



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería de la Salud



INGENIERÍA
DE LA SALUD

**TFG del Grado en Ingeniería de la
Salud**

Título del trabajo

Presentado por Pepe Pérez
en Universidad de Burgos

16 de abril de 2025

Tutores: Tutor 1 – Tutor 2



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería de la Salud



D. Tutor 1, profesor del departamento de departamento, área de área.

Expone:

Que el alumno D. Pepe Pérez, con DNI 123456A, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería de la Salud titulado título del trabajo.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 16 de abril de 2025

Vº. Bº. del Tutor:

Vº. Bº. del Tutor:

D. Tutor 1

D. Tutor 2

Resumen

En este primer apartado se hace una **breve** presentación del tema que se aborda en el proyecto.

Descriptores

Palabras separadas por comas que identifiquen el contenido del proyecto Ej: servidor web, buscador de vuelos, android ...

Abstract

A **brief** presentation of the topic addressed in the project.

Keywords

keywords separated by commas.

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
Introducción	1
Objetivos	3
Conceptos teóricos	5
3.1. Stents	5
3.2. Stent inteligente basado en reguladores	8
3.3. Estado del arte y trabajos relacionados.	10
3.4. Biosensores	13
3.5. Materiales inteligentes	14
3.6. Sistemas de alimentación	15
3.7. Estado del arte y trabajos relacionados.	18
Metodología	19
4.1. Investigación bibliográfica	19
4.2. Descripción de los datos.	19
4.3. Técnicas y herramientas.	19
Resultados	23
5.1. Resumen de resultados.	23
5.2. Discusión.	23

Conclusiones	25
6.1. Aspectos relevantes.	25
Lineas de trabajo futuras	27
Bibliografía	29

Índice de figuras

3.1. Imagen de una endoprótesis [Centro Médico ABC, 2025]	5
3.2. Comparación entre angioplastia con balón (a) y sin balón con stent autoexpandible (b) [Endomédica, 2023][Tupayachi, 2025].	6
3.3. Ilustración de un stent inteligente [Herbert et al., 2022a]	10
3.4. Pie de la figura de la figura bla bla bla	17

Índice de tablas

3.1.	17
4.1. Ventajas y desventajas de los stents según función	21

Introducción

Este trabajo surge a partir de lo aprendido durante las prácticas realizadas en 3º Ingeniería de la Salud en el departamento de Cirugía Vascular en el Hospital Universitario de Burgos (HUBU). En la actualidad, las enfermedades cardiovasculares son una de las primeras causas de muerte tanto a nivel mundial como en España[[Alianza](#),].

La implantación de los stents es uno de los tratamientos más empleados para tratar enfermedades como la estenosis, aneurismas, isquemias entre otras. A pesar de ello, estos dispositivos presentan algunas limitaciones como la aparición de reestenosis y trombosis , además de la falta de monitorización.

Por lo tanto, este proyecto se va a centrar en el diseño de un stent inteligente basado en reguladores que mejore dichas limitaciones.

Objetivos

Objetivos principales del trabajo realizado.

Este apartado explica de forma precisa y concisa cuales son los objetivos que se persiguen con la realización del proyecto. Se puede distinguir entre:

1. Los objetivos marcados por los requisitos del software/hardware/análisis a desarrollar.
2. Los objetivos de carácter técnico, relativos a la calidad de los resultados, velocidad de ejecución, fiabilidad o similares.
3. Los objetivos de aprendizaje, relativos a aprender técnicas o herramientas de interés.

Conceptos teóricos

3.1. Stents

Un **stent** o **endoprótesis** es un dispositivo médico compuesto por una malla metálica en forma tubular, diseñado para ser implantado en el interior de estructuras huecas del cuerpo, como vasos sanguíneos o conductos (por ejemplo: el úreter que transporta la orina), con el fin de mantener dichas estructuras abiertas y evitar obstrucciones[[Instituto Nacional del Corazón, 2024](#)].

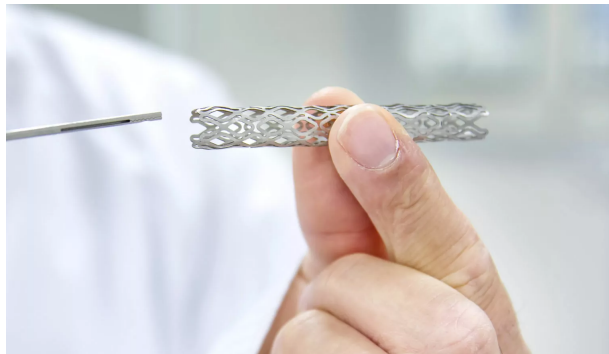


Figura 3.1: Imagen de una endoprótesis [[Centro Médico ABC, 2025](#)]

Para la detección y localización de obstrucciones arteriales, se emplea la técnica de arteriografía, un método de diagnóstico por imagen, que permite visualizar el interior de las arterias mediante la introducción de un medio de contraste y el uso de rayo X. Esta técnica resulta fundamental para determinar la ubicación y el grado de la obstrucción, y así planificar el tratamiento adecuado. Aunque existen otras técnicas diagnósticas, como la ecografía Doppler, la tomografía computarizada (Angio-TAC) o la resonancia magnética (Angio-RM), la arteriografía sigue siendo la más utilizada en el

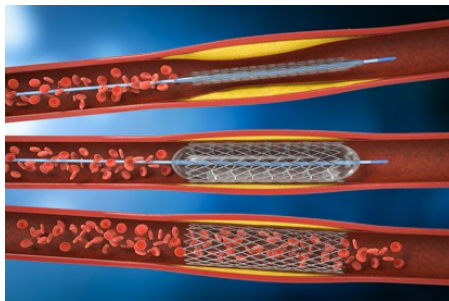
contexto clínico cuando se requiere una visualización detallada y precisa del sistema arterial [Salmerón Febres et al., 2011].

Existen procedimientos médicos para la colocación del stent, siendo la angioplastia el método más utilizado en la práctica clínica actual. Esta técnica es mínimamente invasiva y su objetivo es restaurar el flujo sanguíneo en arterias con estenosis¹ u ocluidas. Dentro de esta, se distinguen dos modalidades:

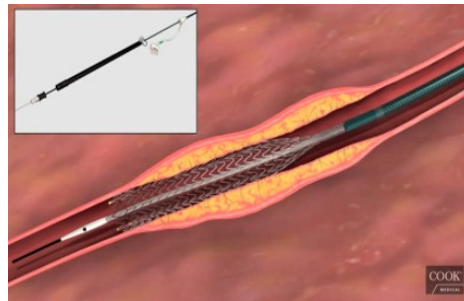
- **Angioplastia con balón:** se emplea un catéter que contiene un pequeño globo en su extremo. Una vez que el catéter alcanza la zona de la obstrucción, el globo se infla, comprimiendo la placa arterioesclerótica² contra la pared arterial.

En algunos casos, tras la angioplastia, se implanta un stent en el mismo lugar para mantener la arteria abierta de forma permanente.

- **Angioplastia sin balón:** se emplean stent autoexpandibles como los fabricados con aleaciones de Nitinol, los cuales se despliegan automáticamente al ser liberados en el interior de la arteria, adaptándose a la anatomía del vaso.



(a)



(b)

Figura 3.2: Comparación entre angioplastia con balón (a) y sin balón con stent autoexpandible (b) [Endomédica, 2023][Tupayachi, 2025].

Otra técnica para la colocación del stent es la cirugía abierta. Este procedimiento es menos frecuente y se utiliza en casos donde la angio-

¹**estenosis:** estrechamiento o constricción de un conducto o orificio.[Real Academia Española, 2001]

²**placa arterioesclerótica:** acumulación de sustancias como colesterol, grasas, calcio y otras células en las paredes internas de las arterias, lo que provoca su estrechamiento y endurecimiento.

plastia no es viable, ya sea por riesgos clínicos elevados , anatomía compleja del paciente o fallos previos en intentos de angioplastia . Al tratarse de una intervención quirúrgica mayor, el tiempo de recuperación es mayor.[Salmerón Febres et al., 2011]

A pesar los avances en este campo, el uso de stents no está exento de complicaciones. Una de las más graves es la trombosis del stent, que puede aparecer en cualquier momento después de la implantación. Otra complicación relevante es la reestenosis, caracterizada por un nuevo estrechamiento en el stent debido a proliferación del tejido cicatricial. Además, pueden surgir reacciones alérgicas al material del stent. Entre las complicaciones menos comunes, pero potencialmente muy graves, se encuentra la infección del stent, que puede comprometer seriamente la salud del paciente. [Moreno, 2007]

3.1.1. Tipos de stents

Los stents se pueden clasificar según su recubrimiento o función y según el mecanismo de expansión:[Borhani et al., 2018]

Según el recubrimiento o función:

- **Stents metálicos:** compuestos por acero inoxidable o cromo-cobalto, sin recubrimiento adicional. Fueron los primeros en utilizarse de forma generalizada en la práctica clínica.

Posteriormente han aparecido otros como los de nitinol, una aleación de níquel y titanio que presenta propiedades de memoria de forma y superelasticidad, lo que les permite introducirse en la arteria mediante angioplastia sin necesidad de balón.
- **Stents farmacoactivos (SFA):** incorporan una cubierta de polímero que permite la liberación controlada de fármacos antiproliferativos para prevenir reestenosis en el stent .Estos pueden tener polímero permanente o polímero biodegradable.
 - **SFA con polímero permanente:** utilizan un recubrimiento que no se degrada, liberando el fármaco durante un tiempo determinado.
 - **SFA con polímero biodegradable:** utilizan un recubrimiento que se degrada gradualmente con el tiempo, liberando el fármaco de manera controlada mientras se degrada. La principal diferencia es que, al degradarse, el polímero biodegradable reduce los efectos

adversos que podrían generar los polímeros permanentes, como inflamación o reacciones alérgicas.

- **Andamios biodegradables:** son stents que ofrecen soporte temporal a la arteria ocluida y se biodegradan por completo tras el cumplimiento de su función. Los materiales utilizados son polímeros con biocompatibilidad y biorresorción³, reduciendo los efectos adversos.

Según el mecanismo de expansión:

Los stents emplean dos mecanismos fundamentales para su expansión, cada uno con características y técnicas específicas. El primer tipo, conocido como stent con balón, se implanta a través de la técnica de angioplastia con balón. Este proceso permite que el stent se expanda de forma gradual manteniendo la arteria abierta y reestableciendo el flujo sanguíneo normal.

En cambio, los stents autoexpandibles se colocan mediante una técnica de angioplastia sin balón. Estos stents están hechos de materiales con propiedades que les permiten expandirse de manera automática al ser liberados dentro de la arteria. Uno de los materiales más utilizados en su fabricación es el Nitinol, una aleación con memoria de forma que permite que el stent se expanda al alcanzar la temperatura corporal, ajustándose de manera natural al diámetro del vaso. Este mecanismo elimina la necesidad de un balón inflable, lo que facilita su colocación y reduce ciertos riesgos asociados a la técnica de angioplastia con balón.

Cabe destacar que los stents, según su recubrimiento o función, pueden clasificarse en expandibles o autoexpandibles, dependiendo de su mecanismo de expansión y las características de los materiales utilizados en su fabricación.

3.2. Stent inteligente basado en reguladores

Un stent inteligente es un dispositivo implantable que no solo cumple la función tradicional de mantener abierta la arteria, sino que integra sensores para el monitoreo en tiempo real de parámetros fisiológicos, como la presión arterial o flujo sanguíneo. A diferencia de los stents convencionales, este tipo de stent permite el seguimiento en tiempo real del estado de la arteria después de su implantación, facilitando la detección temprana de posibles complicaciones tales como la reestenosis o trombosis.[Herbert et al., 2022b]

³**biorresorción:** eliminación total del polímero por disolución, absorción y excreción.[Asociación Española de Enfermería en Cardiología, 2006]

3.2.1. Partes del stent inteligente

Un stent inteligente generalmente contiene los siguientes componentes:

- **Estructura del stent:** [Herbert et al., 2022b] La estructura del stent es similar a un stent metálico o farmacoactivo pudiendo ser expansible con balón o autoexpandible. Además, debe permitir la integración del biosensor en la superficie interna del stent. El diseño optimizado asegura que la arteria se mantenga abierta y que el flujo sanguíneo sea adecuado.

- **Biosensor:** Un biosensor es un dispositivo analítico que combina un componente biológico o parámetro fisiológico con un transductor físico o químico, que permite la transformación de una señal biológica en una señal cuantificable.[Banica, 2012]

Existen diversos tipos de biosensores, los más relevantes para la integración en stents inteligentes son los biosensores capacitivos y los basados en tecnologías MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) debido a su alta sensibilidad, bajo consumo energético y compatibilidad con la estructura del stent. [Herbert et al., 2022b]

- **Sistema de Alimentación y Comunicación:** Para el funcionamiento autónomo del stent inteligente, es fundamental integrar un sistema de alimentación y comunicación eficiente que no requiera baterías internas. La mayoría de los sistemas implantables que requieren energía y transmisión de información sin cables recurren a tecnologías de comunicación y alimentación inalámbrica, siendo el acoplamiento inductivo una de las estrategias más empleadas. Este enfoque utiliza campos electromagnéticos generados externamente para transferir energía al dispositivo y permitir la comunicación de datos, evitando así el uso de componentes voluminosos o invasivos.[Herbert et al., 2022a]

- **Conexiones:** Para el correcto funcionamiento de los sensores y sistemas de transmisión, se requieren conexiones eléctricas internas que sean biocompatibles y miniaturizadas. Estas conexiones están formadas por materiales conductores como el oro, plata o polímeros conductivos. Su función es conectar los componentes electrónicos sin comprometer la integridad mecánica del dispositivo ni su compatibilidad con el entorno biológico.[Chen et al., 2018]

A pesar de los avances recientes, los stents inteligentes todavía presentan retos técnicos importantes, como la miniaturización, la autonomía energética

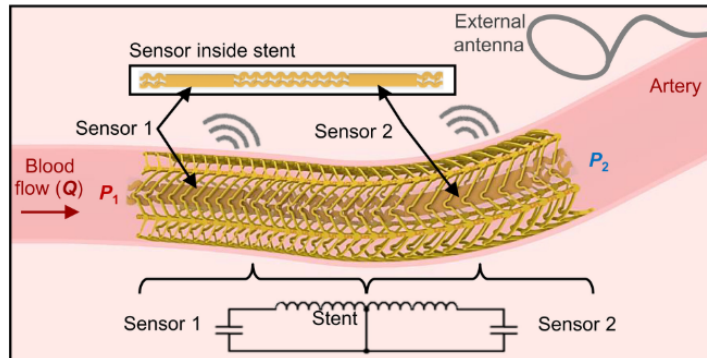


Figura 3.3: Ilustración de un stent inteligente [Herbert et al., 2022a]

o la integración efectiva de los sensores. En la siguiente sección se abordarán los principales desarrollos e investigaciones actuales en este campo.

3.3. Estado del arte y trabajos relacionados.

El campo de los stents inteligente ha experimentado avances significativos en los últimos años, impulsados por el objetivo de mejorar el seguimiento y tratamiento de enfermedades cardiovasculares. Estos dispositivos con sensores integrados permiten monitorear los parámetros fisiológicos en tiempo real, lo que abre nuevas posibilidades para la personalización y seguridad de los tratamientos. A continuación, se presenta una revisión de artículos sobre el desarrollo y avances en la tecnología de stents inteligentes.

1. Fully implantable wireless batteryless vascular electronics with printed soft sensors for multiplex sensing of hemodynamics [Herbert et al., 2022a]

Este artículo describe un stent inteligente con sensores flexibles de presión. El dispositivo es capaz de medir los parámetros de presión arterial, flujo sanguíneo y la frecuencia del pulso. Este dispositivo es capaz de funcionar a largo plazo y fue probado con éxito en modelos animales.

Características Técnicas

- **Material base:** Multimaterial (Acero inoxidable, poliamida(PI), Oro(Au), Parylene C)
- **Sensor:** Sensor de presión formado por 3 capas(Poliamida, nanopartículas de plata y polidimetilsiloxano(PDMS)).

- **Sistema de monitoreo inalámbrico:** Sistema de resonancia LC (circuito compuesto por una bobina(L) y un condensador (C) que oscila a una frecuencia determinada) sin cables

Resultados: El sistema permitió la monitorización precisa de parámetros hemodinámicos, como la presión arterial y el pulso, con alta resolución. Además mostró un funcionamiento fiable y prolongado en modelos animales.

2. Enabling Angioplasty-Ready Smart Stents to Detect In-Stent Restenosis and occlusion [Chen et al., 2018]

Este artículo describe un stent inteligente que detecta trombosis y restenosis de forma no invasiva. El dispositivo está compuesto por un sensor pasivo de presión y un sistema de comunicación inalámbrica basado en resonancia electromagnética. El sensor cambia sus propiedades eléctricas (capacitancia e inductancia) en función de la presión sanguínea y deformación del stent, permitiendo el monitoreo remoto de alteraciones hemodinámicas asociadas a complicaciones vasculares. Este dispositivo fue validado *in vitro* e *in vivo* en modelos porcinos, mostrando gran resolución y sensibilidad para la detección de eventos obstructivos.

Características Técnicas

- **Material base:** Stent de acero inoxidable con recubrimiento de oro (Au) para mejorar la conductividad eléctrica y la resolución de señal.
- **Sensor:** Sensor capacitivo de presión.
- **Sistema de monitoreo inalámbrico:** Sistema LC (bobina + condensador) cuya frecuencia de resonancia varía según los cambios detectados por el sensor.

Resultados: El sistema permitió la monitorización inalámbrica de cambios en los parámetros fisiológicos de forma precisa y confiable, además mostrar su capacidad para identificar reestenosis o trombosis tempranas.

3. A Single-Connector Stent Antenna for Intravascular Monitoring Applications[Liu et al., 2019]

Este artículo presenta el diseño y validación de un stent inteligente con capacidad de detección no invasiva de trombosis y restenosis mediante monitorización inalámbrica. A diferencia de soluciones pasivas

convencionales, este dispositivo integra una antena directamente en la estructura del stent. Este dispositivo contiene un sensor de presión que detecta los cambios en la presión sanguínea intravascular, lo que permite detectar variaciones asociadas a eventos obstructivos. El dispositivo fue evaluado mediante simulaciones electromagnéticas y mecánicas.

Características Técnicas

- **Material base:** Aleación de cobalto-cromo L-605, seleccionada por su alta biocompatibilidad, resistencia mecánica y buen comportamiento electromagnético.
- **Sensor:** Sensor de presión
- **Sistema de monitoreo inalámbrico:** Antena integrada en la propia estructura del stent.

Resultados: Se presenta un nuevo sistema de comunicación integrado en el stent con el objetivo contribuir al desarrollo de las comunicaciones inalámbricas implantables y la monitorización intravascular de enfermedades cardiovasculares.

4. **Intelligent telemetric stent for wireless monitoring of intravascular pressure and its in vivo testing**[Chen et al., 2014]
Este artículo presenta el diseño un stent inteligente con capacidad de detección reestenosis. El sistema incorpora un sensor de presión capacitivo que detecta variaciones en la presión sanguínea, permitiendo la identificación temprana de complicaciones. El dispositivo se evaluó mediante pruebas in vitro y ensayos in vivo en un modelo porcino con injerto de bypass, demostrando su funcionamiento como sensor pasivo sin baterías, capaz de transmitir datos por acoplamiento inductivo.

Características Técnicas

- **Material base:** Acero inoxidable con recubrimiento de oro para reducir la resistencia eléctrica y aumentar la sensibilidad electromagnética.
- **Sensor:** Sensor capacitivo MEMS de presión
- **Sistema de monitoreo inalámbrico:** Antena resonante integrada en la estructura helicoidal del stent, que forma un circuito LC en conjunto con el sensor.
- **Recubrimiento:** Parylene C aplicado selectivamente para garantizar aislamiento eléctrico y compatibilidad biológica sin afectar la sensibilidad del sensor.

Resultados: Se logró una detección inalámbrica de presión sanguínea en entornos in vitro e in vivo. Aunque se identificaron limitaciones como fallos eléctricos por manipulación y formación de coágulos, el estudio demuestra la viabilidad del sistema para monitorización de presión intravascular.

- **Stents farmacoactivos (SFA):** se añaden polímeros para la liberación controlada de fármacos antiproliferativos para prevenir reestenosis en el stent (RES).

- **Primera generación de SFA:** hechos de acero inoxidable que mostraron una disminución de la RES y la revascularización en comparación con los stents metálicos.

Sim embargo en 2006, el metanálisis de Camenzind [Camenzind et al., 2007] mostró un mayor riesgo de trombosis tardía a causa del retraso de la endotelización por el fármaco antiproliferativo y la reacción de hipersensibilidad por el recubrimiento de polímero.

- **Segunda generación de SFA:** se usan aleaciones metálicas de (cobalto-cromo o platino-cromo), además de la utilización de polimeros más biocompatibles que permitieron una liberación del fármaco más rápida.

Estos dispositivos se convirtieron en el tratamiento estándar para la enfermedad coronaria reemplazando a los anteriores. Sim embargo, el riesgo de trombosis tardía y el tratamiento con anti-agregante durante al menos 1 año, continuo siendo un problema.

- **Stents de polímero biodegradable:** se comporta como un SFA en la fase inicial liberando el fármaco, posteriormente el polímero se degrada y el stent actua como un stent metálico.

Estos dispositivos mostraron mejores resultados ante una trombosis tardía.

3.4. Biosensores

Un biosensor es un dispositivo que permite la medición de las reacciones biológicas del interior del cuerpo humano, mediante la generación de señales proporcionales a la concentración del analito de la reacción. Su uso principal es el monitoreo de las enfermedades[Bhalla et al., 2016].

En el caso de un stent inteligente, los biosensores pueden integrarse para medir variables clave y optimizar su funcionamiento, mejorando la seguridad y eficacia del tratamiento.

Tipos del biosensores útiles para un stent inteligente

Existen 4 clases de sensores electroquímicos: [\(UV\)](#),]

- **Conductimétricos:** detectan cambios en la conductividad eléctrica. Por ejemplo este cambio puede estar causado por la alteración en la concentración de los iones.
- **Amperométricos:** miden cambios de corriente.
- **Potenciométricos:** miden la diferencia de potencial a causa de una reacción electroquímica.
- **Impedométricos:** miden el cambio de impedancia eléctrica que puede estar causada por variaciones en las propiedades resistivas y capacitativas en la superficie del sensor.

3.5. Materiales inteligentes

Los materiales inteligentes son materiales que pueden responder de forma dinámica modificando sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, adaptándose a los estímulos externos. [\[Europea, 2024\]](#)

Algunos de los materiales inteligentes que pueden ser útiles para la creación de un prototipo son:

- **Aleaciones con memoria de forma:** son materiales que tienen la capacidad de volver a una forma predeterminada en el momento en el que se les aplica calor. Un ejemplo sería el Nitinol.
- **Polímeros Electroactivos:** materiales que modifican su forma o tamaño cuando son sometidos a un campo eléctrico.
- **Geles inteligentes:** son polímeros capaces de cambiar de forma o volumen de manera reversible y controlada debido a estímulos, como el pH.

3.6. Sistemas de alimentación

Para el correcto funcionamiento del stent inteligente, es necesario implementar un sistema de recolección de energía que permita la alimentación continua de los biosensores y otros componentes electrónicos sin necesidad de baterías externas.

Existen varias estrategias para extraer energía del propio cuerpo humano, aprovechando sus fuentes naturales como la glucosa, el calor, el movimiento o la presión arterial.[Dagdeviren et al., 2017]

3.6.1. Pilas de Biocombustible (BFC)

Las pilas de biocombustible generan electricidad a partir de procesos bioquímicos, utilizando la glucosa presente en la sangre o el lactato del sudor como fuentes de energía.

- En la sangre, la reacción de oxidación de la glucosa en el ánodo y la reducción del oxígeno en el cátodo permiten generar energía eléctrica.
- La enzima utilizada para catalizar la reacción de ánodo es la **glucosa oxidasa (GOx)**, mientras que la lacasa se usa para la reducción de oxígeno.
- El problema es la generación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que puede afectar generación de energía y comprometer su seguridad a largo plazo.

3.6.2. Generadores Termoeléctricos (TEG)

Los generadores termoeléctricos usan el calor corporal, generando un voltaje a partir del gradiente de temperatura entre el cuerpo humano y el ambiente.

- Un TEG consta de materiales termoeléctricos dispuestos en pares, donde la diferencia de temperatura entre la piel y el ambiente genera electricidad.
- Los materiales comúnmente usados son aleaciones como el **telururo de bismuto** (Bi_2Te_3), **seleniuro de bismuto** (Bi_2Se_3) y **seleniuro de estaño** ($SnSe$).

3.6.3. Generadores Triboeléctricos (TENG)

Los generadores triboeléctricos transforman la energía mecánica del movimiento corporal en electricidad.

- Se basa en la transferencia de carga entre materiales con diferente polaridad cuando entran en contacto.
- Los TENG pueden integrarse en dispositivos implantables o vestibles para aprovechar movimientos naturales como la expansión y contracción de los vasos sanguíneos.

3.6.4. Generadores Piezoeléctricos

Los generadores piezoeléctricos convierten la energía mecánica en electricidad mediante materiales que producen carga eléctrica cuando son sometidos a presión.

- Los materiales piezoeléctricos inorgánicos como el **titanato de circonato de plomo (PZT)** y el **óxido de zinc (ZnO)** son óptimos pero presentan rigidez estructural.
- Por otro lado, los materiales orgánicos como el **poli(vinilideno fluoruro) (PVDF)** son más flexibles y pueden adaptarse a superficies curvadas, como la pared arterial.
- Estos sistemas pueden integrarse en un *stent* inteligente para generar energía a partir del pulso sanguíneo.

En esta sección y el resto de secciones de la memoria puede ser necesario incluir listas de items.

- Pedro: [1, 2025]
- item2
- item3
- item4

Listas enumeradas.

a	b	c
1	2	3
4	5	6

Tabla 3.1

1. item1
2. item2
3. item3

Figuras, como la figura 3.4 que aparece en la página 17.

Puedes aprender más de las figuras en la dirección https://es.overleaf.com/learn/latex/Inserting_Images



Figura 3.4: Pie de la figura de la figura bla bla bla

También se pueden insertar tablas como 3.1, que ha sido generada con <https://www.tablesgenerator.com/>.

Es necesario que todas las figuras y tablas aparezca referenciadas en el texto, como estos ejemplos.

Todos los conceptos teóricos deben de estar correctamente referenciados en la bibliografía. Por ejemplo, aquí estoy citando la página de L^AT_EX de Wikipedia [?].

También puede ser necesario utilizar notas al pie ⁴, para aclarar algunos conceptos.

⁴como por ejemplo esta

3.7. Estado del arte y trabajos relacionados.

Revisión bibliografica de que se está haciendo en la industria o la academia relativo al problema que se está tratando.

Enumeración y resumen de todos los trabajos relacionados de interés.

Metodología

4.1. Investigación bibliográfica

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica orientada a comprender los componentes escogidos en estado del arte en el ámbito de los stents arteriales. Esta investigación resulta esencial para fundamentar correctamente el diseño conceptual propuesto y para identificar las limitaciones presentes en las soluciones actuales.

A continuación, se presenta una comparación de los principales tipos de stents utilizados en la práctica clínica, detallando sus ventajas y desventajas(ver Tabla 4.1). Esta comparación ayudará a definir alguno de los parámetros del diseño a realizar.

Las referencias asociadas a la información de la tabla son [Benedetta et al., 2018, Hara et al., 2006, Naseem et al., 2017, Iqbal et al., 2013, Borhani et al., 2018]

4.2. Descripción de los datos.

Breve descripción de los datos. En caso de tratarse de un trabajo donde los datos son muy importantes, puede haber explicaciones extra en el anexo correspondiente.

4.3. Técnicas y herramientas.

Esta parte de la memoria tiene como objetivo presentar las técnicas metodológicas y las herramientas de desarrollo que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto. Si se han estudiado diferentes alternativas de

metodologías, herramientas, bibliotecas se puede hacer un resumen de los aspectos más destacados de cada alternativa, incluyendo comparativas entre las distintas opciones y una justificación de las elecciones realizadas. No se pretende que este apartado se convierta en un capítulo de un libro dedicado a cada una de las alternativas, sino comentar los aspectos más destacados de cada opción, con un repaso somero a los fundamentos esenciales y referencias bibliográficas para que el lector pueda ampliar su conocimiento sobre el tema.

Tipo de Stent	Ventajas	Desventajas
Stents Metálicos Convencionales (SM)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta resistencia mecánica (soporta grandes fuerzas sin deformarse, romperse o fallar). ■ Sencillez en la fabricación. ■ Menor costo comparado con SFA o AB. ■ Resultados predecibles en rendimiento mecánico. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta tasa de reestenosis. ■ Requiere terapia antiplaquetaria a largo plazo. ■ Mayor riesgo de trombosis. ■ No promueve endotelización adecuada (formación incorrecta del revestimiento interno de los vasos).
Stents Farmacoactivos con Polímero Permanente (SFA-PP)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Liberación controlada de fármacos antiproliferativos. ■ Reducción de la reestenosis frente a SM. ■ Mejores resultados clínicos a corto plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Posible inflamación crónica por el polímero. ■ Riesgo de trombosis a largo plazo. ■ Requiere terapia antiplaquetaria prolongada.
Stents Farmacoactivos con Polímero Biodegradable (SFA-PB)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Degradación del polímero tras liberación del fármaco. ■ Menor inflamación y trombosis a largo plazo. ■ Resultados comparables o superiores a SFA-PP. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Variabilidad en la degradación según diseño. ■ Falta de estudios con resultados concluyentes para conocer el efecto a largo plazo.
Andamios Biodegradables (AB)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Soporte temporal a la arteria. ■ Totalmente degradable. ■ Favorecen a una endotelización adecuada (formación incorrecta del revestimiento interno de los vasos). ■ Facilita futuras intervenciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Posibles problemas de biorresorción. ■ Control incompleto de la degradación. ■ Riesgos de inestabilidad estructural durante la degradación.

Tabla 4.1: Ventajas y desventajas de los stents según función

Resultados

5.1. Resumen de resultados.

Breve resumen de los resultados. En caso de ser un trabajo muy experimental, los resultados completos pueden aparecer en su anexo correspondiente.

Debería haber una correspondencia entre los objetivos y los resultados explicados en esta sección

5.2. Discusión.

Discusión y análisis de los resultados obtenidos.

Conclusiones

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas.

6.1. Aspectos relevantes.

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del **desarrollo del proyecto**, comentados por los autores del mismo.

Debe incluir los detalles más relevantes en cada fase del desarrollo, justificando los caminos tomados, especialmente aquellos que no sean triviales.

Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del proyecto y también los resultados negativos obtenidos por soluciones previas a la solución entregada.

Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.

Lineas de trabajo futuras

Este capítulo debería ser informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado.

Bibliografía

- [1, 2025] (2025). ¿qué es un stent? diccionario médico - clínica universidad de navarra. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/stent>. Consultado el 13 de febrero de 2025.
- [Alianza,] Alianza, C. El 27 [Accessed 13-02-2025].
- [Asociación Española de Enfermería en Cardiología, 2006] Asociación Española de Enfermería en Cardiología (2006). Procedimiento con colocación de endoprótesis. https://enfermeriaencardiologia.com/wp-content/uploads/proced_06.pdf.
- [Banica, 2012] Banica, F.-G. (2012). *Chemical Sensors and Biosensors: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons, first edition.
- [Benedetta et al., 2018] Benedetta, T., Alessio, M., Iacopo, B. G., and Carlo, D. M. (2018). Breve historia de los stents coronarios. *Revista Española de Cardiología*, 71(5):311–414.
- [Bhalla et al., 2016] Bhalla, N., Jolly, P., Formisano, N., and Estrela, P. (2016). Introduction to biosensors. *Essays Biochem.*, 60(1):1–8.
- [Borhani et al., 2018] Borhani, S., Hassanajili, S., Ahmadi Tafti, S. H., and Rabbani, S. (2018). Cardiovascular stents: overview, evolution, and next generation. *Progress in Biomaterials*, 7(3):175–205.
- [Camenzind et al., 2007] Camenzind, E., Steg, P. G., and Wijns, W. (2007). A cause for concern. *Circulation*, 115(11):1440–1455.
- [Centro Médico ABC, 2025] Centro Médico ABC (2025). Stent coronario, ¿cómo funciona? Consultado el 7 de abril de 2025.

- [Chen et al., 2018] Chen, X., Assadsangabi, B., Hsiang, Y., and Takahata, K. (2018). Enabling angioplasty-ready “smart” stents to detect in-stent restenosis and occlusion. *Advanced Science*, 5(5):1700560.
- [Chen et al., 2014] Chen, X., Brox, D., Assadsangabi, B., Hsiang, Y., and Takahata, K. (2014). Intelligent telemetric stent for wireless monitoring of intravascular pressure and its in vivo testing. *Biomedical Microdevices*, 16(5):745–759.
- [Dagdeviren et al., 2017] Dagdeviren, C., Li, Z., and Wang, Z. L. (2017). Energy harvesting from the animal/human body for self-powered electronics. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 19(Volume 19, 2017):85–108.
- [Endomédica, 2023] Endomédica (2023). Intervencionismo periférico | zilver ptx animación.
- [Europea, 2024] Europea, U. (2024). Materiales inteligentes: qué son y cuáles son sus aplicaciones | Blog UE — universidadeuropea.com. <https://universidadeuropea.com/blog/materiales-inteligentes/>. [Accessed 16-02-2025].
- [Hara et al., 2006] Hara, H., Nakamura, M., Palmaz, J. C., and Schwartz, R. S. (2006). Role of stent design and coatings on restenosis and thrombosis. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 58(3):377–386. Drug-Eluting Stents: an Innovative Multidisciplinary Drug Delivery Platform.
- [Herbert et al., 2022a] Herbert, R., Elsisy, M., Rigo, B., Lim, H. R., Kim, H., Choi, C., Kim, S., Ye, S. H., Wagner, W. R., Chun, Y., and Yeo, W. H. (2022a). Fully implantable batteryless soft platforms with printed nanomaterial-based arterial stiffness sensors for wireless continuous monitoring of restenosis in real time. *Nano Today*, 46:101557.
- [Herbert et al., 2022b] Herbert, R., Lim, H.-R., Rigo, B., and Yeo, W.-H. (2022b). Fully implantable wireless batteryless vascular electronics with printed soft sensors for multiplex sensing of hemodynamics. *Science Advances*, 8(19):eabm1175.
- [Instituto Nacional del Corazón, 2024] Instituto Nacional del Corazón, I. P. y I. S. N. (2024). Endoprótesis (stents). Última actualización: 30 de octubre de 2024.
- [Iqbal et al., 2013] Iqbal, J., Onuma, Y., Ormiston, J., Abizaid, A., Waksman, R., and Serruys, P. (2013). Bioresorbable scaffolds: rationale, current status, challenges, and future. *European Heart Journal*, 35(12):765–776.

- [Liu et al., 2019] Liu, C.-H., Chen, S.-C., and Hsiao, H.-M. (2019). A single-connector stent antenna for intravascular monitoring applications. *Sensors*, 19(21).
- [Moreno, 2007] Moreno, R. (2007). Seguimiento del tratamiento antiagregante tras la implantación de stent coronario. *Revista del Ministerio de Sanidad*, 31(3).
- [Naseem et al., 2017] Naseem, R., Zhao, L., Liu, Y., et al. (2017). Experimental and computational studies of poly-l-lactic acid for cardiovascular applications: recent progress. *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes*, 3(13).
- [Real Academia Española, 2001] Real Academia Española (2001). Estenosis. Consultado el 15 de abril de 2025.
- [Salmerón Febres et al., 2011] Salmerón Febres, L. M., Al-Raies Bolaños, B., Blanes Mompó, J. I., Collado Bueno, G., Cuenca Manteca, J., Fernandez Gonzalez, S., Linares Palomino, J. P., López Espada, C., Martínez Gámez, J., and Serrano Hernando, J. (2011). Guía de actuación en técnicas y procedimientos endovasculares del sector infrainguinal. *Angiología*, 63(3):119–142.
- [Tupayachi, 2025] Tupayachi, O. (2025). Provisional vs. técnica de dos stents en tci no complejo: seguimiento a 3 años del ebc-main. *SOLACI*.
- [(UV),] (UV), M. R. uv.es. <https://www.uv.es/materomo/resources/g6.pdf>. [Accessed 15-02-2025].