

# **ÍNDICE**

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Resumen</b>	<b>VI</b>
<b>Resum</b>	<b>VIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>X</b>
<b>Índice</b>	<b>XII</b>
<b>Listado de Figuras</b>	<b>XX</b>
<b>Listado de Tablas</b>	<b>XXXII</b>
<b>Listado de Símbolos</b>	<b>XXXVIII</b>
<b>1.- CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>1.1.- Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1.2.- Planteamiento del problema</b>	<b>5</b>
<b>1.3.- Objetivos</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1.- Objetivo general</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2.- Objetivos específicos</b>	<b>7</b>
<b>1.4.- Estructura y contenido de la Tesis</b>	<b>8</b>
<b>2.- CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE</b>	<b>11</b>
<b>2.1.- Introducción</b>	<b>13</b>
<b>2.2.- Descripción de los sistemas híbridos</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1- Sistema híbrido</b>	<b>14</b>
<b>2.2.2- Componentes del sistema híbrido</b>	<b>14</b>
2.2.2.1.- Hormigón	<b>14</b>
2.2.2.2.- GFRP, polímero reforzado con fibras	<b>15</b>
2.2.2.3.- Unión	<b>21</b>
<b>2.2.3.- Producción de sistemas híbridos</b>	<b>25</b>
2.2.3.1.- Hormigón	<b>25</b>
2.2.3.2.- FRP, polímero reforzado con fibras de vidrio	<b>26</b>

<b>2.2.4.- Comportamiento estructural</b>	<b>28</b>
<b>2.2.5.- Modos de fallo</b>	<b>33</b>
2.2.5.1.- Generalidades	33
2.2.5.2.- Cortante en el alma	33
2.2.5.3.- Cortante en el adhesivo	34
2.2.5.4.- Cortante en el hormigón	34
2.2.5.5.- Fallo de adherencia FRP-hormigón	34
2.2.5.6.- Pandeo en el alma	38
2.2.5.7.- Aplastamiento del hormigón	39
2.2.5.8.- Inestabilidad lateral	41
2.2.5.9.- Flexión	41
<b>2.2.6.- Ductilidad del sistema híbrido</b>	<b>42</b>
<b>2.2.7.- Compatibilidad de los materiales del sistema híbrido</b>	<b>47</b>
<b>2.2.8.- Resistencia al fuego</b>	<b>48</b>
<b>2.2.9.- Aplicaciones en la ingeniería civil</b>	<b>48</b>
<b>2.3.- Adherencia en la interfase FRP-hormigón</b>	<b>51</b>
<b>2.3.1.- Introducción</b>	<b>51</b>
<b>2.3.2.- Ensayos de adherencia</b>	<b>52</b>
2.3.2.1.- Ensayos en modo I	52
2.3.2.2.- Ensayos en modo II	53
2.3.2.3.- Ensayos en modo III	54
<b>2.3.3.- Parámetros que influyen en la adherencia</b>	<b>55</b>
2.3.3.1.- Efecto de la configuración geométrica	55
2.3.3.2.- Influencia de la longitud adherida	56
2.3.3.3.- Efecto de la preparación de la superficie	58
2.3.3.4.- Efecto del tipo de adhesivo	61
2.3.3.5.- Efecto de la composición del hormigón	62
2.3.3.6.- Influencia del método de ensayo	62
2.3.3.7.- Influencia del módulo de deformación longitudinal del material compuesto	63
2.3.3.8.- Influencia de la relación bp-bc	64

2.3.3.9.- Influencia de la resistencia del hormigón	66
2.3.3.10.- Confinamiento	70
2.3.3.11.- Influencia de los conectores	71
<b>2.3.4.- Relación tensión de adherencia-deslizamiento</b>	<b>73</b>
<b>2.4.- Conclusiones y resumen crítico</b>	<b>78</b>
<b>3.- CAPÍTULO III: PROGRAMA EXPERIMENTAL</b>	<b>81</b>
<b>3.1.- Introducción</b>	<b>83</b>
<b>3.2.- Planteamiento y justificación del programa experimental</b>	<b>84</b>
<b>3.3.- Fase 1 - Programa experimental</b>	<b>87</b>
<b>3.3.1.- Ensayos previos</b>	<b>87</b>
3.3.1.1.- Determinación de la resistencia del hormigón y longitud de adherencia	87
3.3.1.2.- Determinación del tipo de texturizado	88
3.3.1.3.- Determinación de la sección del perfil de GFRP y el uso de hormigón reforzado con fibras	89
3.3.1.4.- Determinación del tipo de fijación mecánica, par de apriete y su recubrimiento	90
<b>3.3.2.- Ensayos de caracterización de la adherencia</b>	<b>91</b>
<b>3.4.- Materiales</b>	<b>94</b>
<b>3.4.1.- Hormigón</b>	<b>94</b>
3.4.1.1.- Dosificación del hormigón	94
3.4.1.2.- Proceso de confección del hormigón	96
3.4.1.3.- Caracterización mecánica del hormigón	97
<b>3.4.2.- Perfil pultrusionado GFRP</b>	<b>99</b>
3.4.2.1.- Polímero pultrusionado de fibra de vidrio, GFRP	99
3.4.2.2.- Caracterización mecánica del GFRP	100
<b>3.5.- Identificación de lotes de hormigón y las probetas híbridas</b>	<b>101</b>

<b>4.- CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>	<b>107</b>
<b>4.1.- Introducción</b>	<b>109</b>
<b>4.2.- Método de confección de las probetas híbridas</b>	<b>111</b>
<b>4.2.1.- Definición de las probetas</b>	<b>106</b>
<b>4.2.2.- Confección de las probetas según los criterios de adherencia</b>	<b>112</b>
4.2.2.1.- Modalidad 2C	112
4.2.2.2.- Modalidad 1CA	113
4.2.2.3.- Modalidad 1CE	114
4.2.2.4.- Modalidad 1CL	115
<b>4.2.3.- Proceso de hormigonado de las probetas</b>	<b>116</b>
<b>4.3.- Desarrollo del método de ensayo</b>	<b>118</b>
<b>5.- CAPÍTULO V: METODOLOGÍA PARA LA PREPARACIÓN DE LAS INTERFASES</b>	<b>123</b>
<b>5.1.- Introducción</b>	<b>125</b>
<b>5.2.- Método de confección de probetas de GFRP</b>	<b>125</b>
<b>5.3.- Desarrollo del método de tratamiento superficial</b>	<b>128</b>
<b>5.3.1.- Patrón</b>	<b>129</b>
<b>5.3.2.- Pulido</b>	<b>129</b>
<b>5.3.3.- Resina</b>	<b>129</b>
<b>5.3.4.- Arenado</b>	<b>130</b>
<b>5.3.5.- Texturizados</b>	<b>131</b>
<b>5.3.6.- Combinados</b>	<b>133</b>
<b>5.4.- Desarrollo del método de fijaciones mecánicas</b>	<b>134</b>
<b>5.4.1.- Sin desplazamiento</b>	<b>134</b>
<b>5.4.2.- Con desplazamiento permitido</b>	<b>135</b>
<b>5.4.3.- Soluciones combinadas</b>	<b>136</b>

<b>6.- CAPÍTULO VI: RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN</b>	<b>141</b>
<b>6.1.- Ensayos previos</b>	<b>141</b>
<b>6.1.1.- Introducción</b>	<b>141</b>
<b>6.1.2.- Determinación de la resistencia del hormigón y longitud de adherencia</b>	<b>145</b>
<b>6.1.3.- Análisis del tipo de texturizado</b>	<b>150</b>
<b>6.1.4.- Determinación de la sección del perfil de GFRP y el uso de hormigón reforzado con fibras (HRF)</b>	<b>152</b>
<b>6.1.5.- Determinación del tipo de fijación mecánica, par de apriete y su recubrimiento</b>	<b>159</b>
<b>6.2.- Ensayos para la caracterización de la adherencia</b>	<b>163</b>
<b>6.2.1.- Introducción</b>	<b>163</b>
<b>6.2.2.- Modelos de comportamiento</b>	<b>163</b>
<b>6.2.3.- Identificación de los parámetros adherentes</b>	<b>166</b>
<b>6.2.4.- Presentación de los resultados</b>	<b>168</b>
6.2.4.1.- Contacto directo del hormigón a <b>dos caras</b> , 2C	<b>171</b>
6.2.4.2.- Contacto directo del hormigón a <b>una cara</b> , 1C	<b>176</b>
6.2.4.2.1.-Influencia de las <b>variables de adherencia</b>	<b>176</b>
6.2.4.2.2.- Influencia de la <b>fijación mecánica sin desplazamiento</b>	<b>181</b>
6.2.4.2.3.- Influencia de la <b>fijación mecánica con desplazamiento</b>	<b>188</b>
6.2.4.3.- Contacto directo del hormigón a <b>una cara libre</b> , 1CL. Influencia del <b>par de apriete y postesado</b> de la tornillería M6 con deslizamiento	<b>193</b>

<b>7.- CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>199</b>
<b>7.1.- Conclusiones</b>	<b>201</b>
7.1.1._ Conclusiones de los ensayos previos	201
7.1.2._ Conclusiones sobre la influencia de las variables de adherencia	202
<b>7.2.- Futuras líneas de investigación</b>	<b>204</b>
<b>8.- CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>205</b>
<b>9.- ANEXO I: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>223</b>
<b>A1.1.- Introducción</b>	<b>223</b>
<b>A1.2.- Hormigón de altas prestaciones, HRF+HAC+HAR</b>	<b>224</b>
<b>A1.3.- Perfiles pultrusionados</b>	<b>227</b>
<b>A1.4.- Vigas híbridas</b>	<b>227</b>
<b>A1.5.- Análisis y resultados de las vigas híbridas</b>	<b>233</b>
<b>A1.5.1.- Ensayos y análisis de la vigas híbridas</b>	<b>233</b>
A1.5.1.1.- Viga híbrida HYB_HRF_0	233
A1.5.1.2.- Viga híbrida HYB_HRF_30	235
A1.5.1.3.- Viga híbrida HYB_HRF_60	239
A1.5.1.4.- Viga híbrida HYB_HRF_120	241
A1.5.1.5.- Análisis comparativo de las vigas	244
<b>A1.6.-Conclusiones</b>	<b>246</b>
<b>10.- ANEXO II: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PULL-OUT</b>	<b>249</b>
<b>AII.1.- Introducción</b>	<b>251</b>
<b>AII.2.- Resultados de los ensayos de pull-out</b>	<b>253</b>
<b>AII.2.1- Grupo 1.- Contacto directo del hormigón dos caras, 2C</b>	<b>253</b>
<b>AII.2.2- Grupo 2.- Contacto directo del hormigón a una cara, 1C</b>	<b>259</b>
<b>SUBGRUPO 2.1.-<u>Influencia de las variables de adherencia</u></b>	<b>259</b>

<b>SUBGRUPO 2.2.- <u>Influencia de las fijaciones mecánicas sin desplazamiento</u></b>	<b>265</b>
<b>SUBGRUPO 2.3.- <u>Influencia de las fijaciones mecánicas con desplazamiento</u></b>	<b>271</b>
<b>AII.2.3- GRUPO 3.- <b>Contacto directo del hormigón a una cara libre, 1CL</b></b>	<b>286</b>

