



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS**  
**DE TELECOMUNICACIÓN**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE**  
**TELECOMUNICACIÓN**

**DESARROLLO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN**  
**SISTEMA DE ADQUISICIÓN EEG CON CAPACIDADES DE**  
**PROCESADO**

**Autor: Javier Benavides Caro**

**Director: Juan Manuel López Navarro**

**Madrid, 2018**



# **DESARROLLO Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN EEG CON CAPACIDADES DE PROCESADO**

Autor: Javier Benavides Caro  
Director: Juan Manuel López Navarro

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TELEMÁTICA Y ELECTRÓNICA

# Dedicatoria

TODO: Dedicatoria.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus laoreet dolor at sodales porta. Morbi facilisis hendrerit lacus vel sollicitudin. Aenean eleifend urna metus, eget vestibulum libero dictum tincidunt. Curabitur quis ultrices lorem. Duis ultricies, eros eget condimentum pharetra, tellus eros lobortis nulla, vel mattis nibh dui et felis. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Nam non lorem et ligula condimentum molestie. Fusce quis dolor non metus suscipit commodo. Praesent vel pulvinar lectus. Nullam ac dui eget magna accumsan volutpat. Aliquam sed purus quis lorem dictum rutrum auctor eu enim. Pellentesque a urna ac ligula cursus lacinia. Aenean sodales justo massa, vel imperdiet justo imperdiet ut. Nulla euismod pulvinar arcu eu convallis. Vivamus a tempus nunc, et vulputate nulla.

Sed dapibus aliquam imperdiet. Vivamus est quam, fermentum vitae augue id, ultricies tincidunt massa. Praesent tincidunt ex sem, ut aliquet nulla imperdiet eu. Duis ac ultricies lorem. Aenean consequat ipsum nec arcu aliquam, sit amet interdum quam tempus. In justo odio, bibendum vel nulla nec, aliquet tristique justo. In vel metus ut libero suscipit ultricies.

Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Proin urna elit, iaculis id quam at, pretium laoreet ipsum. Phasellus ultricies faucibus ex et eleifend. Quisque facilisis erat dolor, ac rhoncus erat convallis et. Aliquam semper eleifend imperdiet. Sed eros ipsum, sagittis in pellentesque vel, vestibulum a augue. Duis sapien mauris, fringilla a tortor ut, sollicitudin volutpat nunc. Pellentesque vestibulum vel arcu in molestie. Nullam fermentum dolor luctus metus efficitur pulvinar. Pellentesque risus enim, tempus id ullamcorper in, maximus id nisl. Cras rhoncus consequat augue eu gravida. Ut efficitur mauris vitae orci dignissim sagittis. Suspendisse vitae massa eget nunc bibendum interdum.



# Agradecimientos

TODO: Agradecimientos.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus laoreet dolor at sodales porta. Morbi facilisis hendrerit lacus vel sollicitudin. Aenean eleifend urna metus, eget vestibulum libero dictum tincidunt. Curabitur quis ultrices lorem. Duis ultricies, eros eget condimentum pharetra, tellus eros lobortis nulla, vel mattis nibh dui et felis. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Nam non lorem et ligula condimentum molestie. Fusce quis dolor non metus suscipit commodo. Praesent vel pulvinar lectus. Nullam ac dui eget magna accumsan volutpat. Aliquam sed purus quis lorem dictum rutrum auctor eu enim. Pellentesque a urna ac ligula cursus lacinia. Aenean sodales justo massa, vel imperdiet justo imperdiet ut. Nulla euismod pulvinar arcu eu convallis. Vivamus a tempus nunc, et vulputate nulla.

Sed dapibus aliquam imperdiet. Vivamus est quam, fermentum vitae augue id, ultricies tincidunt massa. Praesent tincidunt ex sem, ut aliquet nulla imperdiet eu. Duis ac ultricies lorem. Aenean consequat ipsum nec arcu aliquam, sit amet interdum quam tempus. In justo odio, bibendum vel nulla nec, aliquet tristique justo. In vel metus ut libero suscipit ultricies.

Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Proin urna elit, iaculis id quam at, pretium laoreet ipsum. Phasellus ultricies faucibus ex et eleifend. Quisque facilisis erat dolor, ac rhoncus erat convallis et. Aliquam semper eleifend imperdiet. Sed eros ipsum, sagittis in pellentesque vel, vestibulum a augue. Duis sapien mauris, fringilla a tortor ut, sollicitudin volutpat nunc. Pellentesque vestibulum vel arcu in molestie. Nullam fermentum dolor luctus metus efficitur pulvinar. Pellentesque risus enim, tempus id ullamcorper in, maximus id nisl. Cras rhoncus consequat augue eu gravida. Ut efficitur mauris vitae orci dignissim sagittis. Suspendisse vitae massa eget nunc bibendum interdum.



# Resumen

***Resumen*** —

No debe superar las 500 palabras.

***Palabras clave*** — TODO: Palabras clave en español, separadas por coma.





# Abstract

***Abstract*** —

No debe superar las 500 palabras.

***Key words*** — TODO: Palabras clave en inglés, separadas por coma.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Alcance y estructura del documento . . . . .	2
<b>2. Estado del Arte</b>	<b>5</b>
<b>3. Diseño</b>	<b>7</b>
<b>4. Implementación</b>	<b>9</b>
<b>5. Resultados</b>	<b>11</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>13</b>
<b>Apéndices</b>	<b>15</b>
<b>A. Ejemplos de bloques y comandos útiles en LaTeX</b>	<b>17</b>
A.1. Ejemplo de sección . . . . .	17



# Índice de figuras

1.1. Ejemplo de anatomía humana . . . . .	1
A.1. Logo de la Universidad Politécnica de madrid. . . . .	18



# Índice de tablas





# 1

## Introducción

Desde el principio de los tiempos la humanidad se ha esforzado por comprender el entorno que le rodea, aprender de el y usarlo en su propio beneficio para conseguir así hacer su vida más fácil. Por el momento hemos conseguido elevar aviones gracias a la observación de los pájaros o crear sistemas de sonar que se asemejan a los de los murciélagos pero irónicamente, a pesar del esfuerzo invertido, nuestro propio cuerpo sigue albergando secretos que desentrañar que podrían facilitarle la vida a un gran número de personas.

El estudio del cuerpo humano ha sido uno de los temas más polémicos y que más ha evolucionado desde que hay registro. Aunque al comienzo estuvo muy marcado por la superstición y la religión, achacando la mayoría de las dolencias a la magia, con el paso del tiempo aparecieron ciertas personas como Hipócrates y Aristóteles que realizaron un nuevo enfoque basado en la observación y estudio de lo que realmente ocurría, asentando unas bases que posteriormente serían aprovechadas y mejoradas hasta convertirse en lo que conocemos hoy en día como medicina.



Figura 1.1: Ejemplo de anatomía humana

Como es natural el estudio del cuerpo humano ha seguido diferentes fases. Comparar el cuerpo humano con animales fue uno de los primeros pasos para descubrir que podíamos tener dentro. Posteriormente, aprovechando los cuerpos de personas ya fallecidas se estudió la anatomía humana, permitiendo así crear mapas del cuerpo humano y sus órganos bastante detallados.

Estudiar cuerpos inertes tiene sus limitaciones de modo que durante un tiempo se realizaron vivisecciones para poder comprender mejor como funcionaban todos aquellos órganos, músculos y nervios que ya habían visto con anterioridad. Obviamente con el paso

del tiempo este sistema fue descartado ya que es una práctica que ponía en peligro la vida del sujeto, haciéndolo pasar por una experiencia terrible en el mejor de los casos.

En la actualidad, gracias al conocimiento acumulado de muchos años y a los avances en otros campos de la ciencia se han desarrollado dispositivos y técnicas que permiten el estudio en vivo del comportamiento del cuerpo humano de forma no invasiva. Es posible utilizar ecografías para ver el estado del corazón, radiografías para diagnosticar un hueso roto e incluso técnicas más avanzadas como la medicina nuclear que permiten saber que partes del cerebro se activan frente a determinados estímulos sin necesidad de interactuar físicamente con él.

Si bien todas las técnicas anteriores han supuesto auténticos hitos en la medicina moderna y han permitido diagnosticar un gran número de enfermedades así como mejorar la calidad de vida de muchas personas la mayoría presenta inconvenientes que hacen improbable su uso a nivel personal o docente como son un tamaño y coste muy elevado.

Teniendo en mente esta problemática y con el objetivo de estudiar el cerebro humano

### 1.1. Alcance y estructura del documento

El objetivo de este proyecto es realizar un sistema capaz de captar señales de electroencefalogramas (EEG) manteniendo una buena relación prestaciones/coste. El sistema estará compuesto de dos tarjetas, una de acondicionamiento y de adquisición de datos basada en el circuito integrado ADS1299 y otra de procesamiento y transmisión de dicha información. Esta última es el objetivo del presente proyecto. La plataforma de procesamiento estará basada en un procesador de altas prestaciones, dispondrá de interfaces Wifi, Bluetooth y almacenamiento USB para la transmisión y almacenamiento de los datos respectivamente.

En la primera fase del proyecto se seleccionará el microcontrolador más adecuado entre los existentes en el mercado analizando características como: capacidad de procesado, interoperación con otros dispositivos, prestaciones...

Se compararán los microcontroladores ofrecidos por los distintos fabricantes (ST Microelectronics, Texas instruments, etc) y finalmente, se escogerá aquel que mejor se adecúe a las necesidades del proyecto siendo los principales candidatos los de la familia ARM-M4 STM32F4x por su excelente relación prestaciones-coste.

Se valorará también la posibilidad de utilizar diferentes herramientas para la programación del microcontrolador y las alternativas open source en caso de existir.

Una vez hecho el diseño eléctrico de la tarjeta se procederá al diseño de una PCB, la cual se implementará utilizando tecnología SMD en su mayor parte. Para el diseño de la placa se utilizará KiCad por las numerosas ventajas que presenta al ser software libre y la gran cantidad de información que se puede encontrar sobre el funcionamiento del mismo. Tras depurar la PCB, se implementará un sencillo firmware que permita testear el hardware diseñado y hacer una adquisición básica utilizando la tarjeta SAD utilizando los distintos interfaces implementados.

Adicionalmente se pondrá en marcha un programa para el ordenador basado en LabView donde presentar los datos recibidos.



# 2

## Estado del Arte

TODO: Estado del Arte

Historia procesadores (Gráfica de procesadores) Antecedentes de la placa (Open BCI)



# 3

## Diseño

TODO: Diseño

Hablar de la placa de Nerea y cómo la haces inteligente

Selección del STM

Diseño de la placa

Comunicación con la otra placa (sandwich) vs Diseño de cero Alimentación Interfaces





# 4

## Implementación

TODO: Implementación

Hardware PCB (Añadir BOM)

Primeras pruebas y programación

Software Comunicación ADS - STM

Comunicación STM- ESP

Arduino (Comunicación ESP - PC)



# 5

## Resultados

TODO: Resultados

Gráficas, lecturas...



# 6

## Conclusiones

TODO: Conclusiones sobre el trabajo realizado

Valoración del trabajo. Partes positivas, negativas y posibles mejoras.



# Apéndices







# Ejemplos de bloques y comandos útiles en LaTeX

## A.1. Ejemplo de sección

Citamos el acrónimo Print Board Circuit (PCB).

Bitstream es una secuencia de bits.

La figura A.1 se utiliza en la portada.



Figura A.1: Logo de la Universidad Politécnica de madrid.

Código A.1: Algoritmo de ordenación Quicksort

```
#include <stdio.h>

void quick_sort (int *a, int n) {
    int i, j, p, t;
    if (n < 2)
        return;
    p = a[n / 2];
    for (i = 0, j = n - 1;; i++, j--) {
        while (a[i] < p)
            i++;
        while (p < a[j])
            j--;
        if (i >= j)
            break;
        t = a[i];
        a[i] = a[j];
        a[j] = t;
    }
    quick_sort(a, i);
    quick_sort(a + i, n - i);
}
```

---

```
#include <stdio.h>

void quick_sort (int *a, int n) {
    int i, j, p, t;
    if (n < 2)
        return;
    p = a[n / 2];
    for (i = 0, j = n - 1;; i++, j--) {
        while (a[i] < p)
            i++;
        while (p < a[j])
            j--;
        if (i >= j)
            break;
        t = a[i];
        a[i] = a[j];
        a[j] = t;
    }
    quick_sort(a, i);
    quick_sort(a + i, n - i);
}
```

---

La ecuación de Euler ( $e^{\pm i\theta} = \cos \theta \pm i \sin \theta$ ) es citada frecuentemente como un ejemplo de belleza matemática.

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{A.1}$$