

# **INDICE**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Agradecimientos</b> .....                                          | 3  |
| <b>Indice</b> .....                                                   | 4  |
| <b>Indice de Figuras</b> .....                                        | 7  |
| <b>Indice de Tablas</b> .....                                         | 10 |
| <b>Capítulo I: INTRODUCCIÓN</b> .....                                 | 13 |
| I.1    Introducción .....                                             | 13 |
| I.2    Objetivos .....                                                | 22 |
| <b>Capítulo II: BASES TEÓRICAS</b> .....                              | 25 |
| II.1.    Biomateriales .....                                          | 25 |
| II.1.1.    Definición de biomaterial y biocompatibilidad .....        | 25 |
| II.2.    Biomateriales para el reemplazo del hueso.....               | 33 |
| II.3.    Clasificación según la respuesta del hueso.....              | 36 |
| II.3.1.    Biomateriales biotolerantes .....                          | 37 |
| II.3.2.    Biomateriales Bioinertes.....                              | 37 |
| II.3.3.    Biomateriales reabsorbibles.....                           | 38 |
| II.4.    El Hueso.....                                                | 38 |
| II.4.1.    Composición ósea .....                                     | 39 |
| II.4.2.    Estructura Ósea.....                                       | 40 |
| II.4.3.    Propiedades Mecánicas del Hueso .....                      | 41 |
| II.4.4.    Dinámica del hueso.....                                    | 42 |
| II.5.    El Titanio c.p. y sus aleaciones .....                       | 46 |
| II.5.1.    Metalurgia del titanio. Estructura cristalina .....        | 48 |
| II.5.2.    Características metalúrgicas y propiedades mecánicas ..... | 50 |
| II.5.2.1.    Propiedades físicas.....                                 | 50 |
| II.5.2.2.    Propiedades químicas .....                               | 51 |
| II.5.2.3.    Propiedades mecánicas .....                              | 52 |
| II.5.2.4.    Procesos de fabricación.....                             | 53 |
| II.5.2.4.1.    Moldeo (fundición) .....                               | 55 |
| II.5.2.4.2.    Pulvimetalurgia.....                                   | 56 |

|                      |                                                                                           |           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.5.2.4.3.          | Solidificación rápida .....                                                               | 58        |
| II.5.2.4.4.          | Forja.....                                                                                | 58        |
| II.5.2.4.5.          | Tratamientos térmicos.....                                                                | 59        |
| II.5.2.4.6.          | Mecanizado .....                                                                          | 59        |
| II.5.2.4.7.          | Soldadura .....                                                                           | 60        |
| II.5.2.4.8.          | Tratamientos superficiales .....                                                          | 61        |
| II.5.2.5.            | Aleaciones de titanio .....                                                               | 62        |
| II.5.2.5.1.          | Aleaciones $\alpha$ .....                                                                 | 62        |
| II.5.2.5.2.          | Aleaciones $\beta$ .....                                                                  | 64        |
| II.5.2.5.3.          | Aleaciones $\alpha+\beta$ .....                                                           | 66        |
| II.5.2.5.4.          | Ejemplo de aleaciones.....                                                                | 70        |
| II.6.                | Comportamiento del titanio como implante: bioinerte, biocompatible y osteointegrable..... | 73        |
| II.6.1.              | Limitaciones del Titanio c.p. en implantes dentales .....                                 | 73        |
| II.6.2.              | Formas de mejorar la capacidad de osteointegración del Titanio .....                      | 74        |
| II.6.2.1.            | Modificación de la naturaleza química superficial .....                                   | 74        |
| II.6.2.2.            | Modificación de la rugosidad y la textura de la superficie .....                          | 74        |
| II.7.                | Formas de solventar el apantallamiento de tensiones ( <i>stress shielding</i> ) ....      | 77        |
| <b>Capítulo III:</b> | <b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>                                                         | <b>79</b> |
| III.1.               | Materiales.....                                                                           | 79        |
| III.1.1.             | Polvo de titanio SE-JONG 4 .....                                                          | 79        |
| III.1.1.1.           | Propiedades del polvo .....                                                               | 81        |
| III.1.1.1.1.         | Granulometría.....                                                                        | 81        |
| III.1.1.1.2.         | Morfología y granulometría del polvo.....                                                 | 82        |
| III.1.1.1.3.         | Densidad del polvo.....                                                                   | 83        |
| III.1.1.1.4.         | Curva de compresibilidad .....                                                            | 85        |
| III.1.2.             | Caracterización del uso de espaciadores (" <i>Space holder</i> ").....                    | 86        |
| III.2.               | Proceso de mezcla.....                                                                    | 87        |
| III.2.1.             | Compactación de la mezcla .....                                                           | 88        |
| III.2.2.             | Procedimiento para el Prensado.....                                                       | 91        |
| III.2.3.             | Eliminación NaCl .....                                                                    | 92        |
| III.3.               | Sinterización de los compactos porosos.....                                               | 95        |

|                     |                                                                                                     |            |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| III.3.1.            | Introducción de las muestras en el horno.....                                                       | 95         |
| III.3.2.            | Programación del horno .....                                                                        | 97         |
| III.4.              | Cálculo de la densidad, de la porosidad y de la porosidad interconectada<br>98                      |            |
| III.5.              | Evaluación del módulo de Young por ultrasonidos.....                                                | 100        |
| III.6.              | Preparación metalográfica de las probetas para observar el gradiente de<br>porosidad obtenido ..... | 102        |
| <b>Capítulo IV:</b> | <b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>                                                                | <b>108</b> |
| IV.1.               | Gradiente de porosidades .....                                                                      | 109        |
| IV.2.               | Proceso de eliminación del espaciador ("SAL") .....                                                 | 109        |
| IV.2.1.             | Evaluación de la reproducibilidad del protocolo planteado.....                                      | 109        |
| IV.2.2.             | Influencia de la presión de compactación.....                                                       | 111        |
| IV.2.3.             | Influencia del diseño de la muestra .....                                                           | 113        |
| IV.3.               | Evaluación de la porosidad total e interconectada de las muestras:<br>Arquímedes .....              | 117        |
| IV.4.               | Evaluación del gradiente de porosidad obtenido .....                                                | 120        |
| IV.5.               | Resistencia a compresión.....                                                                       | 123        |
| IV.5.1.             | Efecto de la presión de compactación.....                                                           | 123        |
| IV.5.2.             | Influencia del diseño de las muestras .....                                                         | 125        |
| IV.5.3.             | Determinación del módulo de Young a partir del ensayo a<br>compresión.....                          | 127        |
| IV.5.4.             | Evaluación del límite de fluencia a partir del ensayo a compresión<br>.....                         | 127        |
| IV.6.               | Módulo de Young dinámico mediante la técnica de ultrasonidos.....                                   | 128        |
| IV.7.               | Comparación de los módulos de Young calculados por ambos métodos.....<br>.....                      | 131        |
| <b>Capítulo V:</b>  | <b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>                                                        | <b>134</b> |
|                     | Trabajos futuros.....                                                                               | 135        |
|                     | Bibliografía .....                                                                                  | 137        |