

## Índice

	<i>Págs.</i>
1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. EXPERIMENTAL .....	16
2.1. Materiales .....	16
2.2. Procedimiento experimental .....	17
2.3. Técnicas y equipos utilizados .....	18
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
3.1. Caracterización de los materiales de partida .....	19
3.1.1. Composición química .....	19
3.1.2. Difracción de rayos X (DRX) .....	20
3.1.3. Análisis térmico diferencial (TG/ATD) .....	21
3.1.4. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) .....	22
3.1.5. Isotermas de adsorción-desorción de N <sub>2</sub> . Superficie específica BET.	23
3.1.6. Microscopía electrónica de barrido (SEM)	
Análisis por energía dispersiva (EDX) .....	24
3.2. Tratamiento hidrotermal .....	25
3.2.1. Efecto del TH en la ceniza R <sub>0</sub> .....	26
3.2.2. Efecto del TH en la ceniza R <sub>1</sub> .....	28
3.2.3. Efecto del TH en la ceniza R <sub>2</sub> .....	32
3.2.4. Efecto del TH en la ceniza R <sub>3</sub> .....	35
3.3. Optimización .....	38
3.4. Estudio de la ceniza R <sub>0</sub> como material puzolánico .....	42
3.4.1. Determinación de la actividad puzolánica .....	42
3.4.2. Empleo de la ceniza R <sub>0</sub> como sustitución parcial del cemento. ....	43
4. CONCLUSIONES .....	45
5. AGRADECIMIENTOS .....	46
6. BIBLIOGRAFÍA .....	46

## Nomenclatura

Q: cuarzo,  $\text{SiO}_2$   
 C: calcita,  $\text{CaCO}_3$   
 S: silvita, KCl  
 P: portlandita,  $\text{Ca(OH)}_2$   
 G: gelenita,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$   
 A: anhidrita, g- $\text{CaSO}_4$   
 H': halita, NaCl  
 H: hematita,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$   
 Al: aluminio metálico, Al-metálico  
 $\alpha$ :  $\alpha\text{'L-Ca}_2\text{SiO}_4$   
 \*:  $\text{Mg}_2\text{C}_3$   
 $\Delta$ :  $\text{CaCl}_2\text{Ca(OH)}_2\text{H}_2\text{O}$   
 M: mullita,  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$   
 T: tobermorita,  $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   
 C\*: cancrinita,  $\text{Na}_6\text{Ca}_{1.5}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_{1.6}$   
 A': andradita,  $\text{Ca}_3\text{Fe}_{2+3}(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4-x}$   
 E: etringita-  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$   
 •: gel C-S-H,  $\text{Ca}_{1.5}\text{SiO}_{3.5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$   
 #:  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
 S': escolecita,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$   
 St: stratlingita,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
 V: oxihidróxido de hierro,  $\text{Fe}_{1.833}(\text{OH})_{0.5}\text{O}_{2.5}$   
 F: Sal de Friedel,  $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_6\text{Cl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
 K: katoita,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_8$   
 T': tobermorita sustituida por aluminio,  $\text{Ca}_5\text{Si}_5\text{Al(OH)O}_{17} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
 ♦:  $\text{Ca}_3\text{AlFe(SiO}_4)(\text{OH})_8$   
 Z: zeolita,  $\text{Na}_6[\text{AlSiO}_4]_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   
 O:  $\text{C}_2\text{SH}_{0.35}$   
 $\phi$ :  $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_6(\text{CO}_3)_{0.5}(\text{OH}) \cdot 11.5\text{H}_2\text{O}$   
 Z': zeolita P1-Na,  $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$   
 A\*: analcime-C,  $\text{Na(Si}_2\text{Al)O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
 S\*: sodalita,  $\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$   
 E': epistilbita,  $\text{Ca}_{3.06}((\text{Al}_{6.18}\text{Si}_{17.82})\text{O}_{48})(\text{H}_2\text{O})_{16}$

## Siglas y acrónimos

CBCV Cemento Belítico de Ceniza Volante  
 CCBF Ceniza de Combustión de Biomasa Forestal  
 CIRSU Cenizas procedentes de la Incineración de Residuos Sólidos Urbanos  
 CV Cenizas Volantes del carbón  
 TH Tratamiento Hidrotermal  
 DRX Difracción de Rayos X  
 TG Análisis Termogravimétrico  
 FTIR Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier  
 SEM Microscopía Electrónica de Barrido  
 EDX Análisis por Energía Dispersiva  
 DSC Disolución Saturada de Cal  
 PC Pérdida por Calcinación  
 RI Residuo Insoluble  
 MK Metacaolín  
 HS Humo de Sílice