



## MÁSTER EN TECNOLOGÍA AMBIENTAL

### TRABAJO FIN DE MÁSTER

#### USO DE LOS FOSFOYESOS COMO ADITIVO DE BETÚN PARA PAVIMENTO DE ASFALTO

Autor: Cindy Laura Altamar Galofre

Tutores: PhD. Silvia Pérez Moreno

PhD. Antonio Abad Cuadri Vega

#### **Resumen:**

Los residuos son una consecuencia inherente a la mayoría de las actividades humanas y a medida que avanza el desarrollo económico, tecnológico y las propias demandas de la sociedad, se incrementan la generación de éstos y con ello, la problemática ambiental que surge de la disposición, tratamiento y eliminación de los mismos. Así, la valorización de residuos surge como una medida de recuperación que permite encontrar aplicaciones concretas, rentables y socialmente aceptables que ayudan a minimizar los impactos que éstos producen en el medio ambiente y en la sociedad.

El objetivo principal de este trabajo de investigación ha sido la valorización del fosfoyeso (FY), residuo considerado NORM (acrónimo del inglés “Naturally Occurring Radioactive Material”) como aditivo para la producción de espumas de betún que permiten obtener pavimentos asfálticos con propiedades mejoradas, así como evaluar las implicaciones ambientales de las mezclas betún/fosfoyeso.

Para este propósito, se seleccionaron tres fosfoyesos con orígenes distintos, FY de Marruecos, FY de Túnez y FY de Oriente Medio, procediéndose primero con la caracterización de los mismos así como el yeso natural utilizado como referencia, mediante diversas técnicas instrumentales, tales como análisis del tamaño de partículas por difracción laser, Difracción de rayos X (DRX), Fluorescencia de rayos X (FRX), análisis termogravimético (TGA/DTA), análisis por microscopía electrónica (SEM) y espectrometría de partículas alfa con detector PIPS. Además, se aplicaron diferentes test para la evaluación de las propiedades tecnológicas y reológicas, así como las implicaciones ambientales de los nuevos materiales obtenidos.

La investigación llevada a cabo implicó el estudio del efecto del tipo de fosfoyeso sobre la curva de espumación a la misma temperatura (150oC). Los resultados mostraron que el FY con menor cantidad de agua estructural registró la menor curva de espumación,



demostrándose así que el grado de espumación está muy relacionado con la cantidad de agua que pueda liberar cada material de fosfoyeso adicionado al betún.

Luego se estudió el efecto de la temperatura de espumación sobre el mismo tipo de fosfoyeso (Huelva) a tres temperaturas 130, 140 y 150oC, evidenciándose que, al descender la temperatura de espumación, no sólo bajan los valores de expansión máxima, sino que la velocidad con la que se forma la espuma también desciende hasta al alcanzar los 130oC a la que no se aprecia espumación alguna, siendo probablemente el motivo que no se libera una cantidad significativa de agua y, en consecuencia, no se produce espumación.

Las mejoras observadas en las muestras de betún modificado, tanto en las propiedades reológicas como en los ensayos tecnológicos, pueden ser debidas al contenido de fósforo de las muestras de fosfoyeso, ya que se encontró que la cantidad de fósforo disponible para reaccionar con los componentes del betún influye directamente mientras que la temperatura de espumación no influye en la viscosidad final o en los resultados tecnológicos del producto.

Finalmente, fue evaluado el impacto ambiental de la mezcla betún/FY mediante un test de lixiviación para materiales de construcción (CEN/TS16637-2), donde se encontró que las mezclas ensayadas no liberan concentraciones significativas de contaminantes que puedan ser nocivos para la salud humana o el ambiente.



## Abstract:

Waste is an inherent consequence of most human activities and as economic and technological development advances and society's own demands, increase the generation of these and with it, the environmental problems that arise from the disposition, treatment and elimination of them. Thus, the waste recovery arises as a method that allows finding real, profitable and socially acceptable applications that help to minimize the impacts that these produce on the environment and society.

The main objective of this research work has been the valorization of phosphogypsum (PG), residue considered NORM (acronym of Naturally Occurring Radioactive Material), as an additive for the production of bitumen foams that allow to obtain asphalt pavements with improved properties, as well as to evaluate the environmental implications of bitumen/phosphogypsum mixtures.

For that purpose, three phosphogypsum with different origins were selected, PG from Morocco, PG from Tunisia and PG from the Middle East, proceeding first with the characterization of the different types of phosphogypsum as well as the natural gypsum used as a reference, through a number of instrumental techniques, such as, laser diffraction particle sizing analysis, X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (FRX), Thermogravimetric (TGA/DTA), Scanning Electron Microscopy (SEM) and alpha-particle spectrometry with PIPS detectors. In addition, different tests were applied for the evaluation of the technological and rheological properties, as well as the evaluation of the environmental implications of new obtained material.

The investigation carried out involved the study of the effect of the type of phosphogypsum on the foaming curve at same temperature (150oC. The results showed that the PG with the least content of available water registered the lowest foaming curve, demonstrating that the foaming achieved is related to the amount of water that can be released by each phosphogypsum added to the bitumen

Then the effect of the foaming temperature on the same type of phosphogypsum (Huelva) at three temperatures 130, 140 and 150oC was studied, showing that, when the foaming temperature decreases, not only the maximum expansion values decrease, but also the speed with which the foam forms also decreases until reaching 130oC, at which no foaming is observed, probably because a significant amount of water is not released and, consequently, no foaming occurs.

The improvements observed in the samples of modified bitumen, in the rheological properties and in the technological tests, may be due to the phosphorus content of the phosphogypsum samples, it was found that the amount of phosphorus available to react with the components of the bitumen influences directly while the foaming temperature does not influence the final viscosity or the technological results of the product.



Universidad de Huelva



Finally, the environmental impact of the modified bitumen was evaluated through a leaching test for construction materials (CEN / TS16637-2), where it was found that the samples do not release significant concentrations of contaminants that may be harmful to human health or to the environment.