

Capítulo II

Antecedentes Históricos y Consideraciones

El progreso y desarrollo de la humanidad se encuentra totalmente relacionado con el desarrollo que han tenido los materiales, la investigación y el descubrimiento de nuevos materiales han colaborado de manera importante a este desarrollo. A continuación, se muestra una tabla en la que se observa el desarrollo que han tenido los materiales a través del tiempo y de la historia de la humanidad [2]:

Tabla 2.1 Historia de los Materiales a través del tiempo.

Period	Materials
Palaeolithic	Flint and obsidian. Ochre, emery. Wood, bones and stones.
Neolithic (to 3500 B.C)	Granite, diorite, limestone, sandstone (materials less brittle than in previous period).
Egyptian Predynastic (3500-3000B.C)	Alabaster, marble. rocksalt. Native metals (gold, silver, meteoric iron, copper).
Metal Age I (3000-2000 B.C)	Copper oxides and carbonates used as copper ores. Copper alloyed with lead, antimony and tin. Silver from galena.

Metal Age II (200-1200 B.C)	Copper from copper sulphides. Tin produced from ore.
Early Iron Age (1200-500B.C)	Hardened (carburized) iron, quenching and tempering.
Late Iron Age (500-50 B.C)	Brass from copper and calamine.
Middle Ages	Cast iron (pig iron). Blister steel.
1740-1843	Crucible process for steelmaking.
1843-1860	Nickel plating (Boettger process)
1860-1879	Bessemer and open Herat proces. General use of sttel as constructional material.
1879-1888	First application of nickel.
1888-1905	First application of aluminium.
1905-1912	First application of Monel (corrosion resistance).
1912-1920	First application of stainless steel.
1920-1945	Discovery and application of syntethic rubber, PVC, polyethylene. Large scale use of alloy steel.
1945-	Industrial use of reinforced plastics and new maetrial: titanium, beryllium, zirconium. High-strength and toughness structural steel. Powder metallurgy, resulting in entirely new materials.

2.1 Evolución de los Biomateriales

El desarrollo de las nuevas disciplinas de la ciencia e ingeniería de materiales sucedió en la década de los 50, con el uso de procedimientos empíricos para adaptar materiales convencionales a aplicaciones biomédicas. Esto fue generando respuestas a los desafíos planteados por la necesidad de producir dispositivos biomédicos de alto rendimiento.

El uso de materiales no biológicos en medicina es sin embargo muy anterior a la década del 50. Sus primeros antecedentes documentables se remontan al siglo XXX AC., en el antiguo Egipto. También durante las civilizaciones clásicas de Grecia y Roma (siglo VII A.C. a siglo IV D.C.) se usaron materiales no biológicos, en particular, metales y otros materiales naturales para el tratamiento de heridas y de algunas enfermedades.

Ya en la era moderna, en Europa en el siglo XVI se empleó el oro y la plata para la reparación dental, más tarde se produjeron hilos de hierro para la inmovilización de fracturas óseas. Los avances tecnológicos de fines del siglo XIX, en particular el desarrollo de la anestesia, de la cirugía en condiciones estériles y de los rayos X, dieron un fuerte impulso a la búsqueda de metales que pudieran ser utilizados en el interior del cuerpo. A poco tiempo de la aplicación de metales a este fin, aparecieron inconvenientes causados por la corrosión y por la falta de algunas propiedades mecánicas en estos materiales. Estas propiedades eran necesarias para que el dispositivo cumpliera adecuadamente la función para la que había sido diseñado.

Para superar estos inconvenientes se investigaron nuevas aleaciones metálicas, entre las que cabe mencionar las de cromo-cobalto y los aceros inoxidable con 18% de níquel y 8% de cromo (tipo 302). Hacia 1940 se mejoró la resistencia a la corrosión de los aceros mediante el agregado de 2 - 4% de molibdeno. Hacia 1960 se redujo la cantidad de carbono en estos aceros inoxidable a menos del 0.03% (tipo 316L), por lo que se logró una importante mejoría adicional. Posteriormente, la introducción del titanio y de sus aleaciones con niobio y tantalio, extendió el campo de aplicación de los metales [3].

El desarrollo de esta investigación se enfoca en el Acero Inoxidable y en el Titanio, por lo que a continuación se presenta una descripción de estos materiales.

Acero Inoxidable

El acero inoxidable pertenece a la familia de aleaciones ferrosas diseñadas para resistir altos niveles de corrosión, sin embargo, es importante mencionar que el acero inoxidable también presenta un gran desarrollo en sus propiedades mecánicas. Estas características se deben principalmente al contenido de cromo y a elementos como el níquel y el molibdeno. Estos elementos pueden alterar las fases y la micro estructura del acero, debido a esto el acero inoxidable se puede clasificar en tres tipos [4]:

a) Austeníticos: Este tipo de acero se caracteriza por la presencia de la fase Austenita en su estructura, esta se obtiene al agregar níquel y cromo a la aleación, los porcentajes de estos elementos varían entre 16 - 26 % para el cromo y de 6 - 22

% para el níquel, mientras que el carbono se mantiene en un nivel por debajo del 0.08% .

b) Martensíticos: En este tipo de acero, el cromo en bajos porcentajes es el elemento que origina la fase Martensita, la cual caracteriza a este tipo de aceros. El porcentaje de cromo varía entre 12 y 20% y además se debe controlar la cantidad de carbón y de otros elementos de la aleación como el manganeso, el molibdeno, el níquel, etc.

c) Ferríticos: El cromo en altos porcentajes y la agregación de aluminio, originan la fase Ferrita, la cual caracteriza a este tipo de aceros. El porcentaje de cromo varia entre 12 y 27%, el contenido de carbono debe ser mínimo (0.08%-0.2% máx.) y el aluminio aparece en cantidades de 0.1 a 0.3 %.

A continuación se presenta una tabla con la composición química de los aceros inoxidables y la clasificación que reciben según la American Iron and Steel Institute [4].

Tabla 2.2 Composición Química de Aceros Inoxidables.

Table 14-1 Wrought Stainless Steels					
AISI type	Nominal composition, %				
	C	Mn	Cr	Ni	Other
Austenitic grades					
201	0.15 max	7.5	16-18	3.5-5.5	0.25% N max
202	0.15 max	10.0	17-19	4.0-6.0	0.25% N max
301	0.15 max	2.0	16-18	6-8	
302	0.15 max	2.0	17-19	8-10	
304	0.08 max	2.0	18-20	8-12	
304L	0.03 max	2.0	18-20	8-12	
309	0.20 max	2.0	22-24	12-15	
310	0.25 max	2.0	24-26	19-22	
316	0.15 max	1.2	16-18	10-14	2-3% Mo
316L	0.03 max	2.0	16-18	10-14	2-3% Mo
321	0.08 max	2.0	17-19	9-12	(5 × % C)Ti min
347	0.08 max	2.0	17-19	9-13	(10 × % C)Nb-Ta min
Martensitic grades					
403	0.15 max	1.0	11.5-13		
410	0.15 max	1.0	11.5-13		
416	0.15 max	1.2	12-14		0.15% S min
420	0.15 min	1.0	12-14		
431	0.20 max	1.0	15-17	1.2-2.5	
440A	0.60-0.75	1.0	16-18		0.75% Mo max
440B	0.75-0.95	1.0	16-18		0.75% Mo max
440C	0.95-1.20	1.0	16-18		0.75% Mo max
Ferritic grades					
405	0.08 max	1.0	11.5-14.5		0.1-0.3 Al
430	0.15 max	1.0	14-18		
446	0.20 max	1.5	23-27		

Titanio y Aleaciones

El titanio es el noveno material más abundante en la tierra, descubierto en 1791 por el inglés William Gregor, el titanio es uno de los materiales más interesantes producido por el hombre. Dentro de sus características principales se encuentran: su gran resistencia a la corrosión, su relación tamaño-peso, la resistencia a altas temperaturas y su alta resistencia a esfuerzos. Estas características hacen que el titanio sea hoy en día uno de los principales materiales en el desarrollo de la tecnología.

Al igual que otros elementos, el titanio es utilizado como matriz principal en la formación de diferentes aleaciones, cada una con características específicas para diferentes aplicaciones. Dentro de la norma ASTM (American Society of Testing and Materials) las aleaciones de Titanio se clasifican por **grado** de acuerdo a sus características y a su composición, a continuación se presentan las aleaciones de Titanio con mayor aplicación hoy en día y algunas de sus aplicaciones [5]:

a) **Ti-50A^a (ASTM grado 2)**.- Esta aleación es utilizada principalmente para elementos que requieren de una buena resistencia a la corrosión, además es considerado como Titanio no aleado, debido al porcentaje tan bajo de los elementos con los que cuenta la aleación, dentro de sus aplicaciones se encuentra la elaboración de instrumentos médicos, así como diversos dispositivos quiroprácticos.

b) **Ti-6Al-4V^a (ASTM grado 5)**.- Esta es una de las aleaciones de Titanio que más se utiliza en la actualidad, su aplicación en el área **Biomédica** y en el área Aeroespacial es

de suma importancia, algunas de las características que ofrece esta aleación son las siguientes: resistencia a la corrosión, dureza y resistencia a la fatiga.

c) **Ti-Pd (ASTM grado7).**- Esta aleación ofrece una mayor resistencia a la corrosión que el Titanio grado 2. Algunas de sus aplicaciones se encuentran en elementos como tubos para condensadores e intercambiadores de calor, así como para ciertas soldaduras.

d) **TI-Code 12^a (ASTM grado 12).**- Esta aleación es una alternativa baja en costo para aplicaciones semejantes a las que requieren de Titanio grado 7.

A continuación se presenta una tabla en la que se muestra la composición química de las diferentes aleaciones de titanio [5].

Tabla 2.3 Composición Química de Aleaciones de Titanio

TABLE 1 Chemical Composition of Titanium Alloys

Element	Ti-50A ^a (ASTM grade 2)	Ti-6Al-4V ^a (ASTM grade 5)	Ti-Pd (ASTM grade 7)	Ti-Code 12 ^a (ASTM grade 12)
Nitrogen, max.	0.03	0.05	0.03	0.03
Carbon, max.	0.10	0.10	0.10	0.08
Hydrogen, max.	0.015	0.015	0.015	0.015
Iron, max.	0.30	0.40	0.30	0.30
Oxygen, max.	0.25	0.20	0.25	0.25
Aluminum	—	5.5-6.75	—	—
Vanadium	—	3.5-4.5	—	—
Palladium	—	—	0.12-0.25	—
Molybdenum	—	—	—	0.2-0.4
Nickel	—	—	—	0.6-0.9
Titanium	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder

2.2 Consideraciones

Durante el desarrollo de este capítulo, se ha mencionado la evolución que han tenido los materiales y en especial el desarrollo de los biomateriales, sin embargo es importante realizar algunas consideraciones sobre el objetivo de este proyecto, ya que como se ha comentado existe una gran variedad de aleaciones con diferentes materiales y con diferentes características y propiedades.

El objetivo principal de este proyecto es: **Realizar una evaluación a la micro estructura y a las propiedades mecánicas del Acero Inoxidable (316LS) y del Titanio (Ti-6Al-4V^a ASTM grado 5) aplicados como biomateriales en dispositivos quiroprácticos.** Esto quiere decir que durante el desarrollo del proyecto se hablara de las propiedades mecánicas y de las características más importantes con las que cuentan el Acero Inoxidable (316LS) y del Titanio (Ti-6Al-4V^a ASTM grado 5), estas propiedades ya

han sido evaluadas en diversas ocasiones, sin embargo, el análisis de estos materiales aplicados en dispositivos biomédicos, no han sido evaluado de forma profunda.

A continuación se presenta una lista de las consideraciones que se llevaron a cabo para realizar el proyecto ya mencionado:

1.- Los materiales a evaluar son: Acero Inoxidable 316LS y Titanio Ti-6Al-4V^a ASTM grado 5.

2.- El material es evaluado en el estado en el que el patrocinador lo entrega, esto quiere decir que no se realizara ningún tipo de tratamiento o acabado al material.

3.- Los dispositivos quiroprácticos a evaluar son **clavos para tibia** con diferentes diámetros. Para el caso del Acero Inoxidable se utilizan diámetros de 8,9 y 10mm, mientras que para el caso del Titanio sólo se utiliza un diámetro de 13mm.

4.- Para realizar las pruebas no se utilizarán las probetas normalizadas o estandarizadas, debido a que el objetivo principal de esta tesis es evaluar las características con las que cuentan estos materiales pero aplicados en un dispositivo quiropráctico. Para dar una idea más específica de esta consideración se tomara de ejemplo la prueba de tensión: Para esta prueba, se montaron los clavos en la maquina de tensión con un dispositivo de mordazas planas y se les realizó la prueba a los diferentes clavos.

5.- Para el caso de la prueba de impacto y de corrosión, se utilizó sólo una parte del clavo para realizar las pruebas. Esto se debe a que la cantidad de energía que absorbe el material en la prueba de impacto es una característica que se considera homogénea en el material y en el caso de la resistencia a la corrosión de los materiales, se aplica la misma consideración de que el material es homogéneo.

6.- Para realizar las pruebas se utilizó el equipo de laboratorio con el que cuenta el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de las Américas.

7.- Todas las pruebas se realizaron en condiciones ambientales temperatura, presión, humedad, etc.

A continuación se muestran algunas fotografías de los clavos para tibia a evaluar.



Figura 2.1 Clavo para tibia de Titanio Ti-6Al-4V^a ASTM grado 5., Clavos para tibia de Acero Inoxidable 316LS (de izquierda a derecha).



Figura 2.2 Clavo para tibia de Titanio Ti-6Al-4V^a ASTM grado 5., Clavos para tibia de Acero Inoxidable 316LS (de derecha a izquierda).



Figura 2.3 Clavo para tibia de Titanio Ti-6Al-4V^a ASTM grado 5.



Figura 2.4 Clavos para tibia de Acero Inoxidable 316LS.