Conditions for Architectural SCC and the Effect on Superficial Defects*" Proceedings of the Third North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete November 10–12, Chicago, EEUU, Cd-rom

- 116) PARRA, C.; VALCUENDE, M.; BENLLOCH, J.; SANTAMARÍA, A. (2008) "*Evolución en el tiempo de la resistencia a compresión, la resistencia a tracción y el módulo de deformación de HAC*". Primer Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante. Valencia, España. pp 345-354.
- 117) PELOVA, G.; TAKADA, K.; WALRAVEN, J. (1998) "*Aspects of the development of self-compacting concrete in Netherlands, applying the Japanese design system*". Fracture Mechanics and Physics of Construction Materials and Structures. Andreikiv OY, Luchko JJ, editors.
- 118) PERSSON, B. (1999) "*Creep, Shrinkage and Elastic Modulus of Self-Compacting Concrete*". Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 239-250.
- 119) PERSSON, B. (2001) "*A Comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete*". Cement and Concrete Research. Vol. 31. pp 193-198
- 120) PERSSON, B. (2005) "*Self-consolidating Concrete affected by Creep*". Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on Self-Consolidating Concrete. Chicago, EEUU. pp 929-936.
- 121) PERSSON, B. (2005b) "*Shrinkage and creep of high performance self-compacting concrete (HPSCC)*", ACI special Publication SP220-11, pp.155-179.
- 122) PETERSSON, Ö, BILLBERG, P. y VAN, B. K. (1996) "*A Model for Self-Compacting Concrete*" Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, pp. 483-492, P.J.M. Bartos, D.L. Marris and D.J. Cleland, ed. E&FN Spon, London.
- 123) PETROU, M. F., HARRIES, K. A., GADALA-MARIA, F. Y KOLLI, V. G. (2000) "*A Unique Experimental Method for Monitoring Aggregate Settlement in Concrete*", Cement and Concrete Research, vol. 30, nº 5, pp. 809-816.
- 124) PICKETT, G. (1942) "*The effect of change in moisture content on the creep of concrete under a sustained load.*" ACI Journal, vol. 38, pp. 333-356.
- 125) POPPE, A-M.; DE SCHUTTER, G. (2005) "*Hydration modeling of Filler Rich. Self-compacting concrete*". Proceedings of the First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Compacting Consolidating Concrete. Changsha, Hunan, China. Pp 87-96.
- 126) PROST, E.; PONS, G. (2001) "*Macroscopic and microscopic behaviour of SCC creep and shrinkage*" Proceedings of the Sixth International Conference on Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Other Quasi-Brittle Materials (Concreep6). Cambridge, E.E.U.U. pp. 569-574.

- 127) PULIDO, A.E. (2008) *“Optimización de los pavimentos industriales desde una perspectiva sostenible y aplicación de la herramienta MIVES”* Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
- 128) RAGHAVAN, K.P., SILVARAMA S., CHATTOPADHYAY, (2002). *“Creep, shrinkage and chloride permeability properties of self-consolidating concrete”*. 1st North American Conference on the Design and Use of Self-consolidating Concrete. Chicago, E.E.U.U. pp.307-311.
- 129) REINHARDT, A.K.; ADAM, I.A.; REDA TAHA, M.M. (2008) *“Total and Basic Creep and Shrinkage of Self-Consolidating Concrete”*. Proceedings of the Third North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete November 10–12, Chicago, EEUU, Cd-rom.
- 130) RILEM Committee FMC 50, (1985) *“Determination of the Fracture Energy of Mortar and Concrete by Means of Three Point Bending Tests on Notched Beams”*, Material and Structures Vol. 18. pp 287-290.
- 131) RILEM TC (1994) *“AAC 8.1 Pull-out test for reinforcement, 1992”* RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. Publicado por E & FN SPON. pp 140-140.
- 132) ROCCO, C. GIANGRASSO, F. BERGOL, L. FAVA C., FORNASIER G. (2008) *“Comparación de las propiedades mecánicas y deformaciones a larga edad de hormigones autocompactantes y hormigones convencionales”*. Primer Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante. Valencia, España. pp 375-384.
- 133) ROLS, S., AMBROISE, J., PERA, J., (1999). *“Effect of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete”*, Cement and Concrete Research, nº 29, pp. 261-266.
- 134) ROY, D.M., ASAGA, K., (1979). *“Rheological properties of cement mixes: III. The effects of mixing procedures on viscometric properties of mixes containing superplasticizers”*. Cement and Concrete Research. Vol 9. Pp 731-739.
- 135) RONCERO, J.; MAGAROTTO, R. (2008). *“Control Efectivo de los Parámetros Reológicos del Hormigón Mediante el Empleo de Aditivos Modificadores de Viscosidad: De la Teoría a la Práctica”* Cemento y Hormigón. Nº 922. Año LXXIX. pp 12-21.
- 136) ROONEY, M. J.; BARTOS, P. J. M. (2001) *“Development of the Settlement Column Segregation Test for Fresh Self-Compacting Concrete”*, Proceedings of 2nd international RILEM symposium on self-compacting concrete, Tokyo, Japan, pp. 109-116.
- 137) ROSHAVELOV, T. T. (1999) *“Concrete Mixture Proportioning With Optimal Dry Packing”*. Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 385-396
- 138) ROUSSEL, N., (2007). *“Rheology of fresh concrete: from measurements to predications of casting process”*. Materials and Structures. Vol 40, pp 1001-1012.

- 139) ROZIÈRE, E.; TURCRY, P.; LOUKILI A.; CUSSIGH, F. (2005) *"Influence of Paste Volume, Addition Content and Addition Type on Shrinkage Cracking of Self-Compacting Concrete"*. Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp 945-952.
- 140) RÜSCH, H. (1975) *"Hormigón Armado y Pretensado: Propiedades de los Materiales"*. Editora CECSA, Barcelona.
- 141) SALUDES, S. R. (2006) *"Ensayo de Doble Punzonamiento Aplicado a Hormigones con Fibras. Ensayo Barcelona."* Tesina. Universitat Politècnica de Catalunya. Marzo de 2006. 338 pgs.
- 142) SANTOS, A.C.P. (2005). *"Influencia da Selagem Externa nas Deformações Diferidas de Fluencia em Vigas de Concreto Armado – Ensaios Experimentais."* Tesina. Universidade Estadual de Londrina. 258 pp.
- 143) SANTOS, A.C.P.; AGUADO, A.; AGULLÓ, L.; GARCIA, T. (2006) *"Criterios de Diseño para el Hormigón Autocompactante"* IX Congreso Nacional de Materiales. Vigo 20 a 22 de junio de 2006. ISBN: 84-8158-323-5. Vol. II. pp.: 909-912
- 144) SANTOS, A.C.P. y AGUADO, A. (2006) *"Documento nº 2. Aplicación de los Criterios de Dosificación de HAC. Resultados Experimentales."* Documento referente al convenio CTT 6511, entre UPC y PROMSA. 30 de Diciembre de 2006.
- 145) SCHIESSL, A.; ZILCH, K. (2001) *"The Effects of the Modified Composition of Self-Compacting Concrete on Shear and Bond Behavior"*. Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete. Tokio, Japón, p.501-506.
- 146) SEDRAN, T.; de LARRARD, F.; HOURST, F.; CONTAMINES, C. (1996) *"Mix design of self-compacting concrete"*. Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, pp. 439-450, P.J.M. Bartos, D.L. Marrs and D.J. Cleland, ed. E&FN Spon, London.
- 147) SEDRAN, T., de LARRARD, F. (1999) *"Optimization of Self Compacting Concrete Thanks to Packing Model"*. Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 321-332.
- 148) SEMPERE, M. (2006) *"Estudi relatiu al formigó autocompactable acolorit. Aplicació a la construcció de la Ciutat de la Justícia de Barcelona i l'Hospitalet"*. Proyecto Fin de Carrera. 5 de julio de 2006. Titulación: Obras Públicas. Tutores: Antonio Aguado y Luis Agulló Fité
- 149) SENG, V., SHIMA, H., (2005). *"Creep and shrinkage of self-compacting concrete with different limestone powder contents"*. Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete and Fourth International RILEM Symposium on SCC. Chicago, EEUU. pp. 981-987.



- 150) SERAFIM, G.A. (2008). *"La Reacción Sulfática de Origen Interno en Presas de Hormigón. Propuesta Metodológica de Análisis."* Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 194 pp.
- 151) SHAH, S.P. (2005). *"Proceedings from the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC) and the Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (SCC 2005), Chicago, U.S.A"* Addison Hanley Wood Publication. 1274pp
- 152) SKARENDAHL, A., PETERSSON, O. (1999) *"Self-Compacting Concrete Stockholm, Sweden, 1st International RILEM Symposium, proceedings pro007"*. RILEM Publications. 804 pp.
- 153) SKARENDAHL, A., PETERSSON, O. (2001) *"Self-Compacting Concrete: State of the Art Report RILEM Technical Committee 174-SCC"*. RILEM Publications, 154 pp.
- 154) SONEBI, M.; BARTOS, P.J.M. (1999) *"Hardened Self-Compacting Concrete and its Bond with Reinforcement"*. Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete. Stockholm, Sweden, pp.275-289.
- 155) SONEBI, M.; BARTOS, P.J.M.; ZHU, W.; GIBAS, J.; TAMIMI, A. (2000) *"Task 4- Properties of Hardened SCC concrete"*. Brite EuRam Project BRPR-CT96-0366, Final report T4. 73 pp.
- 156) SONEBI, M.; ROONEY, M.; BARTOS, P.J.M. (2007) *"Test Method to Evaluate the Dynamic Segregation Resistance of Fresh Self-Compacting Concrete Using the Settlement Column Test"*. Proceedings of the 5th International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete. Ghent, Belgium, pp. 43-48.
- 157) SONG, H.W., BYUN, K.J., KIM, S.H., CHOI, D.H., (2001). *"Early-age Creep and Shrinkage in Self-Compacting Concrete Incorporating GGBFS,"* Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete. Tokyo, Japón. pp. 413-21.
- 158) SU, N.; HSU, K.; CHAI, H. (2001) *"A Simple Design Method for a Self-Compacting Concrete"*. Cement and Concrete Research. Vol. 31. pp 1799-1807
- 159) TAKADA, K.; PELOVA, G. I.; WALRAVEN, J. C. (1999) *"Influence of Microfillers on Proportioning of Mortar in Self Compacting Concrete"* Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Stockholm, Sweden. pp 537-548.
- 160) TAMTSIA, B. T., BEAUDOIN, J. J. (2000) *"Basic Creep of Hardened Cement Paste. A Re-examination of the Role of Water"*, Cement and Concrete Research, vol. 30, pp. 1465-1475.

- 161) TATTERSALL, G.H., BANFILL P.F.G., (1983). *"The Rheology of Fresh Concrete"*. Pitman Advanced Publishing Program. Boston, London, Melbourne
- 162) TOPÇU, I.; UGURLU, A. (2003). *"Effect on the Use of Mineral Filler on the Properties of Concrete"*. Cement and Concrete Research. Vol 33. Pp 1071-1075.
- 163) TURCRY, P.; LOUKILI, A. HAIDAR, K.; (2002). *"Mechanical Properties, Plastic Shrinkage, and Free deformation of Self-consolidating Concrete."* Proceedings of the First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidation Concrete. Chicago, E.E.U.U. pp. 152-158.
- 164) TURCRY, P.; LOUKILI, A. (2003). *"A Study of Plastic Shrinkage of Self Compacting Concrete"*, Proceedings of the Third International Symposium RILEM on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, pp. 576-585.
- 165) TURCRY, P.; LOUKILI, A.; HAIDAR, K.; P-CABOT, G.; BELARBI, A. (2006) *"Cracking Tendency of Self-Compacting Concrete Subjected to Restrained Shrinkage: Experimental Study and Modeling"*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 18. N°01. pp 46-54.
- 166) TUTIKIAN, B. F. (2004) *"Método de Dosagem de Concreto Auto-Adensáveis"* Disertación de Maestría. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. 148p. (en portugués)
- 167) UTSI, S., EMBORG, M., CARLSWÄRD, J. (2003). *"Relationship between Workability and Rheological Parameters"*. Proceedings of the Third International Symposium RILEM on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, pp 154-164.
- 168) VALCUENTE, M. O.; PARRA, C.; BENLLOCH, J. (2005) *"Permeabilidad, Porosidad y Resistencia a Compresión de Hormigones Autocompactables"*. Materiales de Construcción. Vol. 55. N° 280. pp17-26.
- 169) VALCUENTE, M. O.; PARRA, C.; JARQUE, J.C. (2007) *"Homogeneidad de los Hormigones Autocompactantes"*. Materiales de Construcción. Vol. 57. N° 287. pp 37-52.
- 170) VALCUENTE, M. O.; PARRA, C. (2008) *"Bond Behaviour of Reinforcement in Self-Compacting Concretes."* Construction and Building Materials. Vol. 23. pp 162-170.
- 171) VIEIRA, M.; BETTENCOURT, A. (2003). *"Deformability of Hardened SCC"*. Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland. pp. 606-618.
- 172) VILLEGAS, N. (2009) *"Análisis de Valor en la Toma de Decisiones Aplicado a Carreteras."* Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 239 pp.
- 173) WALLEVIK, O.H. (1996) *"The Use of BML Viscometer for Quality Control of Concrete,"* Concrete Research, Nordic Concrete Research, Espoo, Finland, pp. 235 to 236.

- 174) WALLEVIK, O.H. (2003) *“Rheology – A Scientific Approach to Develop Self-Compacting Concrete”* Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik, Iceland. Pp 23-31.
- 175) WALLEVIK, O.H., NIELSSON, I. (2003) *“Self-Compacting Concrete Reykjavik, Iceland, 3rd International RILEM Symposium, proceedings pro033”*. RILEM Publications. 1056 pp.
- 176) WALLEVIK, J.E., 2006. *“Relationship between the Bingham Parameters and the Slump”*. Cement and Concrete Research. Vol 36, pp. 1214-1221.
- 177) WOOLSON, I.H. (1905) *“Some Remarkable Tests Indicating Flow of Concrete Under Pressure.”* Engineering News, 54. N° 18.
- 178) YE, G.; XIU, X.; DE SCHUTTER, G.; POPPE, A. M.; TAERWE, L. (2007) *“Influence of Limestone Powder as Filler in SCC on Hydration and Microstructure of Cement Pastes.”* Cement and Concrete Composites. Vol 29. Pp 94-102.
- 179) YEHA, S.; ABUDAYYEH, O.; ZALT, A.; BARBERA, Y. (2008) *“Evaluation of the Time Dependent Properties of a SCC Mix”*. Proceedings of the Third North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete November 10–12, 2008, Chicago, EEUU.
- 180) ZHAO Y, MA J, WU Z, XU S, GAO H. (2005) *“Study of Fracture Properties of Self-Compacting Concrete Using Wedge Splitting Test”*. Proceedings of first international symposium on design, performance and use of self-consolidating concrete, China 2005, Hunan China, RILEM Publications, PRO 42, pp. 421–428.
- 181) ZERBINO, R.; BARRAGÁN, B.; AGULLÓ, L.; GETTU, R. (2006). *“Reología de Hormigones Autocompactables”*. Revista Ciencia y Tecnología del Hormigón. N 13. pp 51-64.
- 182) ZHU, W.; BARTOS, P. (2003) *“Permeation Properties of Self-Compacting Concrete”* Cement and Concrete Research. Vol 33. 2003. Pp 921-926

#### **NORMATIVAS EMPLEADAS:**

- 183) ACI Committee 209 (1992). *“Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (ACI 209R-92).”* American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan, E.E.U.U. 47 pp.
- 184) ASTM C157- *Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*
- 185) ASTM C618-08a - *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*

- 186) ASTM C496 - *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*
- 187) ASTM C512- *Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression*
- 188) ASTM C1610/C1610M-06a - *Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique*
- 189) ASTM C1611/C1611M-05 *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*
- 190) ASTM C1621/C1621M-06 - *Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring*
- 191) CEB-FIP-90. (1990) “*Código Modelo CEB-FIB 1990 para Hormigón Estructural*”. Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. ISBN: 84.380.0097.5. 575pp.
- 192) EN 206-1 - *Concrete Part 1: Specifications, performance-production and conformity. 2000.*
- 193) Eurocódigo 2 (2004) - *Proyecto de estructuras de hormigón: UNE-EN 1992-1-1:2004*
- 194) NBR 6118 (2007) – “*Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*”. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 221 pp.
- 195) UNE EN 197-1 (2000) – *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*
- 196) UNE-EN 12350-6 (2006) - *Ensayos de hormigón fresco. Parte 6: Determinación de la densidad.*
- 197) UNE 12350-7 (2001) - *Ensayos de hormigón fresco. Parte 7: Determinación del contenido de aire. Métodos de presión.*
- 198) UNE 12390-3 (2003) - *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.*
- 199) UNE 12390-5 (2001/ AC2005) - *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 5: Resistencia a flexión de probetas.*
- 200) UNE 12390-6 (2001/ AC2005) - *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6: Resistencia a tracción indirecta de probetas.*
- 201) UNE 36740 (1998) - *Determinación de la adherencia de las barras y alambres de acero para armaduras de hormigón armado. Ensayo de la viga.*
- 202) UNE 83316 (1996) - *Ensayos de hormigón. Determinación del módulo de elasticidad en compresión.*

- 203) UNE 83318 (1994) - *Ensayos de hormigón. Determinación de los cambios de longitud.*
- 204) UNE 83361 (2007) - *Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez. Ensayo del escurrimiento*
- 205) UNE 83362 (2007) - *Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Ensayo del escurrimiento con el anillo japonés.*
- 206) UNE 83363 (2007) - *Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Método de la caja en L.*
- 207) UNE 83364 (2007) - *Hormigón autocompactante. Determinación del tiempo de flujo. Ensayo del embudo en V.*
- 208) UNE 83515 (2008)- *Hormigones con fibras. Determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción. Ensayo Barcelona, Madrid, España, 7 pp*

# **ANEJO A**

## **CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS**

### **A.1. INTRODUCCIÓN**

En este anejo se presentan las características de los materiales empleados en las distintas campañas experimentales realizadas en esta tesis. Se presentan las curvas granulométricas de los áridos utilizados, así como las especificaciones técnicas de los aditivos y de las resinas empleadas.

## A.2. ESPECIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS – 1ª CAMPAÑA EXPERIMENTAL

### A.2.1. Arena 0–4



**LABORATORIO PROMSA**  
Ctra, N-340 Km 1242,3 Apto, nº 32 Sant Vicenç dels Horts  
08620 BARCELONA

**Informe de ensayos**

Fecha : 14/11/2006

Página 1/1, imprimido el lunes, 08 de enero de 2007

Productor : **PALLEJÀ**  
Áridos : **Arena 0/4**  
Petrografía : Caliza

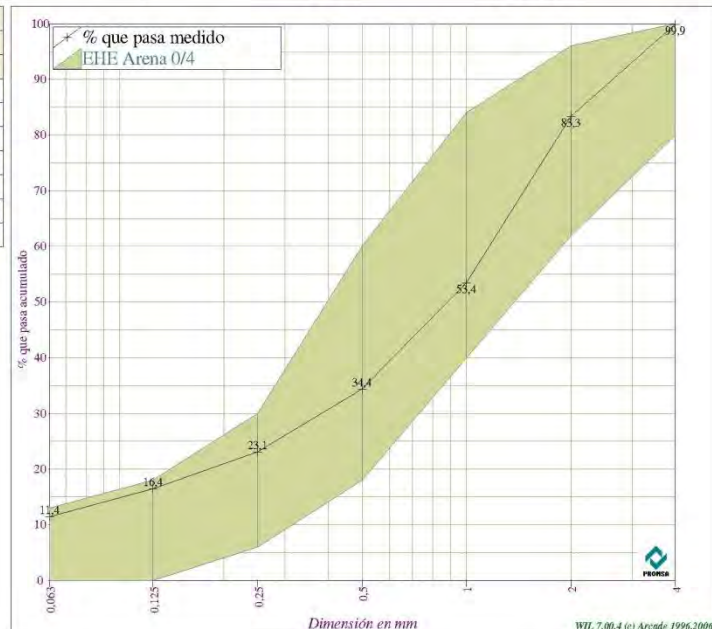
Cliente : **EHE**

Muestra nº <b>5-A6328006</b>	876 g sacadas el 14/11/2006
Clase de áridos	0/4 mm
Origen	Silo
Modo	Conforme
Zona	Barcelona y otros
Destinación	LABORATORIO PROMSA
Hecho por	Jordi
Referencia	EHE Arena 0/4
Observaciones internas	Material para ensayos
Observaciones	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)		11,42 %	13,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo de Finura	2,80	2,89	3,40	UNE 146301
<b>Equivalente de Arena (según EHE)</b>	<b>70,00</b>	<b>70,83</b>		<b>UNE 83131:90</b>
Vista 1 (finos)		120,00		
Pistón 1 (arena)		86,00		
Equivalente arena 1		71,67		
Vista 2 (finos)		120,00		
Pistón 2 (arena)		84,00		
Equivalente arena 2		70,00		

<b>Humedad</b>		<b>0,7 %</b>	<b>EN 1097-5</b>
----------------	--	--------------	------------------

Análisis granulométrico					
Masa	M. Húmeda	882 g	Resto	876 g	
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.	
4.000	80,00	99,89	100,00	1,0 g	
2.000	62,00	83,33	96,00	146,0 g	
1.000	40,00	53,42	84,00	408,0 g	
0.500	18,00	34,36	60,00	575,0 g	
0.250	6,00	23,06	30,00	674,0 g	
0.125	0,00	16,44	18,00	732,0 g	
0.063	0,00	11,42	13,00	776,0 g	



Esther FERNÁNDEZ (Rble. Mercado CE)

Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)

Domènec MASÓ (Director de Calidad)

**A.2.2. Arena 0-4**

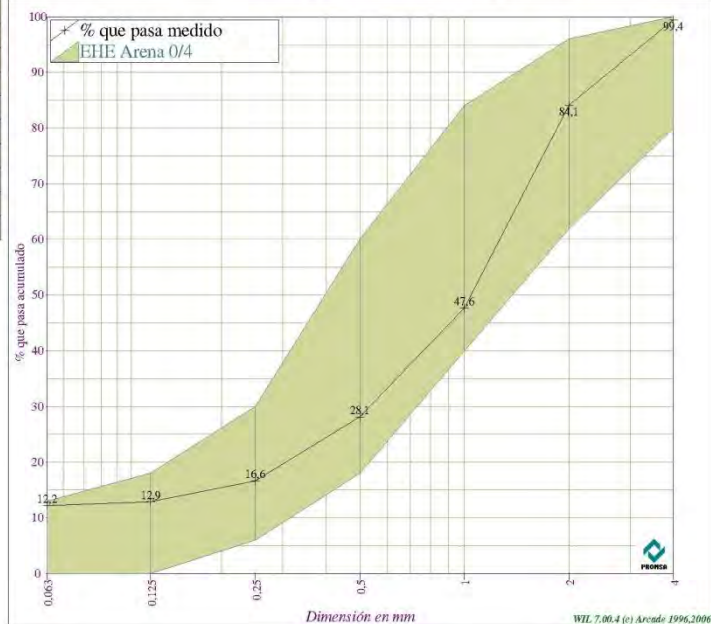
 <b>PROMSA</b>	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 30/11/2006 Página 1/1, imprimido el jueves, 22 de febrero de 2007
--	--	---

<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Arena 0/4 <b>Petrografía :</b> Caliza	<b>Cliente :</b> EHE
--	----------------------

<b>Muestra nº</b> 3-A.6335001	861 g sacadas el 30/11/2006
<b>Clase de áridos</b>	0/4 mm
<b>Origen</b>	Silo
<b>Modo</b>	Conforme
<b>Zona</b>	Barcelona y otros
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA
<b>Hecho por</b>	JG
<b>Referencia</b>	EHE Arena 0/4
<b>Observaciones internas</b>	ENSAYOS DE HORMIGÓN BIG BAGS
<b>Observaciones</b>	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)		12,20 %	13,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo de Finura	2,80		3,11	UNE 146301
<b>Equivalente de Arena (según EHE)</b>	<b>70,00</b>		<b>71,43</b>	<b>UNE 83131:90</b>
Vista 1 (finos)		126,00		
Pistón 1 (arena)		90,00		
Equivalente arena 1		71,43		
Vista 2 (finos)		126,00		
Pistón 2 (arena)		90,00		
Equivalente arena 2		71,43		
<b>Humedad</b>		<b>0,6 %</b>		<b>EN 1097-5</b>


Análisis granulométrico				
Masa Tamiz	M. Húmeda mín	866 g % que pasa	Resto máx	861 g P.ret.acum.
4.000	80,00	99,42	100,00	5,0 g
2.000	62,00	84,09	96,00	137,0 g
1.000	40,00	47,62	84,00	451,0 g
0.500	18,00	28,11	60,00	619,0 g
0.250	6,00	16,61	30,00	718,0 g
0.125	0,00	12,89	18,00	750,0 g
0.063	0,00	12,20	13,00	756,0 g

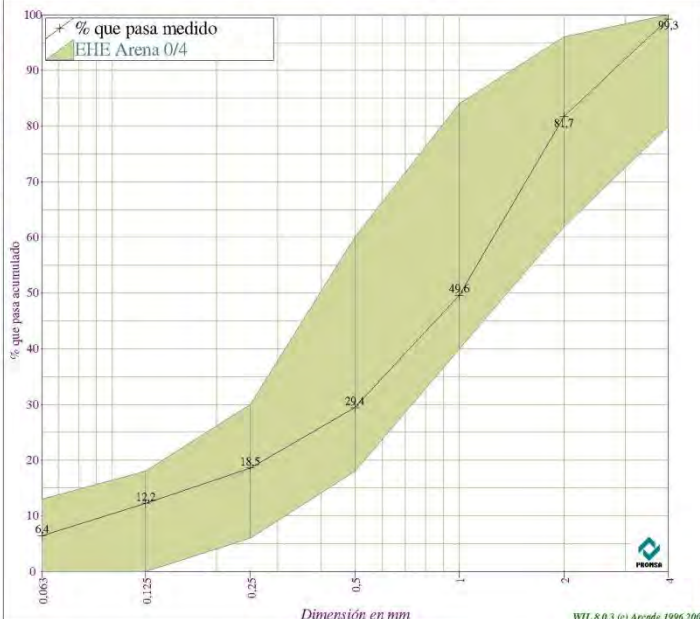


<b>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</b>	<b>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</b>



## A.2.3. Arena 0-4

 <b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA		<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 25/04/2007 <small>Página 1/1, impreso el miércoles, 16 de mayo de 2007</small>		
<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Arena 0/4 <b>Petrografía :</b> Caliza		<b>Cliente :</b> EHE		
<b>Muestra nº</b> 3-A7117006	1408 g sacados el 25/04/2007			
<b>Clase de áridos</b>	0/4 mm			
<b>Origen</b>	Silo			
<b>Modo</b>	Conforme			
<b>Zona</b>	Barcelona y otros			
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA			
<b>Hecho por</b>	JG			
<b>Referencia</b>	EHE Arena 0/4			
<b>Observaciones internas</b>	ENSAYOS DE HORMIGÓN (BIG BAGS)			
<b>Observaciones</b>				
ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)		6,43 %	16,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo de Finura	2,80	3,09	3,40	UNE 146301
<b>Equivalente de Arena (según EHE)</b>	<b>70,00</b>	<b>70,83</b>		<b>UNE 83131:90</b>
Vista 1 (finos)		120,00		
Pistón 1 (arena)		86,00		
Equivalente arena 1		71,67		
Vista 2 (finos)		120,00		
Pistón 2 (arena)		84,00		
Equivalente arena 2		70,00		
<b>Humedad</b>		<b>0,4 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
<b>Análisis granulométrico</b>				
Masa	M. Húmeda	1413 g	Resto	809 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
4.000	80,00	99,26	100,00	6,0 g
2.000	62,00	81,71	96,00	148,0 g
1.000	40,00	49,57	84,00	408,0 g
0.500	18,00	29,42	60,00	571,0 g
0.250	6,00	18,54	30,00	659,0 g
0.125	0,00	12,24	18,00	710,0 g
0.063	0,00	6,43	13,00	757,0 g

<i>Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)</i>	<i>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</i>	<i>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</i>

**A.2.4. Gravilla**

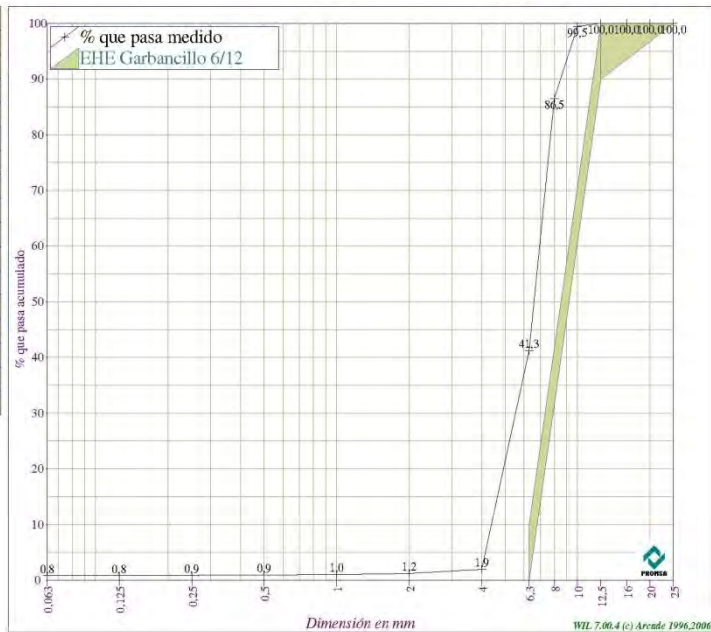
 <b>PROMSA</b>	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 14/11/2006 <small>Página 1/1, imprimido el lunes, 08 de enero de 2007</small>
--	--	---

<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Garbancillo 6/12 <b>Petrografía :</b> Caliza	<b>Cliente :</b> EHE
---	----------------------

<b>Muestra nº</b> 5-A.6328007	1510 g sacadas el 14/11/2006
<b>Clase de áridos</b>	6,3/12,5 mm
<b>Origen</b>	Silo
<b>Modo</b>	Conforme
<b>Zona</b>	Barcelona y otros
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA
<b>Hecho por</b>	Jordi
<b>Referencia</b>	EHE Garbancillo 6/12
<b>Observaciones internas</b>	Material para ensayos
<b>Observaciones</b>	


ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)		0,79 %	2,00	UNE-EN 933-2:96
Índice de limpieza (según EHE)		0,86 %	2,00	
Módulo granulométrico		5,94		
<b>Humedad</b>		<b>0,2 %</b>		<b>EN 1097-5</b>

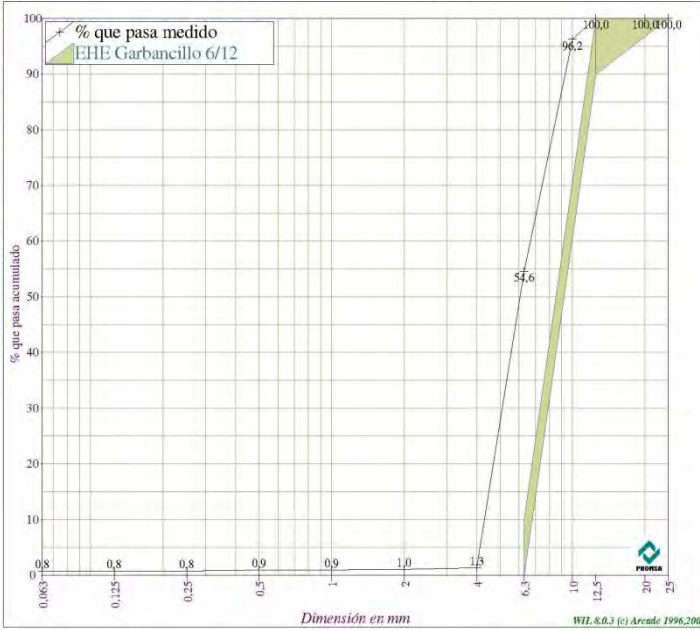
Análisis granulométrico				
Masa	M. Húmeda	1513 g	Resto	1510 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
25.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g
20.000		100,00		0,0 g
16.000		100,00		0,0 g
12.500	90,00	100,00	100,00	0,0 g
10.000		99,47		8,0 g
8.000		86,49		204,0 g
6.300	0,00	41,26	10,00	887,0 g
4.000		1,92		1481,0 g
2.000		1,19		1492,0 g
1.000		0,99		1495,0 g
0.500		0,93		1496,0 g
0.250		0,86		1497,0 g
0.125		0,79		1498,0 g
0.063		0,79		1498,0 g



Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)	Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)	Domènec MASÓ (Director de Calidad)


## A.2.5. Gravilla

		<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra, N-340 Km 1242,3 Aptdo, nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA		<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 25/04/2007	
		Página 1/1, Impreso el miércoles, 16 de mayo de 2007			
<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Garbancillo 6/12 <b>Petrografía :</b> Caliza		<b>Cliente :</b> EHE			
<b>Muestra nº</b> 3-A7117004	1580 g sacados el 25/04/2007				
<b>Clase de áridos</b>	6,3/12,5 mm				
<b>Origen</b>	Silo				
<b>Modo</b>	Conforme				
<b>Zona</b>	Barcelona y otros				
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA				
<b>Hecho por</b>	JG				
<b>Referencia</b>	EHE Garbancillo 6/12				
<b>Observaciones internas</b>	ENSAYOS DE HORMIGÓN (BIG BAGS)				
<b>Observaciones</b>					
<b>ENSAYOS</b>		<b>Mínimo</b>	<b>Valor</b>	<b>Máximo</b>	<b>Norma</b>
Índice de limpieza (según EHE)			0,76 %	2,00	
Contenido en finos (según EHE)			0,76 %	2,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo granulométrico			5,98		
<b>Humedad</b>			<b>0,3 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
<b>Análisis granulométrico</b>					
<b>Masa</b>	<b>M. Húmeda</b>	<b>1584 g</b>	<b>Resto</b>	<b>1580 g</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>mín</b>	<b>% que pasa</b>	<b>máx</b>	<b>P.ret.acum.</b>	
25.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g	
20.000		100,00		0,0 g	
12.500	90,00	100,00	100,00	0,0 g	
10.000		96,20		60,0 g	
6.300	0,00	54,56	10,00	718,0 g	
4.000		1,33		1559,0 g	
2.000		1,01		1564,0 g	
1.000		0,95		1565,0 g	
0.500		0,89		1566,0 g	
0.250		0,76		1568,0 g	
0.125		0,76		1568,0 g	
0.063		0,76		1568,0 g	

<i>Esther FERNÁNDEZ (Rble. Mercado CE)</i>	<i>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</i>	<i>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</i>

**A.2.6. Grava**

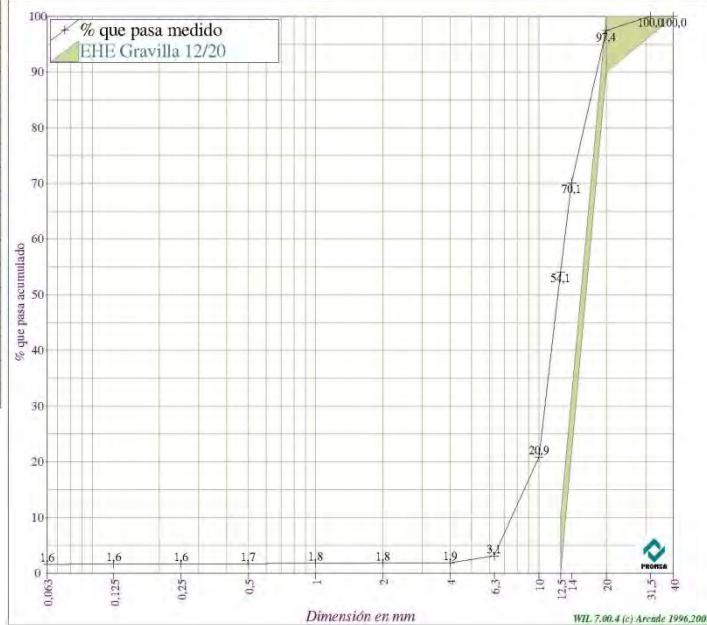
 <b>PROMSA</b>	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. n° 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 14/11/2006 <small>Página 1/1, impreso el lunes, 08 de enero de 2007</small>
--	--	---

<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Gravilla 12/20 <b>Petrografía :</b> Caliza	<b>Cliente :</b> EHE
---	----------------------

<b>Muestra nº</b> 5-A6328008	1880 g sacadas el 14/11/2006
<b>Clase de áridos</b>	12,5/20 mm
<b>Origen</b>	Silo
<b>Modo</b>	Conforme
<b>Zona</b>	Barcelona y otros
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA
<b>Hecho por</b>	Jordi
<b>Referencia</b>	EHE Gravilla 12/20
<b>Observaciones internas</b>	Material para ensayos
<b>Observaciones</b>	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)			1,60 %	2,00 UNE-EN 933-2:96
Índice de limpieza (según EHE)			1,65 %	2,00
Módulo granulométrico			6,71	
<b>Humedad</b>		<b>0,1 %</b>		<b>EN 1097-5</b>

Análisis granulométrico				
Masa	M. Húmeda	1881 g	Resto	1880 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
40.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g
31.500		100,00		0,0 g
20.000	90,00	97,45	100,00	48,0 g
14.000		70,11		562,0 g
12.500	0,00	54,10	10,00	863,0 g
10.000		20,85		1488,0 g
6.300		3,09		1822,0 g
4.000		1,86		1845,0 g
2.000		1,81		1846,0 g
1.000		1,76		1847,0 g
0.500		1,70		1848,0 g
0.250		1,65		1849,0 g
0.125		1,65		1849,0 g
0.063		1,60		1850,0 g



<i>Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)</i>	<i>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</i>	<i>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</i>

## A.2.7. Grava

 <b>PROMSA</b>	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra, N-340 Km 1242,3 Apto, nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 30/11/2006
	<small>Página 1/1, imprimido el jueves, 22 de febrero de 2007</small>	

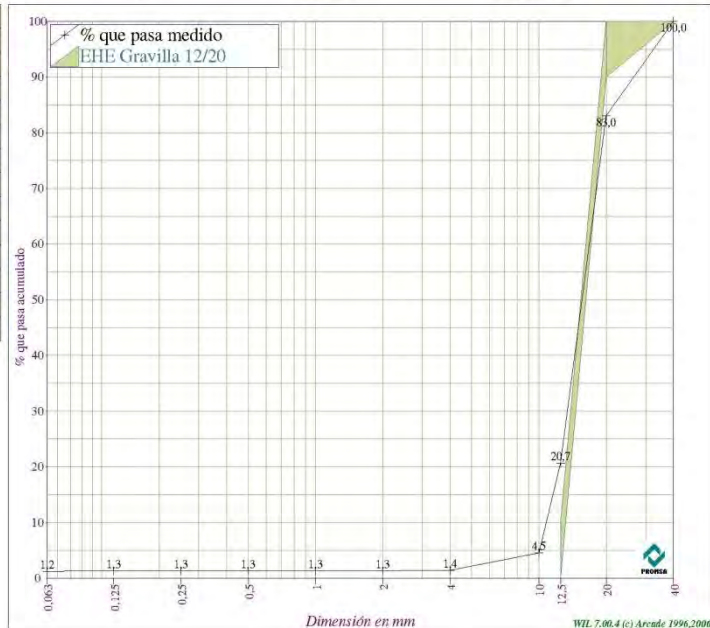
**Productor :** PALLEJÀ  
**Áridos :** Gravilla 12/20  
**Petrografía :** Caliza

**Cliente :** EHE

<b>Muestra nº</b> 5-A.6339030	1723 g sacadas el 30/11/2006
<b>Clase de áridos</b>	12,5/20 mm
<b>Origen</b>	Otros
<b>Modo</b>	Conforme
<b>Zona</b>	Barcelona y otros
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA
<b>Hecho por</b>	ILDE
<b>Referencia</b>	EHE Gravilla 12/20
<b>Observaciones internas</b>	ENSAYOS LABORATORIO
<b>Observaciones</b>	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)			1,22 %	2,00 UNE-EN 933-2:96
Índice de limpieza (según EHE)			1,28 %	2,00
Módulo granulométrico			7,05	
<b>Humedad</b>		<b>0,2 %</b>		<b>EN 1097-5</b>

Análisis granulométrico				
Masa	M. Húmeda	1727 g	Resto	1723 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
40.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g
20.000	90,00	82,99	100,00	293,0 g
12.500	0,00	20,66	10,00	1367,0 g
10.000			4,53	1645,0 g
4.000			1,39	1699,0 g
2.000			1,33	1700,0 g
1.000			1,33	1700,0 g
0.500			1,33	1700,0 g
0.250			1,28	1701,0 g
0.125			1,28	1701,0 g
0.063			1,22	1702,0 g



Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)	Domènec MASÓ (Director de Calidad)

**A.2.8. Grava**

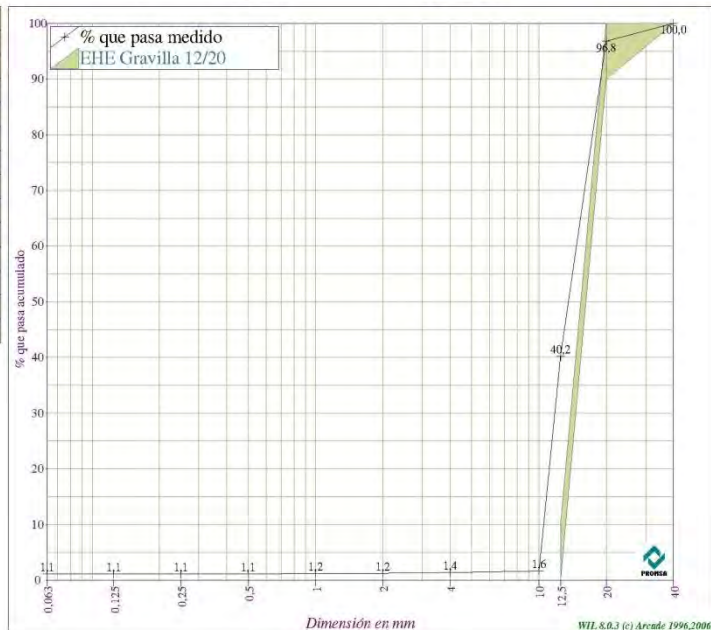
 <b>PROMSA</b>	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra, N-340 Km 1242,3 Apto, nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 25/04/2007 <small>Página 1/1, impreso el miércoles, 16 de mayo de 2007</small>
--	--	--

<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Gravilla 12/20 <b>Petrografía :</b> Caliza	<b>Cliente :</b> EHE
---	----------------------

<b>Muestra nº</b> 3-A7117005	1774 g sacados el 25/04/2007
<b>Clase de áridos</b>	12,5/20 mm
<b>Origen</b>	Silo
<b>Modo</b>	Conforme
<b>Zona</b>	Barcelona y otros
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA
<b>Hecho por</b>	JG
<b>Referencia</b>	EHE Gravilla 12/20
<b>Observaciones internas</b>	ENSAYOS DE HORMIGON (BIG BAGS)
<b>Observaciones</b>	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Índice de limpieza (según EHE)		1,13 %	2,00	
Contenido en finos (según EHE)		1,13 %	2,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo granulométrico		6,94		
<b>Humedad</b>		<b>0,2 %</b>		<b>EN 1097-5</b>

Análisis granulométrico				
Masa	M. Húmeda	1778 g	Resto	1774 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
40.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g
20.000	90,00	96,79	100,00	57,0 g
12.500	0,00	40,25	10,00	1060,0 g
10.000		1,63		1745,0 g
4.000		1,35		1750,0 g
2.000		1,24		1752,0 g
1.000		1,18		1753,0 g
0.500		1,13		1754,0 g
0.250		1,13		1754,0 g
0.125		1,13		1754,0 g
0.063		1,13		1754,0 g



<i>Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)</i>	<i>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</i>	<i>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</i>

### A.3. ESPECIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS – 2ª CAMPAÑA EXPERIMENTAL

#### A.3.1. Arena 0–2 – Granulometría

	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. n° 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 21/06/2007
	<small>Página 1/1, imprimido el lunes, 29 de octubre de 2007</small>	

Productor : **PALLEJÀ**  
 Áridos : **Arena 0/2**  
 Petrografía : Caliza

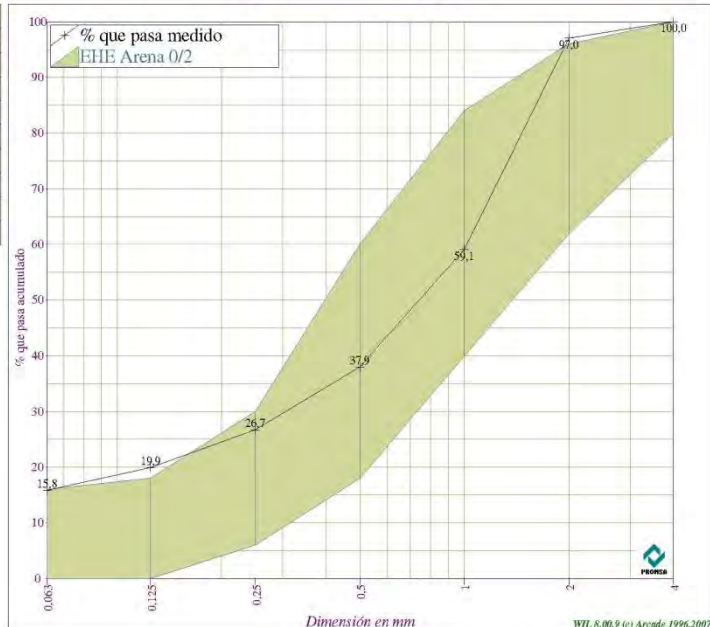
Cliente : **EHE**

Muestra nº <b>5-A7173016</b>	301 g sacados el 21/06/2007 a 07:35
Clase de áridos	0/2 mm
Origen	Silo
Modo	Conforme
Zona	Barcelona y otros
Destinación	PALLEJÀ (Áridos)
Hecho por	JSP
Referencia	EHE Arena 0/2
Observaciones internas	MATERIAL PER ASSAJOS
Observaciones	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)		15,82 %	16,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo de Finura	2,80	2,59	3,40	UNE 146301
<b>Equivalente de Arena (según EHE)</b>	<b>50,00</b>	<b>61,83</b>		<b>UNE 83131:90</b>
Vista 1 (finos)		132,00		
Pistón 1 (arena)		82,00		
Equivalente arena 1		62,12		
Vista 2 (finos)		130,00		
Pistón 2 (arena)		80,00		
Equivalente arena 2		61,54		


<b>Humedad</b>		<b>0,3 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
----------------	--	--------------	--	------------------

Análisis granulométrico				
Masa	M. Húmeda	302 g	Resto	809 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
4.000	80,00	100,00	100,00	0,0 g
2.000	62,00	97,03	96,00	24,0 g
1.000	40,00	59,09	84,00	331,0 g
0.500	18,00	37,95	60,00	502,0 g
0.250	6,00	26,70	30,00	593,0 g
0.125	0,00	19,90	18,00	648,0 g
0.063	0,00	15,82	16,00	681,0 g



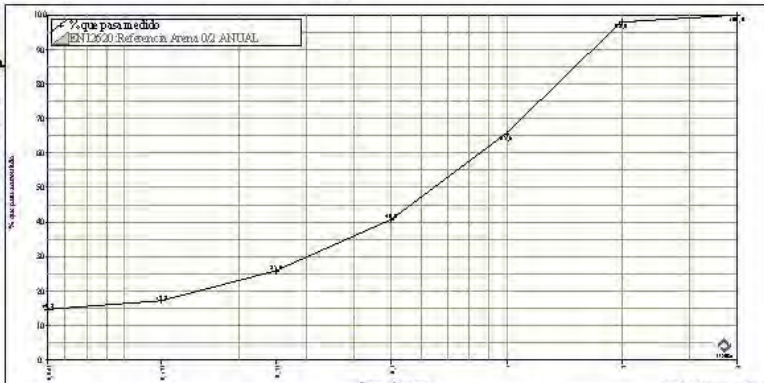
Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)	Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)	Domènec MASÓ (Director de Calidad)

**A.3.2. Arena 0-2 – Densidad**

 <p><b>PROMSA</b></p>	<p><b>LABORATORIO PROMSA</b>                  Ctra. N-340 Km 1242,3 Aptdo. nº 32 Sant Vicenç dels Horts                  08620 BARCELONA</p>	<p><b>Informe de ensayos</b>                  Fecha : 18/03/2008</p> <p style="font-size: small;">Página 1/1, impreso el miércoles, 21 de marzo de 2008</p>	
<p><b>Productor : PALLEJÀ</b>  <b>Áridos : Arena 0/2</b>  <b>Petrografía : Caliza</b></p>		<p><b>Cliente : AUTOCONTROL</b></p>	
<p><b>Muestra nº 5-A8085059</b></p>	<p>861 g sacados el 18/03/2008 a 7:45</p>		
<b>Clase de áridos</b>	0/2 mm		
<b>Origen</b>	Silo		
<b>Modo</b>	Conforme		
<b>Zona</b>	Barcelona y otros		
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA		
<b>Hecho por</b>	ILDE		
<b>Referencia</b>	EN 12620 Áridos para Hormigón : Referencia Arena 0/2 ANUAL		
<b>Observaciones internas</b>			
<b>Observaciones</b>			

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Módulo de Finura		2,52		UNE 146301
<b>Comprobación de la Granulometría</b>		<b>0,27 %</b>	<b>1,00</b>	<b>EN 933-1</b>
<b>Densidad de partículas y ABSORCIÓN AGUA (0,06)</b>		<b>0,84 %</b>		<b>EN 1097-6</b>
SPF seca		721,00 g		
cesta+agua+muestra		3032,00 g		
cesta+agua		2576,00 g		
Masa seca		715,00 g		
Densidad aparente partículas		2,75 Mg/m3		
Densidad partículas secas		2,69 Mg/m3		
Densidad partículas saturadas		2,71 Mg/m3		
<b>Equivalente de arena</b>		<b>60</b>		<b>EN 933-8</b>
Altura del focolado h1		136,00 mm		
Altura del sedimento h2		80,00 mm		
Equivalente de Arena 1		58,82 %		
Altura del focolado h1		136,00 mm		
Altura del sedimento h2		82,00 mm		
Equivalente de Arena 2		60,29 %		
<b>Humedad</b>		<b>0,6 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
<b>Contenido en finos</b>		<b>14,8 %</b>		<b>EN 933-1</b>
Masa que queda en el fondo de la bandeja		1,00 g		
Masa seca retenida en 0,063 tras lavado		735,00 g		


Masa	M. Húmeda	866 g	Resto	861 g
Tamiz	min	% que pas	máx	P.ret.acum
4.000		100		0,0 g
2.000	85	98	99	17,0 g
1.000		66		296,0 g
0.500		41		510,0 g
0.250		26		638,0 g
0.125		17		713,0 g
0.063		14,8		734,0 g



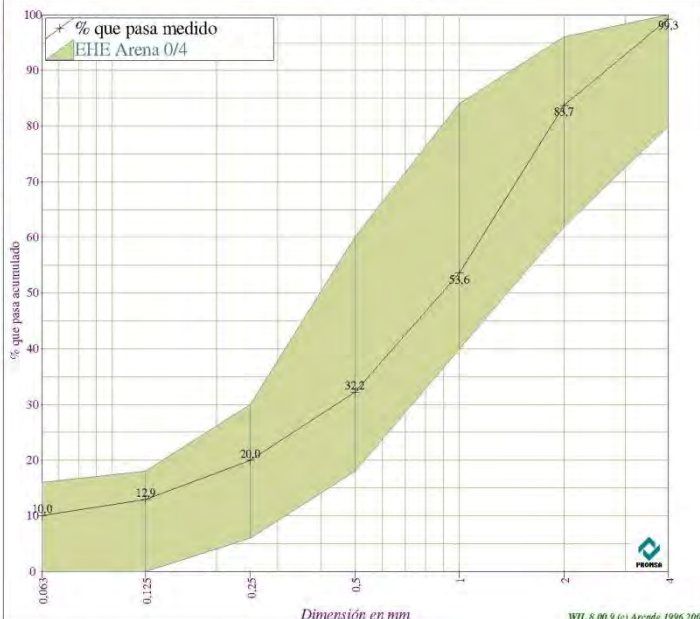
<p><b>Esther FERNÁNDEZ (Técnico Calidad A)</b></p>	<p><b>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</b></p>	<p><b>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</b></p>
--	---	--



## A.3.3. Arena 0-4 – Granulometría

		<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA		<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 27/06/2007	
		Página 1/1, imprimido el Lunes, 29 de octubre de 2007			
<b>Productor : PALLEJÀ</b> <b>Áridos : Arena 0/4</b> <b>Petrografía : Caliza</b>			<b>Cliente : EHE</b>		
<b>Muestra nº</b>	3-A7179002 1514 g sacados el 27/06/2007				
<b>Clase de áridos</b>	0/4 mm				
<b>Origen</b>	Silo				
<b>Modo</b>	Conforme				
<b>Zona</b>	Barcelona y otros				
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA				
<b>Hecho por</b>	JS				
<b>Referencia</b>	EHE Arena 0/4				
<b>Observaciones internas</b>	BIG BAGS ENSAYOS DE HORMIGÓN				
<b>Observaciones</b>					
<b>ENSAYOS</b>		<b>Mínimo</b>	<b>Valor</b>	<b>Máximo</b>	<b>Norma</b>
Contenido en finos (según EHE)			10,03 %	16,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo de Finura		2,80	2,98	3,40	UNE 146301
<b>Equivalente de Arena (según EHE)</b>		<b>68,00</b>	<b>77,39</b>		<b>UNE 83131:90</b>
Vista 1 (finos)			116,00		
Pistón 1 (arena)			90,00		
Equivalente arena 1			77,59		
Vista 2 (finos)			114,00		
Pistón 2 (arena)			88,00		
Equivalente arena 2			77,19		
<b>Humedad</b>			<b>0,4 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
<b>Análisis granulométrico</b>					
<b>Masa</b>	<b>M. Húmeda</b>	<b>1520 g</b>	<b>Resto</b>	<b>967 g</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>mín</b>	<b>% que pasa</b>	<b>máx</b>	<b>P.ret.acum.</b>	
4.000	80,00	99,28	100,00	7,0 g	
2.000	62,00	83,66	96,00	158,0 g	
1.000	40,00	53,57	84,00	449,0 g	
0.500	18,00	32,16	60,00	656,0 g	
0.250	6,00	19,96	30,00	774,0 g	
0.125	0,00	12,93	18,00	842,0 g	
0.063	0,00	10,03	16,00	870,0 g	


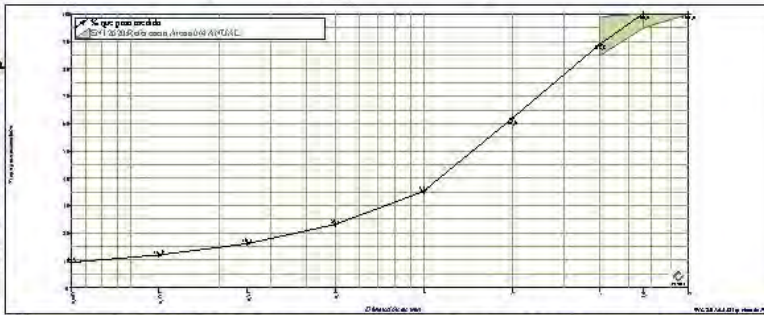
  

 <p>The graph shows the cumulative percentage of sand passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve size in mm (log scale: 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000). The y-axis represents the percentage of sand passing (0 to 100). A shaded area represents the EHE 0/4 sand specification limits. The measured curve is shown as a solid line with data points: (0.063, 10.0), (0.125, 12.9), (0.25, 20.0), (0.5, 32.2), (1, 53.6), (2, 83.7), (4, 99.3).</p>	
---	--

<b>Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)</b>	<b>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</b>	<b>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</b>

## A.3.4. Arena 0-4 – Densidad

	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Aptdo. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA		<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 31/01/2007	
	Página 1/1, impreso el miércoles, 21 de enero de 2006			
<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Arena 0/4 <b>Petrografía :</b> Caliza		<b>Cliente :</b> AUTOCONTROL		
<b>Muestra nº</b> 3-A7032001	1619 g sacados el 31/01/2007			
<b>Clase de áridos</b>	0/4 mm			
<b>Origen</b>	Acopio Áridos			
<b>Modo</b>	Conforme			
<b>Zona</b>	Barcelona y otros			
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA			
<b>Hecho por</b>	Jordi			
<b>Referencia</b>	EN 12620 Áridos para Hormigón : Referencia Arena 0/4 ANUAL			
<b>Observaciones internas</b>				
<b>Observaciones</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Valor</b>	<b>Máximo</b>	<b>Norma</b>
Módulo de Finura		3,63		UNE 146301
<b>Comprobación de la Granulometría</b>		<b>0,48 %</b>	<b>1,00</b>	EN 933-1
<b>Azul de metileno (0&lt;2mm)</b>		<b>Cumple</b>		EN 933-9
Masa de la muestra		210,00 g		
Cantidad de azul de metileno		12,00 ml		
<b>Densidad de partículas y ABSORCIÓN AGUA (0,063-</b>		<b>0,97 %</b>		EN 1097-6
SPF seca		833,00 g		
cesta+agua+muestra		3098,00 g		
cesta+agua		2576,00 g		
Masa seca		825,00 g		
Densidad aparente partículas		2,71 Mg/m <sup>3</sup>		
Densidad partículas secas		2,64 Mg/m <sup>3</sup>		
Densidad partículas saturadas		2,67 Mg/m <sup>3</sup>		
<b>Equivalente de arena</b>		<b>72</b>		EN 933-8
Altura del floculado h1		116,00 mm		
Altura del sedimento h2		84,00 mm		
Equivalente de Arena 1		72,41 %		
Altura del floculado h1		116,00 mm		
Altura del sedimento h2		84,00 mm		
Equivalente de Arena 2		72,41 %		
<b>Humedad</b>		<b>0,5 %</b>		EN 1097-5
<b>Contenido en finos</b>		<b>9,3 %</b>		EN 933-1
Masa que queda en el fondo de la bandeja		2,00 g		
Masa seca retenida en 0,063 tras lavado		831,00 g		
<b>Análisis granulométrico</b>				
Masa	M. Húmeda	1627 g	Resto	914 g
Tamiz	mín	% que pas	máx	P.ret.acum
8.000	100	100	100	0,0 g
5.600	95	100	100	0,0 g
4.000	85	89	99	102,0 g
2.000	62			351,0 g
1.000	35			593,0 g
0.500	23			703,0 g
0.250	16			767,0 g
0.125	12			805,0 g
0.063	9,3			829,0 g
				
<b>Esther FERNÁNDEZ (Técnico Calidad A)</b>		<b>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</b>		<b>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</b>

## A.4. ESPECIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS – 3ª CAMPAÑA EXPERIMENTAL

### A.4.1. Arena 0–4

	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. n° 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 25/04/2007
	<small>Página 1/1, imprimido el lunes, 29 de octubre de 2007</small>	

Productor : **PALLEJÀ**  
 Áridos : **Arena 0/4**  
 Petrografía : Caliza

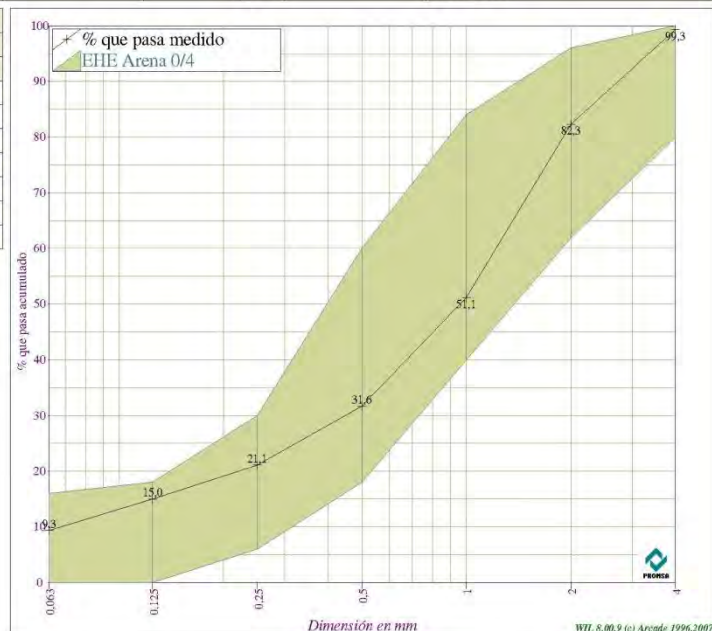
Cliente : **EHE**

Muestra nº <b>5-A7117029</b>	1399 g sacados el 25/04/2007
Clase de áridos	0/4 mm
Origen	Cinta
Modo	Conforme
Zona	Barcelona y otros
Destinación	PALLEJÀ (Hormigón)
Hecho por	ILDE
Referencia	EHE Arena 0/4
Observaciones internas	ENSAYOS DE HORMIGÓ BIG - BAG
Observaciones	

ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido en finos (según EHE)		9,34 %	16,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo de Finura	2,80	3,00	3,40	UNE 146301
<b>Equivalente de Arena (según EHE)</b>	<b>68,00</b>	<b>70,83</b>		<b>UNE 83131:90</b>
Vista 1 (finos)		120,00		
Pistón 1 (arena)		86,00		
Equivalente arena 1		71,67		
Vista 2 (finos)		120,00		
Pistón 2 (arena)		84,00		
Equivalente arena 2		70,00		

<b>Humedad</b>		<b>0,6 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
----------------	--	--------------	--	------------------

Análisis granulométrico					
Masa	M. Húmeda	1408 g	Resto	835 g	
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.	
4.000	80,00	99,28	100,00	6,0 g	
2.000	62,00	82,28	96,00	148,0 g	
1.000	40,00	51,14	84,00	408,0 g	
0.500	18,00	31,62	60,00	571,0 g	
0.250	6,00	21,08	30,00	659,0 g	
0.125	0,00	14,97	18,00	710,0 g	
0.063	0,00	9,34	16,00	757,0 g	



Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)	Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)	Domènec MASÓ (Director de Calidad)
-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------

**A.4.2. Gravilla**

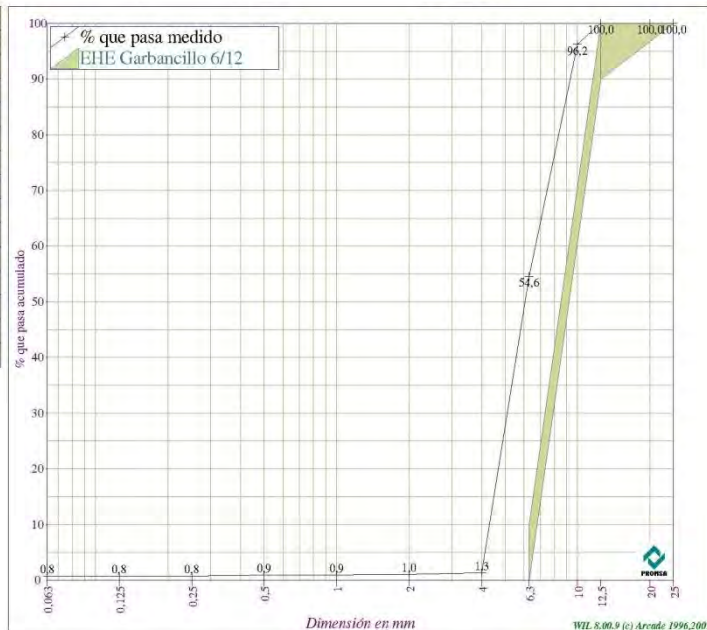
 <b>PROMSA</b>	<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra. N-340 Km 1242,3 Apto. nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA	<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 25/04/2007 Página 1/1, imprimido el Lunes, 29 de octubre de 2007
--	--	--

<b>Productor :</b> PALLEJÀ <b>Áridos :</b> Garbancillo 6/12 <b>Petrografía :</b> Caliza	<b>Cliente :</b> EHE
---	----------------------

<b>Muestra nº</b> 3-A7117004	1580 g sacados el 25/04/2007
<b>Clase de áridos</b>	6,3/12,5 mm
<b>Origen</b>	Silo
<b>Modo</b>	Conforme
<b>Zona</b>	Barcelona y otros
<b>Destinación</b>	LABORATORIO PROMSA
<b>Hecho por</b>	JG
<b>Referencia</b>	EHE Garbancillo 6/12
<b>Observaciones internas</b>	ENSAYOS DE HORMIGÓN (BIG BAGS)
<b>Observaciones</b>	


ENSAYOS	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Índice de limpieza (según EHE)		0,76 %	2,00	
Contenido en finos (según EHE)		0,76 %	2,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo granulométrico		5,98		
<b>Humedad</b>		<b>0,3 %</b>		<b>EN 1097-5</b>

Análisis granulométrico				
Masa	M. Húmeda	1584 g	Resto	1580 g
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.
25.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g
20.000		100,00		0,0 g
12.500	90,00	100,00	100,00	0,0 g
10.000		96,20		60,0 g
6.300	0,00	54,56	10,00	718,0 g
4.000		1,33		1559,0 g
2.000		1,01		1564,0 g
1.000		0,95		1565,0 g
0.500		0,89		1566,0 g
0.250		0,76		1568,0 g
0.125		0,76		1568,0 g
0.063		0,76		1568,0 g



Esther FERNÁNDEZ (Rble. Mercado CE)	Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)	Domènec MASÓ (Director de Calidad)
-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------

## A.4.3. Grava

		<b>LABORATORIO PROMSA</b> Ctra, N-340 Km 1242,3 Apto, nº 32 Sant Vicenç dels Horts 08620 BARCELONA		<b>Informe de ensayos</b> Fecha : 25/04/2007	
				Página 1/1, imprimido el Lunes, 29 de octubre de 2007	
<b>Productor : PALLEJÀ</b> <b>Áridos : Gravilla 12/20</b> <b>Petrografía : Caliza</b>			<b>Cliente : EHE</b>		
<b>Muestra nº</b>	<b>3-A7117005</b>				
<b>Clase de áridos</b>	1774 g sacados el 25/04/2007				
<b>Origen</b>	12,5/20 mm				
<b>Modo</b>	Silo				
<b>Zona</b>	Conforme				
<b>Destinación</b>	Barcelona y otros				
<b>Hecho por</b>	LABORATORIO PROMSA				
<b>Referencia</b>	JG				
<b>Observaciones internas</b>	EHE Gravilla 12/20				
<b>Observaciones</b>	ENSAYOS DE HORMIGON (BIG BAGS)				
ENSAYOS		Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Índice de limpieza (según EHE)			1,13 %	2,00	
Contenido en finos (según EHE)			1,13 %	2,00	UNE-EN 933-2:96
Módulo granulométrico			6,94		
Humedad			<b>0,2 %</b>		<b>EN 1097-5</b>
Análisis granulométrico					
Masa	M. Húmeda	1778 g	Resto	1774 g	
Tamiz	mín	% que pasa	máx	P.ret.acum.	
40.000	100,00	100,00	100,00	0,0 g	
20.000	90,00	96,79	100,00	57,0 g	
12.500	0,00	40,25	10,00	1060,0 g	
10.000		1,63		1745,0 g	
4.000		1,35		1750,0 g	
2.000		1,24		1752,0 g	
1.000		1,18		1753,0 g	
0.500		1,13		1754,0 g	
0.250		1,13		1754,0 g	
0.125		1,13		1754,0 g	
0.063		1,13		1754,0 g	

Dimensión en mm	% que pasa acumulado
0.063	1.13
0.125	1.13
0.250	1.13
0.500	1.13
1.000	1.18
2.000	1.24
4.000	1.35
10.000	1.63
12.500	40.25
20.000	96.79
40.000	100.00

<i>Esther FERNÁNDEZ (Rble. Marcado CE)</i>	<i>Jordi ALTET (Jefe de Laboratorio)</i>	<i>Domènec MASÓ (Director de Calidad)</i>

**A.5. ESPECIFICACION DE LOS ÁRIDOS – 4ª CAMPAÑA EXPERIMENTAL**

**A.5.1. Arena 0-4**



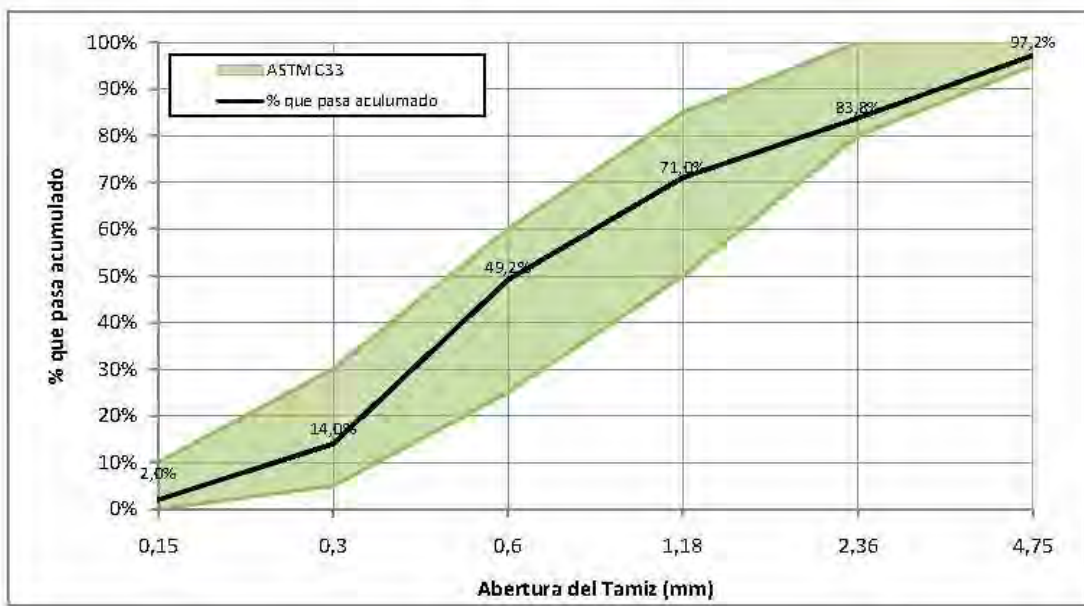
**Center for Advanced Cement-Based Materials**  
 Northwestern University McCormick School of Engineering & Applied Science  
 2145 Sheridan Road | Evanston, Illinois 60208 | USA  
 Tel: 847-491-3856 | Fax: 847-467-1078  
 Copyright © 2001 Northwestern University | All rights reserved.

Informe de ensayos
Fecha: 10/12/2008

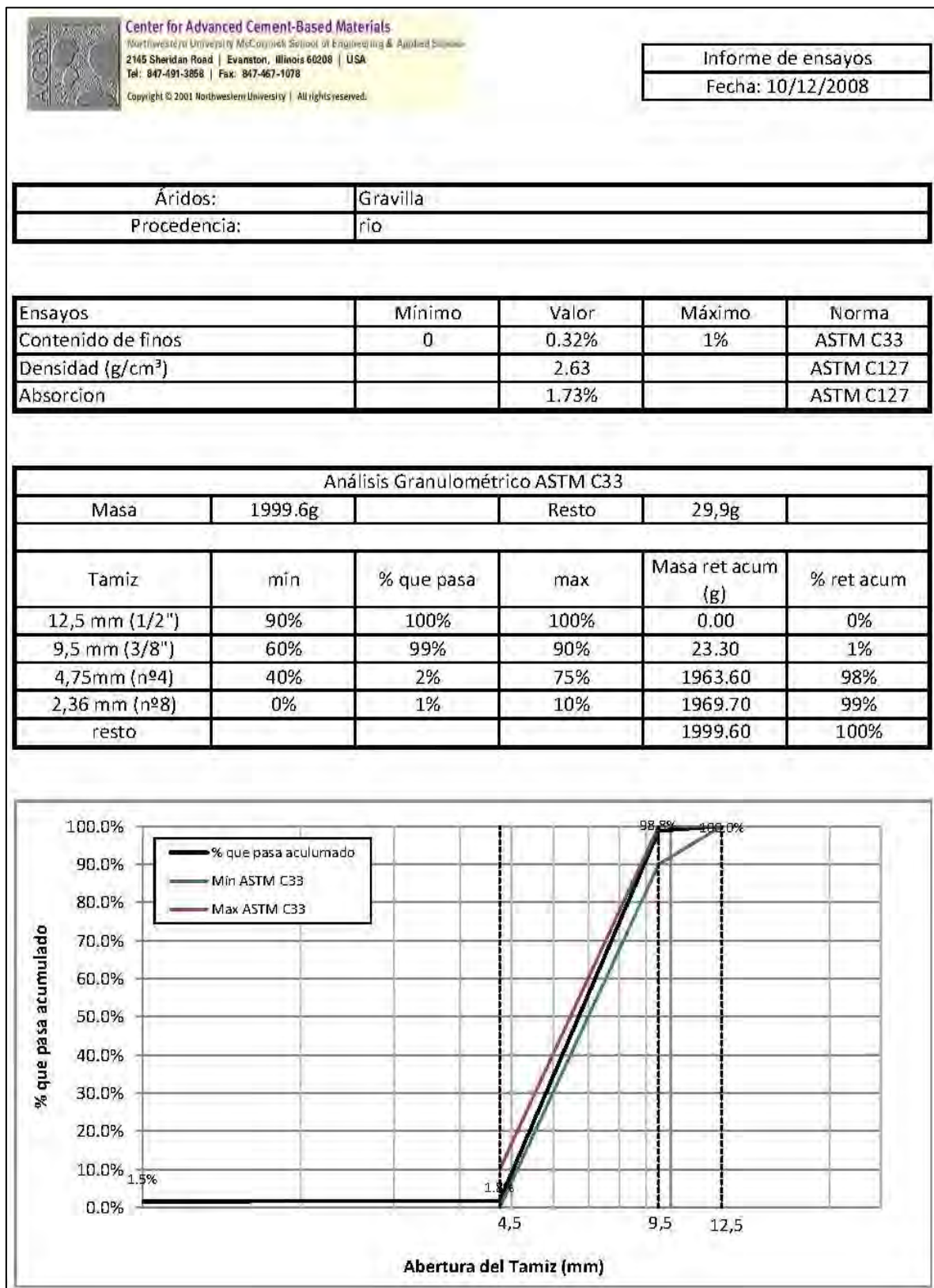
Áridos:	Arena 0/4
Procedencia:	Arena de río

Ensayos	Mínimo	Valor	Máximo	Norma
Contenido de finos	0	0,32%	1%	ASTM C33
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		2,64		ASTM C127
Módulo de finura	2,3	2,8	3,1	ASTM C33

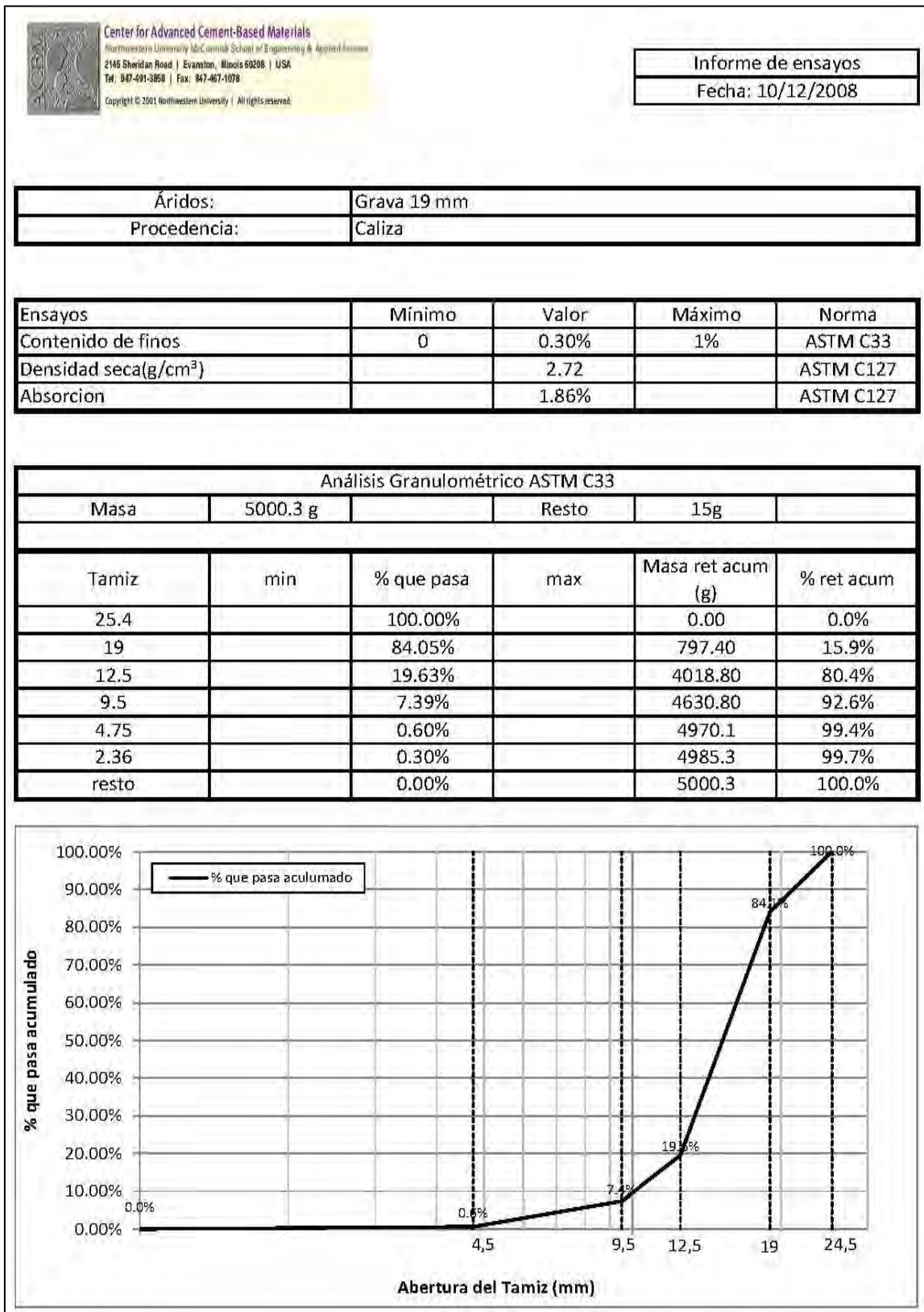
Análisis Granulométrico ASTM C33					
Masa	1058.63g		Resto	3,39g	
Tamiz	min	% que pasa	max	Masa ret acum (g)	% ret acum
9,5mm (3/8")	100%	100%		0,00	
4,75mm (nº4)	95%	97%	100%	29,33	2,8%
2,36 (nº8)	80%	84%	100%	171,72	16,2%
1,18 (nº16)	50%	71%	85%	306,62	29,0%
0,6 mm (nº30)	25%	49%	60%	537,90	50,8%
0,3 mm (nº50)	5%	14%	30%	910,23	86,0%
0,15 mm (nº100)	0%	2%	10%	1037,71	98,0%
0,075mm		0,32%		1055,24	



## A.5.2. Pea Gravel



**A.5.3. Grava**





## A.6. ESPECIFICACIONES DE LOS ADITIVOS

### A.6.1. Aditivo Modificador de Viscosidad – Melcret PF75



The Chemical Company

## MELCRET PF75

FT 1.3.03

Aditivo polifuncional para hormigón preparado.

#### Campo de aplicación

MELCRET PF75 es un aditivo polifuncional especialmente diseñado para hormigón preparado en central y obra civil. Su poder fluidificante es variable con la dosificación de aditivo, obteniendo prestaciones de aditivo plastificante/reductor de agua a baja dosificación y reducciones de agua típicas de superplastificante, con elevado mantenimiento de consistencia, a elevada dosificación.

Debido a esta alta versatilidad, MELCRET PF75 permite la fabricación de diferentes tipos de hormigones con un sólo aditivo, simplemente variando la dosificación en función del aumento de consistencia y reducción de agua deseada.

Consultar con el Departamento Técnico cualquier aplicación no prevista en esta relación.

#### Propiedades

- Aumenta la fluidez de la masa sin la necesidad de incrementar el agua de amasado.
- Elevado poder plastificante.
- Mejora la trabajabilidad y la docilidad del hormigón.
- Gran mantenimiento de la trabajabilidad.
- Aumenta las resistencias mecánicas, sobretudo a largo plazo.
- Minimiza la formación de coqueas y nidos de grava.
- Agiliza la puesta en obra.
- Mejora la compactación.
- Mejora la durabilidad del hormigón.

#### Modo de utilización

MELCRET PF75, en plantas amasadoras, debe añadirse con la última porción de agua de amasado.

En el caso de mezclado en camión, deberán respetarse los tiempos mínimos para una correcta homogeneización del aditivo. No se debe añadir el aditivo sobre la masa seca de hormigón.

#### Limpieza de herramientas

La limpieza de equipos y herramientas que estén impregnadas de MELCRET PF75 puede realizarse con agua preferiblemente caliente.



#### Dosificación

Las dosificaciones habituales de MELCRET PF75 son del 0,5% sobre peso de cemento al 1% sobre peso de cemento.

Dosificaciones superiores son posibles (con ensayos previos que verifiquen su efecto sobre el tiempo de fraguado) para la obtención de hormigones de mayores prestaciones y con prolongado tiempo de trabajabilidad.

Se recomienda siempre la realización de ensayos previos para ajustar la dosificación óptima.

#### Presentación

MELCRET PF75 se presenta a granel, en bidones de 220 kg y en garrafas de 25 kg.

#### Condiciones de almacenamiento/

##### Tiempo de conservación

Almacenar en lugar fresco y seco, con temperaturas superiores a 0° C.

En estas condiciones, el producto puede almacenarse hasta 1 año en sus envases originales herméticamente cerrados. Evitar su congelación.



The Chemical Company

## MELCRET PF75

### Manipulación y transporte

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos, por ejemplo usar gafas y guantes. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No comer, beber y fumar durante la aplicación.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

Para más información, consultar la Hoja de seguridad del producto.

### Hay que tener en cuenta

- Se recomienda la realización de ensayos previos a la utilización del producto.
- No emplear dosificaciones inferiores ni superiores a las recomendadas sin previa consulta con nuestro Departamento Técnico.
- Consulta la compatibilidad entre aditivos antes de su utilización.

<b>Propiedades</b>	
Función principal:	Plastificante / Reductor de agua.
Efecto secundario:	Retrasa el fraguado a dosis elevadas.
Aspecto físico:	Líquido marrón oscuro.
pH, 20° C:	5 ± 1
Densidad, 20° C:	1,180 ± 0,03 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad 20° C Brookfield Sp00/100rpm:	< 80 cps.
Contenido en cloruros:	< 0,1%
Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.	

#### NOTA:

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.

Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición. BASF Construction Chemicals España, S.L. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.

Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad.

Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reingresar el valor de la mercancía suministrada.

Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición 25/02/2009

La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición

Melcret PF75 Página 2 de 2

**BASF Construction  
Chemicals España, S.L.**

Basters, 15

08184 Palau-Solità i Plegamans

Tel.: 93 862 00 00 - Fax: 93 862 00 20

www.basf-cc.es • basf-cc@basf-cc.es

## A.6.2. Aditivo Modificador de Viscosidad – VMAR3

### Grace Concrete Products

## V-MAR® 3

### Concrete rheology-modifying admixture

#### Product Description

V-MAR® 3 is a high efficiency, liquid admixture designed to enable production of Self-Consolidating Concrete (SCC) by modifying the rheology of concrete. V-MAR 3 works by increasing the viscosity of the concrete while still allowing the concrete to flow without segregation. V-MAR 3 is based on a unique, patented biopolymer and is manufactured under closely controlled conditions to provide uniform, predictable performance.

The V-MAR 3 admixture is supplied as a ready-to-use milky white liquid, one gallon weighs approximately 8.5 lbs (one liter weighs approximately 1.02 kg). V-MAR 3 contains no intentionally added chlorides.

#### Uses

V-MAR 3 is recommended for use in conjunction with ADVA® series superplasticizers to produce SCC.

V-MAR 3 enhances the ability to manufacture SCC by allowing for variations in aggregate gradations and moisture contents. This can greatly reduce the time required to develop SCC mixes, and to update and test new mix designs if raw materials change. In addition, V-MAR 3 allows for the production of SCC in applications where mix designs and materials can not be modified for SCC properties, such as exposed aggregate concrete.

V-MAR 3 can also be used to reduce pump pressures when pumping concrete and for underwater, antiwashout concrete applications.

#### Advantages

Self-Consolidating Concrete produced with V-MAR 3 and ADVA superplasticizers offers the following advantages:

- Moisture variation — consistent production of SCC even with normal moisture variation from batch to batch.

#### Product Advantages

- Enables concrete and SCC mix flexibility when using less-than-optimal aggregate gradation and in presence of fluctuation of moisture content
- Modifies concrete rheological properties for improved workability
- Reduces segregation and bleed
- Enhances surface appearance
- Easy to dispense liquid admixture
- Normal set times
- Minimal impact on air entrainment



- Self placement — vibration can be eliminated because SCC is highly flowable and will change shape under its own weight to self level and self consolidate within formwork.
- No segregation — SCC is a flowable yet highly cohesive material that will not segregate, and has significantly reduced bleeding.
- No blocking — SCC can pass freely through narrow openings and congested reinforcement without aggregate “blocking” behind obstructions that stop the flow of concrete.
- Reduced labor and improved productivity through faster and easier concrete placement with no vibration
- Improved labor safety, reduced plant noise levels and improved work environment
- Reduced wear and tear on forms by eliminating vibration
- Achievement of complete consolidation throughout concrete elements, even in thin walled, highly reinforced units

### Addition Rates

V-MAR 3 is typically used at an addition rate of 10 to 40 fl oz/yd<sup>3</sup> (390 to 1550 mL/m<sup>3</sup>) of concrete.

Dosage requirements are based on water content in the mix. As water content increases, the V-MAR 3 requirement will increase.

Typical water contents for SCC mixes are 280 to 320 lbs/yd<sup>3</sup> (166 to 190 kg/m<sup>3</sup>). At lower water content, use V-MAR 3 at the lower dosage range, at higher water content, dosage rates will be higher.

V-MAR 3 dosage requirements may also be affected by mix design, cementitious content, aggregate gradations and SCC application.

Use of ADVA series superplasticizers is highly recommended for SCC production. Dosage rate requirements for superplasticizers are typically higher for SCC than for

conventional concrete mixes. When producing SCC, admixtures (excluding air entrainers) should be added after the addition of the cementitious material and water.

Pre-placement testing and testing when materials or quantities change are recommended to determine the optimum admixture addition rate. Factors that influence optimum addition rate include other concrete mix components, aggregate gradations, form geometry, and reinforcement configurations. Please consult your local Grace representative for assistance with developing mix designs, admixture combinations and SCC production.

### Compatibility with Other Admixtures

V-MAR 3 is intended for use with ADVA series superplasticizers and in combination with all air-entraining agents. All applications should be tested prior to use. Each admixture should be added separately into the concrete mix and not come in contact with each other prior to entering the mix.

### Packaging & Handling

V-MAR 3 is available in bulk, in 275 gal (1041 L) totes, 55 gal (210 L) drums, and pails. It will freeze at about 28°F (-2°C) but will return to full functionality after thawing and thorough mechanical agitation.

### Dispensing Equipment

A complete line of accurate, automatic dispensing equipment is available.



[www.graceconstruction.com](http://www.graceconstruction.com)

North American Customer Service: 1-877-4AD-MIX1 (1-877-423-6491)

V-MAR and ADVA are registered trademarks of W. R. Grace & Co.—Conn.

We hope the information here will be helpful. It is based on data and knowledge considered to be true and accurate and is offered for the users' consideration, investigation and verification, but we do not warrant the results to be obtained. Please read all statements, recommendations or suggestions in conjunction with our conditions of sale, which apply to all goods supplied by us. No statement, recommendation or suggestion is intended for any use which would infringe any patent or copyright. W. R. Grace & Co.—Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge, MA 02140. In Canada, Grace Canada, Inc., 294 Clements Road, West, Ajax, Ontario, Canada L1S 3C6.

This product may be covered by patents or patents pending.  
SCC-003B Printed in U.S.A. 11/07

Copyright 2007. W. R. Grace & Co.—Conn.  
FA/LI/1M

GRACE

### A.6.3. Aditivo Modificador de Viscosidad – Rheomac VMA 362



## RHEOMAC® VMA 362

For the production of Rheodynamic® Self-Consolidating Concrete or concrete requiring modified rheological properties

#### Applications

Recommend for use in:

- Liquid Sand™
- Concrete containing “gap-graded” aggregates
- Lean concrete mixtures
- Concrete containing coarse, manufactured sand
- Concrete mixtures requiring “more body”
- Rheodynamic® Self-Consolidating Concrete (SCC)

#### Description

Rheomac® VMA 362 viscosity-modifying admixture (VMA) is a ready-to-use, liquid admixture that is specially developed for producing concrete with enhanced viscosity and controlled rheological properties. Concrete containing Rheomac VMA 362 admixture exhibits superior stability, thus increasing resistance to segregation and facilitating placement and consolidation.

#### Features

- Modifies viscosity of concrete
- Easy to dispense

#### Benefits

- Controls bleeding
- Modifies rheological properties
- Provides flexibility in mixture proportioning and batching
- Provides concrete stability during transport and placement
- Reduces segregation, even with highly-fluid concrete mixtures
- Enhances pumping and finishing
- Enhances surface appearance
- Provides superior and predictable in-place concrete properties
- Facilitates production of highly-fluid concrete mixtures such as Rheodynamic Self-Consolidating Concrete (SCC)

Rheodynamic Self-Consolidating Concrete is an ultra-stable form of self-consolidating concrete (SCC), a very flowable concrete mixture that is able to fill every part and corner of formwork, even in the presence of dense reinforcement, due to its high fluidity and stability.

Rheodynamic Self Consolidating Concrete is produced by using a Glenium®, high range, water-reducing admixture and a Rheomac VMA admixture. Rheodynamic Self-Consolidating Concrete is different from traditional SCC because of its enhanced stability and other *unique* properties that include:

- Slump flow of 18-30+ in. (450-760+ mm)
- Controlled rheology
- Mixture proportioning flexibility
- Reduced sensitivity to normal variations in aggregate gradations
- Increased resistance to segregation
- Self-consolidating (consolidation without vibration)
- Enhanced surface appearance
- Predictable engineering properties and improved structural integrity and durability

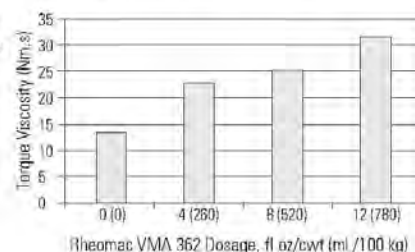
#### Performance Characteristics

##### VISCOSITY

Concrete containing Rheomac VMA 362 admixture will exhibit an increase in viscosity with increasing dosage of the admixture. This desirable characteristic facilitates concrete placement, consolidation and finishing and provides stability to very fluid concrete mixtures.

##### Mix Data:

Non-air-entrained Rheodynamic SCC; 750 lb/yd<sup>3</sup> (445 kg/m<sup>3</sup>) Type I cement; Glenium 3200 HES admixture @ 8.0 fl oz/cwt (520 mL/100 kg); w/cm = 0.35; s/a = 0.42; slump flow 20-27 in. (510-685 mm).



**WORKABILITY**

Rheomac VMA 362 admixture enhances workability.

**AIR CONTENT**

Rheomac VMA 362 admixture does not affect the air content in either air-entrained or non-air-entrained concrete. Typical dosages of air-entraining admixtures may be used to achieve the desired air content.

**SETTING TIME**

Rheomac VMA 362 admixture has little to no impact on concrete setting time within the recommended dosage range of 2-14 fl oz/cwt (130-920 mL/100 kg) of cementitious materials.

**COMPRESSIVE STRENGTH**

Rheomac VMA 362 admixture does not affect the compressive strength of concrete.

**Guidelines for Use****DOSAGE**

The recommended dosage range for Rheomac VMA 362 admixture is 2-14 fl oz/cwt (130-920 mL/100 kg) of cementitious materials. A dosage of 2-6 fl oz/cwt (130-390 mL/100 kg) is recommended for typical concrete mixtures requiring "more body" for facilitate pumping and finishing procedures. A dosage of up to 14 fl oz/cwt (920 mL/100 kg) is recommended to provide stability in self-consolidating concrete mixtures. Because of variations in concrete materials, job site conditions and/or applications dosages outside of the suggested range may be required.

**MIXING**

Rheomac VMA 362 admixture is typically added with the initial mix water. Alternately, RHEOMAC VMA 362 admixture may be added after all other concreting ingredients have been batched and thoroughly mixed, either at the batch plant or at the jobsite.

**Recommendations****COMPATIBILITY**

Rheomac VMA 362 admixture is compatible with most other admixtures used in the production of quality concrete including normal, mid-range and high-range water-reducing admixtures and air entrainers. Rheomac VMA 362 admixture is also

compatible with typical accelerators, retarders, extended set-control admixtures, corrosion inhibitors, and shrinkage reducers. However a field trial mixture is recommended to ensure appropriate performance.

**TEMPERATURE**

Rheomac VMA 362 admixture must be stored at temperatures above 32 °F (0 °C) and below 130 °F (54 °C). Protect Rheomac VMA 362 admixture from freezing because it cannot be reconstituted after thawing.

**SHELF LIFE**

A product stability evaluation has shown that Rheomac VMA 362 admixture has a shelf life of 8 months. Please contact your Master Builders representative regarding suitability for use and dosage recommendations if the stated minimum shelf life of Rheomac VMA 362 admixture has been exceeded.

**Handling and Storage****DISPENSING**

Rheomac VMA 362 admixture should be dispensed using direct-feed dispensing systems. It is recommended that fail-safe features must be included in this dispenser application for potential meter malfunctions. Consult your local Master Builders sales representative for the proper dispensing equipment for Rheomac VMA 362 admixture.

**PACKAGING**

Rheomac VMA 362 admixture is supplied in 55 gal (208 L) drums, 275 gal (1040 L) totes, and by bulk delivery.

**Related Documents**

Material Data Safety Sheet —  
Rheomac VMA 362 admixture.

**Additional Information**

For additional information on Rheomac VMA 362 admixture or on its use in developing Rheodynamic SCC mixtures or concrete mixtures with special rheological performance characteristics, please contact your Master Builders sales representative.

**MASTER BUILDERS, INC.**

**United States**  
35700 Chagrin Boulevard  
Cleveland, Ohio 44122-5554  
Phone 800-MBT-9990  
Fax 216-839-8821

**Canada**  
1800 Clark Blvd  
Brampton, Ontario L6T 4M7  
Phone 800-387-5962  
Fax 905-792-0851

[www.masterbuilders.com](http://www.masterbuilders.com)

©2003, Master Builders, Inc. Printed in USA 9/03  
RheomacVMA362 (v03) SAP #1024151

## A.6.4. Aditivo Superplastificante – Glenium C303 SCC



The Chemical Company

FT 1.1.49

# GLENIUM C303 SCC

**Aditivo superplastificante / reductor de agua de alta actividad de altas prestaciones para hormigón autocompactante.**

### HAC - GLENIUM

El hormigón autocompactante HAC - GLENIUM es un hormigón capaz de recubrir cualquier parte y rincón del molde o encofrado a través del armado sin segregación ni indicios de bloqueo por la simple acción de su propio peso, sin la ayuda de ningún tipo de vibración u otro método de compactación, con excelentes acabados superficiales y elevadas resistencias mecánicas y durabilidad.

### Campo de aplicación

- Hormigón autocompactante para prefabricado.
- Hormigones para pavimentos aplicados sin vibración.
- Rellenos de estructuras con dificultad de aplicar algún tipo de método de compactación.
- Hormigonado de estructuras de difícil vibración.

Consultar con el Departamento Técnico cualquier aplicación no prevista en esta relación.

### Propiedades

- Producción de hormigones autocompactantes de elevada calidad, baja R A/C y elevadas resistencias mecánicas.
- Elimina las operaciones de vibración para la puesta en obra.
- Incrementa la producción reduciendo los costes.
- Mejora el ambiente de trabajo.
- Acabados superficiales de elevada calidad sin necesidad de vibración.
- Incrementa la durabilidad de las piezas y estructuras.

### Modo de utilización

GLENIUM C303 SCC debe adicionarse durante el proceso de fabricación del hormigón autocompactante, con la última parte del agua de amasado. Nunca debe adicionarse el aditivo sobre la masa seca de áridos y cemento.

GLENIUM C303 SCC puede utilizarse en combinación con el agente modulador de viscosidad GLENIUM STREAM 1A (ver ficha técnica 1.1.49) para mejorar la cohesión de la masa y la resistencia a la segregación.



### Dosificación

La dosificación habitual de GLENIUM C303 SCC es de 0.9 - 2.5% sobre peso de ligante, en función de las características y dosificación de los materiales.

Dosificaciones superiores son posibles con ensayos previos.

En cualquier caso, se recomienda en cada caso realizar los ensayos oportunos para determinar la dosificación óptima.

### Presentación

GLENIUM C303 SCC se presenta a granel, en contenedores de 1000 kg, bidones de 200 litros y en garrafas de 25 kg.

### Limpieza de equipos

La limpieza de equipos y herramientas que están sucias de GLENIUM C303 SCC puede realizarse con agua preferentemente caliente.

### Condiciones de almacenamiento/

#### Tiempo de conservación

Almacenar en lugar fresco y seco y en sus envases originales herméticamente cerrados, evitando temperaturas extremas. Si se congela, descongelar a +30° C aproximadamente y agitar hasta la completa reconstitución.

En estas condiciones GLENIUM C303 SCC puede almacenarse hasta 12 meses.



The Chemical Company

## GLENIUM C303 SCC

### Manipulación y transporte

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos por ejemplo usar gafas y guantes. No comer, beber ni fumar durante la aplicación. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

Para más información consultar la Hoja de Seguridad del producto.

### Hay que tener en cuenta

- Se recomienda siempre la realización de ensayos previos a la utilización del aditivo.
- No emplear dosificaciones inferiores ni superiores a las recomendadas sin previa consulta con el Departamento Técnico.
- Consulta la compatibilidad entre aditivos antes de su utilización.

<b>Propiedades</b>	
Función principal:	Reductor de agua de alta actividad / Superplastificante.
Función secundaria:	Retenedor de agua.
Efecto secundario:	Riesgo de disgregación a dosis elevadas.
Aspecto físico:	Líquido verdoso.
Densidad, 20° C:	1,044 ± 0,02 g/cm <sup>3</sup>
pH, 20° C:	6 ± 1
Contenido en cloruros:	≤ 0,1 %
Viscosidad 20° C Brookfield Sp00/100rpm:	< 60 cps.
Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.	

#### NOTA:

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.

Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición. BASF Construction Chemicals España, S.A. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.

Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad.

Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reingresar el valor de la mercancía suministrada.

Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición 08/08/2006

La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición

Glenium C303 SCC Página 2 c

**BASF Construction  
Chemicals España, S.A.**

Basters, 15

08184 Palau-Solità i Plegamans

Tel.: 93 862 00 00 - Fax: 93 862 00 20

www.basf-cc.es • basf-cc@basf-cc.es



### A.6.5. Aditivo Superplastificante – ADVA 360

#### Grace Concrete Products

GRACE

## ADVA® 360

### High-range water-reducing admixture

ASTM C494 Type A and F, and ASTM C1017 Type I

#### Product Description



ADVA® 360 is a high efficiency polycarboxylate-based superplasticizer. ADVA 360 has been formulated to impart extreme workability without segregation to concrete, and to achieve high early compressive strength. ADVA 360 is intended for the production of Self-Consolidating Concrete (SCC) in ready-mix applications. ADVA 360 is formulated to comply with ASTM C494 as a Type A and F, and ASTM C1017 Type I admixture.

ADVA 360 is supplied as a ready-to-use brown liquid. One gallon weighs approximately 8.90 lbs (one liter weighs approximately 1.07 kg). ADVA 360 contains no intentionally added chlorides.

#### Uses

ADVA 360 is recommended for use in the production of conventional and SCC. ADVA 360 is a component of Grace's Self-Consolidating Concrete System.

#### Conventional Concrete Applications of ADVA 360:

- Can produce concrete with extremely high levels of workability without segregation.
- May be used to produce concrete with very low water/cement ratios while maintaining normal levels of workability.
- Ideal for use in applications where concrete needs to achieve high early strength along with high levels of workability.
- Provides superior concrete surface finish characteristics with reduced bugholing.

#### Self-Consolidating Concrete Applications:

SCC produced with ADVA 360 has unique advantages over conventional flowing concrete.

- Self placement — vibration can be eliminated because SCC is highly flowable and will change shape under its own weight to self level and self consolidate within formwork.
- No segregation — SCC is a flowable yet highly cohesive material that will not segregate, and has significantly reduced bleeding.
- No blocking — SCC can pass freely through narrow openings and congested reinforcement without aggregate “blocking” behind obstructions that stop the flow of concrete.

#### Product Advantages

- Imparts excellent stability to high flow concrete
- Excellent surface finish



### Addition Rates

ADVA 360 is an easy to dispense liquid admixture. Dosage rates can be adjusted to meet a wide spectrum of concrete performance requirements. Addition rates for ADVA 360 can vary with the type of application, but will normally range from 3 to 12 fl oz/100 lbs (200 to 780 mL/100 kg) of cement. Should conditions require using more than the recommended addition rate, please consult your Grace representative.

The production of SCC typically requires both the use of specialty admixtures specifically tailored for SCC as well as mix design adjustments. Therefore, for SCC applications, pre-placement testing is strongly recommended to determine the optimal admixture addition rate and appropriate mix design parameters. Factors that influence optimum addition rate include other concrete mix components, aggregate gradations, form geometry, and reinforcement configurations. V-MAR® 3 may be used with ADVA 360 to further modify the rheological properties of SCC Concrete.

### Compatibility with Other Admixtures and Batch Sequencing

ADVA 360 is compatible with most Grace admixtures as long as they are added separately to the concrete mix. However, ADVA products are not recommended for use in concrete containing naphthalene-based admixtures including Daracem® 19 and Daracem 100, and melamine-based admixtures including Daracem ML 330 and

Daracem 65. In general, it is recommended that ADVA 360 be added to the concrete mix near the end of the batch sequence for optimum performance. Different sequencing may be used if local testing shows better performance. Please see Grace Technical Bulletin TB-0110, *Admixture Dispenser Discharge Line Location and Sequencing for Concrete Batching Operations* for further recommendations. ADVA 360 should not come in contact with any other admixture before or during batching, even if diluted in mix water.

Pretesting of the concrete mix should be performed before use and as conditions and materials change in order to assure compatibility with other admixtures, and to optimize dosage rates, addition times in the batch sequencing and concrete performance. For concrete that requires air entrainment, the use of an ASTM C260 air-entraining agent (such as Daravair® or Darex® product lines) is recommended to provide suitable air void parameters for freeze-thaw resistance. Please consult your Grace representative for guidance.

### Packaging & Handling

ADVA 360 is available in bulk, delivered by metered trucks, in 275 gal (1041 L) totes, and 55 gal (210 L) drums. ADVA 360 will freeze at approximately 32°F (0°C) but will return to full functionality after thawing and thorough mechanical agitation.

### Dispensing Equipment

A complete line of accurate, automatic dispensing equipment is available.

[www.graceconstruction.com](http://www.graceconstruction.com)

North American Customer Service: 1-877-4AD-MIX1 (1-877-423-6491)

ADVA, the ADVA logo, V-MAR, Daracem, Daravair and Darex are registered trademarks of W. R. Grace & Co.—Conn.

We hope the information here will be helpful. It is based on data and knowledge considered to be true and accurate and is offered for the users' consideration, investigation and verification, but we do not warrant the results to be obtained. Please read all statements, recommendations or suggestions in conjunction with our conditions of sale, which apply to all goods supplied by us. No statement, recommendation or suggestion is intended for any use which would infringe any patent or copyright. W. R. Grace & Co.—Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge, MA 02140. In Canada, Grace Canada, Inc., 294 Clements Road, West, Ajax, Ontario, Canada L1S 3C6.

This product may be covered by patents or patents pending.  
DC-53B Printed in U.S.A. 11/07

Copyright 2007, W. R. Grace & Co.—Conn.  
FA/LI/1M

GRACE

## A.7. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA REFRENTAR LAS PROBETAS DE FLUENCIA

### A.7.1. Mortero Autonivelante – Sikadur 42

Construcción

Hoja de Datos de Producto  
Edición 01/10/05  
Identificación nº 10.1.1  
Versión nº 1  
Sikadur® 42 Anclajes

## Sikadur® 42 Anclajes

Mortero autonivelante, a base de resinas epoxi, de tres componentes

<b>Descripción del Producto</b>	Sikadur 42 Anclajes es un mortero de altas resistencias mecánicas, de tres componentes, a base de resinas epoxi sin disolventes y cargas de granulometría especial, para colocar por vertido, dada su fluidez y facilidad de colocación.
<b>Usos</b>	<p><i>Es un material de altas resistencias mecánicas y sin retracción. Es idóneo para:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fijación de pernos y anclajes en superficies horizontales.</li> <li>■ Anclajes de armaduras en el hormigón en superficies horizontales (taladro vertical).</li> <li>■ Relleno bajo placas de apoyo en puentes o bancadas de máquinas.</li> <li>■ Relleno de grandes grietas y oquedades en el hormigón.</li> </ul>
<b>Características/Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Muy buena adherencia sobre la mayoría de los materiales de construcción: hormigón, mortero, piedra, ladrillo, fibrocemento, acero, cristal, resinas de poliéster o epoxi.</li> <li>■ No contiene disolventes.</li> <li>■ Fácil mezclado, buena fluidez y colocación.</li> <li>■ Endurece rápidamente sin retracción.</li> <li>■ La humedad no afecta al endurecimiento.</li> <li>■ Tiene altas resistencias mecánicas. Duro y resistente a vibraciones.</li> <li>■ Impermeable al vapor de agua.</li> <li>■ Posee altas resistencias a temperatura ambiente a agentes químicos como: ácidos diluidos, bases, sales y salmueras, aguas muy puras, aguas residuales, aceites y carburantes.</li> <li>■ Se puede utilizar sobre soportes secos o ligeramente húmedos.</li> <li>■ No necesita imprimación.</li> </ul>
<b>Datos del Producto</b>	
<b>Forma</b>	
<b>Apariencia/Colores</b>	Componente A: Pasta Blanca Componente B: Pasta gris oscuro Componente C: Arena clara Mezcla A+B+C, Gris
<b>Presentación</b>	Lotes predosificados de 1,5 kg., 5 kg y 15 kg.
<b>Almacenamiento</b>	
<b>Condiciones de Almacenamiento/Conservación</b>	1 año, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y no expuesto al hielo, a temperaturas comprendidas entre +5°C y +40°C
<b>Datos Técnicos</b>	
<b>Composición Química</b>	Resina epoxi de tres componentes.
<b>Densidad</b>	De la mezcla fresca aprox. 1,9 kg/l.

10.1.1



<b>Propiedades Mecánicas/Físicas</b>		
<b>Adherencia</b>	Sobre hormigón > 3 N/mm <sup>2</sup> (rotura del hormigón). Sobre acero > 17,5 N/mm <sup>2</sup> .	
<b>Resistencias a Compresión</b>	80-90 N/mm <sup>2</sup> .	(EN 196/1)
<b>Resistencias a Flexotracción</b>	30-40 N/mm <sup>2</sup> .	(EN 196/1)
<b>Módulo de elasticidad</b>	19.000 N/mm <sup>2</sup> .	(UNE EN ISO 527)
<b>Información del Sistema</b>		
<b>Detalles de Aplicación</b>		
<b>Consumo</b>	Aprox. 1,9 kg por litro de mezcla.	
<b>Calidad del Soporte</b>	Los soportes deberán estar limpios, sanos, exentos de grasas y aceites. Eliminar las partes mal adheridas, la lechada superficial de cemento, óxidos, cascarillas, restos de pinturas, etc.	
<b>Preparación del Soporte</b>	Las superficies de poliéster o epoxi deberán tener una cierta rugosidad que se consigue con una muela o por lijado normal. Limpiar después con Sika® Colma Limpiador.  En general la preparación de los soportes deberá realizarse mecánicamente.	
<b>Condiciones de Aplicación/ Limitaciones</b>		
<b>Temperatura del soporte</b>	Mínima +5° C. / Máxima +40° C	
<b>Temperatura de Aplicación</b>	Mínima +15° C. / Máxima +30° C	
<b>Humedad del Soporte</b>	Los soportes pueden estar húmedos pero sin agua estancada, presión de agua o de vapor durante la polimerización del producto.	
<b>Instrucciones de Aplicación</b>		
<b>Mezclado</b>	Componente A = 2 partes. Componente B = 1 partes. Componente C = 12 partes	
<b>Tiempo de Mezclado</b>	Remover por separado los componentes A y B, utilizando para ello preferentemente una batidora eléctrica de baja velocidad (máx. 600 r.p.m.). A continuación mezclar ambos componentes al menos durante 1 minuto, después añadir el componente C y continuar el mezclado hasta lograr un mortero fluido totalmente homogéneo.	
<b>Métodos de Aplicación/ Herramientas</b>	La mezcla así conseguida se coloca por vertido ya que es un material autonivelante. Cuando se aplica bajo placas de asiento, asegurar una presión suficiente para mantener el discurrir del mortero. Por otra parte hay que prever la salida del aire.  Si el Sikadur®-42 Anclajes se vierte en moldes o encofrados de madera o metálicos, se deben aislar las superficies con láminas de PVC, de polietileno o aplicando un desencofrante, para evitar que se adhiera a ellos.  En grandes volúmenes, aplicarlo en más de una capa, asegurándose que la capa anterior ha endurecido y enfriado. No colocar capas de espesor superior a 4 ó 5 cm.	
<b>Limpieza de Herramientas</b>	Los útiles y herramientas se limpiarán inmediatamente después de su empleo con Sika® Colma Limpiador, pues el Sikadur® 42 Anclajes endurecido sólo puede eliminarse por medios mecánicos.	
<b>Vida de la mezcla</b>	Aprox. 45-60 minutos. (a 20 °C)	

Construcción	<b>Notas de Aplicación/ Límites</b>	<p>Edad mínima del hormigón: 3 - 4 semanas, dependiendo del clima.</p> <p>La vida de mezcla disminuye cuando la temperatura o la cantidad de producto preparado aumenta.</p> <p>Si por bajas temperaturas o debido a un largo almacenamiento los componentes A y B del Sikadur 42 Anclajes hubiesen espesado, no significa que el producto esté en malas condiciones. Es suficiente con calentar al «baño maría» a una temperatura entre +40 °C y +50 °C ambos componentes por separado, dejándolos enfriar posteriormente hasta una temperatura comprendida entre +15 °C y +20 °C, para mezclarlos a continuación.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p>
	<b>Notas</b>	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
	<b>Instrucciones de Seguridad e Higiene</b>	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.
	<b>Notas Legales</b>	Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".



**OFICINAS CENTRALES  
Y FABRICA**

Madrid 28108 - Alcobendas  
P. I. Alcobendas  
Carretera de Fuencarral, 72  
Tels.: 916 57 23 75  
Fax: 916 62 19 38

**OFICINAS CENTRALES  
Y CENTRO LOGÍSTICO**

Madrid 28108 - Alcobendas  
P. I. Alcobendas  
C/ Aragoneses, 17  
Tels.: 916 57 23 75  
Fax: 916 62 19 38



Desarrollo y producción en instalaciones de Alcobendas (Madrid)

Compromiso de Progreso de la Industria Química

Sikadur® 42 Anclajes

3/3

10.1.1

## A.7.2. Mortero Epoxi Fluido – Masterflow 150



The Chemical Company

# MASTERFLOW 150

FT 2.3.09

Mortero epoxi fluido, de endurecimiento rápido para anclajes, rellenos y fijaciones.

### Campo de aplicación

- Rellenos y anclajes de precisión.
- Anclajes de maquinaria, sellados de grietas y fisuras de gran amplitud.
- Fijaciones de pernos.
- Rellenos de corazas, manto de molinos, chancadoras, tapas de molinos en caso de desgaste y/o desajuste de los elementos de la coraza, entre otros.

Consultar con el Departamento Técnico cualquier aplicación no prevista en esta relación.

### Propiedades

- Se presenta en dos componentes prepesados listos para su uso.
- Excelente fluidez y poder de relleno.
- Endurecimiento sin retracción.
- Una vez endurecido es resistente e impermeable al agua.
- Endurecimiento rápido.
- Excelente resistencia química.

### Base del material

Resina epoxi y endurecedor amínico.

### Modo de utilización

**(a) Soporte:** El soporte debe estar firme, limpio, seco y sin polvo. Deben eliminarse los restos de aceites, grasas, etc. En anclaje de pernos se aconseja que éstos estén bien limpios de aceites, taladrinas, etc.

La temperatura del soporte debe ser como mínimo de +5°C y como máximo de +30°C y se procurará que las temperaturas sean uniformes durante la aplicación y el endurecimiento.

**(b) Mezcla:** MASTERFLOW 150 se presenta en envases con las proporciones adecuadas para la mezcla de los dos componentes. Verter el Componente II sobre el Componente I y mezclar con un taladro provisto de agitador tipo M17, a bajas revoluciones (400 r.p.m.), durante un mínimo de 3 minutos.

Debe de evitarse en lo posible, la oclusión de aire durante el mezclado. En ningún caso son recomendables las mezclas parciales.

**(c) Aplicación:** Una vez mezclado, se vierte, procurando ayudar con una varilla a que llegue a todos los rincones, especialmente si se trata de huecos complicados. Se debe prever una salida de aire en anclajes profundos.

### Limpieza de herramientas

En estado fresco con PREPARACIÓN BETTOR UNIVERSAL. Una vez endurecido el producto sólo puede limpiarse mecánicamente.

### Consumo

Se precisan aproximadamente 1,7 Kg de MASTERFLOW 150 para rellenar un litro de volumen.

Este consumo es teórico y deberá determinarse para cada obra en particular mediante ensayos representativos "in situ".

### Presentación

MASTERFLOW 150 se presenta en conjuntos de 1 y 5 Kg.

### Almacenaje

Puede almacenarse 24 meses en lugar fresco y seco y en sus envases originales cerrados.

### Manipulación y transporte

Para la manipulación de este producto deberán observarse las medidas preventivas habituales en el manejo de productos químicos, por ejemplo no comer, fumar ni beber durante el trabajo y lavarse las manos antes de una pausa y al finalizar el trabajo.

Puede consultarse la información específica de seguridad en el manejo y transporte de este producto en la Hoja de Datos de Seguridad del mismo.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final del producto.

### Debe tenerse en cuenta

- No aplicar sobre soportes a temperaturas inferiores a +5°C ni superiores a +30°C.
- No añadir disolventes, arena ni otras sustancias que puedan afectar a las propiedades del material.
- Evitar trabajar en condiciones de fuerte viento o sol intenso.
- No son recomendables las mezclas parciales.
- Proteger de la lluvia en las primeras edades.
- Antes de realizar la mezcla comprobar la identificación correcta de los envases de los diferentes componentes.

## Datos Técnicos

Características	Unidades	Valores	
Densidad amasado:	g/cm <sup>3</sup>	Aprox. 1,7	
Temperatura de aplicación (soporte y material):	°C	De + 5 a +30	
Pot-life:	minutos	Aprox. 30	
Tiempo de trabajabilidad:	minutos	Aprox. 90	
Espesores aplicables:	cm	Máximo 3	
Resistencia a la temperatura:	°C	Entre -20 a + 80	
		a +10°C	a +20°C
Endurecido tras:	horas	Aprox. 24	Aprox. 12
Totalmente cargable tras:	días	Aprox. 7	Aprox. 1
Resistencia a compresión tras:			
- 1 hora:	N/mm <sup>2</sup>	-	Aprox. 19
- 2 horas:		-	Aprox. 64
- 5 horas:		-	Aprox. 85
- 20 horas:		-	Aprox. 89
- 1 día:		Aprox. 54	Aprox. 100
- 7 días:		Aprox. 97	Aprox. 113
Resistencia a flexotracción tras:			
- 1 hora:	N/mm <sup>2</sup>	-	-
- 2 horas:		> 24	> 24
- 5 horas:		> 24	> 24
- 20 horas:		> 24	> 24
- 1 día:		> 24	> 24
- 7 días:		> 24	> 24

Los tiempos de endurecimiento están medidos a 22°C de temperatura y 65% de H.R. Temperaturas superiores y/o H.R inferiores pueden acotar estos tiempos y viceversa. Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de venta" del producto a nuestro Departamento Técnico.

**NOTA:**

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.

Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición.

BASF Construction Chemicals España, S.A. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.

Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad.

Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reintegrar el valor de la mercancía suministrada.

Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición 08/08/2006

La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición.

BASF Construction Chemicals España, S.A.  
 Basters, 15  
 08184 PALAU-SOLITÀ i PLEGAMANS (Barcelona)  
 Telf.: 93 862 00 00 - Fax 93 862 00 20  
 Internet: <http://www.basf-cc.es>

## A.8. ESPECIFICACIONES DE LAS GALGAS

### A.8.1. Galgas KM-100AT

# KM Strain Transducer $\pm 5000 \times 10^{-6}$ strain

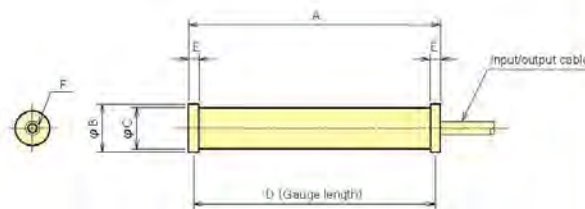


The KM series strain transducers are designed to measure strain in materials such as concrete, synthetic resin which undergo a transition from a compliant state to a hardened state. Their extremely low modulus (40N/mm<sup>2</sup> approx. except for KM-A) and waterproof construction are ideally suited for internal strain measurement during the very early stages of curing. They are totally impervious to moisture absorption, producing excellent stability for long-term strain measurement. Relative temperature measurement is also possible with the KM-A and KM-B. The built-in thermocouple sensor of the KM-AT/KM-BT enable actual temperature measurement in addition to strain measurement. Adding to the above embedment use, surface strain measurement onto concrete, H-beam steel is also available with various optional fittings.

#### ■ FEATURES

- Self-temperature compensated transducer having a linear thermal expansion coefficient similar to concrete
- Low elastic modulus enables inner strain measurement during the very early stages of curing
- Simultaneous measurement of strain and temperature except for KM-30, KM-50F
- Surface strain measurement is also available onto retaining wall, strut, sheet pile, etc.

Protection ratings :  
 IP 67 equivalent for KM-30  
 IP 68 equivalent for KM-50F- KM-200AT



Type	Dimensions (mm)						Weight (g)
	A	B	C	D	E	F	
KM-30	34	12	10	31	3	M3 Depth4	12
KM-50F	54	20	17	50	4	M3 Depth6	45
KM-100A	104	20	17	100	4	M3 Depth6	75
KM-100B	104	20	17	100	4	M3 Depth6	80
KM-100HB	104	20	17	100	4	M3 Depth6	220
KM-200A	205	28	23	200	5	M5 Depth8	220
KM-100AT	104	20	17	100	4	M3 Depth6	75
KM-100BT	104	20	17	100	4	M3 Depth6	75
KM-200AT	205	28	23	205	5	M5 Depth8	220

#### ■ SPECIFICATIONS

TYPE	KM-30	KM-50F	KM-100A	KM-100B	KM-100HB	KM-200A	KM-100AT	KM-100BT	KM-200AT
Capacity	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ strain								
Gauge length	31mm	50mm	100mm			200mm	100mm	200mm	
Rated output (approximately)	2.5mV/V ( $5000 \times 10^{-6}$ )	4mV/V ( $8000 \times 10^{-6}$ )	2.5mV/V ( $5000 \times 10^{-6}$ )			5mV/V ( $10000 \times 10^{-6}$ )	2.5mV/V ( $5000 \times 10^{-6}$ )	5mV/V ( $10000 \times 10^{-6}$ )	
Non-linearity	1%RO								
Apparent elastic modulus	40N/mm <sup>2</sup>	100N/mm <sup>2</sup>	100N/mm <sup>2</sup>	40N/mm <sup>2</sup>	100N/mm <sup>2</sup>	100N/mm <sup>2</sup>	40N/mm <sup>2</sup>	100N/mm <sup>2</sup>	
Integral temperature	-		*1 Strain gauges (350Ω Quarter gauge with 3-wire 50×10 <sup>-6</sup> strain/°C approx.				*2 Thermocouple T		
Temperature range	-20 ~ +60°C		-20 ~ +80°C			-20 ~ +180°C		-20 ~ +80°C	
Input/Output	120Ω Half bridge		350Ω Full bridge						

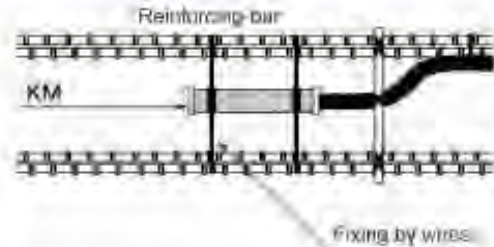
\*1 Relative temperature measurement possible  
 \*2 Real temperature measurement possible

Input/output cable	KM-30	φ2.4mm	0.04mm <sup>2</sup>	3-core shielded	Vinyl cable	2m	cable-end free
	KM-50F	φ6mm	0.35mm <sup>2</sup>	4-core shielded	Chloroprene cable	2m	cable-end free
	KM-100A/100B	φ9mm	0.3mm <sup>2</sup>	5-core shielded	Chloroprene cable	2m	cable-end free
	KM-100HB	φ8mm	0.3mm <sup>2</sup>	5-core shielded	Fluoroplastic cable	2m	cable-end free
	KM-200A	φ11.5mm	0.5mm <sup>2</sup>	5-core shielded	Chloroprene cable	2m	cable-end free
	KM-100AT/100BT	φ9mm	0.3mm <sup>2</sup>	4-core shielded	T-thermocouple compound cable	2m	cable-end free
	KM-200AT	φ11.5mm	0.5mm <sup>2</sup>	4-core shielded	T-thermocouple compound cable	2m	cable-end free



**For use of inner strain measurement**

The KM Strain Transducers make possible strain measurement in materials such as concrete which undergo a transition from a compliant state to a hardened state. Various strains are produced by external force, ambient temperature, drying shrinkage, materials creep, etc., the KM is designed to measure such strains. Applicable gauge length should require three times the diameter of the gravel piece so as to give an averaged evaluation of the concrete.



An installation to reinforcing concrete structures inside

As shown in figure right, attach wires to KM body at 2 points, then position the KM to marked points in advance of reinforcing bar to fix it.

**An installation with optional Non-stress meter KMF-51/KMF-52**

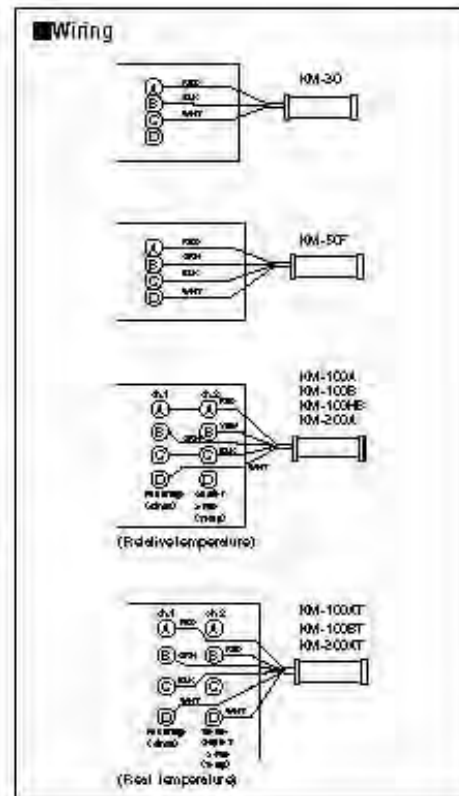
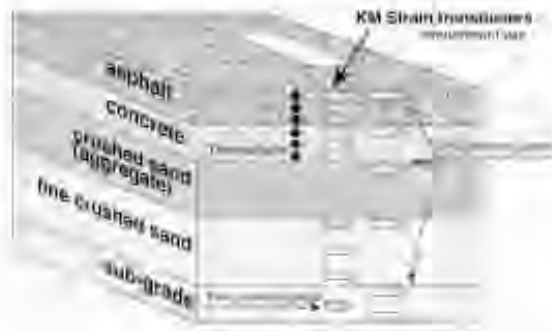
Optional Non-stress meter is available for measurement of the linear thermal expansion coefficient and dry shrinkage strain when a container with the transducer inside is embedded in concrete.

In case that the non-stress meter can not be applied, prepare the same model of concrete specimen to install the meter with the same condition of water indusement during unloaded. And linear thermal expansion coefficient and dry shrinkage strain of concrete can be measured.

**An installation to pavement**

During pavement construction, driving tests, loading test, and long-period deterioration tests are conducted using various types of sensors to check the degree of fatigue in relation to the load bearing capacity. The KM measure inner stress produced in each layers under road.

Measuring cables are separately positioned in advance. To protect sensors from mechanical damage, protective cover should be required, and such sensors are temporarily positioned. Then, they are fixed same time in each layer.

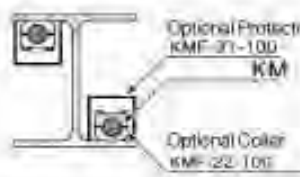


**For use of surface strain measurement**

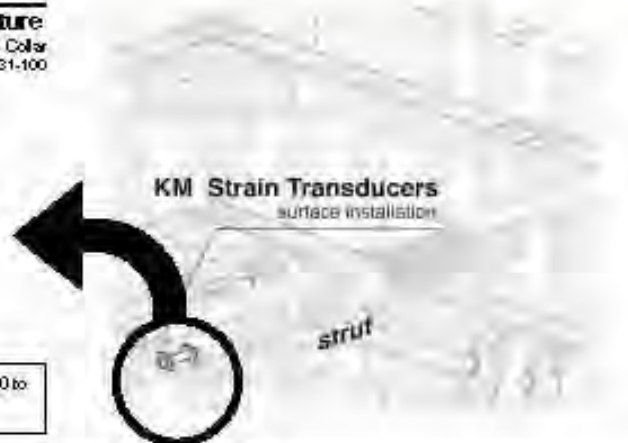
Surface strain measurement onto steel and concrete structures is available with KM-100B or KM-100BT. (Optional fittings such as Spacer and Collar are available for fixing the model and positioning gauge length.)

**An installation onto surface of steel structure**

A strain transducer is installed onto surface of steel using optional Collar KMF-22-100 with welding works. Optional Protective Cover KMF-31-100 protects the transducer from physical damage.

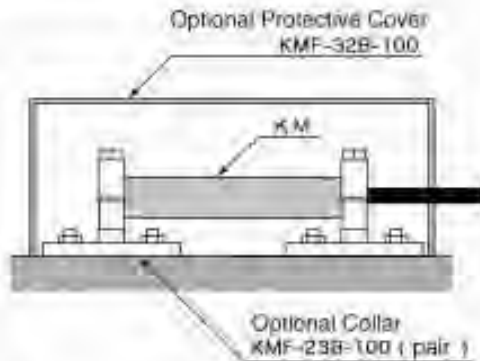


The KM model is combined with optional Collar KMF-22-100 to install onto surface of steel by welding.



**An installation onto surface of concrete structure**

A strain transducer is installed onto surface of concrete using optional Collar KMF-23B-100 with anchoring works. Optional Protective Cover KMF-32B-100 protects the transducer from physical damage.



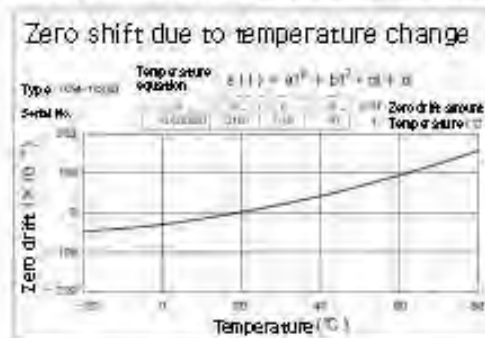
The KM model is combined with optional Collar KMF-23B-100 to install onto surface of concrete structure with anchor bolts.

**Temperature measurement by Strain Transducer**

Temperature sensor integrated strain transducer have 2 types. One is for relative temperature measurement with strain gauge 350Ω quarter bridge with 3-wire system, another is for real temperature measurement with thermocouple sensor. Using Data Logger, it makes more precise measurement possible. Comparing to an external temperature probe use, this model can save considerable installation and wiring works.

- Strain gauge temperature sensor integral type  
KM-100AKM-100BKM-100BKMS200A
- Thermocouple sensor integral type  
KM-100TKM-100BTKM-200AT

**Example of Temperature data (optional)**



For more precise strain measurement with the transducer, correction of zero shift should be required. Optional temperature data on each supply is available on request.



# ANEJO B

## DETALLES EXPERIMENTALES

### B.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se presentan aquellos detalles de los ensayos de las propiedades mecánicas que no se han incluido en el cuerpo de esta tesis pero, que se consideran importantes para un análisis más profundo de los resultados. Se presentan los detalles del ensayo de adherencia, retracción y fluencia.

### B.2. ADHRENCIA

En el ensayo de adherencia se obtiene dos resultados, la tensión de adherencia y la tensión de rotura. La tensión de adherencia se calcula a través de la media aritmética de las tensiones resultantes de los desplazamientos de 0,01; 0,1 y 1 mm; mientras la tensión de rotura es la máxima tensión soportada por la viga o la tensión referente a un desplazamiento de 3 mm. La tensión de adherencia ( $\sigma_{adher}$ ) y la tensión de rotura ( $\sigma_{rot}$ ) se expresan en MPa, y la carga máxima aplicada en la viga (Prot) se expresa en KN.

Debido a los problemas mencionados en el capítulo 3 el ensayo de adherencia ha presentado algunas variaciones en los resultados. Por este motivo se presenta en la Tabla B.1 los resultados obtenidos en todas las probetas. Para cada dosificación han sido ensayadas dos probetas, referidas como 01 y 02, disponiendo para cada probeta de dos lados “a” y “b”. El lado “a” se refiere al primer lado que ha desplazado por pérdida de adherencia. Los resultados remarcados en rojo y con (\*), presentan alguna variación del procedimiento patrón utilizado:

Tabla B.1 – Resultados del ensayo de adherencia  $\sigma_{adher}$ ,  $\sigma_{rot}$  (en MPa) y  $P_{rot}$  (en KN)

	3 días			7 días			28 días		
	$\sigma_{adher}$	$\sigma_{rot}$	$P_{rot}$	$\sigma_{adher}$	$\sigma_{rot}$	$P_{rot}$	$\sigma_{adher}$	$\sigma_{rot}$	$P_{rot}$
C30_01_a	3,65*	8,44	30,53	7,77	12,65	45,79	6,87	11,73	42,44
C30_01_b	5,25*			7,32	12,68	45,89	–	–	–
C30_02_a	6,77	12,65	45,78	8,48	13,61	49,26	7,61	14,58	52,76
C30_02_b	6,67	13,65*	49,39*	8,78	–	–	7,37	–	–
<b>Promedio</b>	<b>6,23</b>	<b>11,58</b>	<b>41,90</b>	<b>8,09</b>	<b>12,98</b>	<b>46,98</b>	<b>7,28</b>	<b>13,15</b>	<b>47,60</b>
<b>CV</b>	<b>13,7%</b>	<b>23,9%</b>	<b>23,9%</b>	<b>8,2%</b>	<b>4,2%</b>	<b>4,2%</b>	<b>5,2%</b>	<b>15,3%</b>	<b>15,3%</b>
D30_01_a	7,39	14,30	51,75	9,36	15,58	56,40	8,10	14,23	51,49
D30_01_b	6,50*	10,01*	36,24*	8,43	–	–	8,24	14,13	51,13
D30_02_a	6,43	11,74	42,48	7,09	11,79	42,66	9,53	14,36	51,98
D30_02_b	–	–	–	7,73	12,59	45,56	9,76	14,56	52,71
<b>Promedio</b>	<b>6,91</b>	<b>13,02</b>	<b>47,12</b>	<b>8,23</b>	<b>13,69</b>	<b>49,53</b>	<b>8,91</b>	<b>14,32</b>	<b>51,83</b>
<b>CV</b>	<b>7,8%</b>	<b>13,9%</b>	<b>13,9%</b>	<b>12,0%</b>	<b>15,0%</b>	<b>15,0%</b>	<b>9,6%</b>	<b>1,3%</b>	<b>1,3%</b>
C60_01_a	9,02	14,06	50,87	10,68	16,03	58,01	10,57	17,18	62,19
C60_01_b	–	–	–	9,33*	–	–	–	–	–
C60_02_a	9,58	14,52	52,55	7,04*	13,41*	48,54*	9,07	16,46	59,58
C60_02_b	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>Promedio</b>	<b>9,30</b>	<b>14,29</b>	<b>51,71</b>	<b>10,68</b>	<b>16,03</b>	<b>58,01</b>	<b>9,82</b>	<b>16,82</b>	<b>60,88</b>
<b>CV</b>	<b>4,3%</b>	<b>2,3%</b>	<b>2,3%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>10,8%</b>	<b>3,0%</b>	<b>3,0%</b>
D60_01_a	5,80	12,05	43,60	9,98	13,94	50,47	6,15*	12,52*	45,30*
D60_01_b	–	–	–	–	–	–	–	–	–
D60_02_a	6,43	12,63	45,70	11,70	17,78	64,34	9,70	16,08	58,21
D60_02_b	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>Promedio</b>	<b>6,11</b>	<b>12,34</b>	<b>44,65</b>	<b>10,84</b>	<b>15,86</b>	<b>57,41</b>	<b>9,70</b>	<b>16,08</b>	<b>58,21</b>
<b>CV</b>	<b>7,2%</b>	<b>3,3%</b>	<b>3,3%</b>	<b>11,2%</b>	<b>17,1%</b>	<b>17,1%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>

El primer lado (a) de la probeta C30\_01 ha sido ensayado normalmente, pero al intentar ensayar el segundo lado se rompió la mordaza, antes de observar un desplazamiento de 1 mm del armado. Como la tensión de adherencia es una media aritmética de las tensiones observadas para desplazamientos de 0.01 mm, 0.1 mm y 1 mm, no se puede calcularla sin que se obtenga este desplazamiento. No obstante en este caso se ha optado por el cálculo de esta tensión utilizando el valor máximo soportado por la viga (correspondiente a un desplazamiento de 0,19 mm) puesto que el valor se aproxima con los obtenidos en la probeta C30\_02, indicando un posible defecto de fabricación en el lado a. En la se puede observar la probeta ensayada, el lado derecho de la foto se refiere al lado "a" y, visualmente, se puede observar que este lado presenta nichos exteriores que posiblemente se podrían reflejar en el contacto con la barra de acero. En este caso no se ha utilizado el valor medido en el primer lado (3,65 MPa), pero si el valor del segundo lado (5,25 MPa)



Figura B.1 – Ensayo de Adherencia a 3 días serie C30

El primer lado de la probeta C30\_02 se ha ensayado normalmente, si bien al intentar ensayar el segundo lado se rompió la mordaza, pero con un desplazamiento de la barra de acero superior a 1 mm. Es decir, el valor de la tensión de adherencia es real, aunque el valor de la tensión de rotura debería ser algo superior, por lo que el valor mostrado en rojo se refiere a la rotura de la mordaza.

La probeta D30\_01 a 3 días, ha presentado un acabado visual muy malo en uno de los dos lados (lado b), por lo que se decidió ensayar el otro lado primero, con el auxilio de la mordaza en el lado más desfavorable. Se puede observar que el lado "b" presenta menor valor de carga de rotura que el lado "a".

Asimismo, la probeta C60\_02 ensayada a 7 días ha presentado resultados peores que las dos probetas de la misma dosificación a 3 días. Este resultado no se considera en el análisis.

Además, en la serie D60 se nota un crecimiento considerable de adherencia de 3 para 7 días, y una reducción de resistencia a 28 días. Este comportamiento se debe principalmente a dos factores, por un lado un resultado muy bajo para la probeta D60\_01 a 28 días, y por otro, el resultado más elevado entre todos para la probeta 2 a 7 días. En este caso, el resultado a 28 días claramente es contradictorio, con lo que no se lo considera, ello se ve reflejado en el promedio y en el CV de esta edad.

En base a todos estos comentarios se ha considerado para el análisis del apartado 5.4.4 los valores promedios presentados en la anterior tabla. Asimismo, para obtener la figura 5.14 de dicho apartado se ha realizado regresiones no lineales a través del método de los mínimos cuadrados, la función empleada y los coeficientes se presentan en la Tabla B.2.

Tabla B.2 – Regresión no lineal para el ensayo de adherencia

$y = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$				
	C30_ad	D30_ad	C60_ad	D60_ad
a	7,73	8,67	10,25	10,04
b	0,47	0,52	0,81	0,80
R <sup>2</sup>	0,991	0,999	0,997	0,941
	C30_rot	D30_rot	C60_rot	D60_rot
a	13,39	14,02	16,56	16,22
b	0,66	0,87	0,62	0,48
R <sup>2</sup>	0,9994	0,9994	0,9995	0,9998

### B.3. RETRACCIÓN

#### B.3.1. Serie C30

Las medidas de retracción de la serie C30 se presentan divididas en dos partes. Inicialmente en la Figura B.2 se presentan las medidas desde el hormigonado hasta los 28 días (probetas conservadas en cámara húmeda) y, posteriormente, en la Figura B.3 se presentan las medidas a partir de los 28 días hasta la finalización de los ensayos (600 días). En la Figura B.2 puede verse que las curvas presentan varias alteraciones (picos), las cuales están asociadas a los distintos procesos realizados tal como se explica a continuación.

En dichas figuras cada curva representa una probeta correspondiente a los ensayos de retracción autógena (3 probetas), retracción total (3 probetas) y fluencia (2 probetas). En la citada figura B.2 se observan dos grupos de probetas, las probetas selladas expuestas al aire (correspondientes a la retracción autógena) y las probetas sumergidas en agua (correspondientes a la retracción total y fluencia). En ella, el rango positivo representa acortamiento mientras que el rango negativo representa expansión.

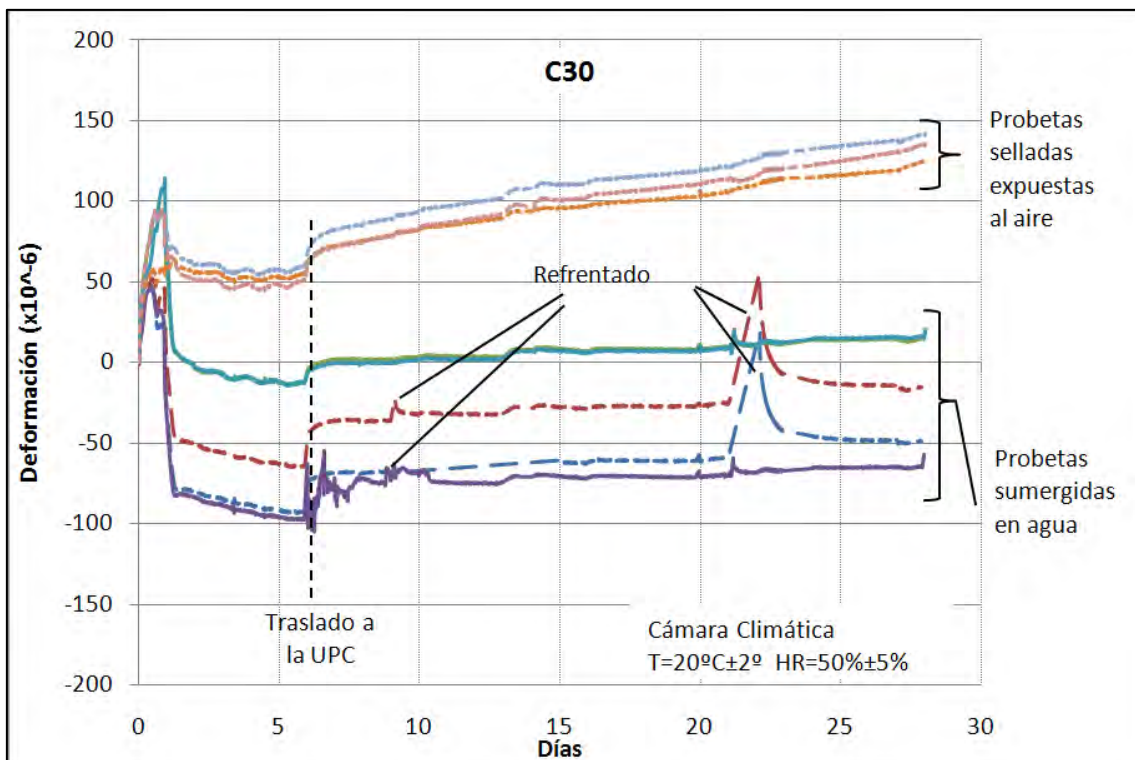


Figura B.2 – Deformaciones durante el curado (hasta los 28 días) – Serie C30

En las primeras 24 horas (1 día) se observa en todas las probetas una variación considerable de las medidas relacionada con el endurecimiento del hormigón. Con posterioridad, para las probetas sumergidas en agua, se observa una caída brusca en las curvas (expansión) debido a la absorción del agua en el hormigón lo que significa un hinchamiento de las mismas.

Al mismo tiempo, las probetas selladas y almacenadas en el aire (retracción autógena) presentan una pequeña reducción de los valores debido al desmoldeo de las mismas.

Desde el 1º día hasta el 6º día, se observa que las probetas de retracción autógena (selladas expuestas al aire) mantienen sus medidas constantes mientras las



otras probetas (sumergidas en agua) presentan una pequeña expansión debido a la absorción del agua.

A los 6 días, las probetas se trasladaron de la cámara climática de PROMSA a la cámara climática del LTE, lo que se refleja en las curvas en forma de un incremento de valores (retracción) como consecuencia de la manipulación y ligero secado en dichas operaciones.

De los 7 a los 28 días, todas las curvas asumen una tendencia en que se observa un pequeño incremento en la retracción. Para las probetas selladas expuestas al aire dicho incremento es de  $60 \times 10^{-6}$  m/m mientras que para las probetas sumergidas en agua el incremento promedio en el mismo periodo es de  $20 \times 10^{-6}$  m/m.

Dicha diferencia se debe al proceso de hidratación del cemento. Es decir, con la hidratación del cemento se produce una reducción de volumen en la pasta de cemento que asociada a la estructura rígida del esqueleto granular da origen a la reducción del volumen de hormigón y a la formación de poros.

Estos poros, en el caso de las probetas sumergidas se llenan de agua que además de dar continuidad a las reacciones de hidratación reduce la deformación de los mismos. En las probetas selladas expuestas al aire, el volumen de aire creado en estos poros se incrementa de acuerdo con la evolución del proceso de hidratación, al mismo tiempo que se reduce la humedad relativa interna de la pasta de cemento y por lo tanto la retracción autógena (Nawa y Horita, 2004).

Las 2 probetas que se han destinado a los ensayos de fluencia han sido refrentadas inicialmente (tal como ya se comentó en el capítulo 3) en el día 9, y debido a los problemas ya comentados han sido nuevamente refrentadas en el día 21. En el segundo proceso se han desconectado las probetas del sistema de adquisición de datos y después de 24 horas (día 22) se han vuelto a conectar. Ello se ve reflejado en el gráfico de ambas curvas en forma de un pico muy marcado, diferente del pico del día 9 que solo refleja un movimiento de las mismas.

A partir de los 28 días, las probetas, una vez sido retiradas del agua, se mantenido en el interior de la cámara climática del LTE. De ellas, los resultados de las dos probetas destinadas a los ensayos de fluencia se presentan en el apartado B.4, mientras que los resultados de la retracción medida en la serie C30 se presentan en la Figura B.3.

La figura B.3 representa las deformaciones en el periodo posterior al curado, de modo que el día 0 en la figura B.3 corresponde a los 28 días del curado de la figura B.2. Se ha adoptado dicho sistema de representación para facilitar los análisis de retracción total y fluencia, puesto que la mayoría de los modelos de estimación de deformación considera el periodo en que el hormigón este sometido al secado. Sin embargo, las lecturas de deformación de todas las probetas son continuas en las figuras B.2 y B.3, es decir el final del gráfico de la figura B.2 corresponde el inicio de la figura B.3.

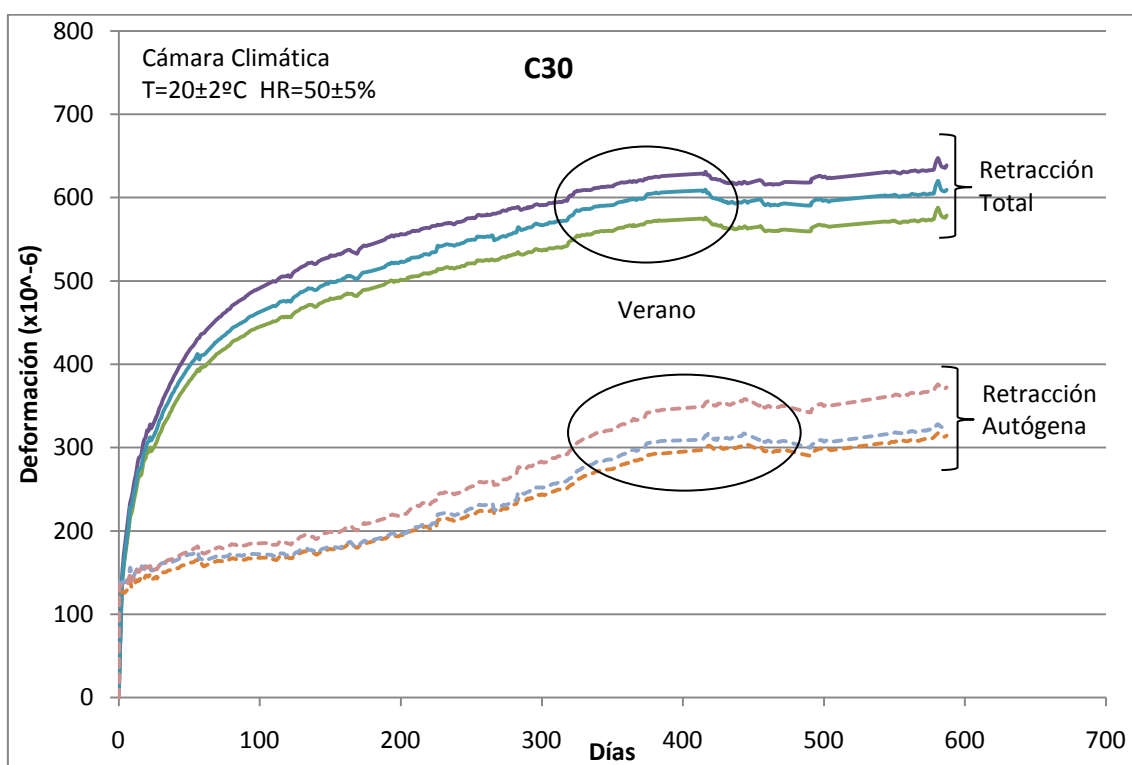


Figura B.3 – Deformaciones de retracción a partir de los 28 días – Serie C30

En dicha figura se observa una evolución de la retracción total similar en las 3 probetas, con valores del orden de los 0,6 mm/m. Dichos valores se consideran como la retracción máxima total que esta dosificación presenta, ya que el procedimiento empleado consiste en exponer las probetas a situaciones críticas de medio ambiente, es decir, inicialmente un curado óptimo (inmersión en agua) con una elevada absorción de agua y en seguida un ambiente seco (HR=50%) con elevada retracción por secado. También se puede observar que los incrementos de la retracción total no son relevantes una vez obtenidos los 365 días.

Asimismo, entre los 320 a 420 días se observa una alteración en todas las curvas. Este periodo corresponde al verano del año 2008, lo que puede haber influido

en la temperatura de la cámara climática ocasionando una mayor retracción. Se observa que las alteraciones en las probetas correspondientes a la retracción autógena ocurren de modo más lento, puesto que dichas probetas están selladas.

Por otro lado, se nota un comportamiento anormal de la retracción autógena, con valores que siguen aumentando hasta los 590 días de ensayo. Asimismo, se puede observar que alrededor de los 150 días ocurre un cambio de tendencias en dichas series. Dicha alteración se puede observar mejor en una escala semi-logarítmica, tal como se muestra en la Figura B.4.

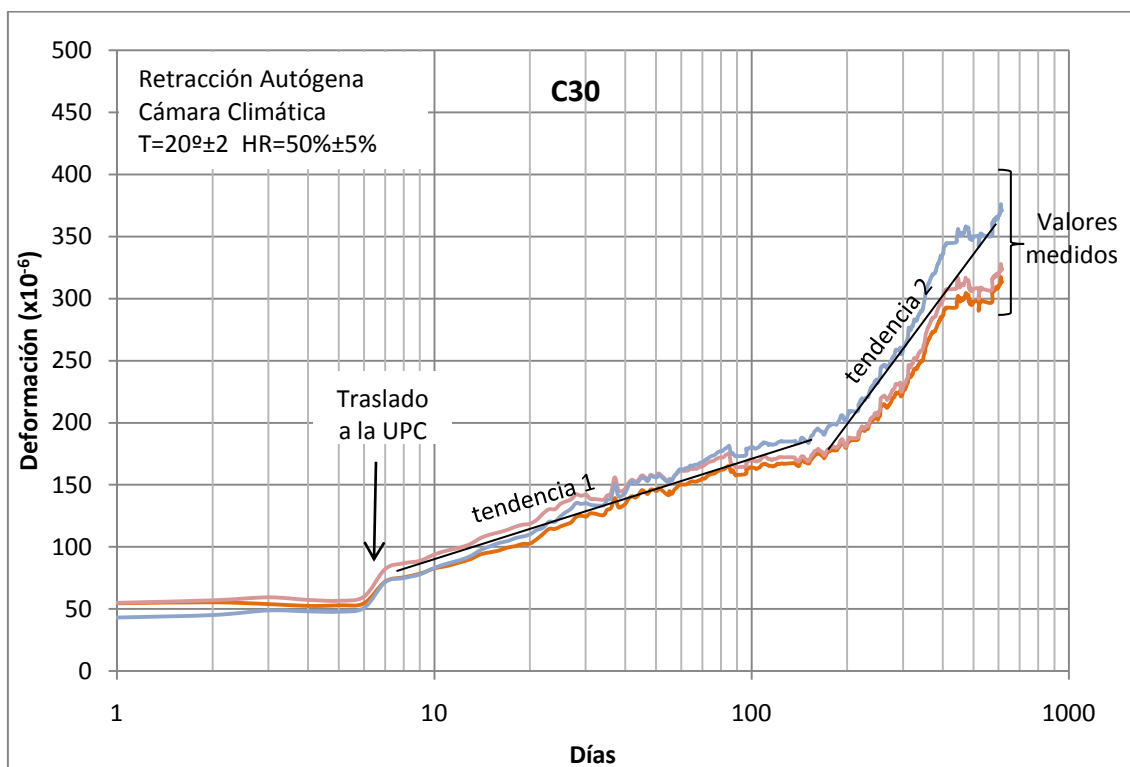


Figura B.4 – Retracción autógena con inicio en el hormigonado  
Serie C30 escala semi-logarítmica

En ella, se ha considerado todo el período de retracción autógena, es decir, el origen del eje del tiempo coincide con el hormigonado, por ello los datos del día 1 corresponden al desmoldeo.

La forma de la evolución de la retracción autógena esperada era similar a la forma de evolución de la retracción autógena en los hormigones convencionales, ya que la mayor parte de la retracción autógena de un hormigón convencional se desarrolla en las primeras edades (Aitcin, 1999).

Una posible explicación para los valores medidos sería un fallo en el sistema de sellado, que ha dejado de funcionar permitiendo que ocurriera retracción por secado. Sin embargo, Mazzotti, et al (2007) obtienen un comportamiento similar al observado en este estudio para la retracción autógena de hormigones autocompactantes, con valores que aumentan considerablemente a partir de los 100 días. Del mismo modo Carbonari (1996) estudia la retracción autógena en hormigones de alta resistencia y obtiene un comportamiento muy distinto de hormigones normales, con valores que aumentan considerablemente a edades cercanas a los 100 días.

El sistema de sellado de parafina y cinta de aluminio ha sido empleado con éxito por Carbonari et al (2002) mientras que Jiang et al (2005) y Menghao y Ni (2005) utilizan solo la parafina para sellar las probetas y Ambrosia et al (2005), Persson (2005), Rosière et al (2005) y Reinhardt et al (2008) utilizan solo la cinta de aluminio. Sin embargo, ninguno de ellos ha empleado el sistema de sellado por períodos superiores a los 150 días. Con lo que se concluye que los cambios de tendencias observados deben estar asociados a una pérdida de eficiencia en el sellado. Dicho comportamiento se ha analizado conjuntamente con las otras series en el capítulo 6.

### **B.3.2. Serie D30**

Del mismo modo que en la serie C30, las medidas de retracción de la serie D30 se presentan divididas en dos partes. Inicialmente, en la Figura B.5 se presentan las medidas desde el hormigonado hasta la finalización del período de curado (28 días) incluyendo las medidas en las probetas de fluencia. Posteriormente en la Figura B.6 se presentan las medidas a partir de los 28 días hasta la finalización de los ensayos (600 días). En dichas figuras cada curva representa una probeta.

En ella, se puede observar que tanto las probetas inmersas en agua como las probetas selladas y expuestas al aire han presentado resultados muy similares entre sí, lo que puede ser consecuencia de que el ensayo ha funcionado correctamente.

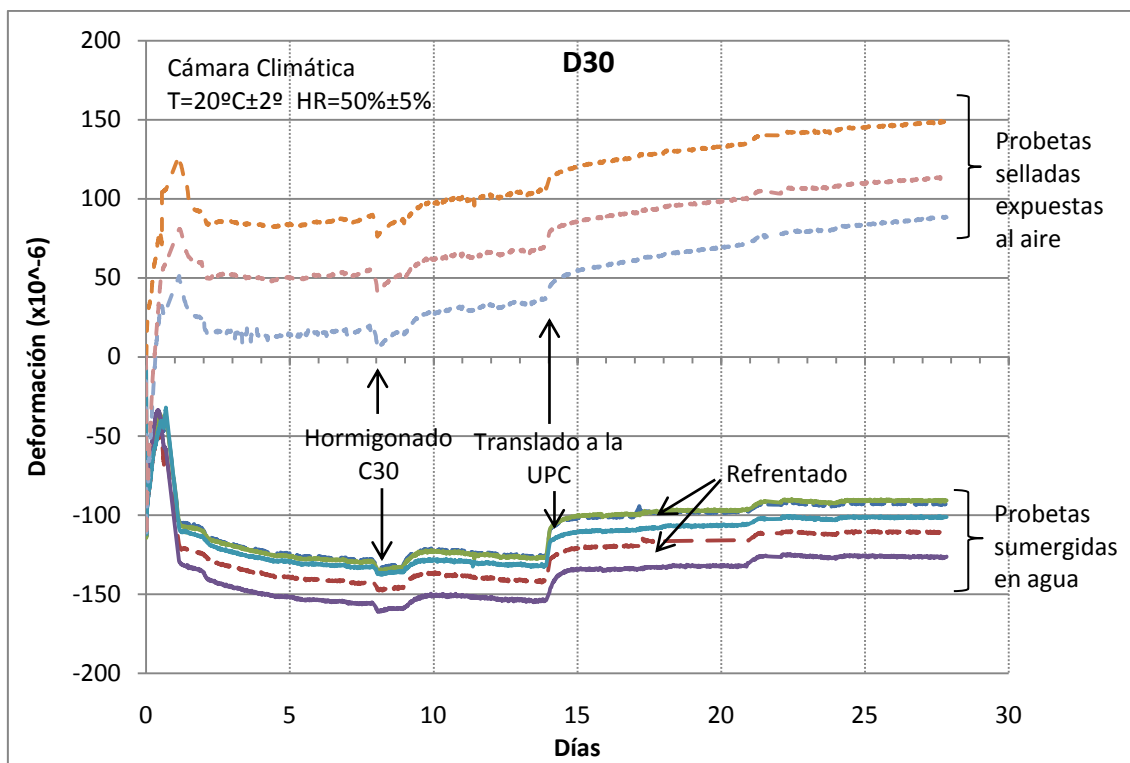


Figura B.5 – Deformaciones durante el curado (hasta los 28 días) – Serie D30

Durante el período de curado de esta serie se ha realizado el hormigonado de la serie C30. Tal como ya se ha comentado en el capítulo 3, el hormigonado de las probetas de retracción y fluencia ha sido realizado directamente en el interior de la cámara climática, y para ello, se ha abierto (abriendo y cerrando) la puerta de la cámara durante aproximadamente 1 hora, ocasionando una alteración en la humedad relativa y temperatura de la cámara. Ello se ve reflejado en las probetas de la serie D30 que en este momento estaban almacenadas en el interior de la cámara, tal como se muestra en la figura B.5.

En ella se nota que dicho cambio de temperatura y humedad relativa influye de forma más significativa en las probetas almacenadas al aire que en las probetas sumergidas en agua, lo que es consecuencia del mayor calor específico del agua en relación al aire, lo que hace que los cambios de temperatura en el agua ocurran de manera más lenta que en el aire. En base a ello, se concluye que el sistema de sellado no es capaz de aislar totalmente el hormigón de los cambios de temperatura.

Por otra parte el traslado de las probetas a la cámara climática de la UPC se ve reflejado en el día 14, así como el proceso inicial del refrentado de las probetas de fluencia el día 17, si bien en menor medida.

En la figura B.6 se presentan los resultados de la retracción total y autógena, de la serie D30, a partir del periodo de secado, esto es, tras extraer las probetas correspondientes a la retracción total de la inmersión en agua a los 28 días. Sin embargo, se parten de los valores medidos previamente a esa edad.

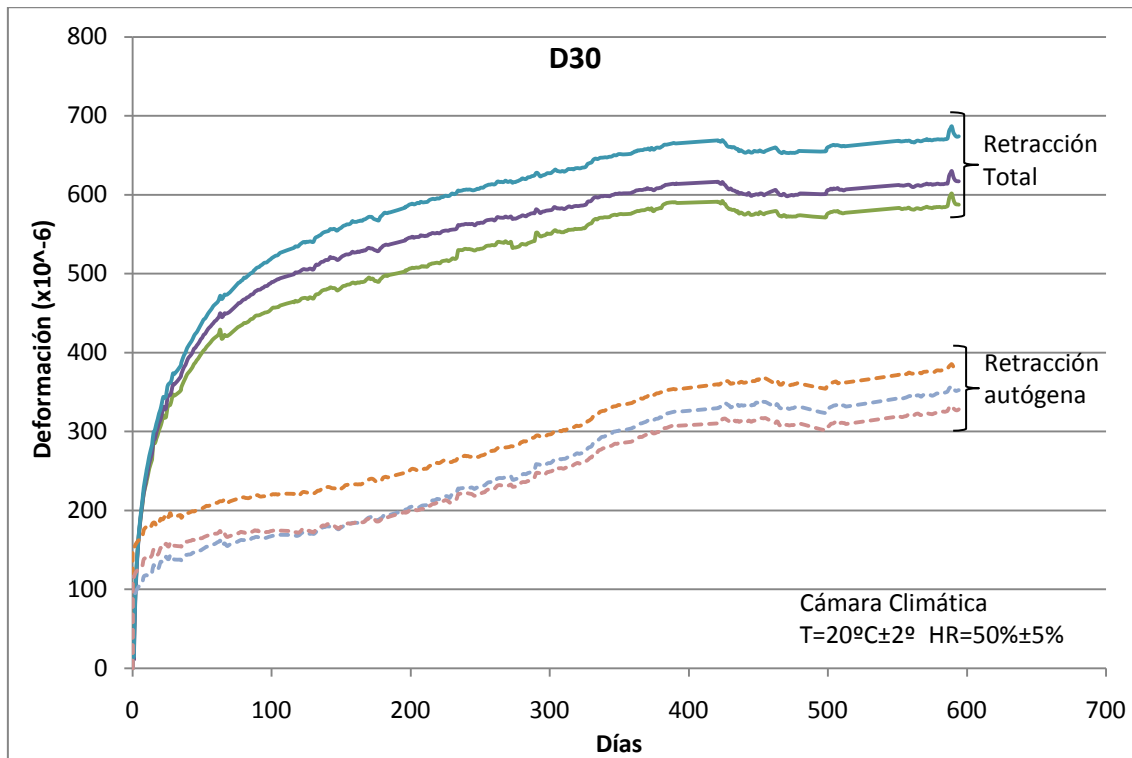


Figura B.6 – Deformaciones de retracción con inicio a los 28 días (secado) – Serie D30

En dicha figura se observa una evolución de la retracción total similar en las 3 probetas, con valores del orden de los 0,62 mm/m. También se puede observar que la retracción total se estabiliza una vez alcanzados los 400 días después del curado.

Por otro lado, tal como se ha comentado en la serie C30 se nota un comportamiento anormal de la retracción autógena, sin que esta se haya estabilizado al final de los 590 días de ensayo. Alrededor de los 100 días se observa una tendencia de estabilización pero que se mantiene por 60 días y en seguida la retracción autógena vuelve a incrementarse de manera significativa como se puede apreciar en la figura B.7.

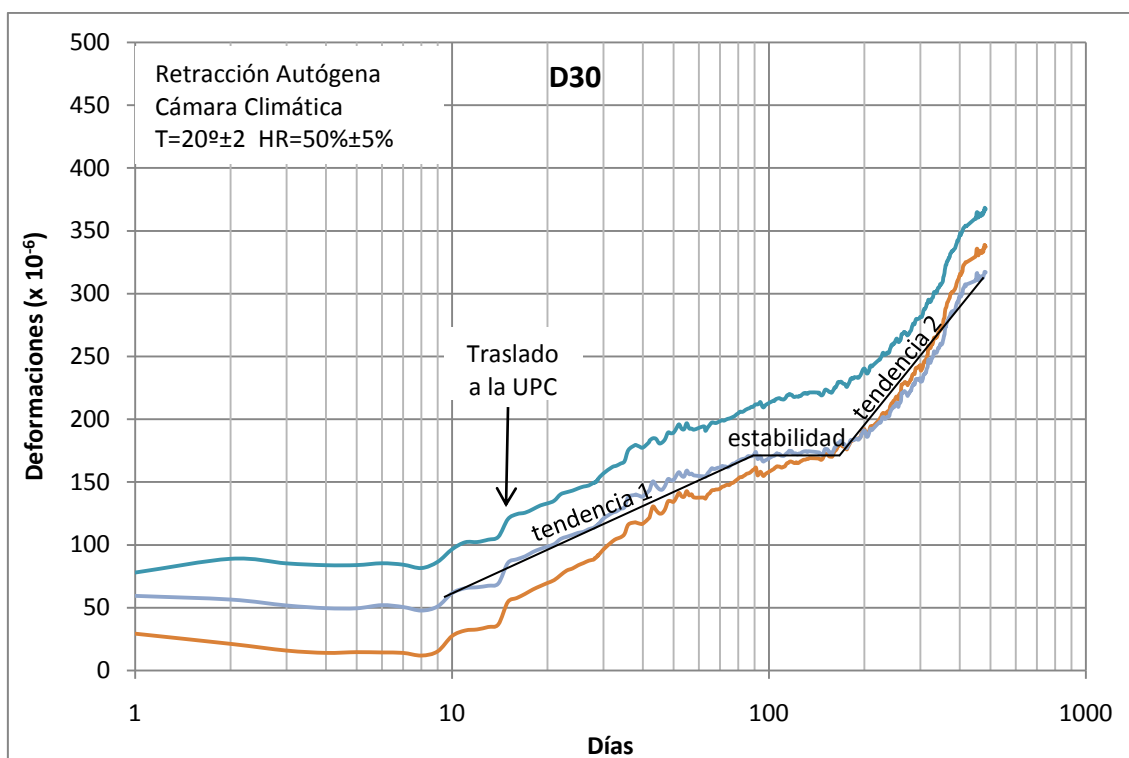


Figura B.7 – Retracción autógena con inicio en el hormigonado – Serie D30 escala semi-logarítmica

El comportamiento observado para esta serie es muy similar al de la serie C30, con valores del mismo orden de magnitud. Además, las tendencias de las curvas de los datos experimentales no están de acuerdo con el modelo del euro-código 2. También se puede observar la misma tendencia de estabilidad alrededor de los 100 con posterior incremento de la retracción autógena.

### B.3.3. Serie C60

Los resultados correspondientes a las medidas de retracción de la serie C60 se exponen en las figuras B.7 a B.9. La figura B.7 corresponde al periodo de curado, donde se incluyen las probetas de fluencia, tal como ya se ha comentado en las series anteriores.

Cabe recordar que la serie C60 ha sido la primera en el orden cronológico a ser fabricada. Por ello en la figura B.8 se puede observar la influencia de los cambios de temperatura y humedad del aire causado por los hormigonados de las otras tres series (donde se ha mantenido la puerta de la cámara climática abierta) así como el traslado de dichas probetas al laboratorio de la UPC.

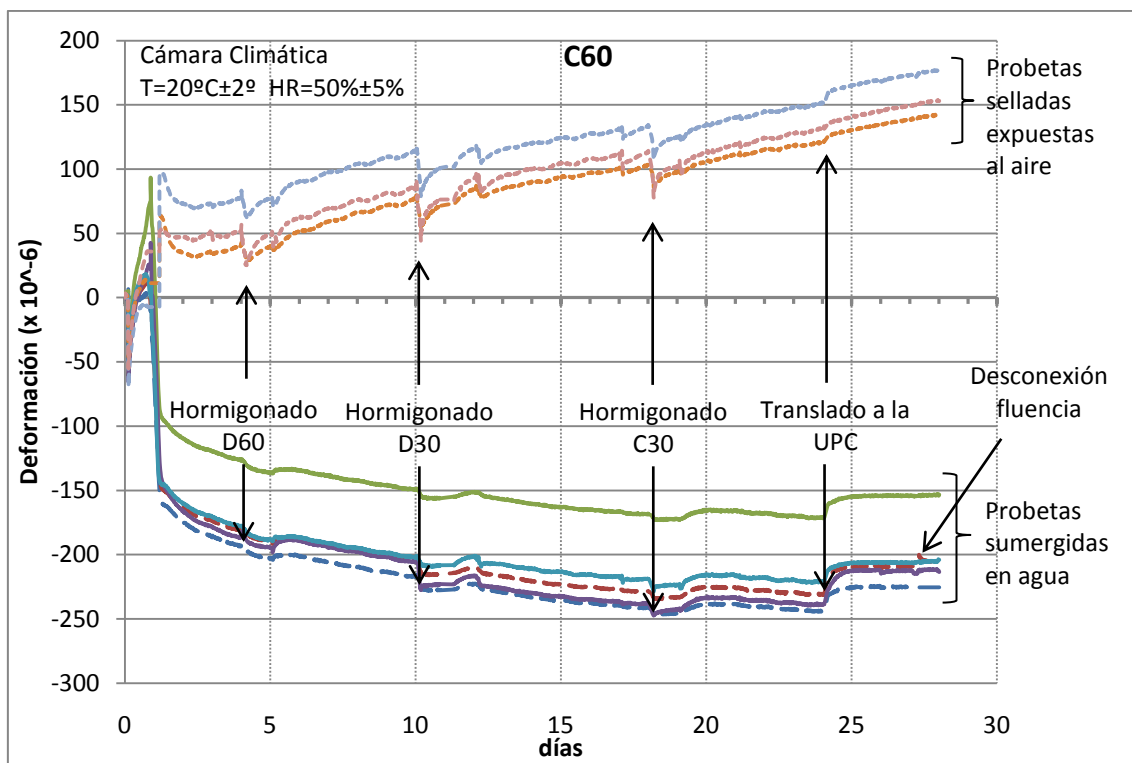


Figura B.8 – Deformaciones durante el curado (hasta los 28 días) – Serie C60

En la misma figura se observa que el comportamiento de las probetas sumergidas en agua ha sido muy similar en todas las probetas, con valores de expansión del orden de los 0,18 a 0,25 mm/m (desconsiderando la expansión ocasionada por el traslado a la UPC), algo superior a los medidos para las series C30 y D30. Ello debe estar asociado a la mayor cantidad de finos de dicha dosificación que, presentan una mayor capacidad de absorción y consecuentemente una mayor hidratación del cemento en esta etapa

El comportamiento de las probetas expuestas al aire (retracción autógena) durante los primeros 28 días se observa en la anterior figura, dichos resultados continúan en la figura B.9 que corresponde al periodo de secado de las probetas destinadas a retracción total (sumergidas en agua durante el curado). Asimismo, las medidas de las probetas correspondientes a la retracción total también continúan en la figura B.9 aunque en ella no aparecen los valores negativos.



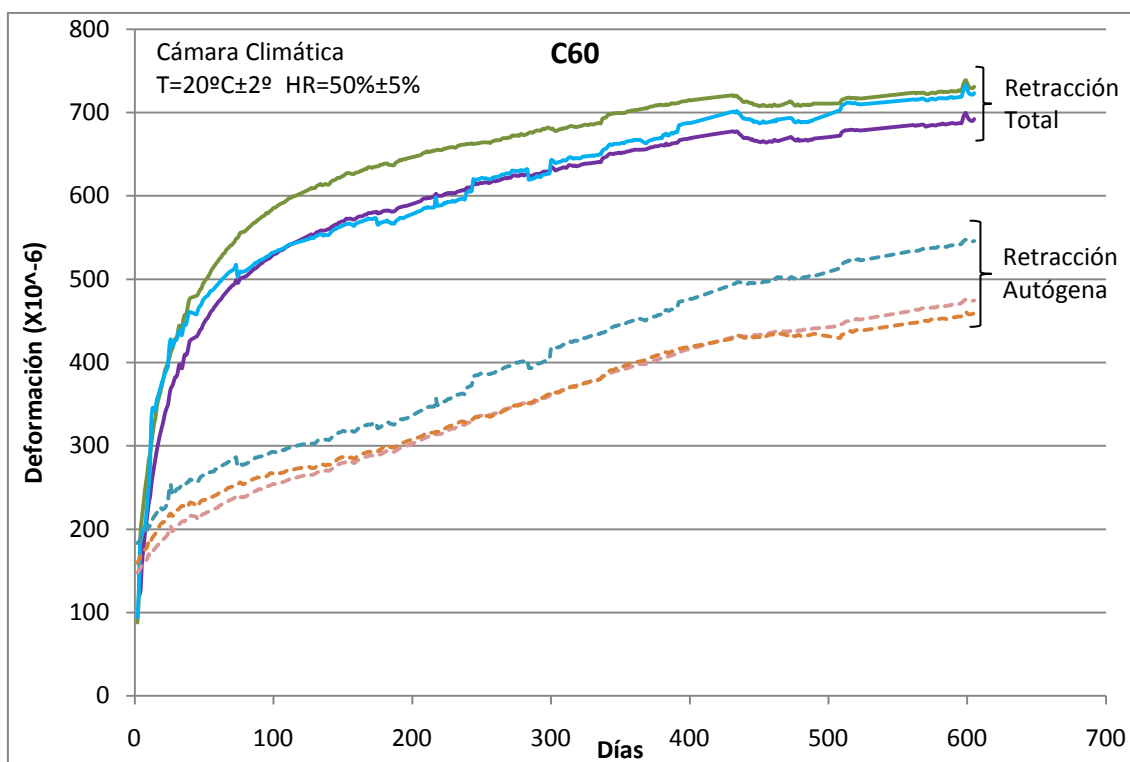


Figura B.9 – Deformaciones de retracción con inicio a los 28 días (secado) – Serie C60

En ella se observa que la retracción total aun no se ha estabilizado al final de los 600 días de ensayo, aunque su crecimiento es muy pequeño en estas edades; a los 365 días ya se obtuvo un 95% del valor medido al final de los 605 días de ensayo. En contraste a las series de baja resistencia (C30 y D30), donde la retracción total ya no presentaba incrementos significativos, dicha serie presenta un contenido de cemento más elevado con lo que las reacciones de hidratación siguen implementando aun que ligeramente el valor de la retracción.

A la diferencia de los hormigones convencionales en que la retracción autógena representa un porcentaje pequeño de la retracción total (Metha y Monteiro, 2008), se observa que en los HAC, en particular a los de más elevada resistencia como la serie C60, la retracción autógena representa más de un 60% de la retracción total. Ello está de acuerdo con el Anejo 17 de la EHE-08, y se puede relacionar al mayor contenido de finos presentes en este tipo de hormigón. Asimismo, en los hormigones de alta resistencia (*high performance concrete*) la retracción autógena también es significativa con valores hasta de  $700 \times 10^{-6}$  m/m (Neville, 1995). Con lo que se puede concluir que los finos tienen un papel importante en la retracción autógena.

En esta serie no se observa un cambio de tendencias de la evolución de la retracción autógena, por el contrario, su evolución es prácticamente lineal con el tiempo. De modo que en la figura B.10 se presenta la retracción autógena en una escala semi-logarítmica.

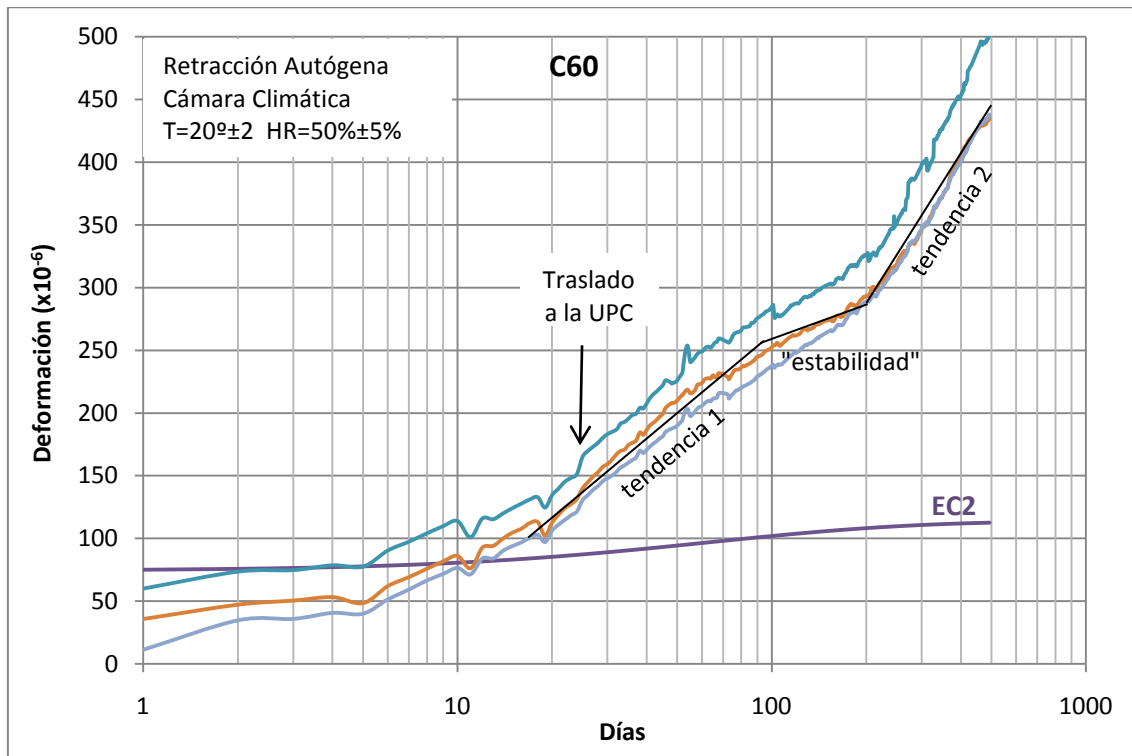


Figura B.10 – Retracción autógena con inicio en el hormigonado – Serie C60 escala semi-logarítmica

De forma análoga a las series anteriores, el comportamiento de la retracción autógena en la serie C60 no está de acuerdo con el modelo del euro-código 2 expuesto en la misma figura. También se aprecia la presencia de una primera tendencia hasta los 90 días, con una posible estabilidad hasta los 200 días y un cambio de tendencia a partir de los 200 días. Diferente de las series anteriores, las deformaciones no han sido totalmente estables entre los 90 y los 200 días, pero su incremento se ha reducido indicando una posible estabilidad, lo que no ha pasado probablemente por el fallo del sistema de sellado.

### B.3.4. Serie D60

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para la serie D60. En la figura B.11 se representa las deformaciones durante el período de curado de las 8 probetas.

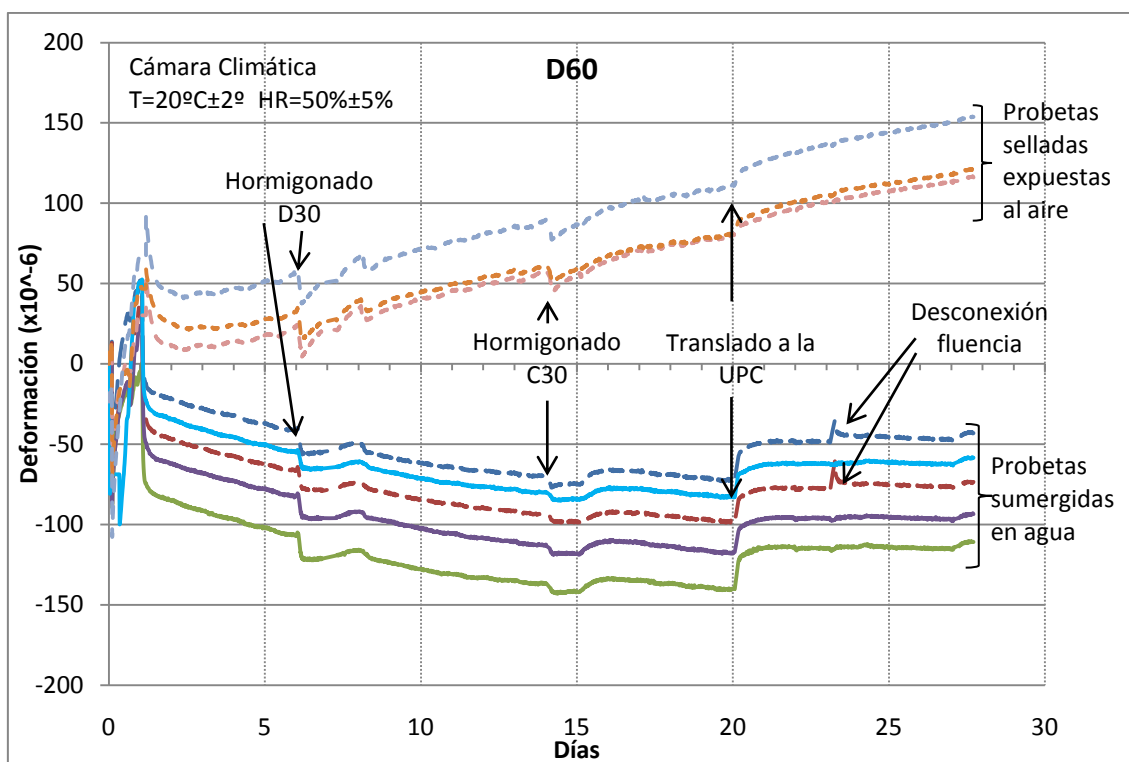


Figura B.11 – Deformaciones durante el curado (hasta los 28 días) – Serie D60

La serie D60 fue la segunda que se fabricó en el orden cronológico. Por ello en la figura B.11 correspondiente al periodo de curado se puede ver los cambios de deformaciones impuestas a las probetas debido al cambio de la temperatura y humedad relativa ocasionados por el hormigonado de las siguientes series (D30 y C30).

En la misma figura se observa que el comportamiento de las probetas sumergidas en agua ha sido muy similar en todas ellas, con valores de expansión del orden de los 0,075 a 0,15 mm/m si no se tiene en cuenta el efecto del traslado a la UPC.

En las cuatro series se observa que las probetas se han expandido hasta el traslado a la UPC y después de ello se han mantenido estables sin presentar retracción o expansión, independiente de la edad del hormigón. El período que las probetas han estado fuera del agua ha sido de 3 horas durante el traslado. Ello ha generado un secado en las mismas y una retracción entre 0,015 a 0,020 mm/m. La única diferencia entre las condiciones de almacenamiento antes y después del traslado ha sido el cambio del agua, ya que no se la ha trasladado debido a la dificultad de mover el recipiente dentro de la cámara climática debido a su peso. Dicho proceso no explica el hecho de que las probetas dejaren de expandirse.

Por otro lado, el cambio de laboratorios no ha afectado las deformaciones en las probetas selladas expuestas al aire, cuyos resultados se muestran en la figura B.12.

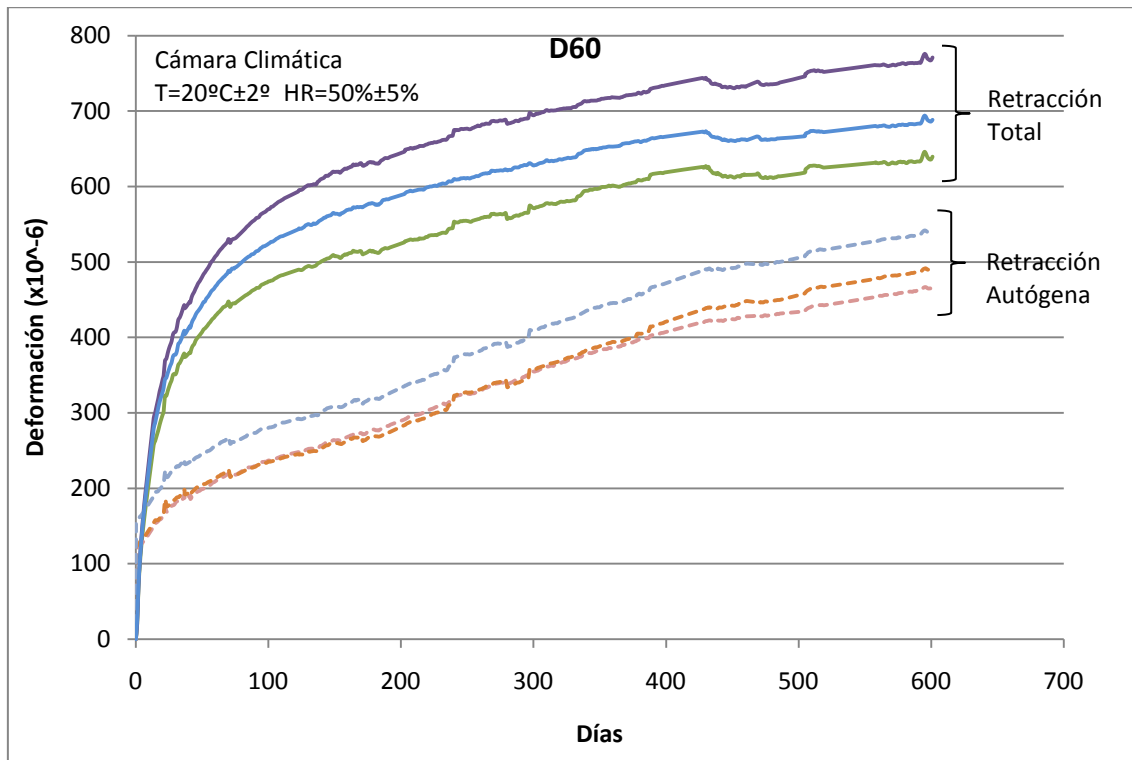


Figura B.12 – Deformaciones de retracción con inicio a los 28 días (secado) – Serie D60

Dicha figura hace referencia al período de secado de las probetas de retracción total. Tal como la serie C60 la retracción total aun no se ha estabilizado al final de los 600 días de ensayo, aunque su crecimiento es pequeño en estas edades. Asimismo, se puede observar que la retracción autógena representa un gran porcentaje de la retracción total.

Además, hasta los 180 días la retracción total se incrementa de modo más rápido que la retracción autógena, lo que es esperado, ya que además de la retracción autógena dichas probetas están expuestas al secado. Entretanto, a partir de los 180 días la deformación de las probetas selladas se incrementa ligeramente más que las probetas no selladas; de tal modo que a los 180 días la retracción autógena representaba un 50% de la total y a los 600 días este porcentaje sube a un 71%. Dicho comportamiento se deriva de un cambio de tendencias en las deformaciones de retracción autógena y se aprecia más claramente en una escala semi-logarítmica como se representa en la figura B.13.

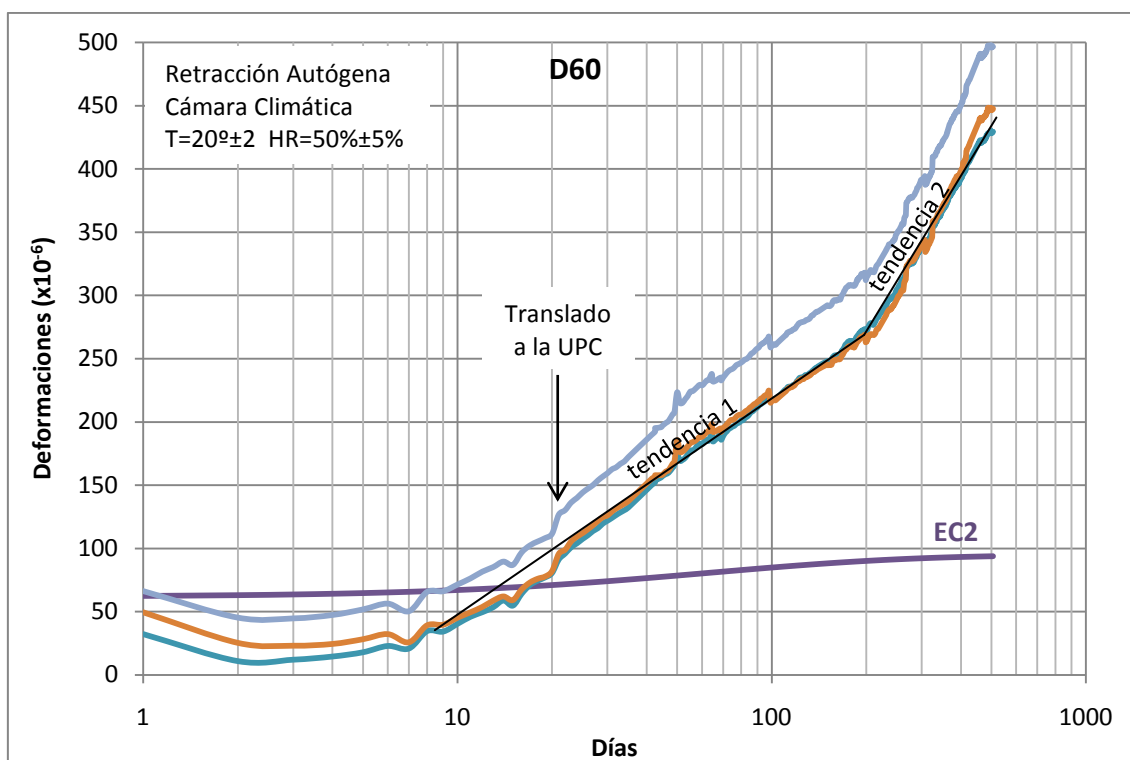


Figura B.13 – Retracción autógena con inicio en el hormigonado – Serie D60 escala semi-logarítmica

La serie D60, diferentemente de las series anteriores no presenta un período de estabilización de deformaciones, simplemente un cambio de tendencias alrededor de los 200 días. Ello indica que dicha serie necesitaría más tiempo para cesar sus deformaciones debido a las reacciones químicas inherentes al hormigón.

## B.4. FLUENCIA

### B.4.1. Serie C30

Las deformaciones de fluencia medidas en la serie C30 referente a la aplicación de una carga de 17,87 MPa (correspondiente al 40% de la carga de rotura) se exponen en la figura B.14. Cabe recordar que del valor total medido experimentalmente en las probetas se ha restado la parcela referente a la retracción, como se ha comentado en el apartado anterior.

En ella se observa que la aplicación de la carga ha generado una deformación inicial de 0,553 mm/m. Dicha deformación depende de la velocidad de aplicación de la carga y, en consecuencia, no solo incluye la deformación elástica, sino también cierta fluencia. Es difícil distinguir con precisión la deformación elástica inmediata y la

fluencia temprana en el bastidor de carga, pero se puede calcular utilizando el módulo de deformación medido. De este modo la deformación elástica calculada es de 0,499 mm/m y la diferencia es la fluencia temprana.

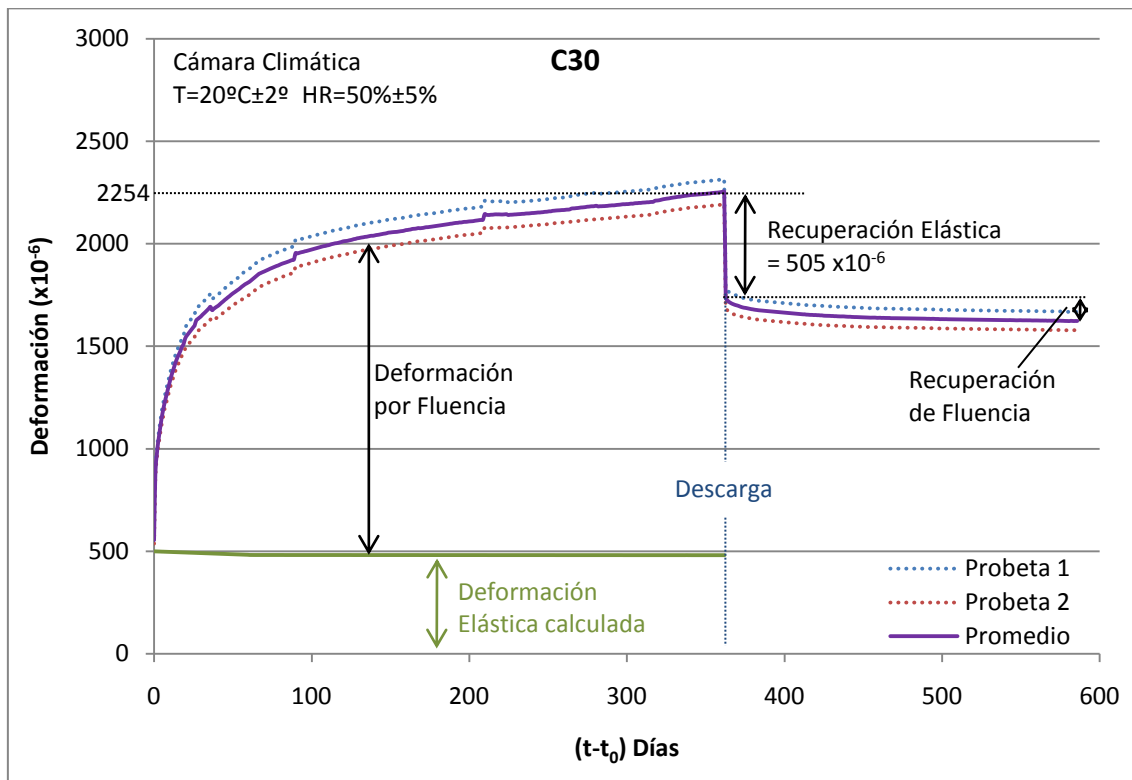


Figura B.14 – Deformaciones bajo carga sostenida – Serie C30.

Puesto que el módulo de deformación aumenta con la edad (tal como se ha presentado en el capítulo 5), la deformación elástica va disminuyendo gradualmente y, en términos estrictos, la fluencia se debe tomar como una deformación que sobrepasa la deformación elástica. En base a los valores medidos del módulo de elasticidad a diferentes edades (3, 7, 28, 90 y 365 días) expuestos en el Capítulo 5, se puede calcular la deformación elástica en dichas edades e interpolar los valores para las edades intermedias, tal como se muestra en la anterior figura B.14. En la figura B.15, se muestra la fluencia real, calculada de la diferencia entre las deformaciones bajo carga sostenida y las deformaciones elásticas calculadas.

En ella se muestra el período de mantenimiento de la carga de 365 días, sin considerar las deformaciones elásticas. Mientras en la figura B.14 se observa una deformación final de 2,254 mm/m referente a la deformación elástica más fluencia a los 365 días, en esta figura se observa que la deformación de fluencia es de 1,774 mm/m y la diferencia entre ellas es la deformación elástica calculada de 0,480 mm/m. Considerando que el coeficiente de fluencia es la relación entre la deformación de

fluencia y la deformación elástica, a los 365 días el coeficiente de fluencia es de 3,7. Del mismo modo considerando que la y la fluencia específica es la relación entre la deformación medida y la tensión aplicada la fluencia específica a los 365 días es de  $99,3 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ .

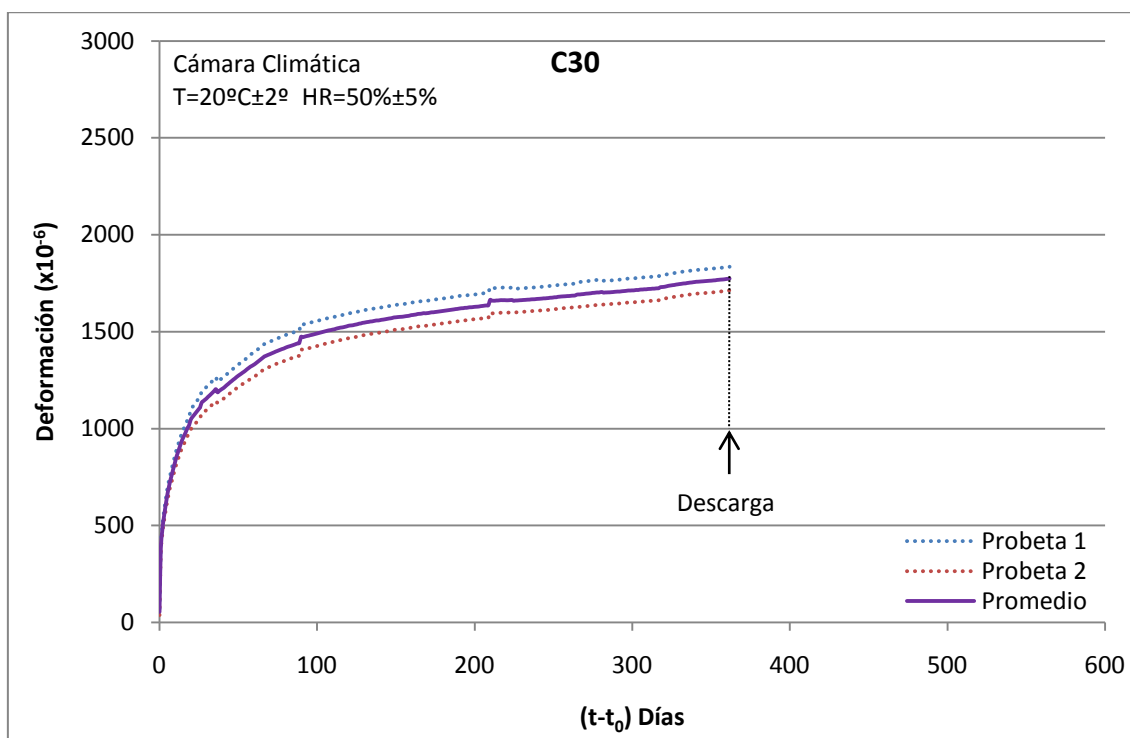


Figura B.15 – Deformaciones de fluencia – Serie C30.

A los 365 días se ha realizado la descarga del bastidor, dicho proceso ha generado una recuperación instantánea de deformación de 0,505 mm/m, nuevamente debido a la velocidad de la retirada de la carga dicha deformación, no solo incluye la recuperación elástica, sino también cierta recuperación de fluencia temprana. Utilizando el módulo de elasticidad medido se ha calculado que la deformación elástica es de 0,480 mm/m, y por lo tanto la diferencia es la recuperación de fluencia temprana.

Además con el pasar de 225 días posteriores a la descarga se ha recuperado 0,125 mm/m, que corresponde a la recuperación de fluencia. Aunque la recuperación de fluencia ocurre de forma más rápida que la fluencia, la reversibilidad de la fluencia no es total, y se puede dividir la fluencia en dos partes, la fluencia reversible y la fluencia irreversible. Parte de la fluencia reversible se puede relacionar con las deformaciones elásticas retrasadas por los áridos, que es totalmente recuperable (Metha y Monteiro, 2008). En el caso de la serie C30 la fluencia reversible medida ha sido de 0,125 mm/m mientras que la fluencia irreversible ha sido de 1,624 mm/m, lo que representa que un 8% de fluencia medida es reversible.

**B.4.2. Serie D30**

Para la realización del ensayo de fluencia en la serie D30 se ha aplicado una carga de 18,13 MPa (correspondiente al 40% de la carga de rotura), siendo que las deformaciones medidas se exponen en la figura B.16.

En ella se observa que la diferencia entre las dos probetas es más significativa en esta serie que en la C30, así como también se pudo observar en los gráficos de retracción. Esto no era esperado ya que las probetas han sido moldeadas conjuntamente por el mismo operador, con hormigón de la misma amasada, el proceso de curado ha sido exactamente el mismo y además han estado en un mismo bastidor de carga, con lo que se garantiza que la carga ha sido la misma. La única explicación para ello es una diferencia en la estructura granular, es decir en una de las probetas el esqueleto granular es más rígido que en la otra, o bien una probeta presenta más áridos que la otra. Esto no se puede asociar a la dosificación de modo general ya que esta diferencia no se ha observado en las otras propiedades en estado endurecido expuestas en el capítulo 5.

En la misma figura se puede apreciar que la deformación instantánea (0,632 mm/m) es algo superior a la deformación de la serie C30, siendo que la parte elástica calculada es de 0,526 mm/m. También se nota que la deformación promedio a los 365 días es superior en esta serie.

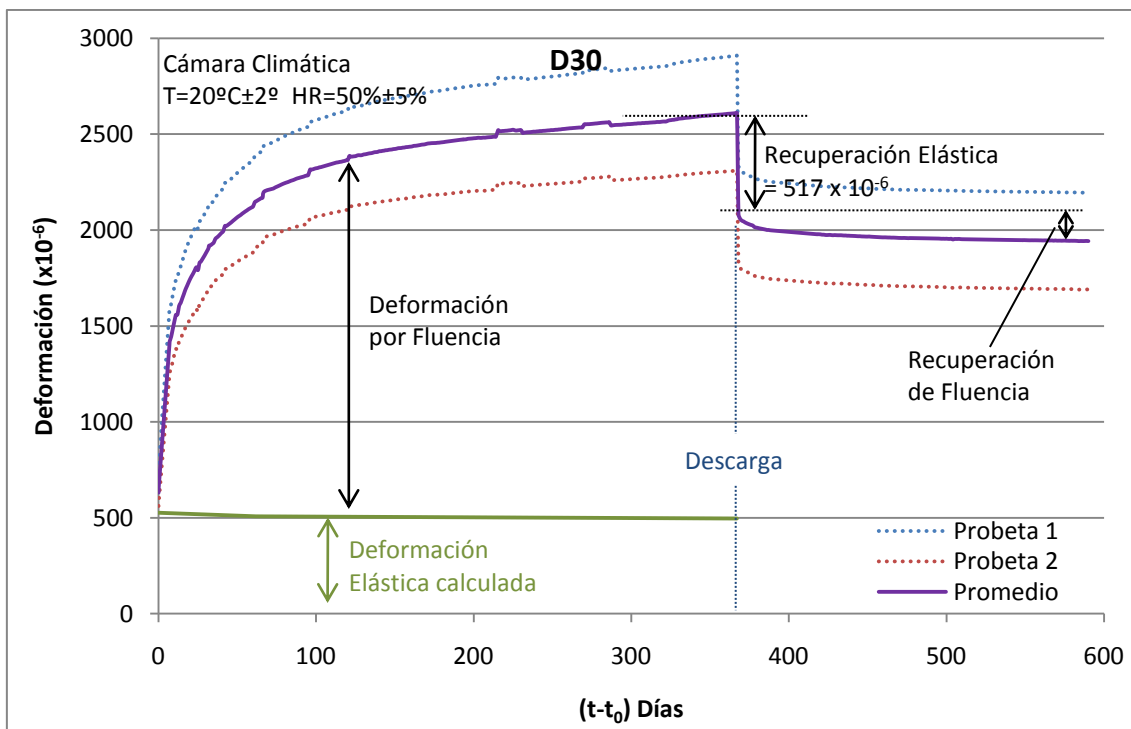


Figura B.16 – Deformaciones bajo carga sostenida – Serie D30.



Las deformaciones por fluencia desconsiderando la parcela de deformación elástica calculada se presentan en la figura B.17

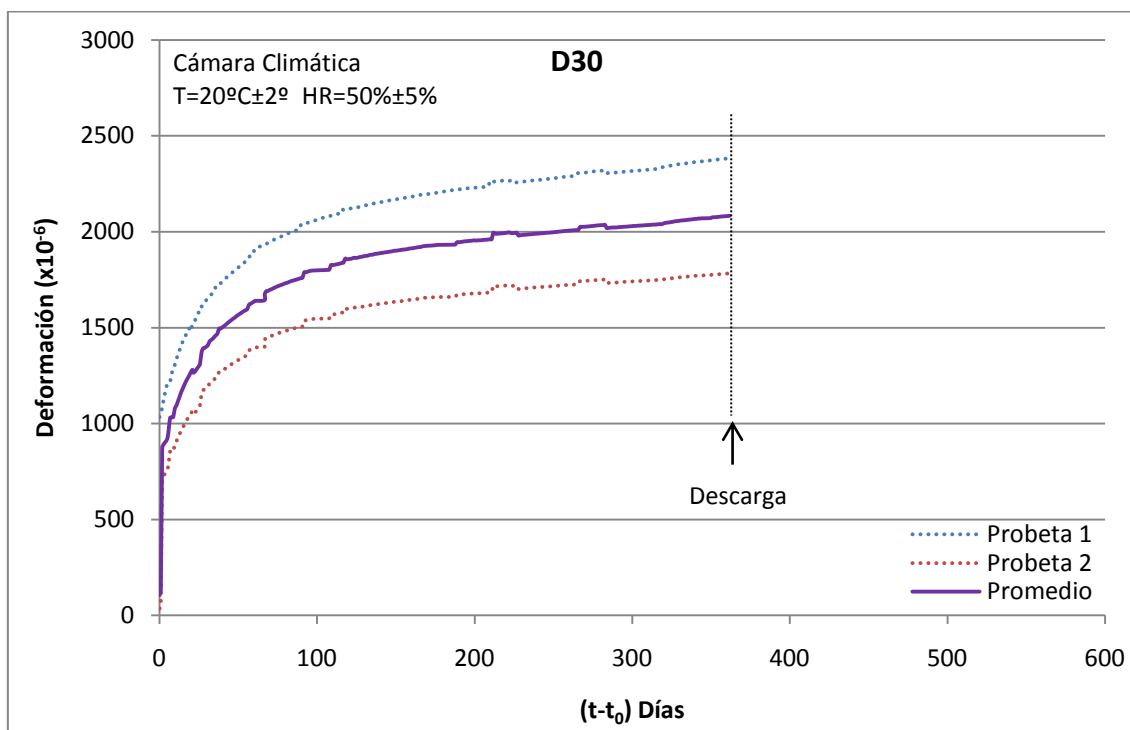


Figura B.17 – Deformaciones de fluencia – Serie D30.

En ella se puede observar que la fluencia en esta serie es algo superior a la serie C30 considerando valores promedios. La deformación por fluencia es de 2,083 mm/m mientras la deformación elástica calculada en esta edad es de 0,487 mm/m. De esta forma el coeficiente de fluencia en esta edad es de 4,2 y la fluencia específica es de  $115 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ .

A los 365 días se ha realizado la descarga del bastidor, generando una recuperación instantánea de deformación de 0,517 mm/m. Utilizando el módulo de elasticidad medido se ha calculado que la deformación elástica es de 0,496 mm/m, y por lo tanto la diferencia es la recuperación de fluencia temprana.

Además con el pasar de 225 días posteriores a la descarga se ha recuperado 0,139 mm/m, que corresponde a la recuperación de fluencia.

#### B.4.3. Serie D60

En la serie D60 se ha aplicado una carga de 24,53 MPa. Las deformaciones de fluencia medidas en ella se exponen en la figura B.18.

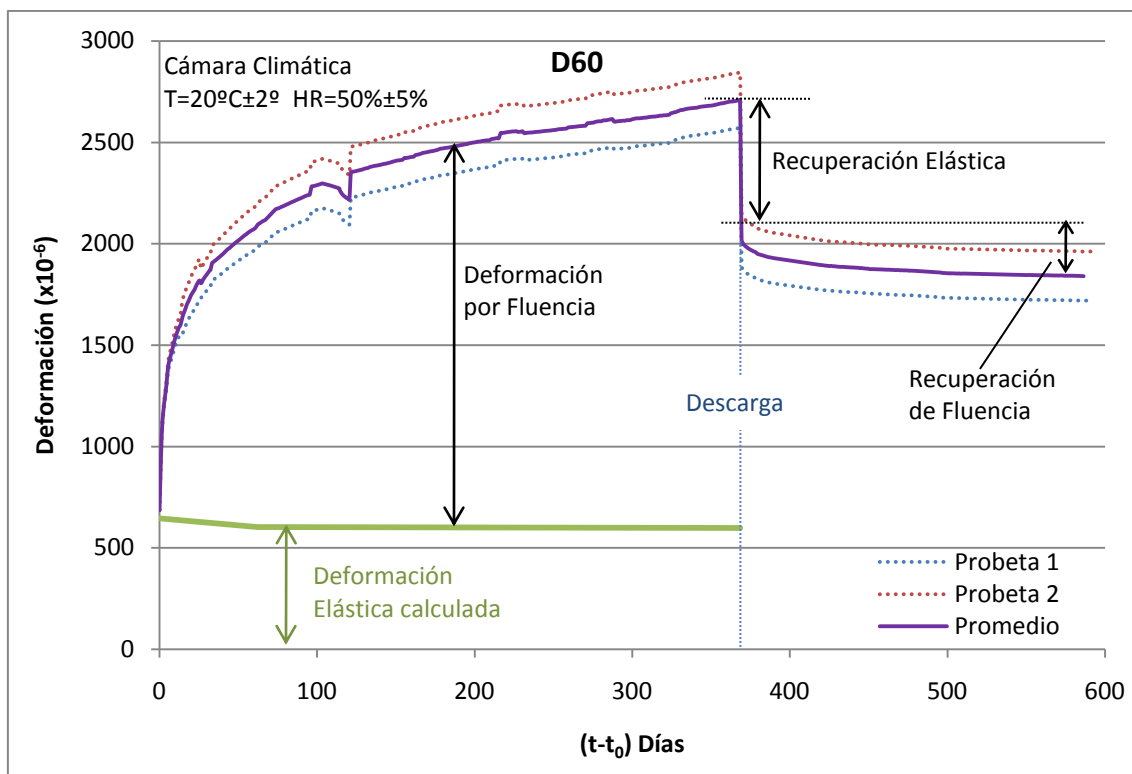


Figura B.18 – Deformaciones bajo carga sostenida – Serie D60.

En ella se observa que la diferencia entre los resultados de las dos probetas es menor que en la serie D30, con lo que se concluye que la dispersión observada en la serie D30 no está asociada al esqueleto granular pero sí al proceso de ejecución.

También se nota en esta serie una pérdida de carga ocurrida en el bastidor, en el día 113. Ello se refleja en el gráfico como una reducción de las deformaciones. La reducción de la carga ocurrió de forma lenta debido a una pequeña fuga de aceite, lo que se ve reflejado en una reducción lenta del gráfico. Una vez identificada y reparada la fuga, se restableció la carga del bastidor, con lo que el gráfico recupera la deformación de modo rápido.

Además, la deformación instantánea es algo superior a la deformación elástica calculada que es de 0,646 mm/m, siendo que la diferencia es la fluencia temprana. La dificultad de separar la fluencia temprana de la deformación elástica en el bastidor está asociada a que no se puede determinar exactamente el momento en que toda la carga aplicada en el bastidor ha sido transmitida a las probetas. Entretanto, ello no tiene mayor importancia ya que con el ensayo de módulo de elasticidad expuesto en el capítulo 5 se puede obtener la componente elástica con precisión. Con dichos valores calculados se obtiene la fluencia real, tal como se muestra en la figura B.19.

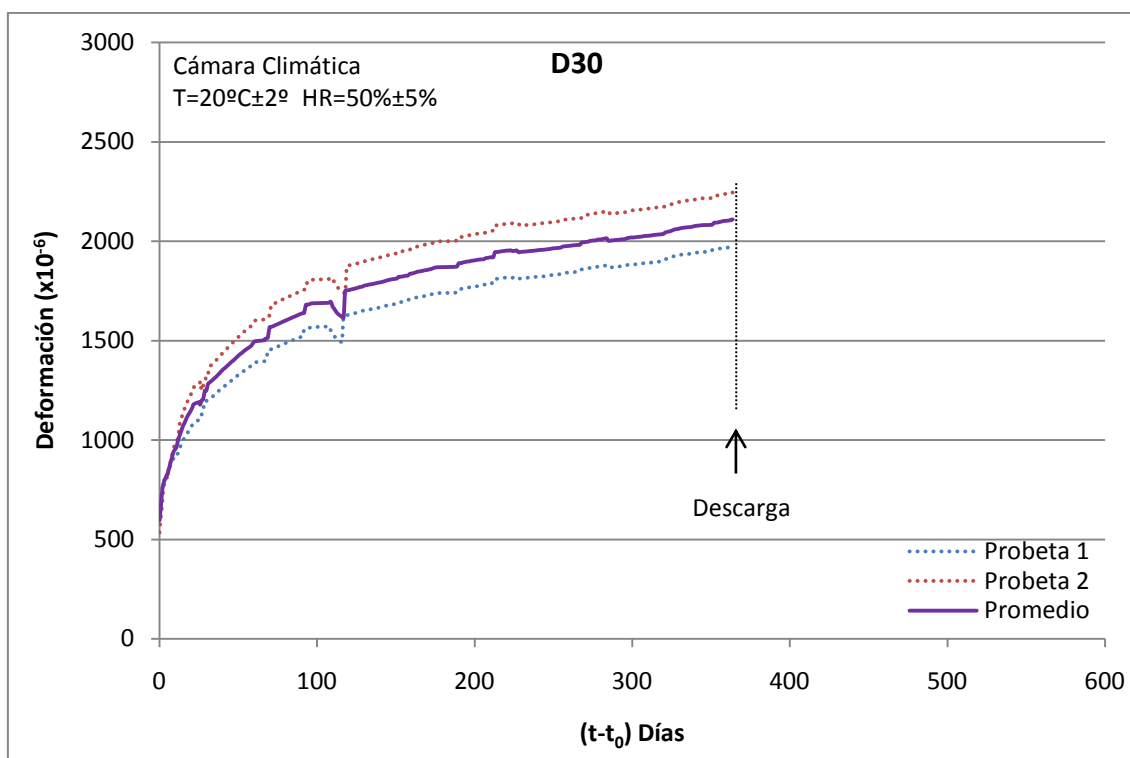


Figura B.19 – Deformaciones de fluencia – Serie D60.

En ella se observa que así como la retracción total, la fluencia tarda más en estabilizarse en la serie D60 que en las series de baja resistencia. Hay que resaltar que en este gráfico la componente de retracción total ya ha sido descontada, y aun así la tendencia es creciente pasados 365 días. Además, la deformación por fluencia es de 2,109 mm/m en esta edad, muy similar a la fluencia de la serie D30. Pero como la deformación elástica es superior, el coeficiente de fluencia en esta edad es de 3,5 y la fluencia específica es de  $86 \times 10^{-6}/\text{MPa}$ .

Al finalizar el período de carga (365 días) se ha realizado la descarga del bastidor, generando una recuperación instantánea de deformación de 0,651 mm/m. Utilizando el módulo de elasticidad medido se ha calculado que la deformación elástica es de 0,599 mm/m, y por lo tanto la diferencia es la recuperación de fluencia temprana.

Además con el pasar de 225 días posteriores a la descarga se ha recuperado 0,183 mm/m, que corresponde a la recuperación de fluencia.

# ANEJO C

## MODELOS DE CÁLCULO DE RETRACCIÓN Y FLUENCIA

### C.1. INTRODUCCIÓN

La estimación precisa de la retracción y la fluencia es un aspecto importante en el diseño de estructuras de hormigón. Varios beneficios son obtenidos al utilizar un buen modelo de cálculo tanto en el comportamiento en servicio de la estructura como en su durabilidad y. Una predicción errónea de este fenómeno puede producir deformaciones excesivas y/o fisuración. Estas patologías son quizás de los problemas más frecuentes de las estructuras.

Aunque es difícil estimar las deformaciones del hormigón de forma precisa, debido a que este fenómeno es el resultado de varios procesos físicos, que a la vez son afectadas por numerosas variables, con los años se han desarrollado varios modelos para calcular la retracción y la fluencia del hormigón. Todos estos modelos son empíricos, reflejan algunos de los mecanismos físicos de estos fenómenos y han sido calibrados con ensayos de laboratorio o sobre modelos reales.

Los modelos más comunes son los recogidos en los diferentes códigos y normativas, pero también existen otros modelos desarrollados para el cálculo de la retracción y fluencia. Todos ellos varían en complejidad y en precisión de cálculo. Los modelos utilizados en este trabajo que provienen de normativas son los ACI 209–92, CEB–FIP 90, EHE–98, EHE–08 y el Eurocódigo EC–2. También se ha utilizado el modelo B3 de Bazant y Baweja (1995).

## C.2. MODELO DEL EUROCÓDIGO 2 (EC2) – EHE 2008

La norma Europea EN 1992–1–1:2004, Eurocódigo 2, ha sido preparada por el comité técnico CEN/TC 250. Esta normativa debe dar lugar a normativas nacionales en la unión europea, por la publicación de un texto igual o por su endosamiento antes de Junio del 2005 y se deben retirar todas las normativas nacionales contradictorias antes de marzo del 2010. España es uno de los países que está obligado a implementar esta normativa, y lo ha hecho en la edición de 2008 de la EHE.

En el EC-2 los efectos de la fluencia y de la retracción sólo se consideran en los estados límites de servicio, con excepción para los efectos de segunda orden, y se hacen las siguientes hipótesis:

- La retracción y la fluencia son independientes;
- Existe una relación lineal entre la fluencia y la tensión que produce la fluencia;
- Los efectos de la humedad y de la distribución no uniforme de temperaturas son despreciables;
- El principio de superposición a las acciones ocurridas en diferentes edades del hormigón es aceptable;
- Estas hipótesis son también aceptables con el hormigón en tracción.

De este modo, la deformación total del hormigón sometido a una carga inicial en el tiempo  $t_0$  con una tensión  $\sigma(t_0)$  y sometido a las subsiguientes variaciones de tensión  $\Delta\sigma(t_i)$  en el tiempo  $t_i$  puede expresarse de la siguiente manera:

$$J\varepsilon_{tot}(t, t_0) = \varepsilon_n(t) + \sigma(t_0) \cdot J(t, t_0) + \sum J(t, t_i) \cdot \Delta\sigma(t_i) \quad (C.1)$$

donde,

$\varepsilon_n(t)$  es una deformación impuesta independiente de las tensiones (retracción, efectos de temperatura, etc)

$J(t, t_0)$  es la función de fluencia en el tiempo  $t$ , que viene dada por

$$J(t, t_0) = \frac{1}{E_c(t_0)} + \frac{\phi(t, t_0)}{E_c(28)} \quad (\text{C.2})$$

Donde,

$E_c(t_0)$  es el módulo de elasticidad secante en el tiempo  $t_0$

$E_c(28)$  es el módulo de elasticidad tangente a 28 días.

### C.2.1. Retracción

El modelo de cálculo del Eurocódigo 2 es el primer modelo que separa la retracción en dos componentes: la retracción por secado y la retracción autógena:

Se define la retracción total,  $\epsilon_{cs}(t)$ , con la siguiente expresión:

$$\epsilon_{cs}(t) = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}(t) \quad (\text{C.3})$$

Donde,

$\epsilon_{cd}(t)$  es la retracción por secado

$\epsilon_{ca}(t)$  es la retracción autógena.

El desarrollo de la retracción por secado en el tiempo,  $\epsilon_{cd}(t)$ , se calcula:

$$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, ts) \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0} \quad (\text{C.4})$$

donde,

$k_h$  es el coeficiente que depende de la geometría de la pieza,  $h_0$ .

$\epsilon_{cd,0}$  es la retracción por secado básica.

$$\beta_{ds}(t, ts) = \frac{(t-ts)}{(t-ts)+0,04\sqrt{h_0^3}} \quad (\text{C.5})$$

donde,

$t$  es la edad del hormigón en el momento considerado.

$ts$  es la edad del hormigón, en días, cuando comienza la retracción por secado.

$h_0$  es el tamaño efectivo, en mm, de la sección:

$$h_0 = 2 A_c/u \quad (\text{C.6})$$

$A_c$  es el área de la sección

$u$  es el perímetro de la sección expuesta al secado

Se obtiene  $k_h$  de acuerdo con la Tabla C1.

Tabla C.1 – Valores de  $k_h$  (Tabla 3.3 del EN 1992–1–1:2004)

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Se calcula  $\varepsilon_{cd,0}$  utilizando la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp \left( -\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{HR} \quad (C.7)$$

donde:

$\alpha_{ds1}$  es un coeficiente que depende del tipo de cemento

=3 para cemento de clase S. (CEM 32,5 N)

=4 para cemento de clase N. (CEM 32,5 R; CEM 42,5 N)

=6 para cemento de clase R. (CEM 42,5 R; CEM 52,5 N; CEM 52,5 R)

$\alpha_{ds2}$  es un coeficiente que depende del tipo de cemento

=0,13 para cemento de clase S. (CEM 32,5 N)

=0,12 para cemento de clase N. (CEM 32,5 R; CEM 42,5 N)

=0,11 para cemento de clase R. (CEM 42,5 R; CEM 52,5 N; CEM 52,5 R)

$f_{cm}$  es la resistencia media a compresión, MPa.

$f_{cm0} = 10$  MPa.

$$\beta_{HR} = 1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \quad (C.8)$$

$RH$  es la humedad relativa del ambiente, en %.

$RH_0 = 100\%$

Por otro lado, la retracción autógena,  $\varepsilon_{ca}$ , es dada por:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca(\infty)} \quad (C.9)$$

donde,

$$\varepsilon_{ca(\infty)} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad (C.10)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2 \cdot t^{0,5}) \quad (C.11)$$

$t$  es la edad del hormigón en el momento considerado, en días.

### C.2.2. Fluencia

La deformación del hormigón por fluencia,  $\varepsilon_{cc}(t, t_0)$  a edad  $t$  y para una tensión aplicada constante,  $\sigma_c$ , menor de  $0,45 \cdot fck(t_0)$  aplicada al hormigón a edad  $t_0$ , es:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{\sigma_c}{E_c(t_0)} + \frac{\sigma_c \cdot \emptyset(t, t_0)}{E_c(28)} \quad (C.12)$$

donde,

$E_c(t_0)$  es el módulo de elasticidad secante en el tiempo  $t_0$

$E_c(28)$  es el módulo de elasticidad tangente a 28 días.

$\emptyset(t, t_0)$  es el coeficiente de fluencia dado por:

$$\emptyset(t, t_0) = \emptyset_0 \cdot \beta_c(t - t_0) \quad (C.13)$$

donde,

$\emptyset_0$  es el coeficiente básico de fluencia dado en la ecuación C.14;

$\beta_c$  es el coeficiente que describe la variación de la fluencia con el tiempo después de la carga, ecuación C.20;

$t$  es la edad del hormigón en días en el momento considerado;

$t_0$  es la edad del hormigón en días en el momento de la carga;

El coeficiente básico de fluencia de puede estimar mediante:

$$\emptyset_0 = \emptyset_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (C.14)$$

Con:

$$\emptyset_{RH} = 1 + \frac{(1-RH/100)}{0,10 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{si } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (C.15)$$

$$\emptyset_{RH} = \left[ 1 + \frac{(1-RH/100)}{0,10 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{si } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \quad (C.16)$$

$$h_0 = 2 \cdot A_c / u \quad (C.17)$$



$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (\text{C.18})$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1+t_0^{0,20}} \quad (\text{C.19})$$

donde,

$\phi_{RH}$  es el factor que considera la influencia de la humedad relativa en el coeficiente básico de fluencia;

$RH$  es la humedad relativa ambiente, en %;

$h_0$  es el espesor ficticio de la pieza siendo  $A_c$  el área de la sección recta y  $u$  el perímetro de la pieza en contacto con la atmósfera;

$\beta(f_{cm})$  es el factor que considera la influencia de la resistencia del hormigón en el coeficiente básico de fluencia;

$\beta(t_0)$  es el factor que considera la influencia de la edad del hormigón en el momento de carga en el coeficiente básico de fluencia;

El coeficiente que describe la variación de la fluencia con el tiempo puede obtenerse de:

$$\beta_c(t - t_0) = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} \quad (\text{C.20})$$

8.5.

donde,

$t - t_0$  es la dirección no ajustada de la carga en días

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 < 1500 \quad \text{si } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 < 1500 \cdot \alpha_3 \quad \text{si } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

Los coeficientes  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  tienen en cuenta la influencia de la resistencia del hormigón.

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} \quad (\text{C.21})$$

La influencia del tipo de cemento en el coeficiente de fluencia del hormigón puede tenerse en cuenta modificando la edad en el momento de carga  $t_0$  en la ecuación C.19 según la ecuación:

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left( \frac{9}{2+t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \leq 0,5 \quad (\text{C.22})$$

$t_{0,T}$  es la edad del hormigón ajustada en el momento de la carga en días;

$\alpha$  es el exponente que depende do tipo de cemento

$$\alpha = \left\{ \begin{array}{l} -1 \text{ para cementos de fraguado lento (S)} \\ 0 \text{ para cementos de fraguado normal o rápido (N, R)} \\ 1 \text{ para cementos de alta resistencia y fraguado rápido (RS)} \end{array} \right\}$$

### C.3. MODELO EHE-98

#### C.3.1. Retracción

Para la evaluación del valor de la retracción, el modelo de cálculo de la EHE-98 tiene en cuenta: el grado de humedad ambiente, el espesor o menor dimensión de la pieza, la composición del hormigón y el tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca la duración del fenómeno.

La retracción total está compuesta por la retracción autógena y retracción de secado.

La deformación de retracción autógena se desarrolla durante el endurecimiento del hormigón, mientras que la retracción por secado se desarrolla lentamente.

$$\varepsilon_{CS}(t, t_s) = \varepsilon_{CS0} \cdot \beta_S(t - t_s) \quad (\text{C.23})$$

donde

$t$  es la edad del hormigón en el instante de la evaluación, en días.

$t_s$  es la edad del hormigón al comienzo de la retracción, en días.

$\varepsilon_{CS0}$  es el coeficiente básico de retracción.

$$\varepsilon_{CS0} = \varepsilon_S \cdot \beta_{HR} \quad (\text{C.24})$$

$$\varepsilon_S = (570 - 5 \cdot f_{ck}) \cdot 10^6 \text{ con } f_{ck} \text{ en N/mm}^2 \quad (\text{C.25})$$

$$f_{ck} = f_{cm} + 8 \quad (\text{C.26})$$

$f_{ck}$  es la resistencia de proyecto del hormigón a compresión, en MPa

$f_{cm}$  es la resistencia de proyecto del hormigón a compresión, en MPa.

Para estructuras al aire (HR<100%)

$$\beta_{HR} = -1,55 \left( 1 - \left( \frac{HR}{100} \right)^3 \right) \quad (\text{C.27})$$

donde,

HR es la humedad relativa en porcentaje.

Para estructuras sumergidas

$$\beta_{HR} = 0,25 \quad (\text{C.28})$$

$\beta_S(t - t_s)$  Coeficiente que define la evolución temporal de la retracción

$$\beta_S(t - t_s) = \sqrt{\frac{t - t_s}{0,035e^2 + (t - t_s)}} \quad (\text{C.29})$$

donde:

**e** es el espesor medio en mm.  $e = 2A_C/u$

$A_C$  es el área de la sección transversal en mm

$u$  es el perímetro en contacto con la atmosfera, mm.

La instrucción indica que se puede considerar la influencia del tipo de cemento y la temperatura de curado utilizando coeficientes correctores.

### C.3.2. Fluencia

El modelo de cálculo de la fluencia de la EHE-98 está basado en el modelo del CEB-FIB 1990. La deformación dependiente de la tensión,  $\varepsilon_{c\sigma}$ , tensión, en el instante  $t$ , para una tensión constante  $\sigma(t_0)$ , menor que  $0,45 f_{cm}$ , aplicada en  $t_0$ , puede estimarse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{c\sigma}(t, t_0) = \sigma(t_0) \cdot \left( \frac{1}{E_{0,t_0}} + \frac{\varphi(t, t_0)}{E_{0,28}} \right) \quad (\text{C.30})$$

donde

$t$  y  $t_0$  se expresan en días.

El primer sumando del paréntesis representa la deformación instantánea para una tensión unidad, y el segundo la de fluencia, siendo

$E_{0,28}$  es el módulo de deformación longitudinal inicial del hormigón, tangente en el origen, a los 28 días de edad.

$E_{0,t_0}$  es el módulo de deformación secante del hormigón en el instante  $t_0$  de la aplicación de la carga.

$\varphi(t, t_0)$  es el coeficiente de fluencia.

El coeficiente de fluencia,  $\varphi(t, t_0)$ , se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_C(t - t_0) \quad (\text{C.31})$$

donde,  $\varphi_0$ , es el coeficiente básico de fluencia

$$\varphi_0 = \varphi_{HR} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (\text{C.32})$$

$$\varphi_{HR} = 1 + \frac{1-HR/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{e}} \quad \text{para } f_{cm} \leq 35 \text{MPa} \quad (\text{C.33})$$

$$\varphi_{HR} = \left[ 1 + \frac{1-HR/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{e}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{para } f_{cm} > 35 \text{MPa} \quad (\text{C.34})$$

HR es la humedad relativa en porcentaje

$e$  es el espesor medio en mm.  $e = 2A_C/u$

$A_C$  es el área de la sección transversal en mm

$u$  es el perímetro en contacto con la atmosfera, mm.

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{(f_{ck}+8)}} \quad (\text{C.35})$$

$f_{ck}$  es la resistencia de proyecto del hormigón a compresión en N/mm<sup>2</sup>.

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1+t_0^{0,2}} \quad (\text{C.36})$$

$\beta_C(t - t_0)$  es la función que describe el desarrollo de la fluencia en el tiempo.

$$\beta_C(t - t_0) = \left[ \frac{(t-t_0)}{[\beta_H+(t-t_0)]} \right]^{0,3} \quad (\text{C.37})$$

$$\beta_H = 1,5e \cdot [1 + (0,012 \cdot HR)^{18}] + 250 \leq 1500 \quad \text{para } f_{cm} \leq 35 \text{MPa} \quad (\text{C.38})$$

$$\beta_H = 1,5e \cdot [1 + (0,012 \cdot HR)^{18}] + 250 \leq 1500 \cdot \alpha_3 \quad \text{para } f_{cm} > 35 \text{MPa} \quad (\text{C.39})$$

donde  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  tienen en cuenta la influencia de la resistencia del hormigón.

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5} \quad (\text{C.40})$$

La formulación de este modelo, para obtener las deformaciones diferidas de origen tensional del hormigón, tiene una base empírica. Su calibración está realizada a partir de ensayos de laboratorio sobre probetas de hormigón. Esta formulación permite la utilización de coeficientes correctores para considerar la influencia del:

Tipo de cemento y temperatura de curado, que pueden tenerse en cuenta modificando la edad de puesta en carga del hormigón  $t_0$ .

Tensiones situadas en el rango  $0,45f_{cm}, t_0 < |\sigma_c| < 0,6f_{cm}, t_0$ . La no linealidad de la fluencia en este caso se evalúa multiplicando el coeficiente básico de fluencia  $\varphi_0$  por una expresión que depende de la relación tensión aplicada/resistencia y para ello debe consultarse la bibliografía especializada.

Para distintos valores de las variables involucradas, el valor del coeficiente de fluencia a 10.000 días, de acuerdo con la ecuación x, puede obtenerse de la tabla C2 (Tabla 39.8 de la EHE-98). Los valores de dicha tabla corresponden a hormigones de resistencia característica 30 N/mm<sup>2</sup> y 70 N/mm<sup>2</sup> respectivamente. Para valores intermedios de humedad relativa o espesor medio puede interpolarse linealmente.

Tabla C.2.- Valores del coeficiente de fluencia (Tabla 39.8 EHE-98)

R. Compresión (MPa)		30 Mpa						70 Mpa					
		50%		70%		90%		50%		70%		90%	
Humedad Relativa		50%		70%		90%		50%		70%		90%	
Espesor medio (mm)		50	600	50	600	50	600	50	600	50	600	50	600
t-t <sub>0</sub> (días)	1	5,6	3,8	4,3	3,3	3,1	2,7	2,6	2,0	2,2	1,8	1,7	1,6
	7	3,9	2,7	3,0	2,3	2,1	1,9	1,8	1,4	1,5	1,2	1,2	1,1
	14	3,4	2,3	2,6	2,0	1,9	1,7	1,6	1,2	1,3	1,1	1,0	1,0
	28	3,0	2,0	2,3	1,7	1,6	1,5	1,4	1,1	1,2	1,0	0,9	0,8
	60	2,6	1,8	2,0	1,5	1,4	1,3	1,2	0,9	1,0	0,8	0,8	0,7
	90	2,4	1,6	1,9	1,4	1,3	1,2	1,1	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7
	365	1,8	1,2	1,4	1,1	1,0	0,9	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5
	1800	1,3	0,9	1,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4

#### C.4. MODELO DEL CEB–FIP 1990

El CEB–FIP 90 es uno de los códigos internacionales más utilizados, y es considerado como referencia para numerosos códigos nacionales, entre ellos la EHE y el Eurocódigo. En el año 1990, el Comité Europeo de Béton (CEB) adoptó la actual guía para estimar la fluencia y la retracción.

Los modelos de cálculo del CEB–FIP 90 son válidos para hormigón estructural ordinario,  $12 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 80 \text{ MPa}$ , sometido a tensiones de compresión  $|\sigma| < 0,4 f_{cm}$  a una edad de carga,  $t_0$ , y expuesto a humedades relativas del ambiente en el rango del 40% al 100% y temperaturas de 5°C a 30°C.

Este modelo no es aplicable a hormigones sometidos a temperaturas extremas altas o bajas, a condiciones climáticas muy secas o a hormigón estructural de áridos ligeros. También puede tenerse en cuenta el efecto de la temperatura en el rango  $0 < t < 80^\circ\text{C}$ .

En el caso de la fluencia, este modelo no considera la duración ni las condiciones de curado. Los parámetros mínimos necesarios en el cálculo son:

- Edad del hormigón al comienzo de la retracción,  $t_s$ , días.
- Edad del hormigón en el instante de carga,  $t_0$ , días.
- Humedad relativa, **HR**, en %.
- resistencia media a compresión del hormigón a la edad de 28 días,  $f_{cm}$ , MPa.
- Tipo de cemento.
- Espesor medio,  $h$ , mm.

De acuerdo con el modelo propuesto, la deformación unitaria total  $\varepsilon_c$  a la edad  $t$ , de un elemento de hormigón cargado individualmente en el instante  $t_0$  con una tensión constante  $\sigma_c(t_0)$  puede subdividirse como sigue:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_{ci}(t_0) + \varepsilon_{cc}(t) + \varepsilon_{cs}(t) + \varepsilon_{cT}(t) \quad (\text{C.41})$$

donde,

$\varepsilon_{ci}(t_0)$  es la deformación unitaria inicial al cargar;

$\varepsilon_{cc}(t)$  es la deformación por fluencia a la edad  $t > t_0$ ;

$\varepsilon_{cs}(t)$  es la deformación unitaria de retracción

$\varepsilon_{cT}(t)$  es la deformación unitaria térmica.

### C.4.1. Retracción

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cs0} \cdot \beta_S(t - t_s) \quad (\text{C.42})$$

$t$  es la edad del hormigón en el instante de la evaluación, en días.

$t_s$  es la edad del hormigón al comienzo de la retracción, en días.

$\varepsilon_{cs0}$  es el coeficiente básico de retracción.

$\beta_S(t - t_s)$  es el coeficiente que describe el desarrollo de la retracción en el tiempo

$$\varepsilon_{cs0} = \varepsilon_S(f_m) \cdot \beta_{HR} \quad (\text{C.43})$$

$$\varepsilon_S(f_m) = \left[ 160 + 10 \cdot \beta_{sc} \left( 9 - \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right) \right] \quad (\text{C.44})$$

$f_{cm}$  es la resistencia media del hormigón a 28 días en MPa.

$f_{cm0}$  adopta el valor de 10 MPa

$\beta_{sc}$  es el coeficiente que depende del tipo del cemento:

- 4 para cementos de endurecimiento lento SL
- 5 para cementos de endurecimiento normal o rápido N y R
- 8 para cementos de endurecimiento rápido RS.

$\beta_{HR}$  el coeficiente que depende de la humedad relativa

$$\beta_{HR} = -1,55 \left( 1 - \left( \frac{HR}{100} \right)^3 \right) \text{ para } 40\% < HR < 99\% \quad (\text{C.45})$$

$$\beta_{HR} = 0,25 \text{ para } HR \geq 99\% \quad (\text{C.46})$$

**HR** es la Humedad relativa (%)

$$\beta_S(t - t_s) = \sqrt{\frac{t - t_s}{350(h/h_0)^2 + (t - t_s)/t_1}} \quad (\text{C.47})$$

$t_1$  adopta el valor de 1 día

$h_0$  adopta el valor de 100mm.

$h$  es la dimensión básica del elemento, mm

$$h = 2A_C/u \quad (\text{C.48})$$

$A_C$  es el área de la sección transversal en mm

$u$  es el perímetro en contacto con la atmosfera, mm.

Es de mencionar que en el caso de la utilización de un cemento de endurecimiento normal o rápido,  $\beta_{sc}$  adopta el valor 5, y el valor de la retracción calculado con este modelo es equivalente al valor calculado utilizando el modelo de la EHE-98.

#### C.4.2. Fluencia

La deformación total dependiente de la carga  $\varepsilon_{c\sigma}(t, t_0)$  en un bloco de hormigón cargado en una única dirección en el tiempo  $t_0$  se puede calcular a través de la expresión:

$$\varepsilon_{c\sigma}(t, t_0) = \varepsilon_{ci}(t_0) + \varepsilon_{cc}(t, t_0) \quad (\text{C.49})$$

donde,

$\varepsilon_{ci}(t_0)$  es la deformación elástica inicial debido a la tensión aplicada en el instante  $t_0$

$\varepsilon_{cc}(t, t_0)$  es la deformación por fluencia en el tiempo  $t > t_0$

$$\varepsilon_{ci}(t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c(t_0)} \quad (\text{C.50})$$

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c} \cdot \phi(t, t_0) \quad (\text{C.51})$$

donde,

$\sigma_c(t_0)$  es la tensión aplicada en el instante de carga  $t_0$

$E_c$  es el modulo de elasticidad del hormigón a 28 días,

$\phi(t, t_0)$  es el coeficiente de fluencia

La deformación unitaria dependiente de la tensión también puede expresarse como:

$$\varepsilon_{c\sigma}(t, t_0) = \sigma_c(t_0) \cdot \left[ \frac{1}{E_c(t_0)} + \frac{\phi(t, t_0)}{E_c} \right] = \sigma_c(t_0) \cdot J(t, t_0) \quad (\text{C.52})$$

donde,

$J(t, t_0)$  es la función de fluencia, que representa la deformación unitaria total dependiente de la tensión por unidad de tensión.



$E_c(t_0)$  es el modulo de elasticidad a la edad de carga  $t_0$ , así  $1/E_c(t_0)$  representa la deformación unitaria inicial por unidad de tensión en el momento de la carga.

El coeficiente de fluencia  $\phi(t, t_0)$  es dado por la siguiente expresión:

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_C \cdot (t - t_0) \quad (\text{C.53})$$

donde,

$\phi_0$  es el coeficiente básico de fluencia

$\beta_C$  es el coeficiente que describe el desarrollo de la fluencia con el tiempo

$t$  es la edad del hormigón, en días.

$t_0$  es la edad del hormigón en el instante de carga, en días.

$$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (\text{C.54})$$

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/RH_0}{0,46 \cdot (h/h_0)^{1/3}} \quad (\text{C.55})$$

$RH$  es la humedad relativa (%)

$h_0$  adopta el valor de 100mm.

$h$  es la dimensión básica del elemento, mm, según la ecuación C.48

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5,3}{(f_{cm}/f_{cm0})^{0,5}} \quad (\text{C.56})$$

donde,

$f_{cm}$  es la resistencia media del hormigón a 28 días en MPa.

$f_{cm0}$  adopta el valor de 10 MPa

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + (t_0/t_1)^{0,2}} \quad (\text{C.57})$$

donde,

$t_1$  adopta el valor de 1 día

$$\beta_C(t - t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)/t_1}{\beta_H + (t - t_0)/t_1} \right]^{0,3} \quad (\text{C.58})$$

$$\beta_H = 150 \cdot \left\{ 1 + \left( 1,2 \cdot \frac{RH}{RH_0} \right)^{18} \right\} \cdot \frac{h}{h_0} + 250 \leq 1500 \quad (\text{C.59})$$

Según el CEB–FIP 90, los diferentes cementos producen diferentes grados de hidratación. La fluencia depende del grado de hidratación alcanzado a una edad determinada, más que de la edad del hormigón. En consecuencia, el efecto del tipo de cemento se tiene en cuenta modificando la edad de puesta en carga.

Para tener en cuenta el efecto del tipo de cemento se puede modificar la edad de puesta en carga  $t_0$ , de acuerdo con la siguiente expresión,

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left[ \frac{9}{2 + (t_{0,T}/t_{1,T})^{1,2}} + 1 \right]^\alpha \geq 0 \text{ días} \quad (\text{C.60})$$

$t_{0,T}$  es la edad del hormigón en la puesta en carga, en días.

$t_{1,T}$  asume el valor de 1 día

$\alpha$  depende del tipo de cemento

$\alpha = -1$  para cementos de endurecimiento lento, SL.

$\alpha = 0$  para cementos de endurecimiento normal o rápido, N y R.

$\alpha = 1$  para cementos de endurecimiento rápido, RS.

Este modelo también permite considerar temperaturas de  $0^\circ < T < 80^\circ\text{C}$ , modificando el valor de  $t_{0,t}$ , que no es el caso de estudio de esta tesis.

### C.5. MODELO DEL ACI 209R–92

El actual modelo del ACI 209R–92 está basado en el trabajo de Branson y Christianson (1971), con algunas modificaciones introducidas en el ACI 209R–82. Inicialmente este modelo fue desarrollado para la industria de los prefabricados, pero con los años se ha convertido en el modelo de referencia para hormigones en EE.UU. Este modelo es también utilizado en Canadá, Australia y en parte de América Latina. Es un modelo puramente empírico, basado en resultados experimentales anteriores al año 1968 (Al–Manaseer, 2005).

El modelo es aplicable al hormigón de peso normal y a hormigón ligero con cementos tipo I y III, y curado en condiciones húmedas o con vapor.

En su nivel más básico, los parámetros necesarios son:

- Edad cuando comienza la retracción o la fluencia.
- Edad de puesta en carga.
- Método de curado.

- Humedad relativa, expresada en decimales,  $\gamma$ .
- Relación volumen/superficie, o espesor medio, mm.

Este modelo permite utilizar factores correctores que consideran el contenido de árido fino, el contenido de aire, consistencia de la mezcla, y contenido de cemento.

### C.5.1. Retracción

Para el cálculo de la retracción  $(\varepsilon_{sh})_t$ , después de 7 días de curado húmedo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t}{35+t} \cdot (\varepsilon_{sh})_u \quad (\text{C.61})$$

En caso de curado a vapor de 1 a 3 días, la retracción es dada por:

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t}{55+t} \cdot (\varepsilon_{sh})_u \quad (\text{C.62})$$

donde,  $t$  es la edad del hormigón después del curado inicial del hormigón.

$$(\varepsilon_{sh})_u = 780 \cdot \gamma_{sh} \cdot 10^{-6} \text{ m/m} \quad (\text{C.63})$$

El coeficiente  $\gamma_{sh}$  representa el producto de todos los factores de corrección aplicables, definidos en la siguiente ecuación:

$$\gamma_{sh} = \gamma_{cp} \cdot \gamma_{\lambda} \cdot \gamma_{VS} \cdot \gamma_s \cdot \gamma_{\psi} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{\alpha} \quad (\text{C.64})$$

donde los factores de corrección son referentes:

$\gamma_{cp}$  a períodos de curado húmedo diferentes de 7 días

$\gamma_{\lambda}$  a la humedad relativa

$\gamma_{VS} = \gamma_h$  al tamaño de la pieza

$\gamma_s$  a la consistencia del hormigón

$\gamma_{\psi}$  al contenido de árido fino

$\gamma_c$  al contenido de cemento

$\gamma_{\alpha}$  al contenido de aire

Para determinar el valor del factor corrector del curado húmedo se utiliza la tabla C.3:

Tabla C.3.– Factor corrector del curado húmedo.

Período de curado (días)	$\gamma_{cp}$
1	1,2
3	1,1
7	1,0
14	0,93
28	0,86
90	0,75

Para determinar el valor del factor corrector para la humedad relativa  $\gamma_\lambda$ , se utilizan las siguientes expresiones, donde  $\gamma$  es la humedad relativa en porcentaje:

$$\text{Para } 0,40 \leq \gamma \leq 80 \quad \therefore \gamma_\lambda = 1,40 - 0,10 \cdot \gamma \quad (\text{C.65})$$

$$\text{Para } 0,80 \leq \gamma \leq 100 \quad \therefore \gamma_\lambda = 3,00 - 0,30 \cdot \gamma \quad (\text{C.66})$$

Tabla C.4 – Factor corrector para la humedad relativa (Tabla 2.5.4 del ACI 209)

Humedad Relativa (%)	$\gamma_\lambda$ para el cálculo de la retracción	$\gamma_\lambda$ para el cálculo de la fluencia
<40	>1,00	>100
40	1,00	100
50	0,90	0,94
60	0,80	0,87
70	0,70	0,80
80	0,60	0,73
90	0,30	0,67
100	0,00	0,60

La normativa comenta que la temperatura es el segundo factor ambiental que más a las estructuras. Este efecto es normalmente considerado menos importante que la humedad relativa del aire puesto que, en la mayoría de las estructuras el rango de variaciones de temperatura en que ellas están sometidas es pequeño. Las altas temperaturas sólo afectan a la estructuras después de largos períodos de tiempo.

El ACI 209 ofrece dos métodos para estimar el efecto del tamaño de la probeta sobre la retracción y la fluencia. El primer método es el método del espesor medio  $\gamma_h$ . En este método se considera el espesor medio de la pieza. Para piezas con espesor medio menor de 150 mm se utiliza la tabla C5 para determinar el valor de  $\gamma_h$ . Para piezas con espesor medio entre 150 y 380 mm se utiliza las siguientes expresiones:

Para tiempo de retracción ultima:

$$\gamma_h = 1,17 - 0,00114 \cdot h \quad (\text{C.67})$$

Durante el primer año de secado:

$$\gamma_h = 1,23 - 0,0015 \cdot h \quad (\text{C.68})$$

donde,

h es el espesor medio de la pieza

$$h = 4v/s$$

v es el volumen de la pieza, mm<sup>3</sup>

s es la superficie lateral de la pieza, mm<sup>2</sup>

Tabla C.5 – Factor corrector para la edad de puesta en carga del hormigón.

Espesor medio (mm)	Retracción (1er año)	Retracción ultima
51	1,35	1,35
76	1,25	1,25
104	1,17	1,17
127	1,08	1,08
Ecuaciones	C.68	C.67
152	1,00	1,00
203	0,93	0,94
254	0,85	0,88
305	0,77	0,82
381	0,66	0,74

Según el ACI 209, el método del espesor medio ofrece valores mayores para el factor de corrección en comparación con el método basado en la relación volumen/superficie.

$$\gamma_{VS} = 1,2 \cdot e^{-0,00472 \cdot v/s} \quad (\text{C.69})$$

Para ambos métodos el valor de  $\gamma_{VS}$  no debe ser menor que 0,2. En este trabajo se utiliza el método del espesor medio para estimar el coeficiente  $\gamma_h$ .

Los factores correctores de la composición de la mezcla incluidos en el modelo ACI 209R-92 consideran el efecto de la consistencia, porcentaje de árido fino, contenido

de cemento y aire. Estos valores serán aproximadamente 1 para un hormigón con: un abatimiento menor que 130 mm, un porcentaje de áridos fino de 40–60%, un contenido de cemento de 279 a 445 kg y un contenido de aire ocluido menor de un 8%.

La desventaja de estos factores es que normalmente son desconocidos en la etapa de desarrollo del proyecto y tienen que ser estimados. Como estos factores no son muy elevados y normalmente se equilibran entre sí, se puede prescindir de ellos.

El factor usado para corregir la consistencia del hormigón,  $\gamma_s$ , es:

$$\gamma_s = 0,89 + 0,00161s \quad (\text{C.70})$$

Donde  $s$  es el asentamiento del hormigón medido en el cono de Abrams, en mm. En el caso del HAC no se mide el asentamiento ya que el hormigón es fluido. Considerando valores máximos de asentamiento 250mm y 270mm los valores de  $\gamma_s$  serían respectivamente: 1,29 y 1,32. En este trabajo se opta por utilizar el valor de 1,3 para todos los hormigones ensayados.

El factor usado para corregir el porcentaje de árido fino,  $\gamma_\Psi$ , está relacionado con el porcentaje ( $\Psi$ ) en peso que representa el árido fino en relación al árido grueso:

$$\Psi \leq 50\% \therefore \gamma_\Psi = 0,3 + 0,014 \cdot \Psi \quad (\text{C.71})$$

$$\Psi > 50\% \therefore \gamma_\Psi = 0,9 + 0,002 \cdot \Psi \quad (\text{C.72})$$

Para corregir el contenido de cemento y el contenido de aire, los factores empleados son respectivamente  $\gamma_c$  y  $\gamma_\alpha$ :

$$\gamma_c = 0,75 + 0,00061 \cdot c \quad (\text{C.73})$$

$$\gamma_\alpha = 0,95 + 0,008 \cdot \alpha \quad (\text{C.74})$$

donde  $c$  es el contenido de cemento en  $\text{kg/m}^3$  y  $\alpha$  es el contenido de aire en %.

### C.5.2. Fluencia

Para el cálculo del coeficiente de fluencia,  $\nu_t$ , para hormigón puesto en carga a los 7 días, se utiliza la siguiente ecuación:

$$v_t = \frac{t^{0,60}}{10+t^{0,60}} \cdot v_u \quad (\text{C.75})$$

donde,

$t$  es la edad del hormigón a partir de la puesta en carga, en días.

$v_u$  es el coeficiente de fluencia ultima;

$$v_u = 2,35 \cdot \gamma_C \quad (\text{C.76})$$

El coeficiente  $\gamma_C$  representa el producto de todos los factores de corrección aplicables, definidos en las siguientes ecuaciones.

$$\gamma_C = \gamma_{la} \cdot \gamma_\lambda \cdot \gamma_{VS} \cdot \gamma_S \cdot \gamma_\Psi \cdot \gamma_\alpha \quad (\text{C.77})$$

donde los factores de corrección son referentes:

$\gamma_{la}$  a la edad en la cual se aplica la carga;

$\gamma_\lambda$  a la humedad relativa;

$\gamma_{VS}$  al tamaño de la pieza;

$\gamma_S$  a la consistencia del hormigón;

$\gamma_\Psi$  al contenido de árido fino;

$\gamma_\alpha$  al contenido de aire;

Para determinar el valor del factor  $\gamma_{la}$ , en caso de puesta en carga superior a los 7 días para curado húmedo y superior a 1–3 días para curado al vapor, se utilizan las siguientes expresiones:

$$\gamma_{la} = 1,25 \cdot t_{la}^{-0,118} \text{ para curado húmedo} \quad (\text{C.78})$$

$$\gamma_{la} = 1,13 \cdot t_{la}^{-0,094} \text{ para curado al vapor} \quad (\text{C.79})$$

donde,

$t_{la}$  es la edad de puesta en carga, en días.

Se incluyen en la tabla C.6 (Tabla 2.5.1 del ACI 209) valores representativos de  $\gamma_{la}$ .

Tabla C.6 – Factor corrector para la edad de puesta en carga del hormigón.

Edad de la puesta en carga (días)	$\gamma_{1a}$ curado húmedo	$\gamma_{1a}$ curado al vapor
7	1,00	0,94
10	0,95	0,90
20	0,87	0,85
28	0,84	0,83
60	0,77	0,76
90	0,74	0,74

Para determinar el valor del factor corrector para la humedad relativa,  $\gamma_\lambda$ , se utiliza la siguiente expresión:

$$\gamma_\lambda = 1,27 - 0,0067 \cdot \gamma \quad \text{para } \gamma > 40\% \quad (\text{C.80})$$

donde

$\gamma$  es la humedad relativa en %.

El tamaño de la pieza afecta considerablemente tanto la retracción como la fluencia. En el caso de la fluencia, el tamaño de la pieza altera la evolución en el tiempo de la fluencia así como el coeficiente de fluencia a tiempo infinito. Como ya se ha comentado en el apartado referente a la retracción, el ACI-209 ofrece dos métodos para estimar este efecto, el método del espesor medio, ( $\gamma_h$ ) y el método de volumen/superficie ( $\gamma_{VS}$ ).

En el método del espesor medio, para piezas con espesor medio menor de 150 mm, se utilizan los factores dados en la tabla C7 (Tabla 2.5.5.1 del ACI 209-R). Ellos corresponden a los valores dados en el CEB-FIP para elementos pequeños. Para piezas con espesor medio entre 150 y 380 mm se utiliza las siguientes expresiones:

Para tiempo de fluencia ultima:

$$\gamma_h = 1,10 - 0,00067 \cdot h \quad (\text{C.81})$$

Durante el primer año de carga:

$$\gamma_h = 1,14 - 0,00092 \cdot h \quad (\text{C.82})$$

donde,

h es el espesor medio de la pieza



$$h = 4v/s$$

v es el volumen de la pieza, mm<sup>3</sup>

s es la superficie lateral de la pieza, mm<sup>2</sup>

Tabla C.7 – Factor corrector para la edad de puesta en carga del hormigón –  $\gamma_h$

Espesor medio (mm)	Fluencia (1er año)	Fluencia ultima
51	1,30	1,30
76	1,17	1,17
104	1,11	1,11
127	1,04	1,04
Ecuaciones	C.82	C.81
152	1,00	1,00
203	0,96	0,96
254	0,91	0,93
305	0,86	0,90
381	0,80	0,85

El método de volumen/superficie ( $\gamma_{vs}$ ) es dado por:

$$\gamma_{vs} = \frac{2}{3} \cdot [1 + 1,13^{-0,0213 v/s}] \quad (\text{C.83})$$

donde,

v/s es la relación volumen superficie en mm.

La tabla C8 (Tabla 2.5.5.2 de ACI–209) presenta los valores representativos de  $\gamma_{vs}$ :

Tabla C.8 – Factor corrector para la edad de puesta en carga del hormigón  $\gamma_{vs}$ .

Espesor medio (mm)	$\gamma_{vs}$ para fluencia (1er año)
25	1,09
38	1,00
51	0,92
76	0,81
102	0,75
127	0,72
152	0,70
203	0,68
254	0,67

Para ambos métodos el valor de  $\gamma_{vs}$  no debe ser menor que 0,2.

En el caso de la fluencia los factores correctores para la composición de la mezcla son la consistencia, porcentaje de árido fino, y contenido aire. En caso de no tener estos datos, el ACI 209 indica que se puede prescindir de estos factores.

El factor corrector para la consistencia del hormigón,  $\gamma_s$ , es:

$$\gamma_s = 0,82 + 0,00264 \cdot s \quad (\text{C.84})$$

Donde  $s$  es el asentamiento del hormigón medido en el cono de Abrams, en mm. En el caso del HAC no se mide el asentamiento ya que el hormigón es fluido. Considerando valores máximos de asentamiento 250mm y 270mm los valores de  $\gamma_s$  serían respectivamente: 0,148 y 0,153. Pero utilizar valores tan bajos del coeficiente significa reducir la fluencia última a un 14,8%–15,3% lo que no es lo que ocurre en el caso del HAC. Debido a eso se decide no utilizar este factor adoptando  $\gamma_s = 1$ .

El factor usado para corregir el porcentaje de árido fino,  $\gamma_\Psi$ , está relacionado con el porcentaje ( $\Psi$ ) en peso que representa el árido fino en relación al árido grueso:

$$\gamma_\Psi = 0,88 + 0,0024 \cdot \Psi \quad (\text{C.85})$$

Para corregir el contenido de aire el factor empleado es  $\gamma_\alpha$ :

$$\gamma_\alpha = 0,46 + 0,09 \cdot \alpha \quad (\text{C.86})$$

donde,

$\alpha$  es el contenido de aire en %.

$\gamma_\alpha$  no debe ser menor que 1.

Las condiciones que corresponden a  $\gamma_c = 1$  son: 40% HR, curado húmedo de 7 días,  $v/s = 38$  mm, 50% de árido fino, asentamiento de 68 mm y 6,25% contenido de aire.

## C.6. MODELO B3

El modelo B3 fue desarrollado en *Northwestern University*, EE.UU. por Z. Bazant y B. Baweja, siendo la tercera revisión de modelos previos: BP y BP–KX. El modelo es relativamente complejo y requiere numerosos parámetros relacionados con la dosificación de la mezcla. Se basa en la teoría de la solidificación, según la cual el

envejecimiento del hormigón se debe al incremento de volumen de la porción resistente de la materia que ha solidificado.

Los autores recomiendan su aplicación apenas en caso de estructuras especiales, cuyo nivel de sensibilidad a la fluencia y retracción justifiquen un método de análisis más preciso.

El modelo se aplica a hormigones de cemento Portland curados por lo menos un día y que presente las siguientes características:

- $0,35 \leq \text{agua/cemento} \leq 0,85$
- $2,5 \leq \text{árido/cemento} \leq 13,5$
- $17 \text{ MPa} \leq f_{c28} \leq 70 \text{ MPa}$
- $160 \text{ kg/m}^3 \leq \text{cemento} \leq 720 \text{ kg/m}^3$
- Para fluencia: tensión aplicada  $< 0,45 f_c$ . (45% de la resistencia media de ensayo en probetas cilíndricas)

Si los parámetros del modelo son calibrados mediante ensayos, el modelo es aplicable a cualquier hormigón de cemento portland incluyendo hormigones livianos y de alta resistencia.

Para una tensión constante  $\sigma$  aplicada a la edad  $t'$ , el modelo calcula la deformación diferida ( $\epsilon_t$ ) a través de la expresión:

$$\epsilon_t = J(t, t') \cdot \sigma + \epsilon_{sh}(t) + \alpha \cdot \Delta T(t) \quad (\text{C.87})$$

Donde,

$J(t, t')$  representa la deformación unitaria total dependiente de la tensión por unidad de tensión constante uniaxial unitaria aplicada a la edad  $t'$ ;

$\sigma$  es la tensión uniaxial;

$\epsilon$  es la deformación (tanto  $\sigma$  como  $\epsilon$  son positivas si es tracción);

$\epsilon_{sh}$  es la retracción (negativa si el volumen disminuye);

$\Delta T(t)$  es el cambio de temperatura desde la temperatura de referencia en el tiempo  $t$ ;

$\alpha$  es el coeficiente de expansión térmica (que puede calcularse aproximadamente de acuerdo con el ACI 209).

### C.6.1. Retracción

La retracción media,  $\epsilon_{sh}(t)$ , de una sección se calcula por:

$$\varepsilon_{sh}(t) = -\varepsilon_{sh\infty} \cdot k_h \cdot S(t) \quad (\text{C.88})$$

donde:

$\varepsilon_{sh\infty}$  define la retracción última en función del tiempo

$S(t)$  es la función del tiempo.

$k_h$  es el coeficiente que corrige la humedad relativa

$$k_h = \left\{ \begin{array}{l} 1 - h^3 \text{ para } h < 0,98 \\ -2,2 \text{ para } h = 1 \\ \text{Interpolación lineal para } 0,98 \leq h \leq 1 \end{array} \right\} \quad (\text{C.89})$$

$S(t)$  se calcula a través de la ecuación:

$$S(t) = \tanh \sqrt{\frac{t-t_0}{\tau_{sh}}} \quad (\text{C.90})$$

donde,

$t$  es la edad del hormigón en el momento considerado.

$t_0$  es la edad del hormigón, en días, cuando comienza la retracción por secado.

$\tau_{sh}$  representa la edad en que la retracción alcance la mitad de la retracción final.

$$\tau_{sh} = k_t \cdot (k_s \cdot D)^2 \quad (\text{C.91})$$

donde,

$D$  es el espesor efectivo de la sección transversal que coincide con el espesor en el caso de un forjado.

$$D = 2V/S \quad (\text{C.92})$$

$V$  es el volumen de la pieza, mm<sup>3</sup>

$S$  es la superficie lateral de la pieza, mm<sup>2</sup>

$k_s$  es el factor que corrige la forma de de la sección.

$$k_s = \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \text{ para un forjado} \\ 1,15 \text{ para un cilindro infinito} \\ 1,25 \text{ para un prisma rectangular infinito} \\ 1,30 \text{ para una esfera} \\ 1,55 \text{ para un cubo} \end{array} \right\} \quad (\text{C.93})$$

El proyectista necesita estimar la forma de la sección que mejor se ajusta a cada parte de la estructura. Una elevada precisión no es necesaria en este factor, siendo que se puede considerar  $k_s \approx 1$  para un análisis simplificado.

$k_t$  en días/cm<sup>2</sup> se calcula a través de la ecuación:

$$k_t = \frac{8,5}{t_0^{0,08} \cdot \sqrt[4]{f_c}} \quad (\text{C.94})$$

donde,

$t_0$  es la edad del hormigón, en días, cuando comienza la retracción por secado.

$\bar{f}_c$  es la resistencia a compresión medida en probetas cilíndricas a los 28 días.

$\varepsilon_{sh\infty}$  define la retracción última en función del tiempo, describiendo el efecto del envejecimiento del hormigón.

$$\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty} \cdot \frac{E(607)}{E(t_0 + \tau_{sh})} \quad (\text{C.95})$$

Esto significa que  $\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty}$  para  $t_0 = 7$  días y  $\tau_{sh} = 607$  días. Los valores de  $\varepsilon_{sh\infty}$  generalmente están entre  $300 \times 10^{-6}$  y  $1100 \times 10^{-6}$ . Para calcular E y  $\varepsilon_{s\infty}$  se emplean las siguientes expresiones:

$$E(t) = E(28) \cdot \left( \frac{t}{4 + 0,85t} \right)^{0,5} \quad (\text{C.96})$$

$$\varepsilon_{s\infty} = -\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \left[ \frac{1,9 \cdot \omega^{2,1}}{\bar{f}_c^{0,28} \cdot 10^2} + 270 \right] \quad (\text{C.97})$$

donde:

$t$  es la edad del hormigón en el momento considerado.

$E(t)$  es el módulo de deformación (estático) en el momento  $t$  considerado.

$\omega$  es el contenido de agua en kg/m<sup>3</sup>.

$\alpha_1$  es un factor que considera el tipo de cemento

$\alpha_2$  es un factor que depende del tipo de curado

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1, 0 & \text{para cemento tipo I} \\ 0, 85 & \text{para cemento tipo II} \\ 1, 1 & \text{para cemento tipo III} \end{cases} \quad (\text{C.98})$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} 0,75 & \text{para curado al vapor} \\ 1,20 & \text{para curado normal con sellado inicial} \\ 1,00 & \text{para curado en agua o en condiciones} \\ & \text{de 100\% de humedad relativa} \end{cases} \quad (\text{C.99})$$

### C.6.2. Fluencia

En el modelo B3 se define a la función de fluencia,  $J$ , con la siguiente expresión:

$$J(t, t') = q_1 + C_0(t, t') + C_d(t, t', t_0) \quad (\text{C.100})$$

En este modelo la función de fluencia está compuesta por tres partes. La primera es la deformación instantánea del hormigón debido a una tensión unitaria,  $q_1$ . La segunda es la función de fluencia básica,  $C_0(t, t')$ , y la última es la función de fluencia de secado,  $C_d(t, t', t_0)$

El coeficiente de fluencia  $\phi(t, t')$ , representa una forma conveniente para introducir la fluencia en un análisis estructural práctico, puede evaluarse como:

$$\phi(t, t') = E(t') \cdot J(t, t') - 1 \quad (\text{C.101})$$

donde,

$E(t')$  es el módulo de elasticidad (estático) a la edad de carga  $t'$ .

La deformación instantánea  $q_1$  se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$q_1 = \frac{0,6 \cdot 10^6}{E_{28}} \quad (\text{C.102})$$

$$E_{28} = 4734 \cdot \sqrt{f_c} \quad (\text{C.103})$$

La ecuación constitutiva que define la función de fluencia básica  $C_0(t, t')$ , deducida de la teoría de la solidificación (Bazant, et al., 2000) es la siguiente:

$$C_0(t, t') = \frac{n(q_2 \cdot t^{-m} + q_3)}{(t-t') + (t-t')^{1-n}} + \frac{q_4}{t} \quad (\text{C.104})$$

donde,

$m$  y  $n$  son parámetros empíricos, que para hormigones normales asumen los siguientes valores:  $m=0,5$  y  $n=0,1$ .

$$C_0(t, t') = \frac{\partial C_0(t', t)}{\partial(t)} \quad (\text{C.105})$$

donde,  
**t** y **t'** son expresados en días

Integrando esta ecuación se obtiene la función básica de fluencia:

$$C_0(t, t') = q_2 \cdot Q(t, t') + q_3 \cdot \ln[1 + (t - t')^n] + q_4 \cdot \ln\left(\frac{t}{t'}\right) \quad (\text{C.106})$$

Donde **q<sub>2</sub>**, **q<sub>3</sub>**, **q<sub>4</sub>** son constantes empíricas. **q<sub>2</sub>** representa la función de fluencia visco-elástica de envejecimiento, **q<sub>3</sub>** es la función de fluencia visco elástica que no envejece y **q<sub>4</sub>** es la función de fluencia viscosa.

$$q_2 = 185,4 \cdot c^{0,5} \cdot f_c^{-0,9} \quad (\text{C.107})$$

$$q_3 = 0,29 \cdot (w/c)^4 \cdot q_2 \quad (\text{C.108})$$

$$q_4 = 20,3 \cdot (a/c)^{-0,7} \quad (\text{C.109})$$

donde,  
**c** es la cantidad de cemento en kg/m<sup>3</sup>.  
**f<sub>c</sub>** es la resistencia a compresión a 28 días.  
**w/c** es la relación agua/cemento en peso.  
**a/c** es la relación árido/cemento en peso.

**Q(t, t')** es un integral binomial que se puede calcular mediante integración numérica o utilizando la siguiente aproximación:

$$Q(t, t') = Q_f(t') \cdot \left[ 1 + \left( \frac{Q_f(t')}{Z(t, t')} \right)^{r(t')} \right]^{-1/r(t')} \quad (\text{C.110})$$

donde,

$$r(t') = 1,7 \cdot (t')^{0,12} + 8 \quad (\text{C.111})$$

$$Z(t, t') = (t')^{-m} \cdot \ln[1 + (t - t')^n] \quad (\text{C.112})$$

$$Q_f = [0,086 \cdot (t')^{2/9} + 1,21 \cdot (t')^{4/9}]^{-1} \quad (\text{C.113})$$

Algunos de los valores de esta función se pueden obtener en la tabla C.9

Tabla C.9 – Valores de la función  $Q(t, t')$  para  $m=0,5$  y  $n=0,1$  (Bazant y Baweja, 2000)

log (t-t')	log t'								
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
-2	0,4890	0,2750	0,1547	0,0868	0,0489	0,0275	0,0155	0,0087	0,0049
-1,5	0,5347	0,3009	0,1693	0,0952	0,0535	0,0301	0,0169	0,0095	0,0054
-1	0,5586	0,3284	0,1848	0,1040	0,0585	0,0329	0,0185	0,0104	0,0058
-0,5	0,6309	0,3571	0,2013	0,1133	0,0637	0,0358	0,0202	0,0113	0,0064
0	0,6754	0,3860	0,2185	0,1231	0,0693	0,0390	0,0219	0,0123	0,0069
0,5	0,7108	0,4125	0,2357	0,1334	0,0752	0,0423	0,0238	0,0134	0,0075
1	0,7352	0,4335	0,2514	0,1436	0,0812	0,0458	0,0258	0,0145	0,0081
1,5	0,7505	0,4480	0,2638	0,1529	0,0873	0,0440	0,0278	0,0157	0,0088
2	0,7597	0,4570	0,2724	0,1602	0,0928	0,0524	0,0299	0,0169	0,0095
2,5	0,7652	0,4624	0,2777	0,1652	0,0971	0,0562	0,0328	0,0181	0,0102
3	0,7684	0,4656	0,2808	0,1683	0,1000	0,0587	0,0339	0,0194	0,0109
3,5	0,7703	0,4675	0,2827	0,1702	0,1018	0,0604	0,0354	0,0205	0,0117
4	0,7714	0,4686	0,2838	0,1713	0,1029	0,0615	0,0364	0,0213	0,0123
4,5	0,7720	0,4692	0,2844	0,1719	0,1036	0,0621	0,0370	0,0219	0,0128
5	0,7724	0,4696	0,2848	0,1723	0,1038	0,0625	0,0374	0,0223	0,0131

La fluencia adicional causada por el secado del hormigón,  $C_d(t, t', t_0)$ , se calcula mediante la expresión,

$$C_d(t, t', t_0) = q_5 \cdot [\exp\{-8 \cdot H(t)\} - \exp\{-8 \cdot H(t'_0)\}]^{0,5} \quad (\text{C.114})$$

donde,

$q_5$  es el parámetro relacionado con la fluencia de secado. Este parámetro depende de la retracción,  $\varepsilon_{sh\infty}$  (ver ecuación C.97) y de la resistencia a compresión del hormigón  $f_c$ .

$$q_5 = \frac{7,57 \cdot 10^5}{f_c \cdot |\varepsilon_{sh\infty}|^{0,6}} \quad (\text{C.115})$$

$t'_0$  es la edad del hormigón en que el secado y la tensión actúan por primera vez de forma simultánea.

$$t'_0 = \max(t', t_0) \quad (\text{C.116})$$

Si  $t > t'_0$  entonces  $C_d(t, t', t_0) = 0$ , lo que significa que el secado y la carga empiezan a actuar simultáneamente en el hormigón.

$H(t)$  es la humedad relativa media del poro, dentro de la sección,  $0 \leq H \leq 1$



$$H(t) = 1 - (1 - h) \cdot S(t) \quad (\text{C.117})$$

**S(t)** representa la función de tiempo de la retracción.

$$S(t) = \tanh \sqrt{\frac{t-t_0}{\tau_{sh}}} \quad (\text{C.118})$$

Para calcular el coeficiente de fluencia, teniendo el valor de la función de fluencia (J), se puede utilizar a la siguiente expresión.

$$\varphi(t, t') = E(t') \cdot J(t, t') - 1 \quad (\text{C.119})$$

# ANEJO D

## DETALLES EXPERIMENTALES DE LA 4ª CAMPAÑA

### D.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se presentan los detalles de la 4ª campaña experimental, realizada en el laboratorio del “*Center for Advanced Cement-Based Materials (ACBM)*” de la “*Northwestern University*” ubicado en Evanston, Illinois E.E.U.U. La primera parte corresponde a la documentación fotográfica, ya que el criterio para obtener el VSI (índice de segregación visual) es un análisis visual. La segunda parte corresponde a los resultados específicos de cada ensayo de segregación realizado.

## D.2. DOCUMENTACION FOTOGRÁFICA

La documentación fotográfica consiste dos fotos por amasada realizada, las cuales han sido sacadas al finalizar el ensayo de escurrimiento. Se presentan las fotos separadas por grupo de dosificación. Asimismo, se presenta el “VSI Value” (índice de segregación visual) atribuido según la ASTM C1611 M-05, por los 3 ingenieros que participaron de los ensayos.

### D.2.1. AGR-20

VSI =0 → No hay indicios de exudación ni segregación



Figura D.1 – Serie AGR-20

### D.2.2. AGR-10

VSI =1 → Se puede observar una ligera exudación como un brillo en la masa del hormigón



Figura D.2 – Serie AGR-10

**D.2.3. AGR-0**

VSI =1 → Se puede observar una ligera exudación como un brillo en la masa del hormigón



Figura D.3 – Serie AGR-0

**D.2.4. AF0%C0**

VSI =3 → Se observa una clara segregación con halo de mortero (> 10 mm).

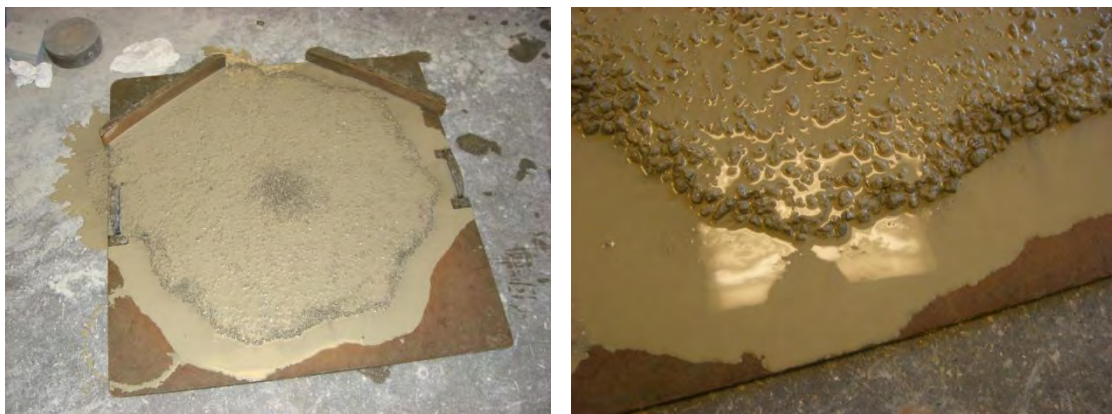


Figura D.4 – Serie AF0%C0

**D.2.5. AF0%**

VSI =2 → Se observa un pequeño halo de mortero ( $\leq 10$  mm)



Figura D.5 – Serie AF0%

**D.2.6. AF2%**

VSI =0 → No hay indicios de exudación ni segregación



*Figura D.6 –Serie AF2%*

**D.2.7. AF2%R**

VSI =2 → Se observa un pequeño halo de mortero ( $\leq 10$  mm)



*Figura D.7 – Serie AF2%R*

**D.2.8. AF4%**

VSI =2 → Se observa un pequeño halo de mortero ( $\leq 10$  mm)



*Figura D.8 – Serie AF4%*

**D.2.9. AF10%**

VSI =1 → Se puede observar una ligera exudación como un brillo en la masa del hormigón



*Figura D.9 – Serie AF4%*

**D.2.10. AF4%**

VSI =0 → No hay indicios de exudación ni segregación



*Figura D.10 – Serie T1*

**D.2.11. T2**

VSI =2 → Se observa un pequeño halo de mortero ( $\leq 10$  mm)



*Figura D.11 – Serie T2*

**D.2.12. T3**

VSI =2 → Se observa una concentración de áridos en el centro de la masa de hormigón.



*Figura D.12 – Serie T3*

**D.2.13. T4**

VSI =0 → No hay indicios de exudación ni segregación



*Figura D.13 – Serie T4*

**D.2.14. T5**

VSI =0 → No hay indicios de exudación ni segregación



*Figura D.14 – Serie T5*

**D.2.15. T6**

VSI =3 → Se observa una clara segregación con halo de mortero (> 10 mm) y flujo no uniforme.



Figura D.15 – Serie T6

**D.2.16. T7**

VSI =1 → Se puede observar una ligera exudación como un brillo en la masa del hormigón



Figura D.16 – Serie T7

**D.2.17. M1**

VSI =2 → Se observa un pequeño halo de mortero ( $\leq 10$  mm)



Figura D.17 – Serie M1



**D.2.18. M2**

VSI =3 → Se observa una clara segregación con halo de mortero (> 10 mm).



*Figura D.18 – Serie M*

**D.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE SEGREGACIÓN**

En este apartado se presentan de modo detallado los resultados de cada ensayo empleado para medir la segregación. Inicialmente se presentan los ensayos para a continuación hacer un análisis comparativo.

**D.3.1. Ensayo de escurrimiento**

En la tabla D.1 se presentan los resultados del ensayo de escurrimiento. En este estudio además de las medidas del diámetro final también se ha realizado medidas del T50 (tiempo necesario para que el hormigón escurra hasta el diámetro de 50 cm), Tfinal (tiempo necesario para que el hormigón cese el movimiento). Además se ha observado visualmente la presencia o no de segregación, y se ha otorgado el “VSI Value” (índice de segregación visual) según la ASTM C1611 M-05.

En el análisis visual realizado en el ensayo de escurrimiento se ha observado segregación en 9 de las 18 dosificaciones realizadas, tal como se indica en la tabla D.1. Para dicho análisis se ha considerado que la dosificación no presenta segregación visual cuando su “VSI value” sea 0 o 1; y que la dosificación presenta segregación cuando su VSI es 2 o 3. En la Figura D.19, se presentan cuatro series como ejemplo de dicho análisis.

Tabla D.1 – Resultados del ensayo de escurrimiento

	Diámetro (cm)	T50 (s)	T final (s)	Segregación visual	VSI Value*
AGR-0	72	2,4	39	No	0
AGR-10	70	4,2	49	No	1
AGR-20	67	5,5	49	No	1
AF0%CO	77	2,1	16	Si	3
AF0%	70	1,1	17	Si	2
AF2%	71	1,0	31	No	0
AF2%R	71	1,1	34	Si	2
AF4%	71	1,2	41	Si	2
AF10%	66	2,1	45	No	0
T1	52	5,9	14	No	0
T2	75	1,8	26	Si	2
T3	70	1,9	35	Si	2
T4	60	3,2	43	No	0
T5	57,5	3,2	22	No	0
T6	68	1,1	34	Si	3
T7	56	6,9	17	No	1
M1	70	1,1	20	Si	2
M2	75	3,2	45	Si	3

\* VSI Value = Índice de Segregación Visual según ASTM C1611 M-05

En ella se puede observar los cuatro índices de segregación que considera la norma ASTM C1611 M-05. La definición de dicho índice ha sido realizada en conjunto por los tres ingenieros que estuvieron presentes en la realización del ensayo de escurrimiento. Cabe recordar que dicha clasificación se da en función de las siguientes características visuales:

- VSI = 0 alta estabilidad; no hay indicios de exudación ni segregación.
- VSI = 1 estable; no hay indicios de segregación y se puede observar una ligera exudación como un brillo en la masa del hormigón.
- VSI = 2 inestable; se observa un pequeño halo de mortero ( $\leq 10$  mm) o una concentración de áridos en el centro de la masa de hormigón.
- VSI = 3 alta inestabilidad; se observa una clara segregación con halo de mortero ( $> 10$  mm) y/o una grande concentración de áridos en el centro de la masa de concreto.

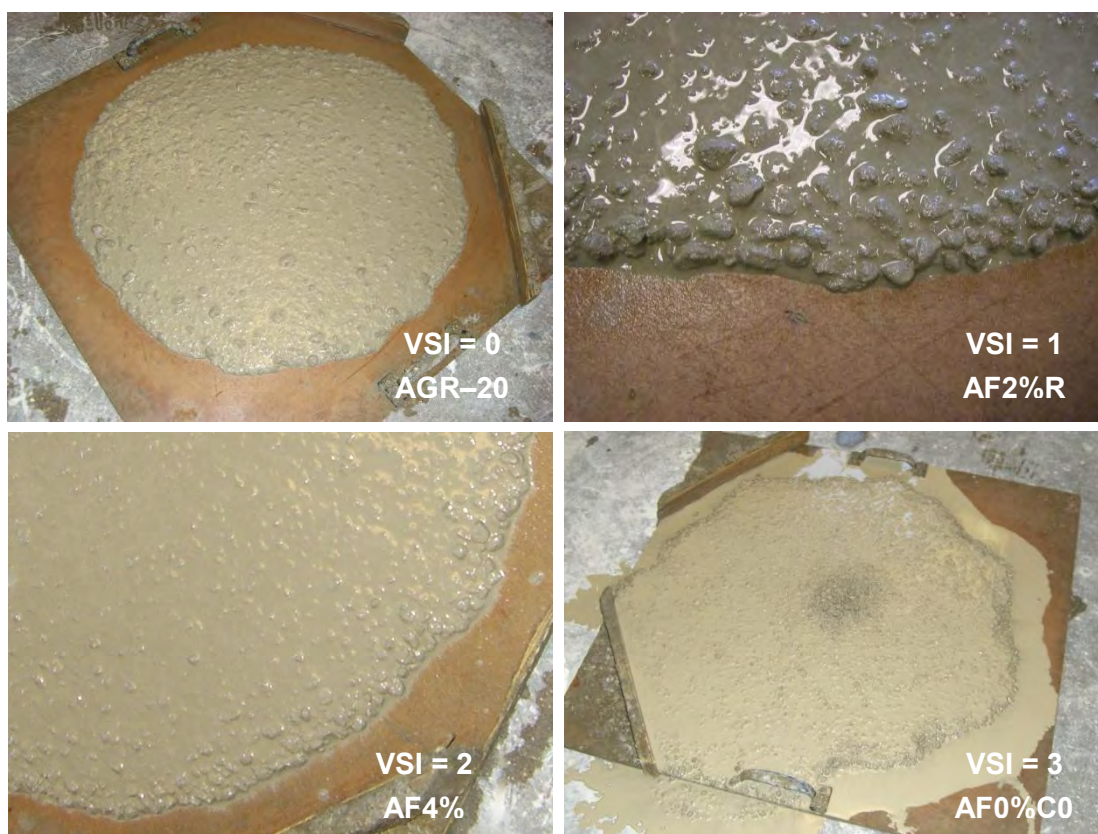


Figura D.19 – Resultados del Análisis visual según ASTM C1611 M-05

En la anterior Tabla D.1, se puede observar que el parámetro  $T_{final}$  es más sensible que el T50 entre las dosificaciones que presentan valores de escurrimiento similares; por ejemplo entre las dosificaciones AF2% y AF4% la variación entre el T50 ha sido mínima (0,2 segundos medidos manualmente) al contrario de la variación en el  $T_{final}$  que ha sido de 10 segundos. Esto ocurre debido a que en HAC fluidos el T50 presenta valores muy bajos tanto para hormigones segregados como para hormigones estables mientras que la diferencia entre ellos se puede apreciar en el  $T_{final}$ . La ventaja que presenta el T50 en relación al  $T_{final}$  es la comparación de hormigones con diferentes valores de escurrimiento.

### D.3.2. Método cuantitativo

El método cuantitativo para medir la segregación en el ensayo de escurrimiento se está desarrollando en el laboratorio de la ACBM y consiste en separar el hormigón en 3 partes (D1, D2 y D3) al finalizar el ensayo de escurrimiento. La parte D1 es la parcela de hormigón que ha escurrido hasta el diámetro de 20 cm. La parte D2 consiste en el hormigón que ha escurrido entre el diámetro de 20 cm y el diámetro de

50 cm, y la parte D3 consiste en el hormigón que ha escurrido por allá del diámetro de 50 mm. Dicha configuración se muestra en la Figura D.20

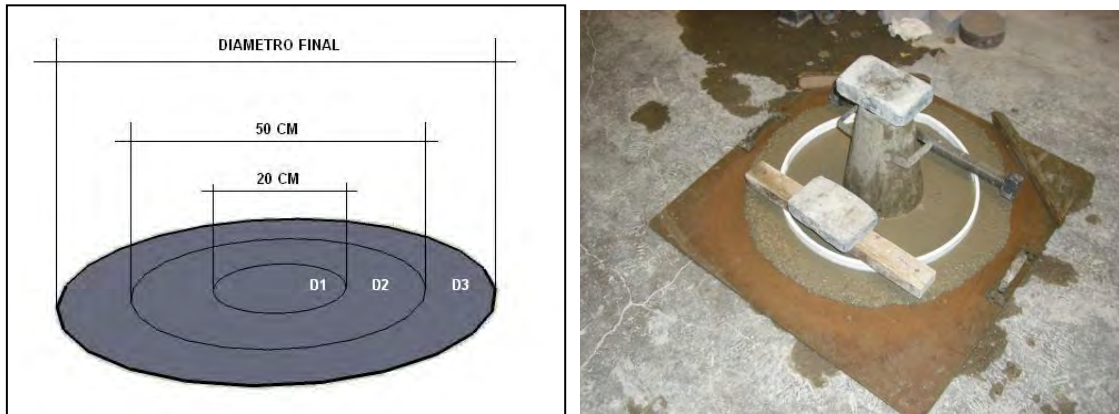


Figura D.20 – Método Cuantitativo para medir la segregación en el ensayo de escurrimiento.

Después de separado el hormigón, se aplica en cada parte un proceso de lavado en un tamiz de 4,75 mm de abertura. La segregación se mide a través de la relación de los áridos de cada parte dividida por el volumen de hormigón de la misma. Si la relación es constante en las tres partes, el hormigón no está segregado.

Los resultados obtenidos para este método se presentan en la Tabla D.2. Cabe resaltar que este método es laborioso y requiere de bastante tiempo para realizarlo. A título de ejemplo de comparación con otros ensayos se ha decidido emplearlo solo en las dosificaciones AF. Además en casos donde la segregación es muy elevada como la dosificación AF0% existe cierta dificultad de empleo de este ensayo, de modo a que se ha optado por no realizarlo en esta serie.

Tabla D.2 – Resultados del método cuantitativo para medir la segregación en el ensayo de escurrimiento

	D (cm)	D1 (20 cm)		D2 (50 cm)		D3 (D final)		D1+D2+D3 g total
		g1	%*	g2	%*	g3	%*	
AF0%	70	556	25,3%	1964	-2,7%	1901	-3%	4422
AF2%	71	551	34,1%	1921	0,6%	1859	-7,6%	4331
AF2%R	71	619	36,6%	2183	-4,1%	2358	-1,6%	5161
AF4%	71	615	24,1%	2234	-2,7%	2311	-2,4%	5161
AF10%	66	713	15,9%	2593	1,2%	2077	-10,2%	5384

\*% áridos/volumen de cada sección en relación al total de áridos del ensayo/volumen total (5,4l)

Los resultados expuestos en la tabla anterior representan en las columnas “g” el peso en gramos de los áridos presentes en cada sección (D1, D2 y D3), mientras

que las columnas “%” representan la diferencia entre la relación árido/volumen de cada sección con la relación árido/volumen media obtenida en cada ensayo, dicha relación se expresa en la ecuación D.1:

$$\% = 1 - \frac{g_1/V_1}{g_{total}/V_{total}} \quad (D. 1)$$

La primera observación importante de dichos resultados es que el contenido total de áridos en el ensayo ha sido diferente para cada dosificación, aunque la diferencia entre ellas (serie AF) es únicamente la cantidad de los aditivos. Cada dosificación presenta un contenido de árido grueso de 880 kg/m<sup>3</sup> mientras que en 5,4 l (volumen del cono) el contenido teórico de árido grueso es de 4752 g. Si se considera el porcentaje de la arena con diámetro superior a los 4,75 mm se obtiene un total teórico de áridos del orden de los 4900 g. En base a ello, se puede concluir que las dosificaciones con peso total de áridos en el ensayo inferior al teórico han perdido la homogeneidad en la mezcla, es decir los áridos se han concentrado en la parte inferior del hormigón dentro de la amasadora, ya que el ensayo de escurrimiento ha sido el primer en realizarse dentro del procedimiento empleado (parte superior = menos áridos). Por otro lado las dosificaciones AF2%R, AF4% y AF10% han presentado valores superiores al teórico, lo que no es lógico dado que la parte superior del hormigón no debería presentar más áridos que la parte inferior.

Asimismo, se observa que todas las dosificaciones han presentado una cantidad de áridos más elevada en la parte central del ensayo (D1) que en las demás partes. Además, se la dosificación con mayor diferencia de áridos en las 3 secciones ha sido la AF2% y la dosificación con menor diferencia ha sido la AF10%. Los resultados se pueden apreciar de forma grafica en la figura D.21.

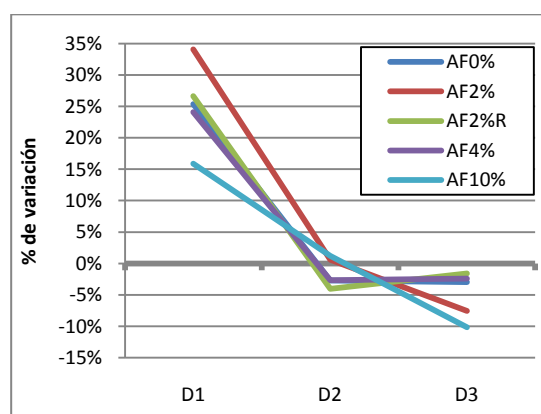


Figura D.21 – Resultados del Método Cuantitativo para medir la segregación

Para este ensayo aún no se ha establecido los límites a partir de los cuales se puede considerar el hormigón segregado, pero cuanto más horizontal sea el gráfico menor variación tendrá y más homogénea la mezcla. En base a la figura anterior, se observa que las dosificaciones AF0%; AF2%R y AF4% presentan resultados muy similares, y en todas ellas se ha detectado segregación visual en el ensayo de escurrimiento.

### D.3.3. Ensayo de estabilidad del tamiz GMT y Ensayo de la columna (ASTM 1610)

Los resultados de los ensayos de estabilidad de tamiz GMT y de la columna (ASTM 1610) se presentan en la Tabla D.3.

Tabla D.3 – Resultados de los ensayos de estabilidad de tamiz GMT y de la columna (ASTM 1610)

Ensayo	Ecur D (cm)	Tamiz			Columna			
		Pasta (g)	Horm (g)	SR	Super. (g)	Inferior (g)	S	R
AGR-0	72	1078,4	5005	<b>22%</b>	4096	4550	10,5%	0,900
AGR-10	70	469,8	5360	9%	4305	4787	11%	0,899
AGR-20	67	152,2	5066	3%	4018	4442	10%	0,905
AF0%CO	77*	1262,4	5173,2	<b>24%</b>	1196	6372	136%	<b>0,188</b>
AF0%	70*	401,1	5008,5	8%	3807	4316	12,5%	<b>0,882</b>
AF2%	71	230,1	5015	5%	3838	4052	5,4%	0,947
AF2%R	71*	574,1	5012	11%	4661	5288	12,6%	<b>0,881</b>
AF4%	71*	616,8	5056,5	12%	4240	5156	19,5%	<b>0,822</b>
AF10%	66	651,4	5057,8	13,0%	4364	5048	15%	<b>0,864</b>
T1	52	769,2	5040,3	15%	4546	5122	11,9%	<b>0,888</b>
T2	75*	1451,4	5266,1	<b>28%</b>	3827	5119	29%	<b>0,748</b>
T3	70*	432,5	5266,1	8%	3106	5287	52%	<b>0,587</b>
T4	60	378,7	5091,5	7%	3876	5101	27,3%	<b>0,760</b>
T5	57,5	0,2	5139,5	0%	3490	4918	34%	<b>0,710</b>
T6	68*	2142,5	4900,4	<b>44%</b>	3604	5399	39,9%	<b>0,668</b>
T7	56	179,8	5196,6	3%	4071	4567	11,5%	<b>0,891</b>
M1	70*	1288,7	5762,8	<b>22%</b>	4656	5324	13,4%	<b>0,874</b>
M2	75*	872,1	4978,5	<b>18%</b>	3436	4988	36,8%	<b>0,689</b>

\*Segregación visual en el ensayo de escurrimiento

–The European Guidelines for Self-compacting Concrete” (BIMB et al, 2005) establece los procedimientos para realizar el ensayo de estabilidad del tamiz GMT y define el parámetro SR (resistencia a la segregación) como la relación entre la pasta

que pasa a través del tamiz y el hormigón vertido en el mismo. La misma instrucción establece 3 clases de HAC en función del parámetro SR:

- SR1 para hormigones con resistencia a segregación <20%
- SR2 para hormigones con resistencia a segregación <15%
- SR2\* para hormigones con resistencia a segregación <10%

Los HAC SR1 se aplican generalmente en losas delgadas o en aplicaciones verticales donde la distancia de flujo no alcanza los 5 m y el espacio de confinamiento es más elevado que 80 mm. Los HAC SR2 se utilizan preferencialmente en aplicaciones verticales si la distancia de flujo supera los 5 m con espacio de confinamiento superior a 80 mm de modo a evitar la segregación durante el flujo. Si la distancia de flujo es superior a los 5 m se requiere una mejor resistencia a segregación recomendando la clase SR2\*.

En base a ello se puede concluir que la segregación depende de la aplicación del HAC y que de modo general se puede considerar segregado todo aquel HAC que presente SR>20%. En la anterior tabla D.3 se observa que valores superiores a este porcentaje se ha obtenido en 5 dosificaciones, siendo que en una de ellas (AGR-0) no se ha detectado visualmente la segregación. Además en algunos casos donde se ha detectado visualmente la segregación, el ensayo del tamiz dio lugar a valores inferiores al 20%. Por ello, en este trabajo se ha considerado el resultado de un 15% (SR2) como límite de segregación en dicho ensayo.

Los resultados del ensayo de la columna ASTM C1610 se presentan en la misma tabla D.3, donde las columnas “*super*” e “*inferior*” representan el peso de los áridos en las partes superior e inferior de la columna ASTM C1610 mientras que, la columna “R” representa la relación entre la parte superior/ parte inferior, y la columna “S” representa el coeficiente recomendado en dicha normativa tal como se muestra en la ecuación D.2:

$$S = 2 \cdot \left[ \frac{\text{inferior} - \text{super}}{\text{inferior} + \text{super}} \right] \cdot 100 \quad (\text{D. 2})$$

Aunque el coeficiente viene en la normativa ASTM C1610, no hay recomendaciones de sus límites. Por otro lado, CUSSIGH y BONNARD (2004) han aplicado el mismo ensayo (con diferente configuración) considerando que:

- si R<0,90 el HAC es susceptible a segregarse;
- si R>0,95 el HAC presenta buena resistencia a la segregación.

De modo que si se considera segregación en los HAC con R inferiores a 0,9 se observa que solo la serie AGR y la dosificación AF2% no presentan segregación.

#### D.3.4. Ensayo de penetración y ensayo propuesto

En la tabla D.4 se presentan los resultados del ensayo de penetración (Bui et al, 2002) y del ensayo propuesto en la presente tesis.

En el ensayo de penetración (Bui et al, 2002), los HAC se consideran resistentes a la segregación cuando presentan valores inferiores a 8 mm. De modo que, en 7 de las 18 dosificaciones presentan buena resistencia a la segregación.

Tabla D.4 – Resultados de los ensayos de:  
a) penetración (Bui et al, 2002) b) del ensayo propuesto

	Escurrimiento D (cm)	Penetración Bui et al (mm)	Ensayo Propuesto (mm)
AGR-0	72	17	48
AGR-10	70	12	45
AGR-20	67	4	42
AF0%CO	77*	45	60
AF0%	70*	6	47
AF2%	71	9	38
AF2%R	71*	16	47
AF4%	71*	15	48
AF10%	66	16	45
T1	52	3	18
T2	75*	20	41
T3	70*	12	41
T4	60	4	20
T5	57,5	2	13
T6	68*	10	44
T7	56	5	22
M1	70*	5	46
M2	75*	40	50

\*Segregación visual en el ensayo de escurrimiento

En el ensayo propuesto aun no se ha determinado el limite a partir del cual se puede considerar el hormigón segregado, siendo que este es el objetivo de esta campaña experimental. Mientras tanto, se puede observar en dicha tabla, que ambos ensayos no siguen un mismo comportamiento. Por ejemplo, en la serie AGR-20 el



resultado del ensayo de penetración ha sido de 4 mm, mientras el ensayo propuesto ha resultado en una segregación de 42 mm; por otro lado en la serie AF2% el resultado del ensayo de penetración ha sido de 9 mm ( $AF2\% > AGR-20$ ) mientras el resultado del ensayo propuesto ha sido de 38 mm ( $AF2\% < AGR-20$ ), es decir, comportamientos contrarios.

### D.3.5. Comparación del Ensayo del Tamiz X Columna ASTM C1610

En este apartado se comparan los dos ensayos más reconocidos para medir la segregación. Cabe recordar que las *Directrices Europeas del Hormigón Autocompactante* (BIBM et al, 2005) emplean el ensayo del tamiz como criterio para medir la segregación mientras el ensayo de la columna es una normativa americana.

De este modo, en la figura D.22 se exponen los resultados obtenidos para cada una de las series ensayadas en función de ambos ensayos. En el eje de las abscisas se muestran los resultados del ensayo de la columna mientras en el eje de las ordenadas se exponen los resultados del ensayo del tamiz. Además, en la misma figura se presentan los límites adoptados para cada ensayo a través de las líneas discontinuas.

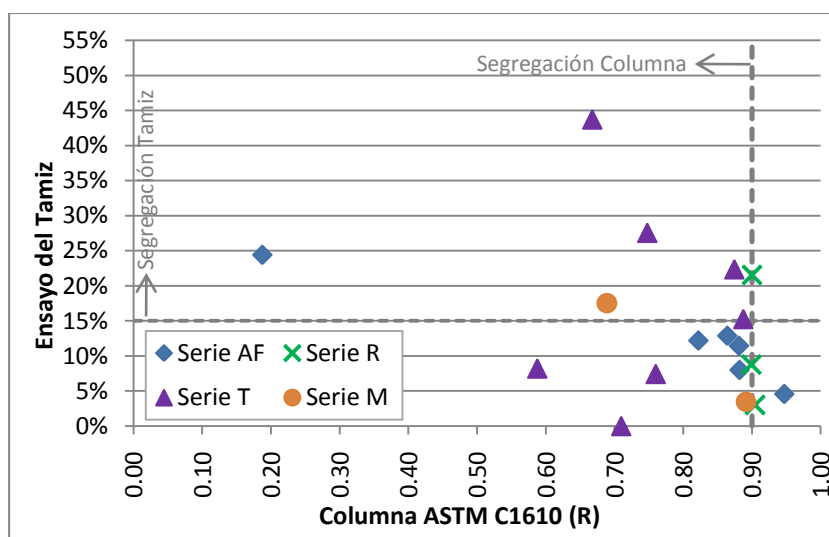


Figura D.22 – Comparación entre el ensayo del tamiz y la Columna ASTM C1610.

En ella se observa que no hay una correlación general entre los dos ensayos. Tal como ya se ha comentado en el apartado anterior, en la mayoría de los resultados se identifica segregación en la columna pero no en el tamiz. Ello indica que ambos ensayos miden la segregación de diferentes formas, y de este modo cuando se analizan distintas dosificaciones no se puede relacionar ambos ensayos.

### D.3.6. Ensayo de Penetración X Ensayo del Tamiz y Columna ASTM C1610

En la figura D.23 se presenta el análisis comparativo del ensayo de penetración propuesto por Bui et al (2002) y el ensayo del Tamiz y de la columna ASTM C1610.

En ambos gráficos de dicha figura se presentan los resultados del ensayo de penetración en el eje de las ordenadas, mientras en el eje de las abscisas de la figura D.23.a se exponen los resultados del ensayo del tamiz; y en el eje de las abscisas de la figura D.23b se exponen los resultados del ensayo de la columna. Además, en las mismas figuras se presentan los límites adoptados para cada ensayo a través de las líneas discontinuas.

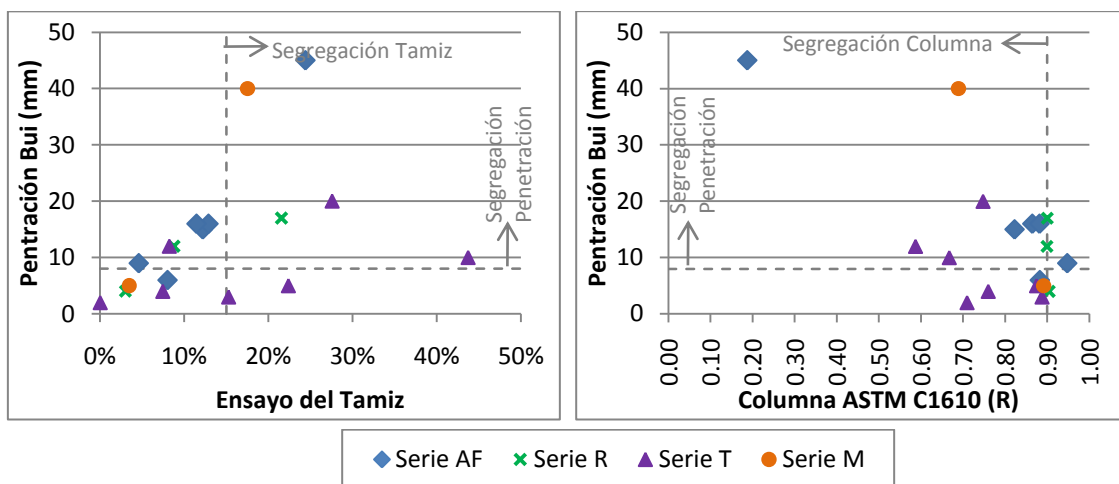


Figura D.23 – Comparación entre el ensayo de Penetración X tamiz y la Columna.

En dichas figuras se observa que no hay una correlación entre el ensayo de penetración (Bui et al, 2002) con el ensayo del tamiz y tampoco con el ensayo de la columna. Asimismo se observa que las tendencias en el ensayo de penetración son más similares al ensayo del tamiz donde la mayoría de las series presentan resultados similares en ambos ensayos.

