

Índice

Agradecimientos	VII
Índice de figuras	XIII
Índice de tablas	XXIX
Nomenclatura	XXXI
Resumen	XLIII
1. Introducción	1
1.1. Biomateriales para el reemplazo del hueso.....	1
1.2. Clasificación según la respuesta del hueso.....	7
1.2.1. Biomateriales biotolerantes.....	9
1.2.2. Biomateriales bioinertes.....	10
1.2.3. Biomateriales reabsorbibles.....	11
1.3. La aleación Ti6Al4V.....	12
1.3.1. Características metalúrgicas y propiedades mecánicas.....	13
1.3.2. Comportamiento del titanio como implante: bioinerte, biocompatible y osteointegrable.....	15
1.3.3. Modificación superficial para mejorar la respuesta del tejido.....	19
1.3.4. Modificación de la naturaleza química superficial: bioinerte a bioactiva.....	19
1.4. Recubrimientos bioactivos sobre la aleación Ti6Al4V.....	22
1.4.1. Recubrimientos de hidroxiapatita (HA).....	23
1.4.2. Los vidrios bioactivos.....	27
1.4.3. Recubrimientos de vidrio bioactivo.....	30
1.5. Solicitaciones mecánicas sobre los implantes y prótesis de Ti6Al4V.....	38

1.5.1. Estado de tensiones en la intercara implante dental/hueso.....	39
1.5.2. Estado de tensiones en la intercara prótesis de cadera/hueso.....	41
1.6. Fundamentos de la mecánica de contacto Hertziano.....	44
1.6.1. Teoría de Hertz sobre el contacto normal entre sólido elásticos.....	47
1.6.2. Campo de tensiones debidas al contacto Hertziano.....	52
1.7. Mecanismos de daño por contacto Hertziano en materiales monolíticos.....	56
1.7.1. Fractura Hertziana: fisuras anillo y cónica.....	57
1.7.2. Daño de tipo dúctil.....	62
1.8. Mecanismos de daño por contacto Hertziano en recubrimientos.....	67
1.8.1. Recubrimientos monocapa.....	68
1.8.2. Modos frágiles.....	70
1.8.3. Modos dúctiles.....	74
1.8.4. Recubrimientos bicapa.....	81
1.8.5. Modos frágiles.....	82
1.8.6. Modos dúctiles.....	83
Objetivos	89
2. Materiales y métodos experimentales	93
2.1. Fabricación de los materiales y preparación de muestras.....	94
2.1.1. Vidrio fundido.....	94
2.1.2. Recubrimientos monocapa.....	97
2.1.3. Recubrimientos bicapa.....	97
2.1.4. Vidrio sinterizado.....	98
2.2. Caracterización de los materiales.....	99
2.2.1. Microscopía óptica y análisis de imagen.....	99
2.2.2. Microscopía electrónica de barrido, espectrometría de energía dispersada y microsonda electrónica.....	100
2.2.3. Difracción de rayos X.....	102
2.2.4. Microscopía de fuerza atómica.....	106
2.3. Ensayos mecánicos.....	106

2.3.1. Ensayos por contacto Hertziano.....	106
2.3.2. Ensayos monotónicos.....	107
2.3.3. Ensayos estáticos.....	108
2.3.4. Ensayos cíclicos.....	110
2.3.5. Ensayos monotónicos, estáticos y cíclicos en fluido fisiológico simulado.....	113
2.3.6. Técnicas complementarias de caracterización mecánica por contacto.....	115
2.3.7. Microfractura por indentación Vickers.....	115
2.3.8. Contacto deslizante: ensayo de rayado.....	120
2.3.9. Indentación instrumentada: nanoindentación.....	124
3. Resultados y discusión I. Recubrimientos monocapa: contacto monotónico	131
3.1. Influencia de las condiciones de procesamiento en las propiedades del recubrimiento monocapa: tiempo de calcinación.....	132
3.1.1. Caracterización microestructural.....	133
3.1.2. Caracterización de propiedades mecánicas.....	140
3.1.3. Respuesta al contacto Hertziano.....	140
3.1.4. Respuesta al ensayo de rayado.....	142
3.1.5. Indentación Vickers en la intercara.....	151
3.1.6. Conclusiones.....	157
3.2. Respuesta del recubrimiento monocapa definitivo al contacto Hertziano monotónico.....	160
3.2.1. Caracterización microestructural.....	161
3.2.2. Secuencia de daños debido al contacto Hertziano monotónico.....	165
3.2.3. Fisura tipo anillo.....	166
3.2.4. Fisura radial.....	170
3.2.5. Delaminación.....	173
3.2.6. Fisura lateral.....	179
3.2.7. Resumen comparativo de la secuencia de daños.....	184
3.2.8. Análisis de la tenacidad de fractura a partir de la fisuración por contacto Hertziano.....	189

3.2.9. Análisis de la tensión residual en el recubrimiento monocapa.....	199
3.2.10. Factor de intensidad de tensiones debido al estado tensional en la superficie de un implante dental.....	203
3.2.11. Fractura por indentación Vickers: evolución de la fisura y estimación de la tenacidad de fractura y de las tensiones residuales.....	205
3.2.12. Análisis de la influencia de las tensiones residuales.....	210
3.2.13. Análisis del cambio en la geometría de la fisura.....	212
3.2.14. Factores de corrección al cambio en la geometría de la fisura.....	220
3.2.15. Factores de corrección debido a la presencia del sustrato elásticamente diferente.....	222
3.2.16. Conclusiones.....	228
3.2.17. Respuesta al contacto Hertziano monótonico.....	228
3.2.18. Tenacidad de fractura a partir de la fisuración por contacto Hertziano.....	229
3.2.19. Fractura por indentación Vickers: evolución de la fisura y estimación de la tenacidad de fractura y de las tensiones residuales.....	230
4. Resultados y discusión II. Recubrimiento monocapa: contacto estático y cíclico	233
4.1. Comportamiento del recubrimiento monocapa al contacto Hertziano estático.....	234
4.1.1. Formación de la fisura anillo bajo contacto estático.....	235
4.1.2. Análisis de la formación de la fisura anillo bajo contacto estático en términos del crecimiento sub-crítico de una fisura pre-existente.....	238
4.2. Comportamiento del recubrimiento monocapa al contacto Hertziano cíclico.....	248
4.2.1. Formación de la fisura anillo bajo contacto Hertziano cíclico.....	248
4.2.2. Deformación plástica de la aleación Ti6Al4V debido al contacto Hertziano cíclico.....	259
4.2.3. Respuesta de los vidrios monolíticos al contacto Hertziano cíclico.....	262
4.2.4. Dependencia del crecimiento cíclico de fisura para formar la fisura anillo.....	265

4.2.5. Análisis de la restricciones de la teoría de Hertz sobre el contacto elástico.....	271
4.3. Delaminación del recubrimiento monocapa debido al contacto Hertziano cíclico.....	277
4.3.1. Delaminación por contacto cíclico para una relación de carga constante.....	277
4.3.2. Delaminación por contacto cíclico para diferentes relaciones de carga.....	286
4.4. Resumen de la respuesta global del sistema al contacto cíclico.....	292
4.5. Conclusiones.....	296
4.5.1. Respuesta al contacto Hertziano estático.....	296
4.5.2. Respuesta al contacto Hertziano cíclico.....	297
4.5.3. Delaminación debido al contacto Hertziano cíclico.....	298
5. Resultados y discusión III. Recubrimiento bicapa bioactivo: contacto monotónico, estático y cíclico	301
5.1. Caracterización microestructural y de la respuesta al contacto Hertziano monotónico del recubrimiento bicapa bioactivo.....	302
5.1.1. Caracterización microestructural del recubrimiento bicapa bioactivo.....	303
5.1.2. Respuesta del recubrimiento bicapa bioactivo al contacto Hertziano monotónico.....	306
5.1.3. Fisura tipo anillo.....	307
5.1.4. Fisura radial y delaminación en la intercara entre capas.....	312
5.1.5. Fisura radial y delaminación en la intercara recubrimiento-metal.....	315
5.1.6. Secuencia de daños con punta esférica de diamante.....	319
5.1.7. Conclusiones.....	323
5.2. Respuesta del recubrimiento bicapa bioactivo al contacto Hertziano estático y cíclico en aire	325

5.2.1. Fisuración del recubrimiento bicapa bioactivo bajo contacto estático y cíclico en aire.....	325
5.2.2. Análisis comparativo de la fisuración bajo contacto estático y cíclico en aire de los recubrimientos monocapa y bicapa bioactivo.....	330
5.2.3. Análisis de la dependencia del crecimiento de fisura por contacto estático en el recubrimiento bicapa bioactivo.....	333
5.2.4. Análisis de la dependencia del crecimiento de fisura por contacto cíclico en el recubrimiento bicapa bioactivo.....	335
5.2.5. Conclusiones.....	337
5.3. Degradación del recubrimiento bicapa bioactivo bajo contacto Hertziano estático y cíclico en fluido fisiológico simulado.....	339
5.3.1. Evolución microestructural del recubrimiento bicapa bioactivo en presencia del fluido fisiológico simulado.....	340
5.3.2. Respuesta del recubrimiento bicapa bioactivo al contacto Hertziano monotónico en fluido fisiológico simulado.....	344
5.3.3. Respuesta del recubrimiento bicapa bioactivo al contacto estático y cíclico en fluido fisiológico simulado.....	346
5.3.4. Conclusiones.....	358
6. Conclusiones generales	363
7. Trabajo futuro	375
Referencias	379
Apéndice A-1	396
Apéndice A-2	397
Publicaciones y congresos	401