

## Contenido

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Introducción .....	3
1.1.1 El envejecimiento de la población y la necesidad de nuevos biomateriales .....	4
1.1.2 Diseño de prótesis en función de las necesidades del paciente .....	7
1.1.3 Justificación tratamientos superficiales en los Biomateriales .....	9
1.1.4 Desarrollo de aleaciones beta de titanio para su empleo como biomateriales .....	11
1.2 Motivación .....	13
1.3 Objetivos .....	14
1.4 Aportaciones de la investigación .....	15
Capítulo 2: Antecedentes científicos.....	17
2.1 El titanio como biomaterial .....	19
2.2 Evolución de las aleaciones de titanio .....	22
2.3 Desarrollo de tratamientos superficiales para incrementar la tasa de osteointegración .....	23
2.3.1 Proyección térmica.....	25
2.3.2 Arenado .....	25
2.3.3 Grabado ácido .....	26
2.3.4 Oxidación electroquímica en electrolitos que presentan iones de flúor .....	29
2.3.4.1 Oxidación electroquímica: Formación de nanotubos .....	30
2.3.4.2 Oxidación electroquímica: Control de las dimensiones de los nanotubos .....	32
2.3.4.3 Oxidación electroquímica: Modificación de la estructura cristalina de los nanotubos .....	34
2.3.4.4 Oxidación electroquímica: Mejora del grado de biocompatibilidad de los nanotubos .....	34
2.4 Desarrollo de recubrimientos bioactivos para incrementar la tasa de osteointegración .....	35
2.4.1 Recubrimientos bioactivos de hidroxapatita y fosfato de calcio realizados en nanotubos .....	37
2.4.2 Recubrimientos antibacterianos realizados en nanotubos.....	37
Capítulo 3: Planificación de la investigación.....	40
3. Planificación de la investigación.....	43
3.1 Fase 1: Diseño y fabricación de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio .....	44
3.1.1 Tecnología de fabricación empleada .....	44
3.1.2 Selección de los parámetros de fabricación pulvimetalúrgicos .....	45

3.1.3	Formulación de las aleaciones $\beta$ pulvimetalúrgicas .....	45
3.1.4	Sinterizado de las aleaciones $\beta$ pulvimetalúrgicas .....	46
3.1.5	Sinteribilidad de los polvos .....	47
	Densidad mediante la técnica de Arquímedes.....	48
3.2	Etapa 1.1: Caracterización mecánica de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio	51
3.2.1	Ensayos de Flexión .....	51
3.2.2	Determinación del módulo elástico por ultrasonidos.....	52
3.2.3	Ensayos de dureza.....	53
3.3	Etapa 1.2: Caracterización microestructural de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio	54
3.3.1	Microscopía óptica .....	55
3.3.2	Microscopía electrónica de barrido .....	55
3.3.3	Determinación del contenido de oxígeno.....	56
3.4	Etapa 1.3: Caracterización de las aleaciones de colada de partida. ....	56
3.5	Fase 2: Obtención y puesta a punto del proceso de anodizado electroquímico para la obtención de un recubrimiento de nanotubos en aleaciones de titanio .....	57
3.6	Etapa 2.1: Caracterización microestructural del recubrimiento de nanotubos.....	58
3.6.1	Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo.....	58
3.6.2	Difracción de rayos X.....	58
3.6.3	Microscopía electrónica de transmisión .....	58
3.7	Etapa 2.2: Caracterización de la rugosidad del recubrimiento de nanotubos.....	59
3.8	Etapa 2.3: Caracterización del ángulo de contacto y tensión superficial del recubrimiento de nanotubos .....	65
3.9	Fase 3: Caracterización electroquímica del recubrimiento de nanotubos .....	65
3.9.1	Espectroscopía de impedancia electroquímica.....	66
3.9.2	Ensayos de polarización potenciodinámicos.....	73
	Capítulo 4: Materiales y Métodos.....	77
4.1	Fase 1: Fabricación de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio .....	79
4.1.1	Tecnología de fabricación empleada .....	79
4.1.2	Selección de los parámetros de fabricación pulvimetalúrgicos .....	80
4.1.3	Sinteribilidad de los polvos (Técnica de Arquímedes).....	81
4.2	Etapa 1.1: Caracterización mecánica de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio .	82
4.2.1	Ensayos de Flexión .....	82
4.2.2	Determinación del módulo elástico por ultrasonidos.....	82

4.2.3	Ensayos de dureza.....	82
4.3	Caracterización microestructural de las aleaciones de colada y pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio	83
4.3.1	Microscopía óptica.....	83
4.3.2	Microscopía electrónica de barrido .....	83
4.3.3	Determinación del contenido de oxígeno.....	84
4.3.4	Caracterización de las aleaciones de colada de partida.....	84
4.4	Fase 2: Obtención y puesta a punto del proceso de anodizado electroquímico para la obtención de un recubrimiento de nanotubos en aleaciones de titanio .....	86
4.5	Etapa 2.1: Caracterización microestructural del recubrimiento nanotubular .....	96
4.5.1	Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo.....	96
4.5.2	Difracción de rayos X.....	96
4.5.3	Microscopía de transmisión de electrones .....	96
4.6	Etapa 2.2: Caracterización de la rugosidad del recubrimiento de nanotubos.....	97
4.7	Etapa 2.3: Caracterización del ángulo de contacto y tensión superficial del recubrimiento de nanotubos .....	97
4.8	Fase 3: Caracterización electroquímica del recubrimiento de nanotubos .....	100
4.8.1	Puesta a punto del ensayo de corrosión electroquímico.....	100
4.8.2	Procedimiento ensayo de corrosión electroquímico .....	103
Capítulo 5: Resultados.....		105
5.1	Caracterización de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio.....	107
5.2	Caracterización mecánica de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio .....	111
5.3	Caracterización microestructural de las aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ de titanio.....	115
5.4	Recubrimiento de nanotubos en aleaciones de titanio mediante anodizado electroquímico .....	123
5.5	Caracterización de la rugosidad del recubrimiento de nanotubos.....	137
5.6	Ángulo de contacto y tensión superficial del recubrimiento de los nanotubos .....	142
5.7	Caracterización electroquímica del recubrimiento de nanotubos.....	149
5.7.1	Evaluación de la resistencia a la corrosión de los diferentes acabados superficiales en la aleación de Ti6Al4V ELI.....	149
5.7.2	Evaluación de la resistencia a la corrosión de los diferentes acabados superficiales en la aleación de Ti35Nb10Ta. ....	160

Capítulo 6: Análisis y discusión de resultados.....	169
6.1 Fabricación de aleaciones pulvimetalúrgicas $\beta$ titanio .....	171
6.2 Modificación superficial de las aleaciones de titanio .....	181
6.2.1 Caracterización microestructural de la topografía nanotubular .....	191
6.2.2 Rugosidad de los recubrimientos nanotubulares .....	193
6.2.3 Mojabilidad de los recubrimientos nanotubulares .....	200
6.2.4 Resistencia a la corrosión de los recubrimientos nanotubulares .....	206
Capítulo 7: Conclusiones.....	220
Capítulo 8: Líneas futuras de Investigación.....	226
Bibliografía .....	234
Publicaciones derivadas de la Tesis Doctoral.....	243