

## RESUMEN

La presente Tesis, realizada entre enero de 2006 y diciembre de 2011, dentro del programa de doctorado, con mención de Calidad, de la Universidad de Cantabria “Modelos en Ingeniería Civil” ha supuesto la ejecución de un ambicioso programa de ensayos de caracterización, tanto de los elementos que componen el material objeto de estudio como del propio hormigón reciclado, así como un profundo análisis y comparación de los resultados obtenidos.

En cuanto a la línea experimental adoptada, en una primera etapa correspondiente a la caracterización de los cementos y de los áridos naturales y reciclados, se han obtenido las principales características de los mismos: propiedades físicas, químicas, mecánicas y composicionales. Una vez comprobado que las características de los componentes son adecuadas para la fabricación de hormigón reciclado, se han elaborado seis distintas dosificaciones con cuatro grados de incorporación de árido reciclado, cada una, obteniéndose, así, un total de 24 distintos hormigones con el objetivo de establecer comparaciones entre ellos.

Una vez fabricados los hormigones, en una segunda etapa experimental de caracterización ajustada a la durabilidad del hormigón reciclado, se han determinado

las propiedades físicas (densidad, porosidad y absorción), medidas de resistencia a la penetración de agua bajo presión y permeabilidad a gases, de los 24 distintos hormigones, a los 28 días, 180 días y 365 días de edad de curado en cámara de humedad. Paralelamente, se ha caracterizado, un mismo número de probetas, curadas, en este caso, en un ambiente marino (tipo IIIa según la actual EHE-08) con la finalidad de poder, también, establecer comparaciones entre las características obtenidas en uno y otro ambiente.

La tercera etapa experimental ha supuesto la caracterización mecánica, determinado para ello, las resistencias a compresión, a tracción y el módulo de elasticidad, además de un amplio estudio del comportamiento frente a esfuerzos de fatiga. Esta última caracterización ha pasado por el registro de las curvas tensión-deformación de los hormigones sometidos a ensayos LOCATI bajo cargas cíclicas para, a continuación, definir las correspondientes curvas de Wöhler obtenidas a partir de ensayos STAIRCASE de cada una de las dosificaciones.

En lo referente a las principales conclusiones derivadas de la investigación, destaca que las propiedades de los áridos reciclados procedentes de hormigón se sitúan, la mayor parte de ellas, dentro de los límites exigidos por la normativa, quedando demostrado que las pequeñas desviaciones encontradas no son excluyentes para su utilización en la confección de hormigón reciclado para uso estructural.

En cuanto a la fabricación del hormigón, la alta porosidad de los áridos reciclados exige que las dosificaciones se realicen teniendo en cuenta las pérdidas de agua debidas a la absorción de los mismos, lo que reduce la cantidad de agua disponible para llevar a cabo el amasado. Se ha propuesto en la presente Tesis una formulación que permite conocer la relación agua/cemento efectiva independientemente del método de mezcla que se haya adoptado.

En cuanto a la durabilidad del hormigón reciclado, se ha podido comprobar cómo un 20% de sustitución (máximo recomendado en la normativa) de árido reciclado por árido natural proporciona hormigones muy similares a los convencionales, encontrándose que, para hormigones con 100% de sustitución, algunas medidas indican que estarían fuera de lo recogido en la Instrucción EHE-08.

Por último, se ha constatado que el límite a fatiga de los hormigones reciclados disminuye con el porcentaje de incorporación de árido reciclado, penalizando en

mayor cuantía a los hormigones más competentes. Además, se propone una metodología LOCATI para la determinación del límite a fatiga, mediante la realización de un número reducido de ensayos.



## ABSTRACT

This Thesis consists of two main parts: on the one hand, the undertaking of an extensive program of testing of recycled concrete and its components and, on the other hand, the analysis and interpretation of the results obtained. Five years have been invested in completing this program.

On the experimental line, the characterization of cement and natural and recycled aggregates has been carried out. Physical, chemical, mechanical, compositional and geometric properties have been obtained. Having shown that the characteristics of the components are suitable for making recycled concrete, 6 different mixtures with 4 degrees of recycled aggregates have been developed. Thus, a total of 24 different concretes have been compared.

In a second stage, the durability characteristics, physical properties (density, porosity and absorption), water penetration under pressure and permeability to gases of recycled concrete have been obtained. Also, all the tests have been performed over 28, 180 and 365 days. In parallel, the evolution of the concrete in a marine environment (type IIIa) and in a humidity chamber have been compared.

The third stage comprises the mechanical characterization. The compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity and a study of the behaviour under fatigue has been carried out. As for the fatigue tests, LOCATI and STAIRCASE programs have been run for each mixture.

The results show that the properties of the recycled aggregates from concrete comply with most of the standard regulations. Some small deviations have been found for concrete aggregates.

As for the manufacture of concrete, the high porosity of recycled aggregates implies a loss of effective water available for cement hydration. Three methods of mixing have been analyzed and validated. Also, a formulation to determine the effective water for each methodology has been proposed.

Regarding the durability of recycled concrete, it has been demonstrated that a 20% substitution (maximum recommended in the Spanish Instruction EHE-08) of recycled aggregate provides very similar concretes to the control ones. Also, for concrete with 100% substitution, some properties exceed the limits of the EHE-08.

Finally, it was shown that the fatigue limit of recycled concretes decreases with the incorporation rate of recycled aggregate. Furthermore, the Locati methodology, faster than the Staircase method, is proposed for determining the fatigue limit.