



**Universidad Modelo**  
***Escuela de Ingeniería***  
***Ingeniería Biomédica***

Procesamiento digital de señales

Ing. Alam Efren Chab Canul

Practica 3 Parcial 2  
**EMG DE 2 CANALES**

Integrantes:

Caamal Vivas José Adrián

Carbot Edgar Andrea

Ruiz Gaytan Edgar Yael

Valdez Pillado Itzel Juniva

Vazquez Salazar Erin Atalia

14 de noviembre de 2024

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar un electromiógrafo de dos canales, uno del triceps y otro del flexor ulnar y diseñar filtros correspondientes para obtener la información y utilizarla para rotar un servomotor de 0 a 90° o de 90° a 180° según sea el caso.

### **Objetivos específicos**

- Seleccionar una muestra de una señal de EMG, y distribuirla en dos canales distintos; una señal a partir del músculo tríceps y un segundo canal a partir del músculo flexor ulnar del antebrazo.
- Implementar los filtros correspondientes que se adecuen a las necesidades de cada señal, para que sea más sencilla de trabajarla.
- Utilizar una comparación (if) en el código que contribuya al movimiento adecuado y preciso de un servomotor.

### **Marco Teórico**

Una señal es un medio de transmisión de información, cuya adquisición permite obtener información sobre la fuente que la generó. En el caso de las bioseñales, las fuentes son los diferentes sistemas fisiológicos del organismo. La captación de las bioseñales permite al médico extraer información sobre el funcionamiento de los diferentes órganos para poder emitir un diagnóstico. Una de las bioseñales eléctricas más estudiadas es la de electromiograma (EMG), que registra la actividad eléctrica muscular. La activación de cada fibra del músculo se produce en respuesta a un potencial de acción transmitido a través de la fibra nerviosa motora (axón), que inerva la fibra muscular. La combinación de la célula nerviosa motora en la espina dorsal, su axón, y las fibras musculares que inerva forma la unidad funcional básica del sistema muscular, y es denominada unidad motora. Cuando el potencial de acción nervioso alcanza la unión compuesta de tejido especializado entre el nervio y el músculo, cierta cantidad de transmisor químico se produce, convirtiendo el potencial de acción nervioso en otro muscular que se propaga por la fibra muscular completa. Para procesar este tipo de señales se utilizan diferentes tipos de filtro, esto dependiendo de lo que requiera nuestra señal. Los filtros que mayormente se utilizan en estas señales son: filtros pasa bajas, pasa altas, pasa bandas y rechaza bandas, todos estos con el principal objetivo de destacar la información deseada del resto de la señal, que usualmente tiene ruido asociado, y de la cual puede interesar tan sólo una parte, es por todo esto que se necesita un conocimiento previo de las características de la señal y del ruido; para saber que filtro aplicar.

- Filtro Pasa Bajas: Permite el paso de frecuencias bajas y elimina frecuencias altas (como el ruido de alta frecuencia).
- Filtro Pasa Altas: Permite el paso de frecuencias altas y atenúa las frecuencias bajas (como el ruido de baja frecuencia o interferencias).
- Filtro Pasa Bandas: Permite el paso de un rango específico de frecuencias y elimina frecuencias fuera de este rango. Útil para aislar las bandas de interés en EEG (como

las ondas delta, theta, alfa y beta) o para mejorar la detección de frecuencias específicas en EMG.

- Filtro Rechaza-Banda (Notch): Elimina una banda estrecha de frecuencias específica, dejando pasar el resto. Comúnmente utilizado para eliminar la interferencia de frecuencia de línea (50 Hz o 60 Hz, dependiendo de la región) en señales como el EEG y el ECG.

Los músculos del antebrazo son un grupo de 20 músculos distribuidos en los compartimientos anterior y posterior del antebrazo. Se encuentran divididos en dos grupos principales:

- Músculos del compartimento anterior, o flexores-pronadores
- Músculos del compartimento posterior, o extensores-supinadores

Cada comportamiento se divide nuevamente en capas superficiales y profundas.

En este caso, solo vamos a describir los músculos del compartimento anterior, de la subdivisión de superficiales, ya que son los que tienen mayor relevancia a la hora de aplicar las condiciones de nuestra práctica.

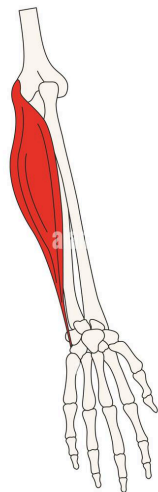


Imagen 1. Músculo flexor ulnar del carpo.

En el **antebrazo** se encuentra el flexor ulnar del carpo (Imagen 1) es el músculo más medial de este grupo. Se origina a partir de dos cabezas: humeral y ulnar. La cabeza humeral tiene su origen en el epicóndilo medial del húmero mientras que la cabeza ulnar nace del olécranon y los dos tercios proximales de la cara posterior de la ulna.

El flexor ulnar del carpo contribuye a la flexión de la mano a nivel de la articulación radiocarpiana. También asiste en la aducción o desviación ulnar de la mano.

El pronador redondo es el músculo más lateral de los flexores superficiales del antebrazo. Consta de dos cabezas (humeral y ulnar), cada una de las cuales se origina de un sitio diferente. La cabeza humeral se origina de la cresta supracondílea lateral del húmero, mientras que la cabeza ulnar lo hace del proceso coronoides de la ulna. También asiste en la flexión del antebrazo a nivel del codo.

El flexor radial del carpo (Imagen 3) es un músculo fusiforme del antebrazo localizado medialmente al pronador redondo. Se origina del epicóndilo medial del húmero y desciende en sentido inferomedial hasta el punto medio del antebrazo, desde donde se continúa como un largo tendón.

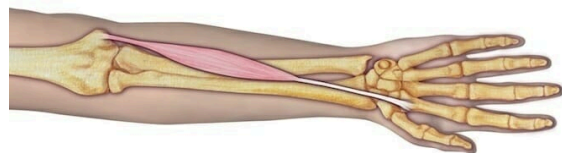


Imagen 3. Flexor radial del carpo

En el tríceps se encuentra el músculo tríceps braquial, es un músculo de tres cabezas ubicado en la región del brazo. Corresponde al único constituyente del grupo muscular posterior de la

región braquial, y se extiende a lo largo de casi toda la extensión longitudinal del húmero. Consta de tres cabezas: larga, lateral y medial; las cuales provienen desde sus orígenes respectivos en el húmero y la escápula, para insertarse distalmente mediante un tendón común en la ulna.

La cabeza lateral se origina de una cresta estrecha en la cara posterior, justo por encima del surco para el nervio radial. Una pequeña porción de estas fibras musculares se origina desde el septo intermuscular lateral. Desde aquí, el punto de origen asciende en sentido oblicuo hacia proximal y medial por detrás de la tuberosidad deltoidea, extendiéndose hasta el cuello quirúrgico del húmero, medial a la inserción del redondo menor y sobre el sitio de origen de la cabeza medial. Tiene como función participar en la extensión activa, la cual ocurre como resultado de la contracción del tríceps braquial y la relajación del bíceps braquial. Por lo tanto, el tríceps es más activo en los movimientos de empuje y soporte de carga corporal sobre las manos con los codos en semiflexión (como cuando se usan los apoyabrazos para levantarse de una silla).

Un **servomotor** es un tipo de motor eléctrico que permite un control preciso de la posición, velocidad y aceleración, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere un movimiento específico y controlado. Los servomotores se componen de un motor, un sistema de control, un sensor de retroalimentación (como un potenciómetro) y un controlador que ajusta el motor en función de la posición deseada.

## Materiales y Equipos

### **Material**

Cantidad	Descripción
1	Software especializado para análisis (MATLAB)
1	Software Arduino
1	Software de psoc
1	Microcontrolador programables (Psc0 5)
2	Señal de EMG
12	Cables
1	Arduino
5	Electrodos
2	Servomotores
2	Módulo jack

### **Equipo**

Cantidad	Descripción
1	Computadora con software especializado

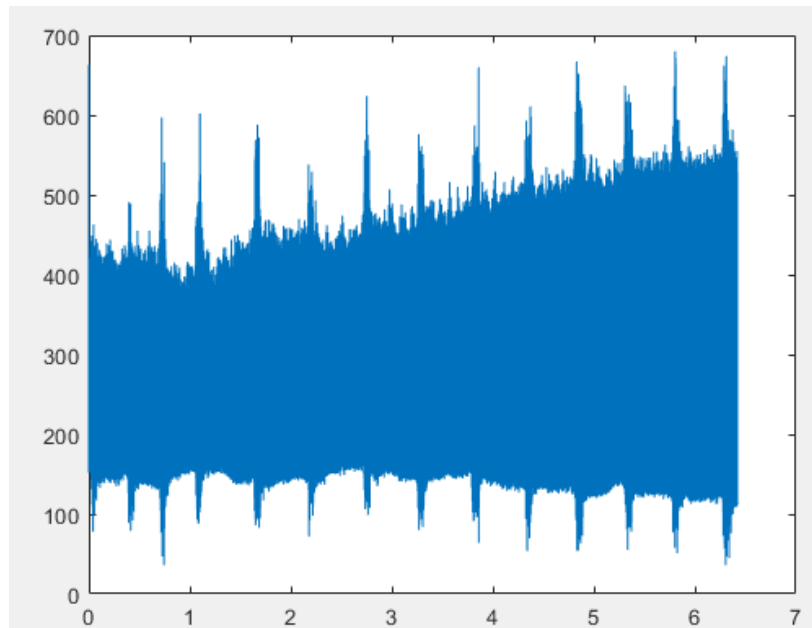
### **Metodología**

Para el desarrollo de esta práctica, se utilizó MatLab para poder realizar el análisis de las señales, se importaron las señales y se realizó el diseño de filtraron para obtener una señal más limpia, la que pudiera mover los ángulos de un servomotores.

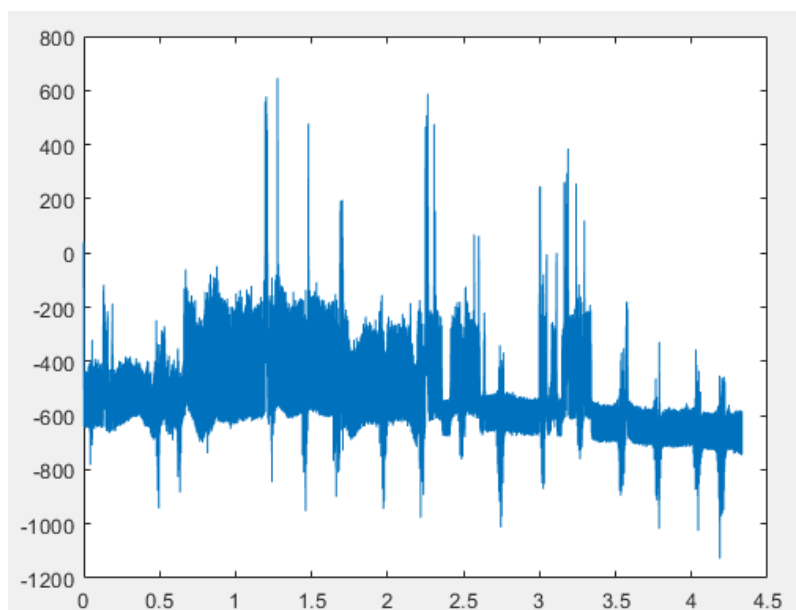
1. Se obtienen las señales de los dos músculos y se utiliza MatLab para realizar la transformada de Fourier y se realiza un análisis de las frecuencias que conforman las señales.
2. Con el análisis realizado, se propondrán los filtros necesarios para obtener las señales limpias y se deberá justificar el porqué se eligieron dichos filtros.
3. Con los filtros propuestos se realizará el diseño en MatLab, obteniendo los valores de ganancias y sos,
4. Se implementa el filtrado por medio de la programación Psoc y se visualiza en tiempo real con Serial-Oscilloscope.
5. Se integra un servomotor, por medio de las señales se modifican los ángulos de los servomotores.

## Desarrollo de la Práctica

Procedemos a obtener señales brutas en este caso de tríceps y del flexor radial del carpo la cual en primera instancia se observa que estas tienen ruido, con la cual se deberá filtrar con un pasa altas para poner a ceros nuestra señal (que no esta variando) y un rechazabanda de 60Hz (para eliminar el ruido que observamos en las señales).

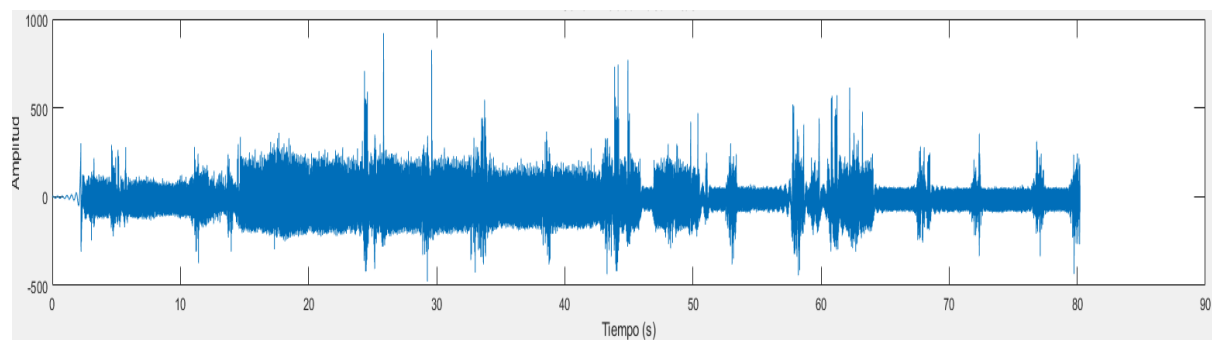
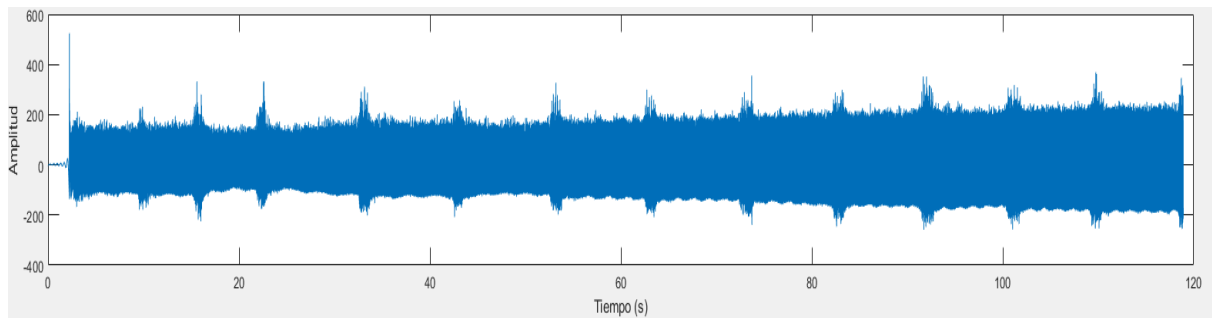


SEÑAL DEL ANTEBRAZO



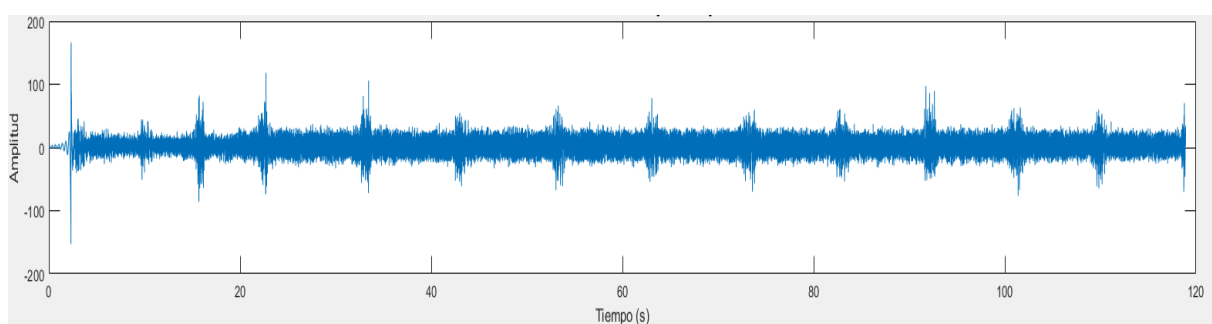
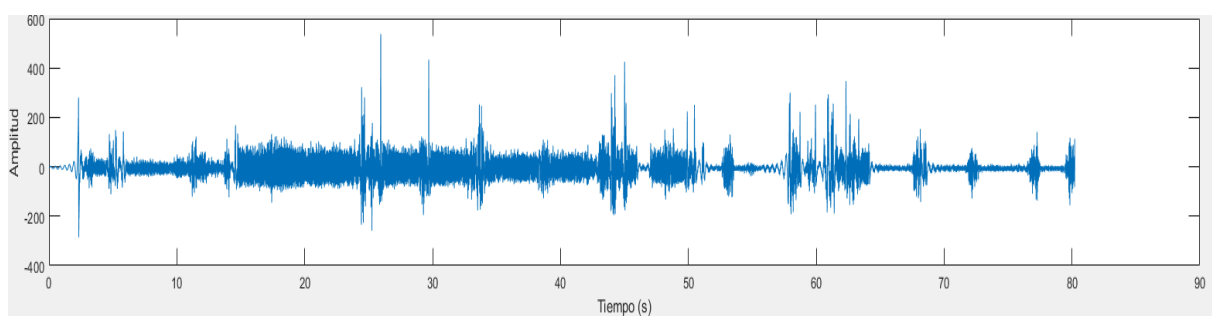
SEÑAL DEL TRÍCEPS

Para estas señales aplicamos un filtro pasa altas el cual estos son configurados con orden 2 y 4 para más estabilidad en al momento de aplicar filtros a las señales



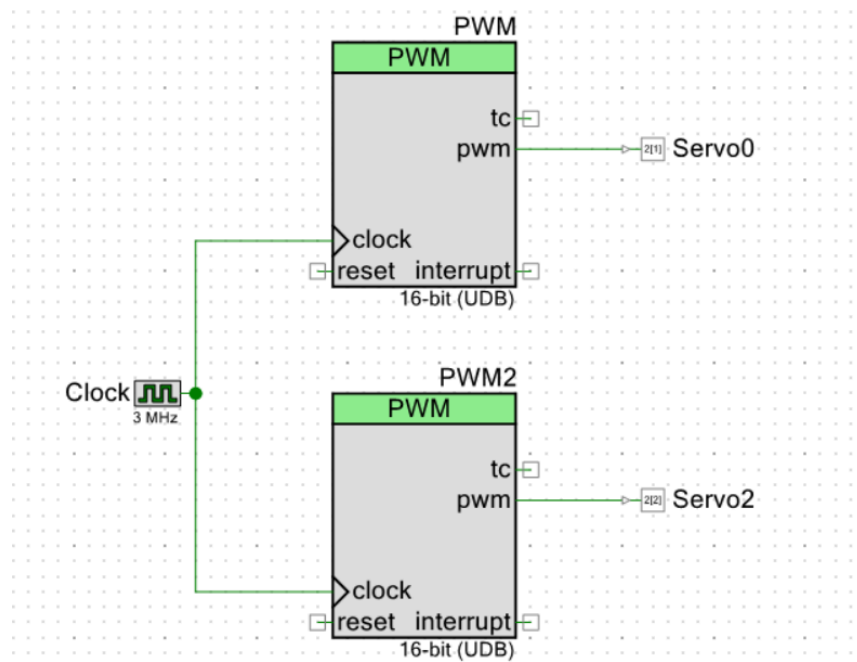
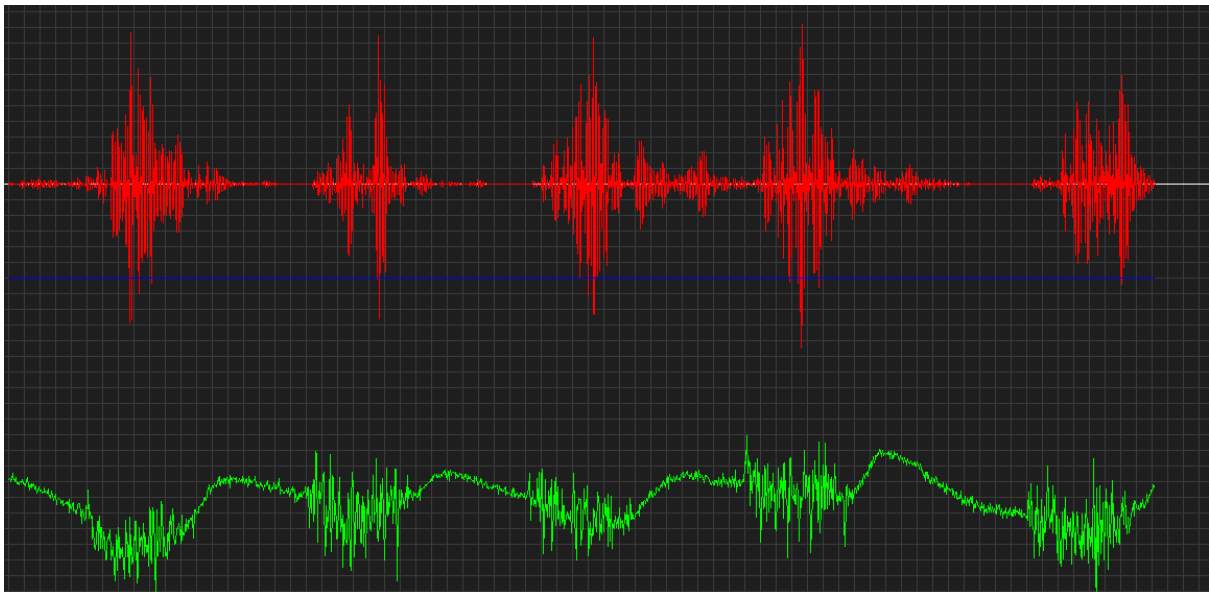
### FILTRO PASA ALTAS DE 5 EN LOS DOS CASOS

Se aplican filtros pasa altas a las señales para poner las señales a ceros por lo tanto al momento de iniciar la visualización de nuestra señal en la aplicación de “osciloscope” esta aparecera en el punto 0, procediendo a aplicar filtro de 60Hz.



Aplicamos filtros rechaza bandas de 60Hz, para eliminar el ruido que genera la señal, y observar cómo está filtrada en la aplicación de “oscilloscope”

Cada una de estas señales es pasada al programa de PSOC, el cual cada señal al momento de ser filtrada esta genera 2 archivos SOS y G estas son variables que serán usadas en la app de PSOC, que esta servirá para obtener el resultado final.





## Conclusión General

El proyecto consiste en el desarrollo de un electromiógrafo de dos canales que registra señales del tríceps braquial y del flexor ulnar del carpo para controlar dos servomotores. A través del uso de MATLAB y Psoc, se analizan y procesan las señales de EMG mediante filtros diseñados específicamente (pasa altas y rechaza bandas) para eliminar el ruido que se encuentre en las señales. Este proceso incluye la aplicación de la transformada de Fourier para identificar las frecuencias clave a las cuales se le aplicarán los filtros, así como el tipo de filtro que se aplicará, asegurando un análisis preciso y funcional de las señales musculares.

Para la movilización de los servomotores se estableció un rango de la señal la cual activa el movimiento de estos y establece un nuevo ángulo, es decir, el ángulo en el que se encontrarán los servomotores dependerá de las señales del electromiógrafo.

La integración del hardware y software demuestra la utilidad de las bioseñales en aplicaciones prácticas como el control de dispositivos electromecánicos. Este proyecto combina conocimientos de fisiología muscular, procesamiento de señales y diseño de sistemas para crear un sistema funcional que conecta las señales electrofisiológicas del cuerpo con el movimiento preciso de los servomotores, destacando su potencial en áreas como la rehabilitación, robótica y tecnologías de asistencia.

## Conclusiones Individuales

Caamal Adrián.

Para esta práctica, la obtención de las bioseñales fue un reto, iniciando primero con el problema de que se debe de estar cambiando de electrodos, ya que un determinado tiempo estos pierden su efectividad y afectan la señal tanto a filtrar como al final. La implementación de los filtros ya es un método conocido que fue usado durante este semestre, unicamente en esta practica se tuvo que realizar nuevamente obtención de datos y filtrado, procediendo a observar el resultado en la aplicación de osciloscope, como resultado final se observa las señales tanto filtradas como puestas a ceros, ya que esta debe de reaccionar al momento de ejercer fuerza con el brazo.

Carbot Andrea.

La práctica permitió profundizar en la integración de sistemas biomédicos y dispositivos electromecánicos, destacando la importancia de garantizar la calidad de las señales adquiridas para obtener resultados confiables. Este enfoque no solo mostró la utilidad de las bioseñales, como el EMG, en aplicaciones prácticas, sino que también evidenció la necesidad de un mantenimiento adecuado del hardware para evitar problemas como el ruido en las señales. La combinación de filtros digitales personalizados y el uso de PWM para controlar servomotores demostró cómo un sistema bien diseñado puede transformar datos fisiológicos en acciones precisas. A pesar de los retos técnicos enfrentados, como el daño en un pin de la PSOC, se logró implementar una solución funcional que servirá de base para futuros proyectos.

Ruiz Edgar.

El desarrollo de la práctica puede mostrar cómo las bioseñales, como las de EMG, pueden ser captadas, procesadas y aplicadas de manera práctica para el control preciso de dispositivos electromecánicos, como un servomotor. A través del diseño e implementación de filtros digitales específicos, se logra obtener señales limpias y útiles que reflejan la actividad muscular, evidenciando la conexión entre el análisis fisiológico y las soluciones tecnológicas. Realizar la práctica fue un reto ya que no podíamos identificar el error que no nos permite obtener la señal, hasta que pudimos identificar el problema pero servirá para el proyecto final.

Vazquez Erin.

En esta práctica se hizo algo similar a los leds solo que esta vez fue con servomotores, además de que se modificaron los filtros de un canal para que la señal se vea más filtrada, se observó que el principal problema de la falla de la señal fue un pin de la psoc que se encontraba dañado lo que generaba una señal con mucho ruido, es decir, no captaba de forma correcta los datos de la señal. Para mover los servos se usaron PWMs los cuales mandaban pulsos para mover las aspas de los servomotores en el ángulo que se indicaba, este se ponía en el main mediante un *if* con un cierto rango de valor de las señales de los canales, igual que

cómo se hacía con los leds, solo que para esta actividad se utilizó otra librería para mover los servomotores en los ángulos deseados.

Valdez Juniva.

En conclusión, el desarrollo del electromiógrafo de dos canales ha logrado cumplir con los objetivos establecidos, demostrando la viabilidad de utilizar señales musculares para controlar dispositivos electromecánicos. A través de la implementación de MATLAB y Psoc, se ha logrado procesar y filtrar las señales de EMG, garantizando un análisis adecuado y libre de ruido. La integración exitosa del hardware y software demuestra la capacidad de este sistema para convertir las bioseñales en movimientos controlados de servomotores, lo que abre nuevas posibilidades en áreas como la rehabilitación, la robótica y las tecnologías de asistencia. Este proyecto no solo resalta la importancia del procesamiento de señales, sino también su aplicación práctica en el desarrollo de soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida y el control motor en diversas disciplinas.

## Bibliografía

Universidad de Valencia, &

Universidad de Valencia, & Guerrero, J. F. (2011b). Procesado digital de bioseñales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. De [http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib\\_material/IB\\_T4\\_OCW.pdf](http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/1-5/ib_material/IB_T4_OCW.pdf)

Músculos del antebrazo. (2023, 23 noviembre). Kenhub.

<https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/musculos-del-antebrazo>

De AdvancedMotionControls, P. (2024, 29 agosto). What is a Servo Motor: Definition, Origins, Components, Types & Applications. ADVANCED Controles de Movimiento.

[https://www.a-m-c.com/es/servomotor/#What\\_is\\_a\\_Servo\\_Motor](https://www.a-m-c.com/es/servomotor/#What_is_a_Servo_Motor)

Links de videos de la practica:

[https://drive.google.com/drive/folders/1Z3ROpM32pGW5pR7Z\\_0y7OkQMi6FKLFTP?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1Z3ROpM32pGW5pR7Z_0y7OkQMi6FKLFTP?usp=sharing)

## Anexos

### Librería de Servo.h

```
#ifndef _SERVO_H_
#define _SERVO_H_

#include "cytypes.h"
//
void Servo_Start(void);
void Servo_SetAngle(uint16 angulo);
void Servo2_SetAngle(uint16 angulo);

#endif // _SERVO_H_
```

### Código de Servo.c

```
void Servo_SetAngle(uint16 angulo)
{
    if (angulo < 0)
    {
        angulo = 0;
    }
    else if (angulo > 180)
    {
        angulo = 180;
    }

    angulo += 10;

    uint16 compare_var = (min + (uint16)((angulo / 180.0) * (max - min)));
    PWM_WriteCompare(compare_var);
}

void Servo2_SetAngle(uint16 angulo)
{

```

```

    if (angulo < 0)
    {
        angulo = 0;
    }
    else if (angulo > 180)
    {
        angulo = 180;
    }

    angulo += 10;

    uint16 compare_var = (min + (uint16)((angulo / 180.0) * (max -
min)));
    PWM2_WriteCompare(compare_var);
}

```

### Código de main.c

```

#include "project.h"
#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "math.h"
#include "stdbool.h"
#include "Servo.h"

CY_ISR(adquirir_dato);
char mensaje[20];
char mensaje2[20];
int canal = 0;
int32 voltaje[2];
bool dato_listo = false;

/////filtro pasa altas orden 2 1 fc canal 0
    double b11 =1; double b12 =-2; double b13 =1; double a11 =1; double
a12 =-1.98360596073585; double a13 =0.983739254825114;
    double doc4_g1=0.991836303890242;
    double w=0; double z=0;
    double s1;
    double Xin;
/////filtro pasa altas orden 2 .5 fc canal 1
    double b21 =1; double b22 =-2; double b23 =1; double a21 =1; double
a22 =-1.99384644185184; double a23 =0.993865317005177;;
    double doc4_g2=0.996927939714255;

```

```

double w2=0; double z2=0;
double s2;
double Xin2;
////Rechaza 60 orden 2 canal 0
double b31 =1; double b32 =0; double b33 =-1; double a31 =1; double
a32 =-0.956859030405327; double a33 =0.932150566910026;
double doc4_g3=0.988758600394698;
double w3=0; double z3=0;
double s3;
double Xin3;
////Rechaza 60 orden 4 canal 1
double b41 =1; double b42 =-0.300152667076224; double b43 =1;
double a41 =1; double a42 =-0.390367587852992; double a43
=0.892846701665113;
double doc4_g4=0.944424773716458;
double w4=0; double z4=0;
double s4;
double Xin4;
//// orden 4
double b51 =1; double b52 =-0.300152667076224; double b53 =1;
double a51 =1; double a52 =-0.175745052768371; double a53
=0.891068935320475;
double doc4_g5=0.944424773716458;
double w5=0; double z5=0;
double s5;
double Xin5;
//// filtro orden 4 canal 1
double b61 =1; double b62 =-1.774555955267456; double b63 =1;
double a61 =1; double a62 =-1.7652421275011586; double a63
=0.978124522287205;
double doc4_g6=0.988758600394698;
double w6=0; double z6=0;
double s6;
double Xin6;
////orden 4
// double b71 =1; double b72 =-0.300152667076224; double b73 =1;
double a71 =1; double a72 =-0.175745052768371; double a73
=0.891068935320475;
// double doc4_g7=0.944424773716458;
// double w7=0; double z7=0;
// double s7;
// double Xin7;
int servo0;

```

```

int servo2;

int main(void)
{
    CyGlobalIntEnable;
    UART_Start();
    AMux_Start();
    //USBUART_Start();
    ADC_Start();
    PGA_Start();
    PGA2_Start();
    Opamp_Start();
    Opamp2_Start();
    Opamp3_Start();
    Opamp4_Start();
    isr_StartEx(adquirir_dato);
    ADC_StartConvert();
    Servo_Start();

    Servo_SetAngle(0);
    Servo2_SetAngle(0);
    //    CyDelay(500);
    for(;;)
    {
        if(dato_listo)
        {
            sprintf(mensaje,"%fr,", s3); //arduino %ld\t /osc %ld,
            UART_PutString(mensaje);
            sprintf(mensaje2,"%f\r", s6); //arduino %ld\n /osc %ld\r
            UART_PutString(mensaje2);
            CyDelay(1);
            dato_listo = false;
        }

        if(s3>200 | -200>s3) //rojo
        {
            Servo_SetAngle(90);
            servo0 = 1;
        }else{
            Servo_SetAngle(0);
            servo0 = 0;
        }

        if(s6>-1190 | -1250>s6) //verde

```

```

        {
            Servo2_SetAngle(90);
            servo2 = 1;
        }else{
            Servo2_SetAngle(0);
            servo2 = 0;
        }
        if(servo0==1 & servo2==1)//ambos
        {
            Servo_SetAngle(180);
            Servo2_SetAngle(90);
        }
    }
}

CY_ISR(adquirir_dato)
{
    voltaje[canal] = ADC_CountsTo_mVolts(ADC_GetResult32());
    ADC_StopConvert();

    ////canal 0 /rojo / pa 1
    Xin=voltaje[0]*doc4_g1;
    s1=(b11*Xin)+z;
    z=((b12*Xin)-(a12*s1))+w;
    w= (b13*Xin)-(a13*s1);
    //rb 60
    Xin3=s1*doc4_g3;
    s3=(b31*Xin3)+z3;
    z3=((b32*Xin3)-(a32*s3))+w3;
    w3= (b33*Xin3)-(a33*s3);

    ////canal 1 /verde / pa .5
    Xin2=voltaje[1]*doc4_g2;
    s2=(b21*Xin2)+z2;
    z2=((b22*Xin2)-(a22*s2))+w2;
    w2= (b23*Xin2)-(a23*s2);
    //rb 60
    Xin4=s2*doc4_g4;
    s4=(b41*Xin4)+z4;
    z4=((b42*Xin4)-(a42*s4))+w4;
    w4= (b43*Xin4)-(a43*s4);
    // s4 = s2;
    Xin5=s4*doc4_g5;

```



```
s5=(b51*Xin5)+z5;
z5=((b52*Xin5)-(a52*s5))+w5;
w5=(b53*Xin5)-(a53*s5);
//rb
Xin6=s5*doc4_g6;
s6=(b61*Xin6)+z6;
z6=((b62*Xin6)-(a62*s6))+w6;
w6=(b63*Xin6)-(a63*s6);

if(canal == 0)
{
    canal = 1;
    AMux_Select(canal);
    ADC_StartConvert();
}
else
{
    canal = 0;
    AMux_Select(canal);
    ADC_StartConvert();
}
isr_ClearPending();
dato_listo=true;
}
```