

## 1. Introducción

El bienestar social está ligado a la generación de gran cantidad de gases y residuos, tanto industriales como domésticos, que tienen una repercusión negativa para el medio-ambiente; por este motivo, el control de la gestión de subproductos, desechos y residuos, es actualmente una cuestión prioritaria. Al aumentar el desarrollo industrial aumenta también el volumen de residuos y subproductos generados, por lo que hay que darles una salida que sea compatible con el mantenimiento del equilibrio medioambiental.

Una de las grandes preocupaciones tanto en el sector industrial, como por parte de las Administraciones Públicas, es buscar estrategias para reciclar y/o reutilizar este creciente volumen de subproductos, residuos y desechos industriales, buscando aplicaciones concretas de uso que sean compatibles con las características de cada material reciclado.

En este trabajo, la investigación se centra en la industria cementera que contribuye de manera importante al equilibrio medioambiental, ya que reduce sustancialmente la cantidad de vertidos de estos residuos incorporándolos al proceso industrial. Estos residuos se pueden incorporar en cuatro fases diferentes del proceso industrial: como correctores de las materias primas (las cenizas de pirita, arenas fundición) [1]; como combustibles alternativos (aceites, neumáticos) [2,3]; como adiciones activas al clinker Pórtland (cenizas volantes, humo de sílice, esquistos calcinados) [4,5] y, finalmente, como árido de reciclado en bases y sub-bases de carreteras así como en la fabricación de hormigones.

Durante las últimas décadas, la fabricación de cementos ha ido cambiando para adaptarse a las necesidades de la sociedad. Concretamente, según los datos disponibles del año 2006, las fábricas españolas utilizaron 3.363.569 tn de combustible sólido, de los que 3.144.065 tn correspondieron a coque de petróleo y 223.016 tn a combustibles sólidos alternativos (como por ejemplo neumáticos, harinas cárnicas, lodos de depuradora), lo que supone un 6,6%, un valor que está todavía muy lejos de alcanzar la media de sustitución europea que se sitúa entre 10 y 13%.

Una de las principales líneas de investigación para reciclar los residuos sólidos es su incorporación como adición activa al cemento y hormigón. En esta línea de actuación en el año 2006 de los 59,2 Mtn de materia primas utilizadas, 5,8 Mtn proceden de materias primas alternativas, como cenizas y escorias, lo que supone aproxima-

damente el 9,8%, valor que también se sitúa por debajo de la media europea (10-15%).

La adición activa de estos residuos da lugar a nuevos conglomerantes hidráulicos, que mejoran sus prestaciones respecto a los cementos Pórtland sin adiciones, entre las que destacan: resistencias mecánicas, resistencias a ambientes agresivos, a la corrosión química y sobre todo una mayor durabilidad. Las adiciones activas se definen como productos que en presencia de cemento Pórtland colaboran al desarrollo hidráulico-resistente del conglomerante. Estas adiciones suponen también una mejora económica, ya que el proceso de clinkerización tiene un consumo energético elevado, y gracias a estas adiciones se sustituye parte del clinker Pórtland por otros materiales (las adiciones de residuos) lo que supone un ahorro de 1 t de fuel-oil por cada 10 t de adiciones.

El hecho de adicionar al cemento estos subproductos industriales, como por ejemplo humo de sílice, escorias, cenizas volantes, etc; potencia su aprovechamiento.

En la norma UNE-EN 197-1: 2000 [6], se indica la posibilidad de incorporar otros materiales puzolánicos, así que la industria cementera estará en disposición de absorber una mayor cantidad de subproductos.

El término puzolana se utiliza para definir los materiales que carentes de propiedades cementicias y actividad puzolánica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con la cal y en presencia de agua, dando lugar a compuestos insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos [7].

El examen químico de las puzolanas manifiesta que estos materiales presentan un fuerte carácter ácido, con predominio de la sílice y alúmina, e incluso el óxido de hierro, cuya suma ponderal suele ser superior al 70%. De ellos, a su vez, predomina la sílice que, en casos excepcionales, puede suponer cerca del 90% del producto.

Las investigaciones sobre otros materiales puzolánicos se centran en las puzolanas naturales calcinadas (materiales de origen volcánico, arcillas, esquistos o rocas sedimentarias activadas por un tratamiento térmico).

En el caso concreto de este trabajo de investigación el subproducto a estudiar procede de la industria papelera. Específicamente el residuo se clasifica según el catálogo europeo de residuos (CER) dentro del código 03, es decir, residuos de la transformación de la madera y de la producción del papel, cartón, pasta de papel, tableros y muebles y está recogido en el subgrupo 03 03 05: lodos de destintado del reciclado del papel. Este subproducto está clasificado como no peligroso, sin embargo su deposición en vertederos supone un daño estético además de la pérdida económica, encontrándonos también con el problema de hallar lugares idóneos para su vertido, cada vez más insuficientes.

El tipo de papel más demandado es el utilizado en envases y embalajes con un 43%, seguido de papel para impresión y escritura con un 30%, el de usos higiénicos y sanitarios con un 15% y el papel prensa con un 12% del consumo (estos datos son a nivel mundial). En España el consumo y la producción de papel ha seguido la misma tendencia que a nivel mundial, menos en el caso del papel prensa en el que el consumo ha sufrido un incremento del 48% en los últimos diez años.

En la actualidad, la capacidad de suministro se encuentra con mayores limitaciones, debido a la concienciación de la población y también a las leyes existentes de los distintos gobiernos para proteger el medio y el paisaje. Por esto, una cantidad importante de la madera empleada para fabricar pastas de papel proviene de la reutilización de desperdicios de serrerías, madera de baja calidad, costeros, partes delgadas del tronco, etc. Sin embargo, según los expertos, se prevé que a medio y largo plazo esto no será suficiente para abastecer las crecientes necesidades de madera. Por este motivo la solución al incremento de la demanda es el reciclado de papel.

El reciclado de papel en Europa ha aumentado continuamente desde 1998. La tasa de reciclado fue de 54,6% en 2004 comparado con 48,9% en 1998.

España ocupa el segundo lugar de la Unión Europea, por detrás de Dinamarca, en la utilización de papel reciclado como materia prima, con una cantidad superior al 81%, cuando la media europea es del 47,6%. A pesar de estas buenas cifras, el proceso de fabricación de papel a partir del reciclado de papel genera una gran cantidad de residuos industriales. Sólo en España se producen 817.000 toneladas secas.

La industria papelera trata de gestionar sus residuos de manera que su impacto en el medioambiente sea el menor posible, buscando nuevas vías de reducción o valorización, como por ejemplo: con fines agrícolas, compostajes e incluso su incineración. Esta última opción presenta dos inconvenientes, el volumen de cenizas que se produce, que es aproximadamente de 25% del residuo de papel y también la controversia social respecto a la incineración de residuos. Otra alternativa es el uso de estos residuos en la industria cementera, como combustible en hornos de clinkerización, pero su poder calorífico es bajo, y por tanto poco rentable, o bien reciclarlos como materia prima, ya que estos lodos presentan un alto contenido en carbonato cálcico.

Sin embargo, y debido a las características de estos lodos, se abre una nueva línea de investigación con el objetivo de recuperar la caolinita, y su posterior transformación a metacaolinita para la fabricación de cementos Pórtland tipo CEM II/A,B- $\theta$ .

Actualmente existe muy poca bibliografía en esta línea de investigación. Los estudios pioneros en el tema a nivel mundial fueron llevados a cabo por Péra y col. [8,9], quienes apuntaron la posibilidad de adicionar estos lodos calcinados al cemento como adición puzolánica. Los primeros estudios realizados en España con lodos procedentes de la industria papelera se llevaron a cabo por M. Frías y col. [10]. En este trabajo se caracterizaron dichos lodos, comprobándose que tienen un alto contenido en materia orgánica (30,3%), y que la composición del total de la fracción mineral está compuesta por: calcita (68%), caolinita (31%), talco (1%), mica y cuarzo (<1%). Además se demostró que los lodos una vez calcinados presentan una alta actividad puzolánica como consecuencia de la transformación de la caolinita en metacaolín. Otro trabajo más reciente muestra las ventajas de este residuo como fuente alternativa de metacaolín [11].

A la vista de la escasez de resultados presentes en la bibliografía este trabajo trata de profundizar en el conocimiento de este residuo para poder dar así un uso adecuado a este subproducto.