



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE
BACTERIAS SOBRE SUPERFICIES DE
TITANIO CON DIFERENTES
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Autora: Isabel Baviera Casañ

Tutor: Vicente Amigó Borrás

Tutora externa: María Ángeles Tormo Mas

Curso académico: 2019 – 2020

I. MEMORIA

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN.....	3
RESUM.....	5
ABSTRACT.....	7
ÍNDICE.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. MOTIVACIÓN.....	17
1.2. OBJETIVOS.....	18
2. ESTADO DEL ARTE.....	19
2.1. INTRODUCCIÓN DE LOS BIOMATERIALES EN MEDICINA.....	19
2.2. TITANIO: CARACTERÍSTICAS Y ALEACIONES.....	20
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL TITANIO Y LA ALEACIÓN Ti6Al4V.....	20
2.2.2. PROPIEDADES DE LA ALEACIÓN Ti6Al4V.....	22
2.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LOS MATERIALES.....	27
2.3.1. MECANIZADO.....	29
2.3.2. PROYECCIÓN TÉRMICA.....	30
2.3.3. OXIDACIÓN ELECTROQUÍMICA.....	32
2.3.4. ARENADO.....	33
2.3.5. ATAQUE ÁCIDO.....	34
2.3.6. ANODIZADO.....	34
2.3.7. NANOTUBOS.....	35
2.4. TÉCNICAS Y MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL.....	36
2.5. BIOFILM.....	43
2.5.1. INTRODUCCIÓN.....	43
2.5.2. INFECCIÓN PROTÉSICA.....	43
2.5.3. COMPOSICIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL BIOFILM.....	44
2.5.4. PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO.....	47
2.5.5. TIPOS DE BACTERIAS.....	48
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	50
3.2. ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	51
3.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES QUE APLICAR.....	53
3.3.1. ATAQUE ÁCIDO.....	53
3.3.2. ANODIZADO.....	54
3.3.3. ATAQUE ÁCIDO Y ANODIZADO.....	55
3.3.4. NANOTUBOS.....	56
3.4. CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA DE LA SUPERFICIE.....	57
3.4.1. PERFILOMETRÍA.....	57
3.4.2. FESEM.....	58
3.4.3. HRFESM.....	59
3.4.4. AFM.....	60
3.5. CULTIVO BACTERIANO.....	61
3.5.1. PSEUDOMONAS AERUGINOSA.....	61
3.5.1. STAPHYLOCOCCUS AUREUS.....	61
3.5.2. DESARROLLO DEL BIOFILM.....	62
3.5.3. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA DE LA SUPERFICIE.....	63
REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
Tabla 1. Composición en % de la aleación Ti6Al4V. Fuente: Tojal et. al. (2012). “Fabricación y caracterización de aleaciones porosas de Ti y Ti6Al4V producidas mediante sinterización con espaciador”.	22
Tabla 2. Características y composición de los biofilms. Fuente: Domenech, (2012). “Biofilmes de ‘Streptococcus pneumoniae’: genética, composición y terapia”.	44
Tabla 3. Composición de la aleación siguiendo la norma ASTM F-136. Fuente: Perlins, (2019). “Optimización mediante recubrimientos del comportamiento corrosivo y tribocorrosivo de la aleación Ti6Al4V para el uso de implantes dentales”.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Páginals</i>
Figura 1. Microestructura $\alpha + \beta$ de Ti6Al4V. Fuente: Rodney y Collings, (1993). “ <i>Material Properties Handbook: Titanium Alloys</i> ”.	23
Figura 2. Microestructura martensítica de Ti6Al4V. Fuente: Rodney y Collings, (1993). “ <i>Material Properties Handbook: Titanium Alloys</i> ”.	24
Figura 3. Microestructura laminar de Ti6Al4V. Fuente: Rodney y Collings, (1993). “ <i>Material Properties Handbook: Titanium Alloys</i> ”.	24
Figura 4. Microestructura bimodal de Ti6Al4V. Fuente: Rodney y Collings, (1993). “ <i>Material Properties Handbook: Titanium Alloys</i> ”.	25
Figura 5. Superficie de la aleación Ti6Al4V tras sufrir el tratamiento de mecanizado (x10). Fuente: Rodney y Collings, (1993). “ <i>Material Properties Handbook: Titanium Alloys</i> ”.	29
Figura 6. Métodos de proyección térmica. Fuente: Davis, (2004). “ <i>Handbook of Thermal Spray Technology</i> ”.	31
Figura 7. Superficie de la aleación Ti6Al4V tras sufrir el tratamiento de proyección térmica (x20). Fuente: Biomet, 2020.	31
Figura 8. Superficie de la aleación Ti6Al4V tras sufrir el tratamiento de arenado (x2000). Fuente: Rodney y Collings, (1993). “ <i>Material Properties Handbook: Titanium Alloys</i> ”.	33
Figura 9. Superficie de la aleación Ti6Al4V tras sufrir el tratamiento de ataque ácido (x2000). Fuente: Servicio de Microscopía Electrónica (UPV), (2020).	34
Figura 10. Colores característicos obtenidos después del anodizado del Ti. Fuente: Pérez, (2012). “ <i>Influencia de los tratamientos superficiales de ataque ácido y anodizado en el comportamiento a fatiga del Ti c.p. y el Ti6Al4V para implantes dentales</i> ”.	35
Figura 11. Superficie de la aleación Ti6Al4V tras sufrir el tratamiento de nanotubos. Fuente: Lario, J., Haro, M., Viera, M., Amigó, A., & Amigó, V. (2017). “ <i>Influencia de las condiciones de procesado pulvimetalúrgico en las propiedades mecánicas de las aleaciones Ti-35Nb-10Ta</i> ”.	35
Figura 12. Funcionamiento del SEM. Fuente: Almagro, J. F. (1999). “ <i>Nuevo microanálisis cuantitativo de metales empleando microscopía electrónica de barrido con dispersión de energías de rayos X</i> ”.	38
Figura 13. Emisiones tras la incidencia del haz primario en la muestra. Fuente: Pardell, X. (2020, 7 julio). “ <i>El microscopio electrónico de barrido SEM</i> ”.	39
Figura 14. Funcionamiento del AFM. Fuente: Reséndiz, M. C., & Castrellón, J. (2005). “ <i>Microscopio de Fuerza Atómica</i> ”.	41
Figura 15. Resumen para el desarrollo del biofilm. Fuente: Domenech, M. (2012). “ <i>Biofilmes de Streptococcus Pneumoniae: Genética, composición y terapia</i> ”.	46
Figura 16. Esquema para la planificación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura 17. Representación perfilométrica bidimensional de una superficie recubierta por plasma spray. Fuente: Filmmetrics, (2020).	57
Figura 18. Representación perfilométrica tridimensional de una superficie recubierta por plasma spray. Fuente: Filmmetrics, (2020).	58
Figura 19. Representación de una superficie nanotubular por FESEM. Fuente: Lario, J., Haro, M., Viera, M., Amigó, A., & Amigó, V. (2017). “ <i>Influencia de las condiciones de procesado pulvimetalúrgico en las propiedades mecánicas de las aleaciones Ti-35Nb-10Ta</i> ”.	58
Figura 20. Representación de una superficie nanotubular por HRFESEM. Fuente: Amigó, A. (2017). “ <i>Influencia de las adiciones de Fe en las aleaciones de Ti-Nb-Ta obtenidas mediante tecnología de polvos, para aplicaciones biomédicas</i> ”.	59
Figura 21. Detalle de la inclinación de los nanotubos por HRFESEM. Fuente: Amigó, A. (2017). “ <i>Influencia de las adiciones de Fe en las aleaciones de Ti-Nb-Ta obtenidas mediante tecnología de polvos, para aplicaciones biomédicas</i> ”.	59
Figura 22. Imagen bidimensional de una superficie oxidada de titanio a 900 °C durante 20 minutos. Fuente: Amigó, A. (2017). “ <i>Influencia de las adiciones de Fe en las aleaciones de Ti-Nb-Ta obtenidas mediante tecnología de polvos, para aplicaciones biomédicas</i> ”.	60

- Figura 23. Representación tridimensional de una superficie oxidada de titanio. Fuente: Amigó, A. (2017). *“Influencia de las adiciones de Fe en las aleaciones de Ti-Nb-Ta obtenidas mediante tecnología de polvos, para aplicaciones biomédicas”*. 60
- Figura 24. Representación del desarrollo del biofilm de S. Aureus a las 6, 12, 24 y 48 h en una superficie por microscopía confocal. Fuente: Ibarra, C., Villar, M., Gaitán, L. A., Pozos, A., Mendoza, R., & Sánchez, L. O. (2012). *“Ensayo de formación y cuantificación de biopelículas mixtas de Candida albicans y Staphylococcus aureus”*. 65
- Figura 25. Representación en Crio-FESEM del desarrollo en cuatro días de la P. Aeruginosa por sobre una superficie metálica. Fuente: Alhede, M., Qvortrup, K., & Liebrechts, R. (2012). *“Combination of microscopic techniques reveals a comprehensive visual impression of biofilm structure and composition”*. 66

II. PRESUPUESTO

ÍNDICE

	<i>Página/s</i>
1. CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS.....	75
1.1. MANO DE OBRA.....	75
1.2. MATERIALES.....	75
1.3. MAQUINARIA.....	77
2. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS.....	79
3. MEDICIONES.....	88
4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	89
REFERENCIAS.....	90