

ÍNDICE

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	3
<i>1.1.Aspectos generales</i>	3
<i>1.2.Relevancia del tema</i>	4
<i>1.3.Estructura de la tesis</i>	6
<i>1.4.Referencias Bibliográficas</i>	9
CAPÍTULO II - OBJETIVOS	13
<i>2.1.Objetivo general</i>	13
<i>2.2.Objetivos específicos</i>	13
CAPÍTULO III - REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	17
<i>3.1.Contextualización del estudio</i>	17
<i>3.2.Adiciones minerales en conglomerantes a base de cemento Pórtland</i>	19
<i>3.2.1.Ventajas de la utilización de adiciones minerales en conglomerantes cementantes</i>	22
<i>3.2.2.Tipos de adiciones minerales</i>	23
<i>3.2.2.1.Adiciones minerales puzolánicas</i>	23
<i>3.2.2.2.Adiciones minerales hidráulicas</i>	26
<i>3.3.Activación alcalina</i>	27
<i>3.3.1.Aspectos generales</i>	27
<i>3.3.2.Activadores alcalinos</i>	32
<i>3.3.3.Materia prima</i>	34
<i>3.3.4.Condiciones de curado</i>	35
<i>3.3.5.Durabilidad</i>	36
<i>3.4.Vitreous Calcium Aluminosilicate (VCAS)</i>	37
<i>3.5.Referencias Bibliográficas</i>	39
CAPÍTULO IV - METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	53
<i>4.1.Selección y caracterización de los materiales</i>	53
<i>4.1.1.Cemento Pórtland</i>	53
<i>4.1.2.Árido</i>	53
<i>4.1.3.Aditivo superplastificante</i>	54
<i>4.1.4.Agua de amasado</i>	54
<i>4.1.5.Hidróxido de calcio</i>	55
<i>4.1.6.Materiales puzolánicos alternativos</i>	55
<i>4.1.7.Hidróxido de sodio y potasio</i>	56
<i>4.1.8.Silicato de sodio</i>	57
<i>4.1.9.Otros reactivos químicos</i>	57
<i>4.2.Equipos y procedimientos experimentales</i>	57

4.2.1. <i>Fluorescencia de rayos X (FRX)</i>	58
4.2.2. <i>Difracción de rayos X (DRX)</i>	59
4.2.3. <i>Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)</i>	60
4.2.4. <i>Microscopía Óptica</i>	61
4.2.5. <i>Microscopía electrónica de barrido (SEM)</i>	62
4.2.6. <i>Análisis de partículas por difracción de rayos láser (ADL)</i>	64
4.2.7. <i>Porosimetría por intrusión de mercurio (PIM)</i>	65
4.2.8. <i>Análisis termogravimétrico (TGA)</i>	66
4.2.9. <i>Conductividad eléctrica y pH</i>	70
4.2.10. <i>Preparación de los morteros</i>	71
4.2.11. <i>Medidas de resistencias mecánicas</i>	73
4.2.12. <i>Medidas de retracción y expansión</i>	74
4.3. <i>Programa experimental</i>	75
4.4. <i>Referencias Bibliográficas</i>	78
PARTE I – CARACTERIZACIÓN DEL VCAS	
CAPÍTULO V - CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL VCAS	85
5.1. <i>Fluorescencia de rayos X (FRX)</i>	85
5.2. <i>Difracción de rayos X (DRX)</i>	86
5.3. <i>Análisis de distribución de partículas por difracción láser (ADL)</i>	87
5.4. <i>Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)</i>	89
5.5. <i>Microscopía electrónica de barrido (SEM)</i>	90
5.6. <i>Blancura</i>	91
5.7. <i>Otras propiedades</i>	93
5.8. <i>Conclusiones</i>	94
5.9. <i>Referencias Bibliográficas</i>	95
PARTE II – CONGLOMERANTES A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND	
CAPÍTULO VI - ACTIVIDAD PUZOLÁNICA DEL VCAS	101
6.1. <i>Aspectos generales</i>	101
6.2. <i>Análisis termogravimétrico (TGA)</i>	102
6.2.1. <i>Pastas de cal</i>	102
6.2.2. <i>Pastas de cemento Pórtland</i>	112
6.3. <i>Conductividad eléctrica y pH de suspensiones acuosas</i>	120
6.3.1. <i>Consideraciones sobre el método</i>	121
6.3.2. <i>Suspensiones acuosas de cal: CCA-RS</i>	125
6.3.2.1. <i>Temperatura de ensayo: 40°C</i>	126

6.3.2.2. <i>Temperatura de ensayo: 50°C</i>	132
6.3.2.3. <i>Temperatura de ensayo: 60°C</i>	136
6.3.3. <i>Suspensiones acuosas de cal: CCA-J</i>	140
6.3.4. <i>Suspensiones acuosas cal: HSD</i>	143
6.3.5. <i>Suspensiones acuosas cal: FCC y cal: MK</i>	145
6.3.6. <i>Suspensiones acuosas cal: VCAS</i>	147
6.3.7. <i>Comparación de la reactividad entre las puzolanas</i>	149
6.4. Conclusiones	152
6.5. Referencias Bibliográficas	153
CAPÍTULO VII - PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE MORTEROS A BASE DE CEMENTO PÓRTLAND CON VCAS	159
7.1. <i>Aspectos generales</i>	159
7.2. <i>Influencia del porcentaje de VCAS</i>	160
7.2.1. <i>Medidas de trabajabilidad</i>	161
7.2.2. <i>Propiedades mecánicas</i>	162
7.2.3. <i>Propiedades microestructurales</i>	167
7.3. <i>Influencia de la relación conglomerante/árido</i>	170
7.3.1. <i>Propiedades mecánicas</i>	171
7.4. <i>Influencia de la relación agua/coglomerante y de la temperatura de curado</i>	175
7.4.1. <i>Influencia de la relación agua/conglomerante</i>	176
7.4.1.1. <i>Propiedades mecánicas</i>	176
7.4.2. <i>Influencia de la temperatura de curado</i>	180
7.4.2.1. <i>Propiedades mecánicas</i>	180
7.5. <i>Conclusiones</i>	183
7.6. <i>Referencias Bibliográficas</i>	183
PARTE III – CONGLOMERANTES ACTIVADOS ALCALINAMENTE	
CAPÍTULO VIII - INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL HIDRÓXIDO ALCALINO	191
8.1. <i>Aspectos generales</i>	191
8.2. <i>Influencia de la concentración del hidróxido de sodio</i>	192
8.2.1. <i>Propiedades mecánicas</i>	194
8.2.2. <i>Propiedades microestructurales</i>	196
8.2.2.1. <i>Análisis termogravimétrico (TGA)</i>	196
8.2.2.2. <i>Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)</i>	202
8.2.2.3. <i>Difracción de rayos X (DRX)</i>	205
8.2.2.4. <i>Microscopía electrónica de barrido (SEM)</i>	208

8.2.3. Conclusiones	211
8.3. Influencia de la concentración del hidróxido de potasio	212
8.3.1. Propiedades mecánicas	213
8.3.2. Propiedades microestructurales	216
8.3.2.1. Análisis termogravimétrico (TGA)	216
8.3.2.2. Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)	220
8.3.2.3. Difracción de rayos X (DRX)	223
8.3.2.4. Microscopía electrónica de barrido (SEM)	226
8.3.3. Conclusiones	228
8.4. Mezclas de hidróxido de sodio y potasio	228
8.4.1. Propiedades mecánicas	229
8.4.2. Propiedades microestructurales	231
8.4.2.1. Análisis termogravimétrico (TGA)	231
8.4.2.2. Difracción de rayos X (DRX)	232
8.4.3. Conclusiones	235
8.5. Referencias Bibliográficas	235
CAPÍTULO IX - EFECTO DEL SILICATO SÓDICO EN LOS CONGLOMERANTES ACTIVADOS ALCALINAMENTE	241
9.1. Aspectos generales	241
9.2. Propiedades mecánicas	243
9.3. Propiedades microestructurales	245
9.3.1. Análisis termogravimétrico (TGA)	245
9.3.2. Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)	249
9.3.3. Difracción de rayos X (DRX)	251
9.3.4. Microscopía electrónica de barrido (SEM)	254
9.4. Conclusiones	257
9.5. Referencias Bibliográficas	257
CAPÍTULO X - INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CURADO EN LOS CONGLOMERANTES ACTIVADOS ALCALINAMENTE	261
10.1. Aspectos generales	261
10.2. Estabilidad mecánica de los conglomerantes activados alcalinamente	263
10.2.1. Propiedades mecánicas	263
10.2.2. Propiedades microestructurales	270
10.3. Tiempos cortos de curado	277
10.3.1. Avance del proceso de geopolimerización	278
10.3.1.1. Medidas de pH y conductividad eléctrica	278

10.3.1.2. Análisis termogravimétrico (TGA)	284
10.3.2. Propiedades mecánicas	286
10.4. Influencia de la temperatura de curado	293
10.5. Conglomerantes activados alcalinamente de elevada resistencia mecánica	297
10.6. Conclusiones	299
10.7. Referencias Bibliográficas	301
CAPÍTULO XI - CONGLOMERANTES ACTIVADOS ALCALINAMENTE CURADOS A TEMPERATURA AMBIENTE	305
11.1. Aspectos generales	305
11.2. Propiedades mecánicas	307
11.3. Propiedades microestructurales	312
11.3.1. Análisis termogravimétrico (TGA)	313
11.3.2. Difracción de rayos X (DRX)	316
11.3.3. Microscopía electrónica de barrido (SEM)	319
11.4. Conclusiones	320
11.5. Referencias Bibliográficas	321
CAPÍTULO XII - DURABILIDAD DE LOS CONGLOMERANTES ACTIVADOS ALCALINAMENTE	325
12.1. Aspectos generales	325
12.2. Estudio sobre la variación dimensional	327
12.2.1. Probetas con film plástico	328
12.2.2. Probetas sin film plástico	331
12.3. Ataques de soluciones ácidas	335
12.3.1. Ataque de soluciones de HCl	337
12.3.2. Ataques de soluciones de NH ₄ Cl	343
12.4. Conclusiones	349
12.5. Referencias Bibliográficas	349
CAPÍTULO XIII - CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	355
13.1. Conclusiones finales	355
13.2. Propuestas para futuras líneas de investigación	357
ANEXO I	359

