

ÍNDICE

RESUMEN	I
RESUM	III
ABSTRACT	V
AGRADECIMIENTOS	VII
ÍNDICE	VIII
LISTA DE TABLAS	XIII
LISTA DE FIGURAS	XXI
NOTACIONES	XXXV
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Alcance y Objetivos	5
1.3. Metodología	6
1.4. Organización de la Tesis	7
CAPÍTULO 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Introducción	9
2.2. Composición de las Barras de CFRP	11
2.2.1. Matriz Polimérica	11
2.2.2. Refuerzo de Fibra de Carbono	27
2.2.3. Proceso de Fabricación	31
2.3. Tipos de Barras de CFRP	34
2.3.1. Grados de Resistencia y Módulo	34
2.3.2. Geometría Superficial	36
2.3.3. Diámetro de las Barras	36
2.3.4. Identificación de las Barras	38
2.4. Propiedades Físicas, Mecánicas y Durabilidad de las Barras de CFRP	40

2.4.1.Propiedades Físicas	41
2.4.1.1. Densidad	41
2.4.1.2. Coeficiente de Expansión Térmica	41
2.4.1.3. Conductividad Eléctrica	43
2.4.2.Propiedades Mecánicas	43
2.4.2.1. Tracción	43
2.4.2.2. Compresión	46
2.4.2.3. Cortante	48
2.4.3.Durabilidad de las Barras de CFRP	49
2.4.3.1. Efecto del Agua	51
2.4.3.2. Efecto de los Cloruros	52
2.4.3.3. Efecto de los Álcalis	53
2.4.3.4. Efecto de la Radiación Ultravioleta	55
2.4.3.5. Efecto de la Carbonatación del Hormigón	56
2.4.3.6. Efecto de la Temperatura	56
2.4.4.Comportamiento a Largo Plazo de las Barras de CFRP	61
2.4.4.1. Comportamiento a Fatiga	61
2.4.4.2. Comportamiento a Relajación	64
2.4.4.3. Comportamiento a Fluencia	65
2.4.5.Coeficientes de Seguridad	68
2.5. Adherencia Armadura-Hormigón	74
2.5.1.Definición de Adherencia	76
2.5.2.Adherencia entre el Hormigón y el Armado de Acero	79
2.5.2.1. Comportamiento Adherente Hormigón/Armado de Acero	79
2.5.2.2. Factores que Influyen en el Comportamiento Adherente Hormigón/Armado Acero	84
2.5.3.Adherencia entre el Hormigón y el Armado de CFRP	89

2.5.3.1.	Comportamiento Adherente entre Hormigón y Barra Lisa de CFRP	90
2.5.3.2.	Comportamiento Adherente entre Hormigón y Barras de CFRP Corrugadas o con Tratamiento Superficial	93
2.5.4.	Parámetros que Influyen en la Comportamiento Adherente	110
2.5.4.1.	Módulo elástico de la Barra	111
2.5.4.2.	Resistencia a Cortante de la Barra	113
2.5.4.3.	Resistencia a Compresión del Hormigón	115
2.5.4.4.	Diámetro de la Barra	117
2.5.4.5.	Geometría Superficial de la Barra	119
2.5.4.6.	Confinamiento	121
2.5.4.7.	Longitud de Anclaje	123
2.5.4.8.	Espesor del Recubrimiento	124
2.5.4.9.	Temperatura	125
2.5.4.10.	Posición de la Barra	131
2.5.5.	Métodos de Cálculo del Comportamiento Adherente entre el Hormigón y las Barras de CFRP	132
2.5.5.1.	Métodos Analíticos	132
2.5.5.1.1.	Método Malvar	133
2.5.5.1.2.	Método B.E.P. Modificado	134
2.5.5.1.3.	Método C.M.R.	138
2.5.5.2.	Métodos Directos	141
2.5.5.2.1.	Ensayo Pullout	143
2.5.5.2.2.	Ensayo Beam-End	148
2.6.	Normativa de Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado con Barras de CFRP. Parámetros de Adherencia que Influyen en el Cálculo	149
2.6.1.	ACI 440.1R-06	149

2.6.2.JSCE 1997(b)	151
2.6.3.CNR-DT 203/2006	154
CAPÍTULO 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL Y RESULTADOS	157
3.1. Introducción	157
3.2. Materiales Empleados	159
3.2.1.Barras de CFRP	159
3.2.2.Barras de Acero	162
3.3. Ensayos Previos	163
3.3.1.Cálculo del Periodo de Exposición de las Probetas de Pullout en cada Condición Térmica	164
3.3.2.Cálculo de la Longitud Mínima de los Anclajes de las Barras de CFRP del Ensayo de Tracción y Pullout	169
3.3.3.Ensayo de Tracción para Definir el Material Adherente en los Anclajes de las barras de CFRP	178
3.4. Ensayos Experimentales	190
3.4.1.Ensayos Preliminares	190
3.4.1.1. Ensayo de Diámetro Equivalente	190
3.4.1.2. Estudio de la Geometría Superficial	195
3.4.1.3. Ensayo de Tracción	208
3.4.2.Ensayo de Pullout	222
3.4.3.Ensayos Complementarios	253
3.4.3.1. Análisis Termogravimétrico “TGA”	253
3.4.3.2. Calorimetría Diferencial de Barrido “DSC”	258
3.4.3.3. Microscopia Óptica	263
3.4.3.4. Microdureza	270
3.4.3.5. Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”	273
3.4.3.6. Microscopia de Fuerza Atómica “AFM”	278

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN	282
4.1. Influencia de Diferentes Parámetros en el Comportamiento Adherente	282
4.1.1. Geometría o Acabado Superficial	282
4.1.2. Temperatura	320
4.1.3. Resistencia del Hormigón	368
4.1.4. Diámetro de las Barras	376
4.1.5. Temperatura de Transición Vítrea “T _g ” de la Matriz Polimérica	384
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	392
5.1. Conclusiones	392
5.2. Futuras Líneas de Investigación	395
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	397
ANEJO I: “Gráficas Experimentales de Tensión Adherente-Deslizamiento”	417