

## RESUMEN DE LA TESIS

El sector de la construcción es un gran consumidor de materias primas extraídas de la naturaleza. En la actualidad, en este sector y, específicamente, en las actividades orientadas a la innovación en materiales, materias primas y productos asociados, resulta atractiva la reutilización y valorización de residuos. La ceniza volante de la combustión de carbón (CV), el catalizador gastado de craqueo catalítico de la industria petroquímica (FCC), y el humo de sílice procedente de la fabricación de silicio y sus aleaciones (HS) son materiales artificiales de carácter puzolánico, que son estudiados para ser utilizados con el objeto de mejorar las características tanto de morteros como de hormigones.

En el ámbito de los materiales compuestos o composites para la construcción, el cemento reforzado con fibras de vidrio (GRC, del inglés glass fiber reinforced cement) es el más extensamente utilizado, por sus excelentes propiedades mecánicas (resistencia a flexión y tenacidad). Sin embargo, la durabilidad de estos composites se ha demostrado crítica, y es necesario proponer alternativas. Las fibras usadas, de carácter álcali-resistente (fibras AR, formadas por agrupación de filamentos), son atacadas por el medio agresivo que impone el cemento hidratado. Una alternativa interesante, desde el punto de vista tecnológico, es la incorporación de materiales cementantes suplementarios de carácter puzolánico.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la influencia de las diferentes adiciones activas en morteros de GRC, observando el comportamiento de los elementos constitutivos del material en condiciones normales de curado, y también al ser sometidos a procesos de envejecimiento controlado. Asimismo, se analiza el comportamiento de los nuevos composites sometidos a diferentes medios agresivos, evaluando la durabilidad y la mejora de los compuestos por medio de la determinación de sus propiedades mecánicas, químicas y físicas.

Se han elaborado probetas de GRC a través del procedimiento de premezcla (premix) y se han determinado sus propiedades mecánicas (resistencia a flexión, tenacidad y módulo de elasticidad). Adicionalmente, se han cuantificado las ganancias de resistencia al comparar composites GRC basados en cemento Portland (especímenes control) con otros en los que se ha sustituido hasta el 60% de dicho cemento por adiciones puzolánicas. Al objeto de mejorar la reactividad de las puzolanas, en algunos casos se ha implementado un aumento de su finura a través de la molienda (cenizas volantes molidas, CVm) o de procesos de sonicación (humo de sílice sonicado, HSS). Los especímenes de GRC han sido sometidos a un proceso de envejecimiento (tratamiento en agua a 55°C durante un período prolongado) y se ha observado un empeoramiento muy importante de la resistencia a flexión y la tenacidad de aquellos que poseen solamente cemento Portland como componente cementante. Los composites GRC que contienen cantidades elevadas de puzolana (60% de CVm) o mezclas de puzolanas (50%CVm / 10%HSS, 50%CVm / 10%FCC) presentan una mejora sustancial de las propiedades mecánicas con respecto a los GRC control. La mejora de estos sistemas GRC con elevados porcentajes de puzolanas reactivas se han confirmado a través de estudios físicos y físico - químicos: evaluación de densidad, absorción, estudios microscópicos (lupa y microscopía electrónica de barrido) y análisis termogravimétrico.

Se ha evidenciado que el empeoramiento del GRC control se produce fundamentalmente por la elevada alcalinidad del medio como consecuencia de la formación de grandes cantidades de portlandita (hidróxido cálcico). Dicho compuesto químico favorece, por una parte, la disolución de los componentes de la fibra de vidrio (básicamente sodio y silicio) y, por otra parte, genera daño físico en los filamentos que componen la fibra AR. El daño se acelera con el envejecimiento y se observa una caída importante de la resistencia a flexión y sobre todo un dramático descenso de la tenacidad (a valores similares al mismo material, pero sin fibra AR). Se ha demostrado que el uso de fibras AR de diversas longitudes (desde 6 mm hasta 24 mm) así como de fibras AR de carácter dispersable (con dispersión de los filamentos de la fibra) no mejoran el comportamiento frente al envejecimiento.

Se ha demostrado que la incorporación de los materiales puzolánicos descritos, a través de la sustitución parcial del cemento Portland en la formulación del GRC, posibilita un mejor comportamiento del composite. Ello se debe a las propiedades puzolánicas, bien de la CVm presente en altos porcentajes, o bien de su mezcla con materiales puzolánicos complementarios (FCC y HSS). La reacción puzolánica permite la creación de mayor cantidad de productos hidratados, factor que contribuye a la formación de una matriz más densa, obteniendo resistencias mecánicas elevadas. Asimismo, el consumo de la portlandita disminuye la agresividad del medio hacia las fibras AR: en muchas de las mezclas con puzolana, la portlandita presente después de 28 días de curado era prácticamente insignificante.

Se ha concluido que la incorporación de cantidades significativas de puzolanas supone una mejora en el comportamiento de los composites GRC con fibras AR frente a los procesos de humectación-secado. Sin embargo, no es efectiva para los procesos de hielo-deshielo, debido a que el mecanismo de daño se debe al efecto expansivo de la congelación de agua en los poros y no al daño específico sobre las fibras.

En cuanto a la respuesta de los composites GRC frente a diferentes disoluciones agresivas, se ha demostrado el efecto beneficioso de la presencia de puzolanas. Después de la exposición de los morteros de GRC a una disolución de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , el comportamiento mecánico de los morteros puzolánicos se mantiene por encima del mortero GRC control: esto se debe a la relación directa existente con el incremento de la densidad y la disminución de grado de absorción del composite con la sustitución puzolánica. Al evaluar las propiedades de los morteros de GRC después de su exposición a una disolución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , se observan diferencias muy importantes en la evolución de la masa, resistencia a flexión y tenacidad: los composites control son más afectados por la acidez del medio, de modo que la pérdida de masa es muy significativa si se compara con los GRC que presentan puzolanas.

La estancia en la empresa Saint Gobain Vetrotex, ha permitido confirmar una gran similitud en los resultados obtenidos mediante los procedimientos seguidos en el laboratorio de la UPV (compuestos de GRC premezclado) comparados con las prácticas desarrolladas por el laboratorio de materiales de la empresa (composites de GRC proyectado). Se han evaluado prototipos escalables para la industria del GRC proyectado. Se confirma el mejor comportamiento mecánico de los compuestos en cuyas formulaciones están presentes las puzolanas, debido a su reactividad, que potencian que la resistencia a flexión y la tenacidad se mantengan incluso con el envejecimiento.

A modo de conclusión final, se ha demostrado la viabilidad de fabricación de composites de GRC con adiciones puzolánicas, ceniza volante molida, residuo de catalizador FCC y humo de sílice sonicado, tanto en premezcla como en proyección, dosificaciones que favorecen el comportamiento frente al envejecimiento, manteniendo niveles muy aceptables de tenacidad y resistencia a flexión.