

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	El uso del yeso como adición al cemento. Planteamiento del Problema	1
1.2	Objetivos	2
2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Adiciones minerales al hormigón de cemento	5
2.2	Materiales puzolánicos	6
2.3	Beneficios del uso de adiciones Puzolánicas en mezclas con Cemento	8
2.4	Ceniza Volante (CV)	8
2.4.1	<i>Naturaleza y producción</i>	8
2.4.2	<i>Propiedades de la CV</i>	9
2.4.2.1	<i>Propiedades Físicas</i>	9
2.4.2.2	<i>Propiedades químicas y mineralógicas de la CV</i>	10
2.4.2.3	<i>Reactividad Puzolánica de la CV</i>	10
2.4.2.4	<i>Efectos de la CV en el Hormigón</i>	11
2.5	Filler Calizo como adición en mezclas de mortero	11
2.6	El Yeso	11
2.6.1	<i>Antecedentes del Yeso</i>	11
2.6.2	<i>Hidratación, fraguado y endurecimiento de mezclas de yeso</i>	12

2.7	El cemento Portland	13
2.8	El cemento portland blanco	15
2.9	Efectos de la presencia de sulfato en hormigones de cemento	15
2.10	Utilización de yesos de desecho proveniente de un proceso químico, como conglomerante	18
2.11	Propiedades físicas y mecánicas de mezclas de yeso-cemento portland-puzolana natural	23
2.12	Mejoras de las propiedades de las mezclas “yeso-cemento” por uso de Humo de Sílice	28
2.13	Los conglomerantes cementicios ante las ingentes necesidades de edificación	40
	2.13.1 <i>Condiciones iniciales</i>	40
	2.13.2 <i>Cuantificación del déficit universal de viviendas</i>	41
	2.13.3 <i>La tugurización de la población</i>	41
	2.13.4 <i>“Bajo coste” y “vivienda mínima”</i>	42
	2.13.5 <i>El consumo de cemento y la importancia del sector ‘informal’</i>	45
	2.13.6 <i>A modo de conclusiones</i>	48
3.	DESARROLLO DEL PLAN EXPERIMENTAL	49
3.1	Materiales Empleados	49
	3.1.1 <i>Cemento</i>	49
	3.1.2 <i>Filler Calizo</i>	50
	3.1.3 <i>Yeso y Escayola</i>	50
	3.1.4 <i>Ceniza Volante</i>	51
	3.1.5 <i>Árido fino</i>	52
	3.1.6 <i>Agua</i>	52
	3.1.7 <i>Aditivo</i>	53
	3.1.8 <i>Catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC)</i>	53
3.2	Equipos y procedimientos utilizados	54
	3.2.1 <i>Proceso de amasado</i>	54
	3.2.2 <i>Moldes de probetas</i>	55

3.2.3	<i>Mesa compactadora</i>	56
3.2.4	<i>Equipos para ensayos de rotura a Compresión y Flexotracción</i>	56
3.2.5	<i>Molienda de materiales base</i>	57
3.2.6	<i>Cámara Húmeda</i>	57
3.2.7	<i>Microscopía electrónica de barrido (SEM)</i>	57
3.2.8	<i>Analizador de humedad por halógenos (BH)</i>	58
3.2.9	<i>Análisis Termogravimétrico (TG)</i>	62
3.2.10	<i>Comparador de longitudes</i>	68
3.3	Procedimientos de laboratorio	68
3.3.1	<i>Preparación de mezclas y probetas de mortero “Cemento-Yeso(Escayola)-Puzolana”</i>	68
3.3.2	<i>Curado de probetas de Cemento-Yeso(Escayola)-Puzolana. Ensayos de resistencia</i>	70
3.3.3	<i>Curado de probetas de Cemento-Yeso(Escayola)-Puzolana. Ensayos de expansión</i>	71
3.3.4	<i>Mediciones de tiempos de fraguado en pastas de Escayola</i>	72
3.3.5	<i>Mediciones de Expansión-Retracción en probetas de mortero</i>	74
4.	PASTAS CON ESCAYOLA. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN	77
4.1	Tiempos de “Principio y Fin de Fraguado”	77
4.1.1	<i>Resultados experimentales en Pasta Escayola Pura (cemento/escayola = 0/100)</i>	77
4.1.2	<i>Resultados experimentales en Pastas “Cemento/Escayola”, sin Ceniza Volante</i>	80
4.1.3	<i>Resultados experimentales en Pastas “Cemento/Escayola”, con adición de Ceniza Volante</i>	81
4.2	Análisis de resultados. Tiempos de fraguado en pastas de escayola	83
4.3	Presencia de hemihidrato y dihidrato en pastas de Escayola. Mediciones efectuadas con analizador por halógenos (BH) y análisis termogravimétrico (TG)	85
4.3.1	<i>Mediciones efectuadas a pastas de escayola pura</i>	85
4.3.2	<i>Mediciones efectuadas a pastas de escayola con aditivo</i>	86

5.	MORTEROS DE DOSIFICACIÓN “CEMENTO PORTLAND BLANCO-ESCAYOLA(YESO)-PUZOLANA”	89
5.1	Morteros de Cemento Blanco BL II/B-LL 42,5R y Escayola. Adiciones con Ceniza Volante y Filler Calizo	89
5.1.1	<i>Morteros Control “Cemento Portland Blanco BL II/B-LL 42,5R / Escayola”</i>	90
5.1.2	<i>Morteros “Cemento Portland Blanco BL II/B-LL 42,5R/Escayola/Puzolana = 20/50/30”</i>	92
5.1.3	<i>Control de Cemento Portland Blanco BL II/B-LL 42,5R. Comparación de resistencias en morteros según tipo de curado y el uso de aditivo superplastificante</i>	93
5.1.4	<i>Análisis de resultados</i>	95
5.2	Morteros de Cemento Portland Blanco BL I 52,5R y Yeso. Adiciones con Ceniza Volante y Filler Calizo	98
5.2.1	<i>Morteros Control “Cemento Portland Blanco BL I 52,5R / Yeso”</i>	99
5.2.2	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 10/40/50”</i> ...	102
5.2.3	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 15/40/45”</i> ...	104
5.2.4	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 20/40/40”</i> ...	105
5.2.5	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 20/50/30”</i> ...	108
5.2.6	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 15/50/35”</i> ...	111
5.2.7	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 10/50/40”</i> ...	113
5.2.8	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 20/60/20”</i> ...	116
5.2.9	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 15/60/25”</i> ...	117
5.2.10	<i>Morteros “CPB (BL I 52,5R)/Yeso/Puzolana = 10/60/30”</i> ...	119
5.2.11	<i>Otros análisis comparativos de “Rc” entre morteros “cemento (BL I 52,5R)/yeso/puzolana</i>	122
5.2.12	<i>Mortero Control “Cemento BL I 52,5R: 100% (Mortero de Cemento)”</i>	126
5.2.13	<i>Morteros “cem BL 52,5R/yeso/puzolana”. Análisis de la resistencia a compresión “Rc” según la resistencia a flexotracción “Rf”</i>	127
5.2.14	<i>Morteros “cem BL 52,5R/yeso/CV”. Ajuste exponencial de la Resistencia a Compresión “Rc” según relación “Agua/Conglomerante”</i>	128
5.3	Definición de “Factor de Carga” como indicador de la actividad puzolánica	130

6.	ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL EN PASTAS Y MORTEROS “CEMENTO-YESO-PUZOLANA”	135
6.1	Pastas Control	136
6.1.1	<i>Análisis de pérdida de agua combinada. Correlación entre resultados experimentales obtenidos en “TG” y “B.H.”</i>	137
6.1.2	<i>Análisis de pérdida de agua combinada correspondiente a la deshidratación CH</i>	138
6.1.3	<i>Micrografías SEM en Pastas Control</i>	140
6.2	Pastas y morteros de relación "cem BL 42.5R/Escayola/Pz = 20/40/40". Análisis de agua combinada y resistencia a compresión	141
6.2.1	<i>Vinculación de resultados experimentales de pérdidas de agua combinada en B.H. y TG, en pastas y morteros “20/40/40”</i>	142
6.2.2	<i>Comportamiento de la Resistencia a Compresión y Agua Combinada, con la edad de curado. Morteros “20/40/40” ...</i>	144
6.2.3	<i>Micrografías SEM. Pastas de “Cem BL 42,5R/Escayola/Pz = 20/40/40”</i>	146
6.3	Pastas y morteros de relación "cem BL 42.5R/Escayola/Pz = 20/50/30". Análisis de pérdida de agua combinada y resistencia a compresión	148
6.3.1	<i>Vinculación de resultados experimentales de pérdidas de agua combinada en B.H. y TG, en pastas y morteros “20/50/30”</i>	148
6.3.2	<i>Comportamiento de la Resistencia a Compresión y Agua Combinada, con la edad de curado. Morteros “20/50/30” ...</i>	149
6.3.3	<i>Micrografías SEM. Pastas de “Cem BL 42,5R/Escayola/Pz = 20/50/30”</i>	151
6.4	Pastas y morteros de relación "cem BL 42.5R/Escayola/Pz = 30/40/30". Análisis de pérdida de agua combinada y resistencia a compresión	156
6.4.1	<i>Vinculación de resultados experimentales de pérdidas de agua combinada en B.H. y TG, en pastas y morteros “30/40/30”</i>	156
6.4.2	<i>Comportamiento de la Resistencia a Compresión y Agua Combinada, con la edad de curado. Morteros “30/40/30” ...</i>	157
6.4.3	<i>Micrografías SEM. Pastas de “Cem BL 42,5R/ Escayola/Pz = 30/40/30”</i>	158

6.5	Análisis de vinculación resistencia a compresión (Rc) y agua combinada en B.H.	159
6.6	Conclusiones generales del análisis Microestructural en Pastas y Morteros “Cemento BL 42,5R/Escayola/Puzolana”	162
7.	INFLUENCIA DE ALGUNOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE MORTERO “CEMENTO-YESO-PUZOLANA” EN LA RESISTENCIA MECÁNICA	163
7.1	Morteros con Yeso Grueso	164
7.2	Morteros con Escayola	170
7.3	Mortero de Control del cemento	174
8.	BÚSQUEDA DE LA COMPOSICIÓN ÓPTIMA DEL CONGLOMERANTE EN MEZCLAS DE MORTERO “CEMENTO-YESO-PUZOLANA” PARA MEJORAR LA RESISTENCIA MECÁNICA	177
8.1	Morteros de Composición 1. “Cemento gris CEM I 52,5R/ Yeso/ Pz = 20/40/40”	179
8.2	Morteros de Composición 2. “Cemento gris CEM I 52,5R/ Yeso/ Pz = 20/50/30”	182
8.3	Morteros de Composición 3. “Cemento gris CEM I 52,5R/ Yeso/ Pz = 20/60/20”	184
8.4	Morteros de Composición 4. “Cemento gris CEM I 52,5R/ Yeso/ Pz = 15/50/35”	186
8.5	Morteros de Composición 5. “Cemento gris CEM I 52,5R/Yeso/ Pz = 10/50/40”	188
8.6	Mortero de Control del Cemento	190
8.7	Determinación del “Conglomerante” óptimo	191

9.	EXPANSIÓN DE MORTEROS “CEMENTO BLANCO-YESO-PUZOLANA”	195
9.1	Morteros "cemento BL II 42.5R/yeso/Puzolana=20/50/30"	197
9.2	Morteros "cemento BL II 42.5R/escayola/Puzolana=20/50/30"	201
9.3	Morteros "cemento BL II 42.5R/yeso/Puzolana=20/40/40"	204
9.4	Morteros "cemento BL II 42.5R/escayola/Puzolana=20/40/40"	206
9.5	Morteros " cemento BL II 42.5R/yeso/Puzolana=30/40/30"	209
9.6	Morteros "cemento BL II 42.5R/escayola/Puzolana=30/40/30"	211
9.7	Morteros Control "cemento BL II 42.5R/yeso(escayola)=50/50" ...	214
9.8	Morteros Control "cemento BL II 42.5R/yeso(escayola)=60/40" ...	216
9.9	Morteros Control "cemento BL II 42.5R = 100%"	219
9.10	Representación conjunta de Morteros "cemento BL II 42.5R/yeso(escayola)/CV". Comparación con morteros control ...	221
10.	EXPANSIÓN DE MORTEROS CON “CEMENTO GRIS-YESO-PUZOLANA”	225
10.1	Morteros con cemento Portland gris CEM I 42,5 SR (sulfato resistente)	228
10.1.1	Morteros “Cemento Gris CEM I 42,5 SR/Yeso-Escayola/ CV = 20/40/40”	228
10.1.2	Morteros “Cemento Gris CEM I 42,5 SR/Yeso-Escayola/ CV(m) = 20/40/40”	232
10.1.3	Morteros Control “Cemento Gris CEM I 42,5 SR/Yeso-Escayola = 60/40”	237
10.2	Morteros con Cemento Portland Gris tipo CEM I 52,5 R	241
10.2.1	Morteros "CEM I 52,5 R/Yeso-Escayola/CV = 20/40/40"...	241
10.2.2	Morteros "CEM I 52,5 R/Yeso-Escayola/CV(m)=20/40/40"	245

10.2.3	Morteros con combinaciones de "Puzolanas Especiales". "CEM I 52,5R/Yeso/CV-CV(m)/FCC(m) = 20/40/30/10" ...	250
10.2.4	Análisis comparativo del efecto de la "CV" frente a la combinación "CV/FCC(m)"	255
10.2.5	Morteros Control "CEM I 52,5 R/Yeso-Escayola = 60/40"..	257
10.2.6	Análisis comparativo de morteros con puzolana frente a morteros control, sin puzolana	261
10.3	Morteros con Cemento Portland Gris tipo CEM I 52,5R Cemex ...	264
10.3.1	Morteros "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso-Escayola/CV(m) = 20/40/40"	265
10.3.2	Morteros Control "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso-Escayola = 60/40"	268
10.4	Morteros especiales con Cemento Portland Gris tipo CEM I 52,5 R Cemex	272
10.4.1	Morteros especiales "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso/CV = 20/40/40"	273
10.4.2	Morteros especiales "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso/CV = 20/50/30"	275
10.4.3	Morteros especiales "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso/CV = 20/60/20"	276
10.4.4	Morteros especiales "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso/CV = 15/50/35"	277
10.4.5	Morteros especiales "CEM I 52,5 R Cemex/Yeso/CV = 10/50/40"	278
10.5	Morteros Especiales "CEM I 52,5 R /Yeso/CV/FCC(m) = 20/40/30/10"	280
10.6	Morteros de referencia. Yeso 100% y Escayola 100%	282
11.	CONCLUSIONES	285
	BIBLIOGRAFÍA	291
	ANEXO A	299
	ANEXO B	305

ANEXO C	309
ANEXO D	315
ANEXO E	333

