|  |  |
| --- | --- |
|  | SISTEMEN INGENIERITZA ETA AUTOMATIKA SAILA  DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA |

[UNIVERSIDAD DEL](https://www.ehu.eus/) [PAÍS](https://www.ehu.eus/) [VASCO](https://www.ehu.eus/)

[ESCUELA DE](https://www.ehu.eus/en/web/ingeniaritza-bilbo/hasiera) [INGENIERÍA DE](https://www.ehu.eus/en/web/ingeniaritza-bilbo/hasiera) [BILBAO](https://www.ehu.eus/en/web/ingeniaritza-bilbo/hasiera)

BECAS FUNDACIÓN JESÚS DE GANGOITI BARRERA

**Análisis y procesamiento digital de señales  
fisiológicas para la detección de patologías  
cardiovasculares en tiempo real mediante la  
implementación de algoritmos avanzados de  
aprendizaje supervisado**

*Autor: Supervisor:*

Imanol Ayude Prieto Dr. Eloy Irigoyen Gordo

2 de noviembre de 2022

***AGRADECIMIENTOS***

*Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de un modo u otro, me han ayudado en este camino, y en especial;*

*A mi familia, que ha sido un apoyo constante y fundamental en toda mi vida, y que, sin su ayuda, no hubiera sido posible desarrollarme, tanto personalmente como formativamente.*

*A mi director, Dr. Eloy Irigoyen Gordo, que gracias a su apoyo y motivación casi diaría, asi como a todo su conocimiento tanto técnico como conocimiento a la hora de gestión del trabajo, este trabajo ha llegado hasta este punto.*

*A todas las instituciones involucradas tanto en mi desarrollo como estudiante/investigador, así como las entidades que han ayudado a la elaboración y puesta en marcha de este proyecto. Pero, en especial, al Grupo de Investigación de Conotrol Inteligente y a la Fundación Jesus Gangoitia Barrera.*

***RESUMEN***

**Resumen**

En este Proyecto Fin de Máster se plantea y resuelve el control …. utilizando un algoritmo de control, una red neuronal y …. El esquema de control propuesto se aplica al problema de …. contribuyendo de esta forma a ….

**Laburpena**

Proiectu honetan kontrol ……. planteatzen eta konpentzen da kontrol alogritmo, sare neuronal eta … erabiltzen. Proposatzen den kontrol eskema aplikatzen da … arazoan, honela laguntzen …

**Summary**

In this proyect is setted out and resolved the control … using a control algorithm, a neural network and …. The proposed control esquema it is applied in the problem of … helping to ….

**Palabras clave:** Pseudo Tiempo Real, IoT, Bioseañeles, ESP32, Python

***INDICE DE CONTENIDOS***

Contenido

[1 Introducción 2](#_Toc118361010)

[1.1 Contexto actual. 2](#_Toc118361011)

[2 Objetivos y alcance 6](#_Toc118361012)

[2.1 Objetivos 6](#_Toc118361013)

[2.2 Alcance 6](#_Toc118361014)

[3 Título del capítulo 3 10](#_Toc118361015)

[3.1 Introducción 10](#_Toc118361016)

[4 Título del capítulo 4 12](#_Toc118361017)

[4.1 Introducción. 12](#_Toc118361018)

[4.2 Elementos específicos 12](#_Toc118361019)

[4.2.1 Figuras. 12](#_Toc118361020)

[4.2.2 Ecuaciones. 12](#_Toc118361021)

[4.2.3 Tablas. 12](#_Toc118361022)

[4.3 Acerca del plagio 12](#_Toc118361023)

[5 Resultados y análisis 15](#_Toc118361024)

[5.1 Introducción. 15](#_Toc118361025)

[5.2 Resultados 15](#_Toc118361026)

[5.3 Análisis de los resultados 15](#_Toc118361027)

[6 Conclusiones 17](#_Toc118361028)

[6.1 Conclusiones 17](#_Toc118361029)

[6.2 Acciones futuras 17](#_Toc118361030)

[7 Referencias bibliográficas 19](#_Toc118361031)

[8 ANEXO I: TÍTULO DEL ANEXO 1 21](#_Toc118361032)

***INDICE DE FIGURAS***

[Figura 1.1: La brújula que nos orienta en el capítulo 1 3](#_Toc13825096)

[Figura 2.1: La brújula que nos orienta en el capitulo de objetivos 8](#_Toc13825097)

***INDICE DE TABLAS***

[Tabla 1.1: Laprimera tabla del capitulo 1 3](#_Toc13825458)

[Tabla 1.2: La segunda tabla del capitulo 1 4](#_Toc13825459)

[Tabla 2.1: La primera tabla del capitulo 2 9](#_Toc13825460)

[Tabla 3.1: La primera tabla del capitulo 3 12](#_Toc13825461)

*CAPITULO 1*

**INTRODUCCIÓN**

*El título de este capítulo es fijo. Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# Introducción

## Motivación

A día de hoy, que ya han pasado dos años del comienzo de la pandemia de *COVID-19*, la situación sanitaria sigue estando afectada por esta situación. Pero, no solo se ven afectadas los y las sanitarias y otros trabajadores vinvulados al sector sociosanitario, si no que también sigue estando afectada la forma en la que los usuarios de estos servicios, en definitiva, pacientes son atendidos, cuidados y curados.

Una de las grandes causas que ha porvocado este efecto negativo sobre el sector, a parte, de que se trataba de una enfermedad desconocida, fue también, la falta de recursos, ya no solo humanos (faltaba personal en el sector de la salud) sino que también de material sanitario. Y debido a esta situación, se ha sacado a la plaestra la ya obvia necesidad de sistemas que apoyen a la labor sanitaria.

Desde ya hace unos años, la tecnología de *Internet of the Things* se ha desrrolado exponecialmente, esto ha provicado, junto a la maejora de la potencia de los microprocesadores que la creación de dispositivos que ayuden a la diagnosis prolifere. Mediante este tipo de herramientas, se amplia el volumen de gente a la que se puede atender, al mismo tiempo que se ofrece una mejor calidad en esta atención gracias a la información que se ha ido recogiendo gacias a estas herramientas.

Pero fuera de esta situación, que lo único que ha hecho, ha sido visibilizar el estado del sector sociosanitario, existen otros tipos de situaciones en las que la diagnosis de patologías comunes como pueden ser las cardiovasculares, no se ven atendidas. Y según la OMS, este tipo de patologías son las que más muerten causan por encima de todas. Sobre todo, se destaca que un alto porcentaje de estas muertes se dan en países subdesarrollados a causa de infartos.

Pero según diferentes libros y estudios, una parte de estos infartos peuden ser previamente detectados, ya que suelen estar precedidos por eventos ventriculares mediables mediante diferentes sensores.

Todos estos hechos, junto a la motivación del propio becario, y la continuación de la línea de investigación del *Grupo de Investigacion en Control Inteligente*, se ha logrado llevar a cabo este proyecto que estará centrado en la elaboración de un dispositivo de adquisición fiable y en tiempo real de diferentes señales biológicas, que caráctericen tanto los periodos ventirculares que pueden denotar una cardiopatía futura, como señales que peudan alertar al médico de otro tipo de patologías. El valor de este proyecto, se encontrará en los algortimos y diseños electrónicos que se elbarorán para la creación de este dispositivo.

## Antecedentes

Como se ha comentado anteriomente, este proyecto se desarrolla en la *Universidad del Pais vasco*, para ser concreto dentro del *Grupo de Investigación en Control Inteligente*, de la *Escuela de Ingeniería de Bilbao*. Este grupo de investigación, pertenece al departamento de *Ingería de Sistemas y Automatización* en el cual se busca dar soluciones a problemas complejos mediante la aplicación de sistemas de computación inteligente. El director de este proyecto es el Dr. Eloy Irigoyen Gordo, el cual tiene ya una gran experiencia en la dirección de proyectos centrados tanto en la computación inteligente como de toma correcta de señales para el correcto funcionamiento y diseño de estos. Este proyecto, se encuentra dentro del campo de la bio-ingeniería, en el cual este grupo de investigación lleva varios años centrado. Dentro de los proyectos, tésis etc. elaborados en el grupo, la que más destaca, es la elaborada por la *Dr. Raquel Martinez Rodriguez* con el título, *“*[*Diseño de un sistema de detección y clasificación de cambios emocionales basado en el análisis fisiológicas no invasivas*](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18804/TESIS_MARTINEZ_RODRIGUEZ_RAQUEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)*”*[1] en la cual se estudiaba desde el año 2006 como se podía gestionar de las señales fisilógicas para detectar alteraciones emocionales que pueda sufrir el paciente, así como poder clasificar esos estados de ánimos para que después puedan ser usados para conocer el estado emocional de cara por ejemplo, a hacer una intervención quirúrgica. Continuando la línea de investigación abierta por la *Dr. Raquel Martinez Rodriguez*, el *Dr. Unai Zalabarria Pena* realizo su tésis cuyo título es *“*[*Identificación del nivel de estrés y relajación en personas basadas en el estudio y procesamiento avanzado de señales fisiológicas relacionadas con la actividad del sistema nervioso autónomo*](https://addi.ehu.es/handle/10810/50668)*”* [2], con la que se dió otro paso más en la línea de investigación implementando técnicas de inteligencia artificial, así como procesamientos avanzados sobre las señales fisiológicas.

Esta tésis suposo en el grupo la apertura de nuevas lienas de investigación para la obtención, procesado y detección de patologías cardiovasculares. Y centrándose en el procesado para la detección de estas, de nuevo, el *Dr. Unai Zalabarria Pena*, publicó en la revista llamada *Applied Mathematics and Computation* en artículo de nombre *“*[*Online robust R-peaks detection in noisy electrocardiograms using a novel iterative smart processing algorithm*](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300319308318?via%3Dihub)*”*[3] que ayudó a iniciar en *GICI* el estudio e investigación para la extracción robusta y segura de patrones en las señales fisiológicas a partir de señales que partan del sistema cardiovascular, como puede ser el electrocardiograma.

Estas señales que derivan del sistema cardiovascular fueron posteriormente estudiadas junto a otras señales como puede ser la sudoración o la respiración para así poder lograr mediante algoritmos inteligentes la obtención de parámetros



Figura 1.1: La brújula que nos orienta en el capítulo 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tabla 1.1: Laprimera tabla del capitulo 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tabla 1.2: La segunda tabla del capitulo 1

*CAPITULO 2*

**OBJETIVOS Y ALCANCE**

*El título de este capítulo es fijo. Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# Objetivos y alcance

## Objetivos

Conviene escribir el objetivo principal del PFM de forma clara y los objetivos parciales en los que se desglosa.

Así, en caso de necesitar enumerar estos últimos se puede hacer de la siguiente manera:

* Identificar y formular la problemática de automatización o control de procesos industriales.
* Evaluar las alternativas de diseño justificando la elección realizada.
* Afrontar el desarrollo del sistema bajo diseño utilizando herramientas de automatización o control.
* Observar con espíritu crítico los trabajos científicos de automatización y control con objeto de introducir innovación tecnológica en el desarrollo de este trabajo.
* Exponer públicamente el trabajo individual usando la terminología apropiada, transmitiendo ideas y conocimiento de forma clara y precisa.

## Alcance

Cuál es el ámbito del proyecto, es decir, resuelve un problema concreto, es una metodología que puede aplicarse de forma general a un determinado tipo de problemas…

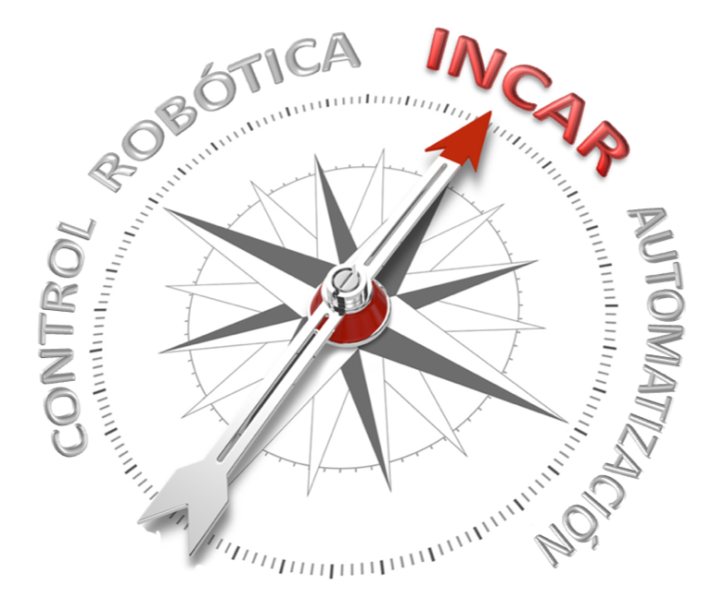


Figura 2.1: La brújula que nos orienta en el capitulo de objetivos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tabla 2.1: La primera tabla del capitulo 2

*CAPITULO 3*

**TÍTULO DEL CAPÍTULO 3**

*El título de este capítulo puede cambiar en función de la tipología del PFM (Estudio Técnico, Estudio Científico, Proyecto, Metodología,…). Se ofrecen unos cuantos ejemplos para el título: “ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS”, ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS”….*

*Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tabla 3.1: La primera tabla del capitulo 3

# Título del capítulo 3

## Introducción

El marco teórico o estudio de los antecedentes bibliógraficos en un trabajo de investigación tiene como propósito efectuar una revisión reflexiva, rigurosa y pormenorizada de los artículos y fuentes documentales en relación a un tema particular.

Dependiendo de la temática del PFM puede ser necesario o no escribir este capítulo, pero no cabe duda de que puede ser un trabajo muy valioso para el propio alumno reflexionar sobre lo que han hecho otros investigadores en la materia, permitiendo conocer en que punto se encuentra actualmente. Por otra parte, un análisis de los antecedentes bibliográficos bien escrito y comentado tiene un indudable valor en sí mismo.

Cuando se emplea material de otro autor en una obra propia, existen varios estándares habitualmente empleados para citar y referenciar los trabajos originales. Entre ellos se encuentran el estilo Harvard, Vancouver, IEEE o el descrito en la norma UNE‐ISO, cuyos detalles, que son extensos, pueden encontrarse con facilidad en Internet. Todos ellos son estilos compuestos por citas (insertadas en el texto del documento junto con el texto o la idea del autor original) las cuales apuntan a referencias situadas al final del documento y que recogen con precisión la fuente de información que contiene el material. En el estilo Harvard, por ejemplo, junto con el texto extraído de otra fuente se indica, entre paréntesis, el apellido del autor y el año de publicación y, al final del texto, en el capítulo dedicado a referencias bibliográficas, se listan todos los trabajos citados, por orden alfabético del primer autor, siguiendo criterios que dependen de si se trata de un libro, una revista, una página web, etc. Otros estilos, como el Vancouver, emplean durante el texto números correlativos, bien entre corchetes o bien como superíndices, apuntando al apartado de referencias bibliográficas en el que se listan, ordenados por número, los detalles de los documentos citados. En cualquier caso, una vez elegido el estilo, conviene consultar los detalles de éste.

Hay dos formas de llevar a cabo el proceso de citar adecuadamente. El primer consiste en citar textualmente lo que dice el autor y entrecomillarlo, y la otra es parafraseando, es decir, emplear la idea del autor pero con palabras propias. En ambos casos, por supuesto, es necesario citar. Es importante destacar que parafrasear no consiste en cambiar las palabras del autor original para que no se detecte un plagio, sino en interiorizar la idea y expresarla con un estilo propio, o incluso, combinar dicha idea con las leídas por otras fuentes y combinarlas para generar una más amplia. La idea es extensible a los gráficos y a las tablas.

También es necesario apuntar que no es necesario citar aquello que forma parte del conocimiento general.

*CAPITULO 4*

**TÍTULO DEL CAPÍTULO 4**

*El título de este capítulo puede cambiar en función de la tipología del PFM (Estudio Técnico, Estudio Científico, Proyecto, Metodología,…). Se ofrecen unos cuantos ejemplos para el título: “DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN”, “DISEÑO DEL PROTOTIPO”, “DISEÑO DEL SOFTWARE”, “METODOLOGÍA”….*

*El número de capítulos puede cambiar también si es necesario para dotar de mayor claridad a la Memoria del PFM (Planificación, Entorno de Desarrollo, Requisitos de Diseño.*

*Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# Título del capítulo 4

## Introducción.

En este apartado se detalla el diseño, desarrollo, implementación, etc que se vaya a realizar en el PFM.

## Elementos específicos

### Figuras.

Todas las figuras del texto deberán ser originales. En el caso de que alguna de las figuras no sea original del alumno, deberá citar y referenciar adecuadamente la misma. Una buena práctica de redacción contempla que todas las figuras del texto dispongan de un título. Asimismo, en la medida de lo posible todas las figuras que se incluyan deberán de alguna forma estar referidas en el texto, situando la figura después de la cita, y no antes.

### Ecuaciones.

Para la escritura de las ecuaciones podrá utilizarse el editor que se desee, siempre que sea compatible con la generación de la versión pdf final del documento.

Las ecuaciones deberán estar numeradas de forma correlativa y figurar el número entre paréntesis en la parte derecha de la página

### Tablas.

El formato de las tablas deberá ser lo más parecido posible al formato definido para el texto. En cualquier caso, sea el estilo que sea éste se mantendrá a lo largo del texto.

Las tablas deberán tener un título de tabla que las describa y deberán estar referidas a lo largo del texto.

## Acerca del plagio

Plagiar es, básicamente, hacer pasar como propias obras realizadas por otros. Si bien es cierto que en muchas ocasiones el plagio es intencionado, en muchas otras el fraude ocurre por verdadero desconocimiento de qué lo es, y son muchos los que creen que aquello que está en Internet es información de libre uso y, por tanto, creen también que pueden copiarlo y pegarlo en su trabajo sin ningún problema.

En general, no se comete plagio cuando el trabajo es elaborado a partir de las ideas propias obtenidas tras la lectura de varias fuentes, las cuales deben citarse y referenciarse en la bibliografía del trabajo, mientras que por el contrario, se estará plagiando cuando la lectura de un texto elaborado a partir de otras fuentes hace creer al lector que tanto el texto como la idea que encierra el propio texto es obra del autor del trabajo.

Además de las responsabilidades civiles que puede acarrear el plagiar una obra, presentar un trabajo académico total o parcialmente plagiado supone un fraude al sistema de evaluación del alumno, debiéndose recordar que muchos accesos son priorizados a partir de la nota del expediente académico. En general, el plagio desvirtúa el sistema de calificaciones, otorgando más nota al que plagia y, por tanto, dejando en mejor posición al que plagia en los sistemas dependientes del expediente. Por otra parte, los trabajos realizados en base a la recolección de fragmentos de otros textos dan como resultado un trabajo con estilos de redacción inconexos, con enfoques constantemente cambiantes y sin una línea argumental definida.

En el ámbito académico suele aceptarse el uso de material de otro autor, aun con copyright, sin necesidad de pedir autorización siempre y cuando se cite la autoría correctamente.

Por otra parte, la Universidad pone a disposición de los profesores herramientas software que ayudan a detectar el plagio en los trabajos académicos

*CAPITULO 5*

**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

*El título de este capítulo es obligado. Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# Resultados y análisis

## Introducción.

## Resultados

## Análisis de los resultados

En la Fig. 1 se muestra la evolución del par y la velocidad angular del motor frente al tiempo…. Es muy importante la interpretación de los resultados, así que dedicarle unos párrafos a los resultados que se extraen de las gráficas.

No os olvidéis que las figuras deben ser nítidas, incorporando las variables de los ejes de ordenadas y abscisas junto con sus unidades. Los números deben poder leerse.



Figura 1. Título de la figura .

*CAPITULO 6*

**CONCLUSIONES**

*El título de este capítulo es obligado. Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# Conclusiones

## Conclusiones

El trabajo realizado en este proyecto Fin de Máster ha contribuido a ….. Las principales aportaciones y/o conclusiones que se extraen son …

## Acciones futuras

Como acciones futuras o líneas de investigación abiertas e identificadas se proponen las siguientes:

*CAPITULO 7*

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

*El título de este capítulo es obligado. Se recomienda encarecidamente el uso de herramientas de gestión de citas y bibliografía tipo Mendeley o Refworks.*

*Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# Referencias bibliográficas

[1] R. Martinez Rodriguez, «Diseño de un sistema de detección y clasificación de cambios emocionales basado en el análisis de señales fisiológicas no intrusivas», UPV/EHU, 2016. Accedido: nov. 15, 2022. [En línea]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=112122&info=resumen&idioma=SPA

[2] U. Zalabarria Pena, «Identification of the stress and relaxation level in people, based on the study and the advanced processing of physiological signals related to the activity of the autonomic nervous system», 2020. Accedido: nov. 15, 2022. [En línea]. Available: http://addi.ehu.es/handle/10810/50668

[3] U. Zalabarria, E. Irigoyen, R. Martinez, y A. Lowe, «Online robust R-peaks detection in noisy electrocardiograms using a novel iterative smart processing algorithm», *Appl Math Comput*, vol. 369, mar. 2020, doi: 10.1016/J.AMC.2019.124839.

*ANEXO I*

***TÍTULO DEL ANEXO***

*La incorporación de anexos a la Memoria del PFM es opcional y se justifica si su lectura no es indispensable para la correcta comprensión de la Memoria. Si lo considera conveniente puede incluir uno o varios, pero se recomienda no abusar en cuanto a número. Por ejemplo, puede ser conveniente incluir un Glosario, un Manual de Usuario, un Manual de Instalación, una Hoja de Especificaciones, Planos, Presupuesto, Normas…*

*En cualquier caso, y en función de la extensión, puede optar también por realizar un documento independiente de la Memoria si así lo considera oportuno.*

*Comience todos los capítulos en página impar. Si es preciso incluya una página en blanco. Borre este texto en la versión final del documento.*

# ANEXO I: TÍTULO DEL ANEXO 1

A-ECMS Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy

ABS Active Braking System

IGBT Insulated Gate Bipolar Transistor

VSI-2LSS Two Level Soft Switching Voltage Source Inverter