

Resumen

La industria de la construcción es una gran generadora de residuos que impacta de forma directa al medio ambiente, desde el proceso de construcción hasta el fin de la vida útil de las estructuras. Los procesos constructivos involucran el uso de grandes cantidades de materiales de construcción, entre ellos el cemento Portland (*OPC*). Este material es el de mayor producción a nivel mundial y durante su proceso de fabricación se emiten gases de efecto invernadero, especialmente elevadas emisiones de CO_2 . Otro de los factores que afectan el medio ambiente durante todo el ciclo de vida de una estructura de construcción es la generación de grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición (*RCD*); estos presentan una composición muy heterogénea, estando formados, en su mayor parte, por mezclas de áridos, hormigones, morteros, piedra, materiales cerámicos, gravas y arenas, suelo y, en menor medida, metales, vidrios y plásticos, entre otros.

A partir de estos problemas ambientales, los científicos y la industria del cemento están estudiando la forma de disminuir las emisiones de CO_2 , y además, están valorando la reutilización y aprovechamiento de los residuos sólidos, provenientes de los distintos sectores industriales y, por supuesto, de la construcción. Así, una posible vía alternativa está encaminada hacia la sustitución parcial del *OPC* por residuos o el uso de otros tipos de conglomerantes como los geopolímeros o conglomerantes de activación alcalina. En este sentido, se ha demostrado que estos últimos conglomerantes son más sostenibles y contaminan menos que el cemento tradicional. Los conglomerantes de activación alcalina se preparan a partir de una sustancia precursora de composición silicoaluminosa y de una disolución activadora fuertemente alcalina.

En la investigación realizada se presenta el estudio que simula en laboratorio un residuo de demolición a partir del cemento hidratado y carbonatado (a partir de cemento tipo *CEM I*), el cual contiene, entre otros compuestos, sílice y alúmina vítreas; para ello se realizó un proceso de carbonatación acelerada, saturando al residuo con CO_2 en dos tipos de ambientes; un ambiente seco, donde la humedad relativa no sobrepasaba el 70% (*CHC Seco*) y el otro un medio acuoso y frío con temperatura de 5 ± 1 °C (*CHC Magallanes*). En ambos casos se trata de una transformación con fijación de

CO_2 , pero con el medio acuoso se consigue disminuir el tiempo de carbonatación de 15 días a 2 h.

Una vez obtenido este nuevo material se procedió a su caracterización desde el punto de vista físico - químico. A partir de estos parámetros se confirmó su reactividad puzolánica mediante la medida del pH y conductividad eléctrica en suspensiones de hidróxido cálcico/*CHC*. Además, se procedió a fabricar pastas y morteros activados alcalinamente con mezclas de hidróxido de sodio ($NaOH$) y silicato de sodio (Na_2SiO_3): la microestructura de las pastas y los desarrollo de la resistencia mecánica de los morteros fabricados confirmaron la estabilidad de los materiales formados por medio de la activación alcalina.

Adicionalmente, el *CHC Magallanes* se combinó con otros materiales, con el fin de evaluar la influencia de diversas sustancias finas que se encuentran presentes en los residuos de construcción y demolición, como es el caso del yeso. Los valores de resistencia mecánica del *CHC Magallanes* activado alcalinamente no fueron muy elevados, por lo que se desarrolló con éxito una línea de trabajo a partir de mezclas con escoria de alto horno (a partir de 40 % de sustitución) y cemento de aluminato de calcio (a partir de 20 %). Estos sistemas han presentado unos excelentes comportamientos frente al ataque por sulfatos y a los ciclos hielo-deshielo, con unas prestaciones superiores a los sistemas con cemento Portland.

Similarmente, se procedió a la obtención de otros precursores de activación alcalina a partir de la hidratación y carbonatación de los cementos tipo *III/A* (con escoria de alto horno), *IV/A* (con ceniza volante) y cemento de aluminato cálcico (*CAC*), los cuales se identificarán como *Mag3*, *Mag4* y *CAC Atacama*. Se llevó a cabo su caracterización físico - química y se fabricaron pastas y morteros con estos nuevos precursores de activación alcalina. Los resultados demostraron que este tipo de materiales, que pueden encontrarse en residuos de construcción y demolición, también son susceptibles de ser aplicados en conglomerantes de activación alcalina.

Análogamente, se procedió a determinar las características físico - químicas de una fracción fina real de un residuo de construcción y demolición (*RCD*) provenientes de una planta de reciclaje. Se determinó su comportamiento puzolánico, y se fabricaron morteros de activación alcalina usando *RCD* y con sustitución de escoria; se demostró la viabilidad de los morteros, tanto desde el punto de vista mecánico como de durabilidad.

Con el fin de conocer la huella de carbono de los nuevos precursores, se procedió a estudiar el balance (emisión y fijación) de CO_2 producido en la fabricación de cada uno de los materiales *CHC Magallanes*, *Mag3*, *Mag4* y *CAC Atacama* y las emisiones de (CO_2) emitida en el proceso de fabricación de los morteros geopoliméricos. Los datos demostraron que los precursores tienen un impacto mucho menor que el cemento Portland, si bien los morteros de activación alcalina presentaron valores de emisiones

muy próximos a los de cemento Portland debido a la elevada contribución del silicato sódico empleado.

Todos estos resultados demuestran que los materiales proveniente de residuos relacionados con cemento hidratado, tras un proceso adicional de carbonatación, lo cual supone una cantidad significativa de CO_2 fijado, poseen características adecuadas para ser reutilizados como precursores en conglomerantes activados alcalinamente, y por ende se puede utilizar como un nuevo material de construcción.