

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA: Ingeniería Industrial

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS
BIOMÉDICOS**

**Presentan: Daniel Alejandro Mantilla Quintero, Camilo Andrés Cervantes Soñett, Jhan
Carlos Consuegra Alfaro**

Profesor Tutor:

Alexander Pulido Rojano

Trabajo de investigación

Noviembre de 2022

BARRANQUILLA, ATLÁNTICO

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Análisis Comparativo de Materiales para la Elaboración de Elementos Biomédicos

Comparative Analysis of Materials for the Elaboration of Biomedical Elements

Autores: Daniel Alejandro Mantilla Quintero, Jhan Carlos Consuegra Alfaro, Camilo Andrés Cervantes Sonett
daniel.mantilla@unisimon.edu.co, jhan.consuegra@unisimon.edu.co, Camilo.cervantes@unisimon.edu.co

Resumen | En este trabajo se realizó una investigación de las capacidades de ciertos materiales para la construcción de elementos biomédicos. Se destacan las bondades de los materiales seleccionados, los cuales son completamente beneficiosos en términos de calidad y costo. También se resalta sus ventajas en la industria de la salud; ya sean laboratorios, clínicas u hospitales, donde se utilizan una variedad de equipos y dispositivos especializados para darle mejor atención a los pacientes. En este documento se compararon las características principales de los elementos biomédicos como son los cerámicos, polímeros, plástico, metálicos (acero). Se identifican sus ventajas dependiendo del contexto y sus características principales.

Palabras clave: *Biomedicina, Elementos Biomedicos, Prótesis, Materiales.*

Abstract | In this work, an investigation of the capabilities of certain materials for the construction of biomedical elements was carried out. The benefits of the selected materials are highlighted, which are completely beneficial in terms of quality and cost. Its advantages in the health industry are also highlighted; whether they are laboratories, clinics or hospitals, where a variety of specialized equipment and devices are used to provide better care to patients. In this document, the main characteristics of biomedical elements such as ceramics, polymers, plastic, and metal (steel) were compared. Its advantages are identified depending on the context and its main characteristics.

Keywords: *Biomedicine, Biomedical Elements, Prosthetics, Materials.*

I. INTRODUCCIÓN

En la construcción de elementos biomédicos se destacan materiales seleccionados, los cuales son completamente beneficiosos en términos de calidad y costo. Antes del siglo XVIII los materiales metálicos utilizados en los implantes quirúrgicos eran fundamentalmente el oro y la plata, en el siglo XIX cuando se empieza a utilizar el acero, y en este siglo aparece el acero inoxidable, las aleaciones de cromo, el cobalto y el molibdeno, en esta década de los años 40 cuando el titanio y sus aleaciones se introdujeron en el campo de la medicina. Los propios Booth, Peyton y Dunfinportel constatan, trasplantando a animales, su excelente biocompatibilidad. Es comparable al acero inoxidable o al vitio (CoCrMo). Su baja densidad, 4,7 g/cm, frente a los 7,9 del acero inoxidable AISI 316, los 8,3 de la aleación CoCrMo y los 9,2 del CoNiCrMo, así como sus buenas propiedades mecánicas y su excelente resistencia a la corrosión, hacen del titanio un material

vital y de gran interés. su aplicación En implantes quirúrgicos.

Para las organizaciones sanitarias, las últimas herramientas biomédicas tecnológicas son de vital importancia para contrarrestar cualquier tipo de situación que se presente, para la vida y la salud de muchas personas. En función de ellas, de esta forma pueden hacer frente a los riesgos que puedan presentarse.

Para una entidad prestadora de servicios de salud es de vital importancia los instrumentos biomédicos de última tecnología para así poder afrontar cualquier tipo de situación que se presente, ya que de ellos dependen la vida y la salud de muchas personas, de esta manera podrían hacer frente ante cualquier desgracia que pueda suceder (Poblet, 1988).

304 3489112

Las importancias principales están en:

- **Análisis médicos y biológicos:** para detectar, clasificar y analizar señales biomédicas.
- **Ingeniería de rehabilitación:** diseño y desarrollo de terapias, dispositivos y procedimientos de rehabilitación.
- **Prótesis y órganos artificiales:** diseño y desarrollo de dispositivos para reemplazar o aumentar funciones fisiológicas.
- **Informática médica:** interpretación de resultados y asistencia en la toma de decisiones clínicas, incluyendo los sistemas expertos y las redes neuronales.
- **Imágenes médicas:** para proporcionar representaciones gráficas de detalles anatómicos y funciones fisiológicas.
- **Ingeniería clínica:** diseño y desarrollo de instalaciones, dispositivos, sistemas y procedimientos relacionados con la clínica.
- **Biomecánica:** estudio de la estática y la mecánica asociadas a los sistemas fisiológicos.
- **Biomateriales:** diseño y desarrollo de materiales implantables.
- **Biosensores:** detección de eventos fisiológicos y su conversión a señales eléctricas.
- **Bioteología:** para crear o modificar material biológico con fines beneficiosos, incluyendo ingeniería de los tejidos.
- **Efectos biológicos de los campos electromagnéticos:** estudio del efecto de los campos electromagnéticos en los tejidos biológicos.

La industria de la salud, ya sean laboratorios, clínicas u hospitales, utiliza una gran variedad de equipos, dispositivos y medicamentos especializados para atender mejor a los pacientes. Los elementos biomédicos juegan un papel vital en los hospitales, y también ayudarán en el tratamiento de diferentes condiciones médicas. En los últimos tiempos, se han lanzado variedades de nuevos equipos médicos en la industria de la salud. Todos los hospitales necesitan equipo médico para brindar un tratamiento rentable y de calidad.

El equipo médico tendrá ciertas funciones y objetivos, pero todo el equipo médico está diseñado para ofrecer tratamiento y seguridad a los pacientes. De acuerdo con (Clínica Internacional, 2017) un hospital que está equipado con los últimos equipos biomédicos es un hospital que está listo para afrontar cualquier situación que se le pudiera presentar. Los equipos biomédicos permiten brindar una atención completa a los pacientes y así evitar cualquier tipo de desgracia.

Existen un sin fin de elementos biomédicos, con distintas funciones cada uno, pero en tema general, se puede afirmar que con los equipamientos médicos se pueden salvar vidas y ayudar a prolongarlas, algunos ejemplos son las unidades de radioterapia para el tratamiento del cáncer, y el instrumental quirúrgico que se utiliza en operaciones o las incubadoras que los bebés prematuros o recién nacidos, que no pueden tener una temperatura neutra.

Teniendo en cuenta a (Wikipedia, 2021) El proceso de desarrollo de un instrumento, desde su concepción hasta su comercialización, es muy complejo y requiere generalmente de un esfuerzo multidisciplinario. Esto es debido a la confluencia de disciplinas tan diferentes como la ingeniería y la medicina. Un tema muy importante que cabe mencionar en el desarrollo de nuevos instrumentos es el contemplar la reacción del usuario con el nuevo instrumento ya que el dicho artefacto puede ser demasiado avanzado, y mucho mejor que lo actual, pero el usuario no desee o no puede hacer uso de él por falta de conocimiento, experiencia en cuanto la tecnología. Para llevar a cabo la creación de un instrumento biomédico se deben tener en cuenta los siguientes factores: factores de medición (Escala, certeza, sensibilidad, respuesta de tiempo o de frecuencia), factores económicos (Costo del instrumento, consumibles, compatibilidad con otros equipos, disponibilidad de componentes), factores clínicos (Medición invasiva o no invasiva, seguridad eléctrica, control de toxicidad o trombosidad, electrofisiografos comodidad del paciente), factores de aplicación y uso (Eliminación de interferencias, estabilidad, modo de calibración, requisitos de potencia), diseño, prototipo, evaluación, comercialización, patente, derechos de autor, marcas registradas, certificación, evaluación y validación del producto, control de calidad y evaluación clínica beta.

La eficiencia del equipo no solo brinda atención al paciente de alta calidad, sino que también ahorra costos. En pocas palabras, los hospitales deben brindar atención de alta calidad utilizando menos recursos a un costo reducido. Es importante que mientras reduce el costo, la calidad de la atención no se vea comprometida. Los hospitales y los sistemas de salud de todos los tamaños pueden beneficiarse al repensar factores como la distribución, la adquisición de activos y la gestión de equipos médicos. Pueden mejorar su capacidad general, la calidad de la atención, el flujo de

trabajo y la productividad manteniendo la eficiencia de sus equipos.

En la elaboración de los elementos biomédicos se destaca el material seleccionado que sea completamente rentable en calidad y costo. Antes del siglo XVIII los materiales metálicos utilizados en implantes quirúrgicos eran fundamentalmente el oro y la plata, siendo en el siglo XIX cuando empezaron a utilizarse los aceros, y ya en este siglo aparecieron los aceros inoxidable, las aleaciones de cromo, cobalto y molibdeno, siendo en la década de los años 40 cuando se introdujeron el titanio y sus aleaciones en el campo de la medicina. Fueron Bothe, Beaton y Davenport los que, mediante la implantación en animales, observaron su excelente biocompatibilidad, comparable a la del acero inoxidable o a la del Vitallium (CoCrMo). Su baja densidad, 4.7 g/cm³ comparada con 7.9 del acero inoxidable AISI 316, 8.3 de la aleación CoCrMo y 9.2 de la CoNiCrMo, junto a sus buenas propiedades mecánicas y su excelente resistencia a la corrosión, hacen del titanio un biomaterial de sumo interés para su aplicación en implantes quirúrgicos (Gil-Mur & Planell Estany, 1993).

A. El titanio y sus aleaciones

A.1. El titanio Comercialmente Puro

El titanio es un metal que sufre una transformación alotrópica a la temperatura de 882°C. pasando de una estructura hexagonal compacta (fase α) a una estructura más abierta cúbica centrada en el cuerpo (fase β), lo que permite la realización de tratamientos térmicos con transformación total. Hay que destacar la facilidad que tiene el titanio para disolver por sustitución o inserción otros elementos que dependiendo del número de electrones de enlace del elemento, tienden a estabilizar alguna de las dos fases alotrópicas.

Los elementos de menos de cuatro electrones de enlace por átomo estabilizan la fase α o/y aumentan la temperatura de transformación, como puede observarse en la **figura 1**. Este efecto lo producen elementos como el aluminio o el galio y los intersticiales como el oxígeno, nitrógeno y carbono. Con el aluminio, el titanio forma un compuesto intermetálico (Ti₃Al) fase Q, que provoca fragilidad al material.

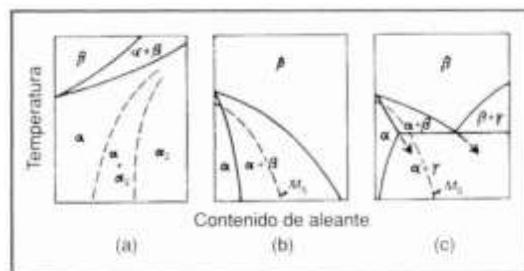


Fig. 1. Tipos de diagramas de equilibrio para aleaciones de Titanio (1)

A.2. La aleación Ti-6Al-4V

La aleación Ti-6Al-4V es la más utilizada industrialmente de entre todas las aleaciones de titanio y a ella se dedica la mitad de la producción de titanio metal. Esto se debe al excelente balance entre sus propiedades mecánicas, su resistencia a la corrosión, su buen comportamiento a temperaturas elevadas, debiendo destacarse también su capacidad para ser trabajado mecánicamente y de modificar sus propiedades mediante tratamientos térmicos.

A.3. Aleaciones de titanio con memoria de forma

Las aleaciones de Níquel-Titanio con memoria de forma son de gran interés, ya que además de las propiedades físicas conocidas en los materiales metálicos convencionales, presentan otras como son el efecto memoria de forma y la súper elasticidad. Estas propiedades son también de interés en el campo de la medicina.

B. Biocompatibilidad

La biocompatibilidad se puede definir como la aceptabilidad biológica de materiales no vivos (biomateriales) por parte de los tejidos susceptibles de estar en contacto con ellos (30). Se puede afirmar que lo más importante de un biomaterial es que sea biocompatible. Para evaluar esta propiedad se han establecido ensayos normalizados que permiten determinar los grados de compatibilidad o en su caso de toxicidad.

Esta compatibilidad puede ser analizada desde varios niveles de interacción (30-32):

- La interacción entre el material y los tejidos.
- La reacción resultante de la degradación del material.
- Factores mecánicos (elasticidad, tenacidad, etc.).

La implantación de un biomaterial lleva consigo una lesión en los tejidos vivos, reaccionando estos frente a la lesión, siendo su primera reacción una inflamación, a la que le seguirá un proceso reparador y finalmente la cicatrización de la incisión.

II. ESTADO DEL ARTE

El equipo médico ha evolucionado enormemente en los últimos 100 años; pero en el siempre cambiante mundo de la tecnología, solo los programas más versátiles e innovadores sobrevivirán y prosperarán en el siglo XXI. En la oficina, el hospital o la clínica del médico, los pacientes rara vez consideran el equipo médico que los rodea. Según (Marco, 2021). El equipo médico es una parte integral del diagnóstico, monitoreo y terapia. Incluso el examen físico más simple a menudo puede requerir una variedad de equipos médicos de alta tecnología.

En la Europa del siglo XV durante y después de los horrores de la peste comenzaron a realizarse autopsias en las universidades y una forma temprana del método científico; comenzó a arraigarse en la mente de los eruditos. Se iniciaron estudios prácticos de cirugía y anatomía. Estos curiosos europeos medievales sentaron las bases de la ciencia moderna. También sentaron las bases para el conocido proceso de definir un problema crear una hipótesis probar la hipótesis observando y experimentando lo más importante; interpretar los datos y sacar conclusiones. El equipamiento médico antes e incluso durante la Revolución Científica se basa en las teorías científicas clásicas griegas y romanas que no se basan en la ciencia en absoluto sino en la filosofía y la superstición científica.

Los elementos biomédicos surgieron ya que la salud humana se consideraba como un equilibrio de 4 humores internos en el cuerpo.

Los 4 humores: sangre, bilis amarilla, bilis negra y flema, eran análogos a los 4 elementos del universo para el pensador clásico, fuego, aire, agua y tierra. Las dolencias, tanto físicas como mentales, fueron causadas por un desequilibrio de humores. La mente y el cuerpo ideales tenían equilibradas las 4 hormonas. Para sanar, los médicos prescriben alimentos o procedimientos que equilibraran los líquidos en el cuerpo. Algunas de las recetas parecen tener sentido: las fiebres se trataron con

una temperatura fría y seca para combatir la estimulación por calor y humedad en el cuerpo. Pero cuando eso falló, a menudo el siguiente paso fue dejar sangre. Las purgas y los enemas innecesarios también fueron curas comunes, lo que podría haber ayudado a algunas personas, pero también podría haber causado más problemas de los que resolvieron. La muerte de George Washington ha sido atribuida recientemente, no al estreptococo que probablemente tuvo al morir, sino al derrame de sangre y al enema de mercurio que le dieron para curarlo. Todavía no hay curas médicas completamente científicas disponibles y usadas. por muchos, incluso hoy.

III. MARCO TEÓRICO

Biomateriales

Los biomateriales desempeñan un papel integral en la medicina de hoy: restablecen la función y facilitan la curación de las personas después de una lesión o enfermedad. Los biomateriales pueden ser naturales o sintéticos y se usan en aplicaciones médicas para apoyar, mejorar o reemplazar tejido dañado o una función biológica. El primer uso histórico de los biomateriales se remonta a la antigüedad, cuando los antiguos egipcios utilizaban suturas hechas de tendones animales Duffo, G. S. (2006).

Implantes médicos

Incluidas válvulas cardíacas, endoprótesis vasculares e injertos; Articulaciones artificiales, ligamentos y tendones; implantes de pérdida de audición; implantes dentales; y dispositivos que estimulan los nervios Duffo, G. S. (2006).

Tejidos humanos regenerados

Utilizando una combinación de soportes de biomaterial o andamios, células y moléculas bioactivas. Los ejemplos incluyen un hidrogel de regeneración ósea y una vejiga humana cultivada en el laboratorio Duffo, G. S. (2006).

Biosensores

Para detectar la presencia y cantidad de sustancias específicas y para transmitir esos datos. Algunos ejemplos son los dispositivos de monitoreo de glucosa en la sangre y los sensores de actividad cerebral Duffo, G. S. (2006).

Parche para usar como sellador de pulmón

Los selladores y parches hechos de biomateriales permiten que los tejidos dañados se regeneren y sanen. Investigadores financiados por el NIBIB están explorando el uso de alginato, derivado de algas pardas, como un parche sellante y terapéutico para tratar las fugas pulmonares resultantes de la cirugía, lesiones o afecciones como la neumonía y la fibrosis quística Duffo, G. S. (2006).

Metálicos

Los metales y sus aleaciones se encuentran dentro de los principales materiales utilizados como prótesis e implantes. Sus propiedades están determinadas por la microestructura, la cual se establece durante su procesamiento. Los aceros inoxidable, titanio, aleaciones de cobalto-cromo, entre otras, son los más utilizados en procedimientos quirúrgicos, en forma de placas y tornillos Chihuahua (Clínica internacional, 2017).

Poliméricos

Debido a la gran variedad de configuraciones que adoptan estos materiales, poseen una gran capacidad para adaptar sus propiedades al tejido receptor, además de ser muy versátiles; su biodegradación y estabilidad estarán sujetas a factores como la cristalinidad, temperaturas de fusión, transición vítrea, peso molecular y secuencia de distribución, así como a la presencia de impurezas o aditivos. Varias de las aplicaciones biomédicas han sido encaminadas a su implementación en equipos y materiales quirúrgicos, como fabricación de bolsas de suero, mangueras, tubos flexibles, cinta adhesiva, vendas, etcétera Chihuahua (Clínica internacional, 2017).

Cerámicos

Los materiales cerámicos utilizados en medicina son materiales biocompatibles, entre sus propiedades se cuenta que son más rígidos y resistentes que el acero cuando se someten a fuerzas de compresión, soportan más calor y corrosión que los metales o los polímeros, tienen una densidad menor que la mayoría de los metales y sus aleaciones, y sus materias primas son abundantes y baratas. Por el contrario, debemos decir que son materiales muy quebradizos, es decir, que no tienen deformación plástica y que tienen una escasa resistencia a las fuerzas de tracción, flexión o cizallamiento **Chihuahua (Clínica internacional, 2017).**

La aleación de titanio tiene mayor potencial para implantes.

El titanio es más fuerte y más ligero en peso en comparación con el acero inoxidable.

El titanio tiene una gran resistencia a las cargas repetidas por lo que es ideal para su aplicación como un implante.

El titanio tiene una mayor resistencia bajo tensiones de cargas repetidas, haciendo de este metal capaz de soportar la tensión durante la fijación interna.

Con un módulo de elasticidad más bajo en comparación con el acero inoxidable, el titanio es menos rígido que limita la cantidad de tensión sobre las estructuras óseas.

IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

A. Tipo de investigación

Para llevar a cabo la realización del proyecto de investigación, se manejó una investigación de tipo cuantitativa, debido a que evaluaremos fenómenos a través de la recopilación de datos, se utilizan herramientas de análisis matemático y estadístico para describir, explicar y predecir fenómenos mediante datos numéricos. Este tipo de investigación tiene como objetivo recopilar datos objetivos, usando estos datos adquiridos haremos la comparación de distintos materiales para así saber cual de los materiales es más resistentes para la fabricación de dichos elementos biomédicos, y obtener un sin fin de resultados satisfactorios a la hora de que se lleven a cabo las intervenciones médicas para la detección, diagnosticación de los especialista en este campo.

B. Método de investigación.

Para la realización de este proyecto utilizamos como método de investigación datos de tipo cuantitativo recuperados de artículos y libros donde se hicieron ciertos estudios con el paso del tiempo de los materiales que se han ido usando con el pasar de los años y de esta manera ir mejorando progresivamente la elección de un material u otro, teniendo en cuenta muchos factores como sería su costo de fabricación, calidad, resistencia, durabilidad, entre otros factores.

Para una mayor exactitud en nuestra investigación nuestro equipo de trabajo se basa en diferentes autores y ediciones de escritos donde se plasman diferentes estudios realizados desde el surgimiento de la biomedicina para así llegar a una mejor conclusión.

A. C. Fuentes de Información.

El objetivo de las fuentes de información será facilitar la localización e identificación de documentos.

Fuentes primarias: contienen información original que ha sido publicada por primera vez y que no ha sido filtrada, interpretada o evaluada por nadie más. Son producto de una investigación o de una actividad eminentemente creativa.

Fuentes secundarias: contienen información primaria, sintetizada y reorganizada. Están diseñadas para facilitar y maximizar el acceso a las fuentes primarias o a sus contenidos, Se utilizan cuando no se tiene acceso a la fuente primaria por una razón específica.

Fuentes terciarias: son guías físicas o virtuales que contienen información sobre las fuentes secundarias. Forman parte de la colección de referencia de una biblioteca. Facilitan el control y acceso a toda la gama de repertorios de referencia.

6.1 Población, muestra e instrumentos.

Los materiales más utilizados para la fabricación de elementos biomédicos son metálicos, los aceros inoxidable, titanio, entre otros" los polímeros y cerámicos Chihuahua, (Clinica internacional, 2017)

Para nuestro proyecto de investigación nuestro análisis es para dos materiales que son los más utilizados a la hora de fabricar elementos biomédicos que son: acero inoxidable y aleaciones de titanio, esto teniendo en cuenta que compararemos sus propiedades mecánicas, peso y cual es mejor con los fluidos corporales Chihuahua, (Clinica internacional, 2017)

Nuestra investigación se apoya de un instrumento de recolección de información a través de una hoja de excel donde se colocarán todos los materiales para poder comparar sus propiedades mecánicas, su peso, resistencia a fluidos corporales entre otras.

V. RESULTADOS

Para resumir, todos los biomateriales implantables están sometidos a fluidos corporales, que contienen una cantidad importante de cloruros causantes de la corrosión en las piezas metálicas y pueden agujerear la capa de cromo de las aleaciones de acero inoxidable. Las de titanio, en cambio, tienen menor corriente de corrosión, pues son insensibles a los ataques de los cloruros. El titanio se contamina fácilmente si se expone a hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, lo que puede influir en el proceso de corrosión en este metal, pero lleva ventaja contra el acero ya que en este caso estos implantes tienen mayor contacto con los fluidos corporales. En cuanto al peso el titanio es un 50% menos pesado que el acero, esto le da una mayor efectividad Chihuahua, (Clinica internacional, 2017)

	Acero inox	Titanio	Cerámica y polímeros
Densidad	7.93g/	4.49kg/	no
Punto de fusión	1398-1454c°	1800c°	no
Resistividad	0.73Ωm(20c°)	0.8Ω/m	frágil
Peso		-50%	liviano
corrosión	Más resistente	Más facilidad	No tiene corrosión

En los metálicos encontramos el acero inox y el titanio que son los materiales más utilizados para la fabricación de elementos biomédicos.

El titanio es más fuerte y más ligero en peso en comparación con el acero inoxidable.

El titanio es más compatible con los fluidos corporales.

El titanio es menos propenso a la generación de una reacción inmune basado en el hecho de que este material es más resistente a la corrosión en comparación con los implantes de acero inox.

El titanio maneja un buen comportamiento a temperaturas elevadas, debiendo destacarse también su capacidad para ser trabajado mecánicamente y de modificar sus propiedades mediante tratamientos térmicos

Por otro lado tenemos los materiales Cerámicos. Los materiales cerámicos utilizados en medicina son materiales biocompatibles, entre sus propiedades se cuenta que son más rígidos y resistentes que el acero cuando se someten a fuerzas de compresión, soportan más calor y corrosión que los metales o los polímeros, tienen una densidad menor que la mayoría de los metales y sus aleaciones, y sus materias primas son abundantes y baratas.

VI. CONCLUSIONES

Conclusiones generales.

En este trabajo de investigación se realizó un análisis comparativo de los materiales más utilizados para la elaboración de elementos biomédicos, obteniendo que los materiales que mejor resultados aportan son: el acero inox, titanio, cerámicos y polímeros. Estos materiales se compararon en función de su densidad, punto de fusión, resistividad, peso y corrosión.

Conclusiones específicas.

Se determinó que los materiales anteriormente ya mencionados son los mejores en el área de trabajo específico donde cada material cumple su función, ya que por su peso en el caso de los cerámicos y polímeros serán mejores que los otros en el área donde se requiera su uso. Si se requieren de un material que tenga mayor dureza se recomendaría usar un acero inox, si se necesita un material que de igual manera sea duro pero que no sea corrosivo al tener contacto con fluidos corporales es más recomendable usar el titanio.

Referencias

- Santos Aguirre, E. (2019). *Clasificación general de las fuentes de información* (Ed.). <https://www.unprofesor.com/ciencias-sociales/clasificacion-de-fuentes-de-informacion-3246.html>
- Rosales Mendoza, J., Peralta Polo, J. M., y Roa Narváez, A. R. (2022). *Rastreo del número reproductivo efectivo (R_t) de la CoViD-19 en Colombia implementando el Filtro de Kalman*, *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 10, n.º 2, pp. 62–77. <https://doi.org/10.17081/invinno.10.2.5638>
- Clínica internacional. (2017, August 28). *Equipos biomédicos para el cuidado de tu salud*. Clínica Internacional. Retrieved April 23, 2022, from
- *Creación de bases de datos y análisis estadístico con SSPS*. (2022). *Creación de bases de datos y análisis estadístico*. Pablo Ejhaik. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjcnfrolvT6AhU3TjABHUQ0BvoQFnoECAwOAO&url=http%3A%2F%2Fwww.chospab.es%2Fcursos_on_line%2FCurso_SPSS%2Fpagina_04.htm&usq=AOvVaw1fZt86F0y42C9S_2Wno4qV
- P. Sanchez Sanchez, J. R. García Gonzáles, C. H. Fajardo Toro, A. Pulido Rojano y E. Melamed Varela, *Simulación de sistemas de emergencia en salud*, Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2018.
- A. Pulido-Rojano, P. Sanchez-Sanchez y E. Melamed-Varela, "Nuevas tendencias en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas," Ediciones Universidad Simón Bolívar. Barranquilla- Colombia., 2018.
- Gil-Mur, F.J., & Planell Estany, J.A. (1993). *Aplicaciones biomédicas de titanio y sus Ochoa, M.* (n.d.). *Equipamiento Médico: Desarrollo e Historia de los Equipos Médicos*. *Anthropology and Practice*. Retrieved April 24, 2022, from <https://anthropologyandpractice.com/antropologia-medica/equipamiento-medico-desarrollo-e-historia-de-los-equipos-medicos/>
- Gobierno de España. (2019). *Organización nacional de trasplante ONT*. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=>

- [2ahUKEwj18pzkl T6AhWvVTABHXWRBF4QFno ECA4QAO&url=http%3A%2F%2Fwww.ont.es%2F&usg=AOvVaw1VoONm0mf_spk1ePumlH0F](https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-investigacion-cuantitativa/)
- Ortega, C. (n.d.). Investigación cuantitativa. Qué es y cómo realizarla. *QuestionPro*. Retrieved April 24, 2022, from <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-investigacion-cuantitativa/>
 - Poblet, J. M. (1988). *Introducción a la bioingeniería* (Mundo electrónico ed.). Marcombo. Barcelona-México. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjuiM-0mPT6AhUuTDABHUofB94QFnoECBMQAO&url=https%3A%2F%2Fbooks.google.com.ec%2Fbooks%3Fid%3DaqcaSGADoo4C%26printsec%3Dfrontcover%26hl%3Des&usg=AOvVaw00DerRedeUUSDpCs_as_wL
 - A. Pulido-Rojano, R. De la Hoz-Reyes y E. Melamed-Varela, *Avances en investigación de operaciones y ciencias administrativas*, Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2017.
 - Gil-Mur, F.J., & Planell Estany, J.A. (1993). Aplicaciones biomédicas de titanio y sus aleaciones. *Biomecánica – Originales*. 1(1) pp. 34-42. https://www.researchgate.net/publication/343389009_Aplicaciones_biomedicas_del_titanio_v_sus_aleaciones?enrichId=rgreq-a2f788d54a89ce50e3e85da2ac5306df-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0MzM4OTAwOTtBUzoXMTczMjExNTA1MDQ5NjNAMTQwNDk4Mjk1MjgyMA%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf
 - Ochoa, M. *Equipamiento Médico: Desarrollo e Historia de los Equipos Médicos*. *Anthropology and Practice*. Retrieved April 24, 2022, from ONT. (2019). Organización nacional de trasplante. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj18pzkl T6AhWvVTABHXWRBF4QFnoECA4QAO&url=http%3A%2F%2Fwww.ont.es%2F&usg=AOvVaw1VoONm0mf_spk1ePumlH0F
 - Gil, F.J. [et al]. Aplicaciones biomédicas del titanio y sus aleaciones. *Biomecánica*, 1993, vol. 1, núm. 1, pp. 34-42. DOI: 10.5821/sibb.v1i1.1543. URL <http://hdl.handle.net/2099/6814>
 - Manjarrez Nevárez, L. Piroshka Terrazas Bandala, L., Zermeño Ortega, M. de la Vega Cobos, C. Zapata Chávez, E. Torres Rojo, F. González Rangel, M. y Lerma Gutiérrez, R. (2017, 20 octubre). *Biomateriales como Implantes en el Cuerpo Humano*. Universidad Autónoma de Chihuahua.
 - Qualtrics. (2022). Investigación cuantitativa: definición y procedimiento. Qualtrics. <https://www.qualtrics.com/es/gestion-de-la-experiencia/investigacion/investigacion-cuantitativa/>
 - Fajreldin Chuaqui, V. (2006), *Antropología médica para una epidemiología con enfoque sociocultural: elementos para la interdisciplina*. 8(20): pp. 95-102. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-444113?lang=es>.
 - Nesse, A; Garbossa, G; Pérez, G; Vittori, D; Pregi, Nicolás, (2003). ¿Aluminio culpable o inocente?, *Química Viva*, vol 2. núm. 1, pp. 9-16. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86320103.pdf>
 - Jn Aceros. (2021, 12 enero). *Acero Inoxidable y Titanio en Implantes Quirúrgicos*. <https://jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-titanio-implantes-quirurgicos/>
 - Implameq. (2020, 14 septiembre). *Titanio vs Acero inoxidable*. <https://implameq.com/titanio-vs-acero-inoxidable/>
 - Eteva. (2017, 03 05). *Por qué es tan importante la biomecánica para el deportista. Por qué es tan importante la biomecánica para el deportista*. <https://www.eteva.org/por-que-es-tan-importante-la-biomecanica-para-el-deportista/>
 - A.Pérez de Vargas, V.Abraira. *Bioestadística*. Centro de Estudios Ramón Areces. Madrid. 1996.
 - Pablo Ejhaik. (2021). *Creación de bases de datos y análisis estadístico*. *Creación de bases de datos y análisis estadístico*. https://www.chospab.es/cursos_on_line/Curso_SPSS/pagina_04.htm
 - Duffo, G. S. (2010). *Biomateriales*. Eudeba. ISBN 9789502314518

- *Hernandez Palma, H., Jiménez Coronado, A. y Brochado Ariza, K. (2022). Caracterización de la gestión de residuos peligrosos en instituciones prestadoras de servicios de salud Region Caribe de Colombia, Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 10, n.º 2, pp. 40–49. <https://doi.org/10.17081/invinno.10.2.5762>*