

Licenciatura: Ingeniería Mecánica.

Nombre del Proyecto de Integración (PI): Determinación de las propiedades mecánicas del compuesto Óxido de Titanio- Hidroxiapatita para su posible uso en implantes en el cuerpo humano (huesos).

Modalidad: Proyecto de Investigación

Versión: Segunda

Trimestre Lectivo: 24-I

Datos del alumno:

Nombre: Benito López Santos

Matrícula: 2163035721

Correo electrónico. al2163035721@azc.uam.mx



Firma \_\_\_\_\_

Datos del (los) asesor(es):

Asesor: Dra. María Elizabeth Refugio García

Categoría: Asociado

Departamento de adscripción: Materiales

Teléfono: 5553189000

Correo electrónico: merg@azc.uam.mx

Firma \_\_\_\_\_

Fecha: 9/Mayo/2024

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

---

Benito López Santos

---

Dra. María Elizabeth Refugio García

## 1. Introducción

El hueso es el material estructural biológico más importante en nuestro organismo, los sistemas esqueléticos funcionan proporcionando soporte, protección de órganos y facilitando el movimiento.

El hueso está compuesto principalmente por colágeno orgánico y una matriz inorgánica mineralizada de fosfatos de calcio, que le otorgan rigidez y resistencia a la compresión. Las células óseas regulan la producción, reabsorción y reparación de estos compuestos a lo largo de la vida del organismo, puede adaptar sus propiedades según las cargas a las que es sometido.

Los biomateriales se pueden clasificar en dos categorías de forma general: biomateriales inertes y biomateriales activos. Los materiales activos son aquellos que desempeñan una función específica en el cuerpo, como por ejemplo los utilizados en órganos artificiales. Por otro lado, los biomateriales inertes tienen como función principal proporcionar un soporte físico al cuerpo como por ejemplo los huesos artificiales. La característica principal de los biomateriales es la de poder interactuar química y físicamente con el cuerpo sin provocar toxicidad o efectos adversos en el cuerpo receptor.

La hidroxiapatita (HAp) es un biomaterial que tiene propiedades químicas semejantes a la estructura cristalina del fosfato de calcio presente en las estructuras óseas del cuerpo humano, esto permite que el material tenga una buena oseointegración. La hidroxiapatita sola no cuenta con buenas propiedades mecánicas.

El óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) es un compuesto inorgánico que contiene más de un 98% de Titanio, se encuentra en la naturaleza en fase sólida. Es biocompatible y posee una alta estabilidad física y química con el ser humano. En odontología se utiliza en prótesis dentales por sus propiedades antibacterianas y también como recubrimiento de prótesis metálicas.

Con lo anterior se busca desarrollar un nuevo compuesto  $\text{TiO}_2$ -HAp, la base será el óxido de titanio, añadiendo hidroxiapatita (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en porcentaje en peso), con el fin de poder analizar de manera más amplia el comportamiento y las propiedades mecánicas de cada muestra del compuesto. El desarrollo y pruebas del compuesto se llevará a cabo realizando la fabricación y caracterización de probetas a partir de metalurgia de polvos. Se realizarán ensayos de dureza Vickers y ensayos mecánicos de compresión, estos ensayos proporcionarán los datos que permitan determinar las propiedades mecánicas del compuesto como son: la resistencia a la fractura, resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad. Se espera que estas propiedades resulten semejantes a las del hueso cortical bovino, que servirá de referencia para comparar en este estudio.

## 2. Antecedentes

En 2011, H. Melero [1] menciona en su artículo Recubrimientos bioactivos: Hidroxiapatita y Titania, que si bien al óxido de titanio lo consideran bioinerte, este puede ser combinado con otro compuesto, o se le aplica algún tratamiento para aprovechar sus propiedades, ya sean mecánicas o de anticorrosión en usos biomédicos, se menciona que los recubrimientos de  $\text{TiO}_2$  tienen buenas propiedades mecánicas.

En 2015, José Alanís [2] menciona en su tesis de maestría que los biomateriales a base de hidroxiapatita son adecuados como sustitutos óseos gracias a las propiedades físicas que pueden llegar a tener en común y a la aceptación por parte del organismo humano. Menciona que el material de remplazo óseo debe obtener propiedades mecánicas similares (elasticidad, resistencia a la compresión y flexibilidad) para que el individuo con un implante de este tipo pueda llevar a cabo actividades de manera normal, el hueso es capaz de soportar ciertas fuerzas de compresión, tracción y cizalladura, por lo que es deseable que el remplazo pueda tener características mecánicas similares.

En 2017, Vanessa Hernández [3] menciona en su artículo donde revisa los recubrimientos de óxido de titanio para biomateriales, que este actúa de manera positiva incidiendo la formación de apatita en su superficie, por lo cual se ha utilizado como recubrimiento protector de metales biocompatibles como el titanio o el acero inoxidable, por lo tanto, al promover la formación de la apatita, el óxido de titanio es un material que favorece la oseointegración de un posible implante hecho de este material.

En 2020, César Roure [4] desarrolló una comparativa de fabricación de piezas sinterizadas entre la técnica tradicional de compactación de polvos a través de prensas y matricería metálica, y la técnica de gel-casting combinada con impresión 3D, en este sentido concluyó que el método tradicional de compactación generó muestras con mayor contacto entre partículas lo cual incrementa sus características mecánicas luego de su sinterización, tomando de referencia esta información, la fabricación del material biocompatible se realizará a través de la técnica de metalurgia de polvos, realizando la compactación de los polvos de manera tradicional en prensa para el conformado de las probetas esperando obtener mejores propiedades mecánicas del compuesto.

## 3. Justificación

La principal intención del uso de un biomaterial es la de poder tratar o remplazar tejido óseo afectado, este sustituto debe contar con propiedades mecánicas y orgánicas similares al tejido que se planea intervenir sin mayores afectaciones al organismo del individuo. Comúnmente se emplean metales biocompatibles para implantes en estructuras óseas por sus buenas propiedades mecánicas, pero a largo plazo pueden existir desventajas, pudiendo mencionar la corrosión del metal y el desgaste de estructuras óseas que interactúan con el

implante metálico. Una opción que no tiene esas desventajas y que cuenta con una buena biocompatibilidad es la utilización de la hidroxiapatita, sin embargo, es un material frágil por naturaleza y con bajas propiedades mecánicas. Por este motivo se busca un compuesto que tenga las propiedades mecánicas adecuadas y la biocompatibilidad necesaria para fungir como sustituto óseo, por esta razón se eligió al óxido de titanio como base de este compuesto, el cual se espera también pueda mejorar las propiedades mecánicas de la hidroxiapatita, gracias a ser también un material biocompatible.

El uso de materiales cerámicos se ha enfocado al recubrimiento de los metales en implantes, sin embargo, se desea aprovechar la base metálica del  $\text{TiO}_2$  y la buena oseointegración de la hidroxiapatita para conformar el compuesto  $\text{TiO}_2$ -HAp. En esta investigación se espera que algunas de las combinaciones propuestas se acerquen a las propiedades mecánicas del hueso bovino.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas del compuesto base Óxido de Titanio – Hidroxiapatita a diferentes porcentajes de peso (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%).

### 4.2 Objetivos Particulares

Fabricar a partir de la metalurgia de polvos diferentes muestras del compuesto  $\text{TiO}_2$  HAp con diferentes porcentajes en peso (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%).

Caracterizar mediante ensayos Vickers la dureza de los compuestos  $\text{TiO}_2$ -HAp fabricados y el de la muestra de hueso cortical bovino.

Obtener la tenacidad a la fractura de los compuestos  $\text{TiO}_2$ -HAp fabricados y el de la muestra de hueso cortical bovino.

Realizar ensayos de compresión de los compuestos  $\text{TiO}_2$ -HAp de los compuestos y el de la muestra de hueso cortical bovino.

Comparar las propiedades obtenidas de los compuestos  $\text{TiO}_2$ -HAp con las propiedades mecánicas de un hueso cortical bovino.

## 5. Metodología

### I. Fabricación de probetas por medio de metalurgia de polvos

Por medio del proceso de metalurgia de polvos se fabricarán las probetas del compuesto base Óxido de Titanio – Hidroxiapatita, este proceso contará de los siguientes pasos:

1. Preparación de la mezcla y proceso de molienda
2. Compactación de la mezcla
3. Sinterización de las probetas

La base del compuesto de este biomaterial será el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), se preparará una molienda al 100% de este material, posteriormente se realizará la mezcla con hidroxiapatita a diferentes porcentajes de peso (5%, 10%, 15%, 20% y 25%), obteniendo cinco mezclas para realizar la molienda.

Las mezclas preparadas se verterán dentro de un contenedor cerámico, junto con un medio de molienda (en este caso serán esferas de zirconia) con una proporción de 20 gramos del medio de molienda por cada gramo de la mezcla. El contenedor se colocará en molinos de rodillo para la realización de la molienda de la mezcla, este proceso tendrá una duración de 12 horas, con una velocidad de giro de 200rpm. Al finalizar el tiempo de molienda de cada mezcla, se recuperará el polvo de la mezcla del recipiente y se almacenarán contenedores cerrados.

Con los polvos obtenidos de cada mezcla en la molienda se realizará la fabricación de las probetas, el polvo de cada mezcla se compactará de manera uniaxial a una presión de 300Mpa, las probetas obtenidas mediante este proceso se almacenarán cuidando que no sufran desperfectos físicos.

Las probetas obtenidas se someterán a un proceso de sinterización con el fin de aumentar la dureza de la probeta, este tratamiento térmico se realizará en un horno eléctrico, el cual elevará su temperatura gradualmente hasta los  $1000^\circ\text{C}$  en el lapso de una hora, y permanecerá a esta temperatura por una hora más. Al finalizar el tiempo de sinterizado, y una vez que el horno alcance la temperatura ambiente, se obtendrán las probetas del horno y se almacenarán.

## **II. Preparación de las probetas de hueso bovino**

A partir de un hueso preparado de origen bovino, se obtendrán un par de probetas con dimensiones similares a las obtenidas de la mezcla compuesta por  $\text{TiO}_2$ -HAp, con el fin de realizar ensayos mecánicos en ellas.

## **III. Caracterización mecánica de las probetas de estudio**

Se realizará una preparación metalográfica para cada probeta obtenida de  $\text{TiO}_2$ -HAp, y de las probetas de hueso bovino, con el fin de obtener una observación detallada de la microestructura superficial, este proceso incluirá el desbaste y pulido de las muestras.

Se realizarán ensayos de dureza Vickers a cada una de las probetas obtenidas y preparadas, para poder determinar la microdureza de cada una de las probetas. Finalmente se realizarán ensayos de compresión a cada probeta en una maquina universal de ensayos, con el fin de obtener datos que nos permitan visualizar su resistencia a la fluencia y módulo elástico.

Con lo anterior se obtendrán datos que permitirán comparar las propiedades mecánicas de las probetas  $\text{TiO}_2$ -HAp a distintos porcentajes, contra los datos que se obtengan de las probetas de hueso bovino.

## 6. Normatividad

### **ASTM E384-22 Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.**

Las pruebas de dureza son importantes para la evaluación de materiales, el control de calidad de los procesos de fabricación, así como en la investigación y el desarrollo de nuevos materiales [5]. Debido a que las pruebas de dureza por microindentación pueden revelar variaciones de dureza, estos existen en la mayoría de los materiales, por lo que un solo valor de prueba no será representativo como valor de la dureza total. La recomendación es hacer varias pruebas de indentación y calcular el promedio y la desviación estándar según sea necesario.

### **ASTM C1424-15 Standard Test Method for Monotonic Compressive Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature.**

Este método de prueba se puede utilizar para el desarrollo de materiales, comparación de materiales, control de calidad, caracterización y generación de datos de diseño [6]. Generalmente, la resistencia a la compresión es la medida de la mayor resistencia de una cerámica monolítica avanzada. Lo ideal es que la cerámica se esfuerce por compresión durante su uso.

Los ensayos de compresión proporcionan información sobre la resistencia y deformación de materiales bajo tensiones de compresión uniaxiales. Se requieren estados de tensión uniformes para evaluar eficazmente cualquier comportamiento de tensión-deformación no lineal que pueda desarrollarse como resultado de procesos de daño acumulativo, por ejemplo, microfisuras, y que pueden verse influenciados por el modo de prueba, la velocidad de la prueba, los efectos o la composición del procesamiento, la microestructura o el entorno.

### **ASTM E9-09 Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature**

Estos métodos de prueba cubren aparatos, muestras y procedimientos para pruebas de compresión por carga axial [7], los datos que se pueden obtener de la prueba de compresión es el módulo de Young, la curva tensión-deformación y la resistencia a la compresión, los cuales serán de importancia para el caso de estudio.

## 7. Cronograma de actividades

UEA para la que se solicita autorización

Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.	
Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II.	
Introducción al trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica.	

	Actividad Trimestre 24-P	Semana												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Realizar la mezcla-molienda de los compuestos													
2	Realizar la compactación de los compuestos													
3	Sinterizar probetas formadas													
4	Preparar probeta de hueso bovino													
5	Preparar metalográficamente las probetas TiO <sub>2</sub> -HAp													
6	Realizar ensayo de dureza Vickers a todas las probetas													
7	Realizar ensayo de compresión a todas las probetas													
8	Comparar resultados obtenidos													
9	Elaborar reporte final													

Elaborar y entregar el reporte final



## 8. Entregables

Reporte final del Proyecto de Integración.

## 9. Referencias Bibliográficas

- [1] Melero, H. (2011) *Recubrimientos bioactivos: Hidroxiapatita y titania*.
- [2] Alanis J.R.,Gómez, J.R.A. (2015) *Obtención de un material Compuesto OrgánicoInorgánico con porosidad controlada para su aplicación en prótesis de tejido óseo, TESIUAQ*
- [3] Hernández-Montes, V., Betancur-Henao, C.P. and Santa-Marín, J.F. (1970) *Titanium dioxide coatings on magnesium alloys for biomaterials: A Review, DYNA*.
- [4] Roure, C.A., Oldani, C.R. and Lucci, R.O. (2020) *Estudio de dos Métodos Pulvimetalúrgicos empleados en la Fabricación de biomateriales compuestos de Titanio E hidroxiapatita, AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN)*
- [5] Standard test method for microindentation hardness of materials (2022) E384. Available at: <https://www.astm.org/e0384-22.html>
- [6] Standard test method for monotonic compressive strength of advanced ceramics at ambient temperature (2019) C1424. Available at: <https://www.astm.org/c142415r19.html>
- [7] Standard test methods of compression testing of metallic materials at room temperature (2018) E9. Available at: <https://www.astm.org/e0009-09.html>

## 10. Terminología

Hidroxiapatita: Es el cristal principal de huesos y dientes ya que les confiere su dureza característica. En la naturaleza se le encuentra formando parte de rocas metamórficas.

Hueso cortical: Es la parte externa del hueso, está formado por tejido compacto.

Metalurgia de polvos: Es un proceso de fabricación de piezas a partir de polvos del material a usar, se compactan para dar forma a la pieza, y se calientan en una atmósfera controlada para la obtención de la pieza; este proceso permite controlar la porosidad de las piezas, y obtener una composición homogénea.

Oseointegración: Es un proceso biológico en cual un implante en la estructura ósea se integra con el hueso circundante.

Oxido de titanio: El óxido de titanio es un compuesto inorgánico de color blanco, se encuentra en la naturaleza en fase sólida y está formado por la unión de un átomo de titanio y dos átomos de oxígeno, es un material biocompatible.

TiO<sub>2</sub>-HAp: Compuesto Óxido de Titanio – Hidroxiapatita

#### 11. Infraestructura

Laboratorio de materiales avanzados, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Planta de procesos metalúrgicos y materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Laboratorio de ingeniería metalúrgica, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

#### 12. Asesoría complementaria

No es necesaria.

#### 13. Publicación o difusión de los resultados

No se tiene la intención de publicar.

	COMENTARIO DEL CEIM		ACCIÓN REALIZADA EN LA PPI
3	:	3	Se realizó el ajuste del signo de puntuación.
3	compresión y el módulo de elasticidad. Se espera que estas propiedades resulten semejantes a las del hueso cortical bovino, que servirá	3	Se corrigió la redacción en la introducción por la indicada.

	de referencia para comparar en este estudio.		
4	¿porqué es de interés o aplicación a tu propuesta?	4	Se indicó el interés por usar el oxido de titanio para fabricar un implante.
4	¿porqué es de interés o aplicación a tu propuesta?	4	Se indicó el interés por usar la compactación de los polvos de manera tradicional
5	En esta investigación se espera que algunas de las combinaciones propuestas se acerque a las propiedades mecánicas del hueso bovino.	5	Se realizó el ajuste en la descripción de la justificación.
5	falta el punto final.	5	Se colocó el signo de puntuación.
5	4.1 Objetivo General.	5	Se corrigió la numeración del objetivo general.
5	4.2	5	Se corrigió la numeración de los objetivos particulares.
8	No cumples con la conjugación de los verbos.	8	Se realizó la conjugación indicada en los verbos.
9	No cuidas la sangría francesa	9	Se corrigió el formato de la sangría indicada.
10	no es la frase indicada en clase. No es necesaria.	10	Se corrigió utilizando el texto indicado.
10	no es la frase indicada en clase: No se tiene la intención de publicar.	10	Se corrigió utilizando el texto indicado.
*	¿Cómo se realizará la forma de las probetas?	*	A través de una compresión uniaxial para conformar la probeta en forma cilíndrica.
*	¿Cómo se va a comparar los datos obtenidos?	*	Con los datos que arrojen los ensayos mecánicos que se

			realizaran a la probeta de hueso bovino.
*	¿Por qué solo se realizarán dos ensayos mecánicos (microdureza y compresión)?	*	El alcance del tiempo de este proyecto nos permite de momento realizar estos dos ensayos, los datos en el ensayo de compresión son útiles para de momento omitir el de tracción.
*	Si los datos a comparar son variables ¿cómo los voy a manejar?	*	Si bien se espera que los datos tengan valores variables, se debe realizar el estudio de las gráficas de esfuerzo- deformación que nos arrojen los datos para saber si el material cumple con el comportamiento esperado.