

## PROCESAMIENTO DE SEÑALES MIOELÉCTRICAS APLICADO A UN ROBOT DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD Versión Final (Tercera Etapa)

### AUTORES:

Carlos A. Alva Coras, [200621140@mail.urp.edu.pe](mailto:200621140@mail.urp.edu.pe)  
Joel O. Castillo Meza, [200616083@mail.urp.edu.pe](mailto:200616083@mail.urp.edu.pe)  
Manuel Gómez Auris, [200616094@mail.urp.edu.pe](mailto:200616094@mail.urp.edu.pe)  
Irvin Samamé Torres, [200616917@mail.urp.edu.pe](mailto:200616917@mail.urp.edu.pe)

### ASESORES:

Ing. Javier Cieza Dávila, [javiercd1@hotmail.com](mailto:javiercd1@hotmail.com)  
Dr. Ing. Oscar Penny Cabrera, [opennyc@hotmail.com](mailto:opennyc@hotmail.com)

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**Facultad de Ingeniería, EAP Ingeniería Electrónica**

Área Temática: [Ing. Electrónica](#)

Categoría: Pre-Grado

### 1. RESUMEN

Este proyecto constará principalmente del procesamiento análogo – digital a la señal mioeléctrica en una determinada área del brazo humano. Destacando el diseño de filtros análogos de muy alta selectividad permitiendo así el acondicionamiento de la señal mioeléctrica, esto gracias a la aplicación de teorías de diseño de filtros en cascada. Consiguiendo el acondicionamiento de las señales mioeléctricas libre de ruido para su procesamiento digital. Esto será primordialmente, la señal de realimentación de un sistema robótico esclavo.

Una vez obtenida la señal mioeléctrica captado de zonas específicas del cuerpo humano, en este caso, el brazo humano. Se comienza a discriminar las señales provenientes de los músculos involucrados en el estudio del paciente con el uso de procesamiento de señales. El microcontrolador a usar tendrá algoritmo de procesamiento digital, el cual permitirá tener filtros digitales o bancos de filtros; permitiendo realizar una síntesis de la señal EMG. Este será nuestro objetivo principal, el cual traerá como consecuencia el desarrollo de prótesis robóticas para personas con discapacidad física.

Como resultado a esta investigación da un enfoque amplio para las aplicaciones de la electrónica. En este sentido se procede a la demostración de una aplicación muy difundida que son las prótesis robóticas para personas con discapacidad física lo mencionado anteriormente. La portabilidad del producto será clave para el transporte fácil del equipo o

sistema completo donde esta principalmente sistemas análogos y discretos como también los sensores EMG con una amplificación diferencial con un alto índice de rechazo al modo común, para este caso el ruido. Dado que las señales mioeléctricas se emanan por los músculos, la diafonía de los músculos estará en toda ubicación del sensor, para eso se evite a lo más mínimo posible será importante usar sensores con la menor distancia en separación de los electrodos conductores. Esto realizado con una modificación a los electrodos EKG comunes.

El robot de 5 grados de libertad es un producto genérico el cual permite la flexibilidad de usar otros tipos de robots más complejos los cuales según su complejidad es proporcional al costo final.

**Palabras clave:** Biomédica, Electromiografía, Robótica, Prótesis Robótica.

### 2. ABSTRACT

This project will consist mainly of analog processing – digital for myoelectric processing. Emphasizing the design of analog filters of high selectivity allowing the myoelectric signal conditioning, this thanks to the application of theories to cascade filters. Getting the design of myoelectric signals for noise-free digital processing. This will be primarily the feedback signal of a slave robot.

Once the myoelectric signal picked specific areas of the human body, in this case, the human arm. Begin to

discriminate signals from the muscles of the patient with the use of signal processing. The microcontroller will use digital processing algorithm, which will have digital filters or filter banks, allowing a synthesis of the EMG signal. This will be its main objective, which will result in the development of robotic prostheses for people with physical disabilities.

As a result of this research provides a comprehensive approach to electronics applications. In this sense, it proceeds to the demonstration of a widespread application that is robotic prostheses for people with physical disability as mentioned. The portability of the product will be the key for easy transport of equipment or complete system which is primarily analog and discrete systems as well as EMG sensors with a differential amplification with a high rate of rejection of common mode, noise in this case. Since the myoelectric signals emanate from the muscles, the crosstalk of the muscles will be in any location of the sensor, that's what to avoid as little as possible is important to use smaller sensors with the distance separating the conductive electrodes.

The 5 degrees of freedom robot is a generic product which allows the flexibility to use other types of more complex robots which according to its complexity is proportional to the final cost.

**Key words:** Biomedical, Electromyography, Robotics, Robotic prostheses.

### 3. INTRODUCCIÓN

La tecnología aplicada hoy en día tiene amplia gama de disciplinas entre ellas está la rama de electromédica, la cual es parte del estudio de la ingeniería electrónica, ya que en sí es una área multidisciplinaria que involucra en especial la ingeniería y la medicina humana. Mencionando esto, la electrónica será fundamental para este trabajo de tesis, en conjunto con un estudio de otras disciplinas como la electromiografía (EMG), para así desarrollar un sistema electrónico capaz de procesar las señales mioeléctricas del brazo humano, para el control de un robot y así mostrar el aporte de los conocimientos ganados a lo largo de la carrera profesional de ingeniería electrónica en la Universidad Ricardo Palma.

En el presente, las investigaciones realizadas en el Área de Electromiografía y sus aplicaciones están muy difundidos por los mismo fabricantes de los sensores EMG existentes en el mercado. Estos muestran sus productos y aplicaciones en general brindando un listado de proyectos hechos con los aportes de ellos y se hace notar en sí el desarrollo conjunto de la ingeniería.

Las mejoras los medios físicos, los sensores, se mejoran para brindar un mejor producto y el avance tecnológico de la electrónica, cual crece exponencialmente, crean nuevas soluciones; logrando hacer artefactos que producen un impacto a la sociedad quien es beneficiada. De este modo este proyecto de investigación realiza un acople a dos disciplinas para hacer posible su objetivo basándose en lo descrito anteriormente.

La visión que tiene la electromédica con ayuda de la Ingeniería, es poder dar calidad de vida a nuestro semejantes y hacer un cambio significativo a nuestra historia. Entre los cuales ya existen hechos y grandes aplicaciones de esta disciplina. Ahora viendo este campo llevo a contribuir a aéreas médicas y otras disciplinas de suma importancia hoy en día. [1]. Estas son:

- Neurofisiología
- Kinesiología
- Control Motriz
- Psicología
- Medicina rehabilitadora
- Ingeniería biomédica

### 4. OBJETIVOS

Se proyectara a que el procesamiento análogo y digital coexista sin efectos no deseados por el efecto aliasing haciendo limitar la banda de frecuencias de trabajo. El uso de la tecnología electrónica siempre se ha visto en el análisis de las señales análogas del exterior y es así que actualmente se adapta en alguna parte del sistema final a un sistema discreto o digital, para luego dar una respuesta análoga de salida en tiempo real ya que así se observaría la respuesta hacia afuera. Las señales mioeléctricas de los músculos involucrados en el movimientos de las articulaciones, estas son señales análogas las cuales deben pasar por procesos análogos y discretos.

La dinámica física de la brazo humana, la cual es la extremidad enfocada a emular, es una obra de ingeniería, del cual igualar su funcionamiento es una tarea ardua. El diseño de un robot básico será la manera más económica y rápida evitando así incrementar costos y aumentando la eficiencia del trabajo. Dicho esto, se creería que no se llegaría a un prototipo que lograrse su objetivo inicial, pero se demostrará a lo largo del trabajo que se llegará a realizar un sistema genérico que puede ser aplicado a un robot específico y desde luego se puede alcanzar sistemas más avanzados en un futuro.

Se mostrara que la realimentación de señales mioeléctricas es de uso indispensable para aplicación de sumo cuidado en robótica aplicada. Esto asegura la buena lectura y respuesta del sistema puesto.

## 5. DESARROLLO DEL TRABAJO

El acondicionamiento y procesamiento analógico de las señales mioeléctrica estará basado en el filtraje de frecuencias no deseables. Esto lleva el uso de filtros análogos de topologías que implique dispositivos activos, que son los amplificadores Operacionales. Para llegar conseguir esto, la teoría de Circuitos electrónicos en función a la frecuencia será la raíz para llegar este objetivo. Esto implica el análisis de la Transformada de Laplace donde modela la función de transferencia de dichos filtros.

La Electromiografía tiene estudios posteriores donde se determina la zona de posición del sensor donde emana los potenciales eléctricos para la obtención de estas. Posterior a esto, estudia la información y análisis de cada señal EMG. En base a esto, rige la zona específica donde adquirir las señales. [2]

El uso de dispositivos lógicos programables y sus periféricos son dispositivos electrónicos que se encuentra en diversas marcas y según los requerimientos del cliente se escoge el procesador a utilizar. Dado la adquisición de señales análogas y luego el control de los motores del robot conjunto a un armazón de banco de sensores rotacionales que sirvieran de punto de referencia al sistema final. Se requerirá uso de conocimientos técnicos para esta área. Actualmente la programación varía según el fabricante pero al final se llega al mismo propósito. Se elige el microcontrolador dsPIC30F4013 por contar con los periféricos más sofisticados como un modulo ADC de 12 bits de resolución, temporizadores de 32 bits, motor MAC para realizar operación aplicado a la implementación de filtros.

La señal mioeléctrica o señal EMG estará corrupta con ruido proveniente por varias fuentes, entre estas predomina la frecuencia de 60Hz de la línea eléctrica y ruido blanco existente en el ambiente. Es por eso que la señal a analizar se aplicará un acondicionamiento basado en amplificadores instrumentales o amplificadores con alto rechazo al modo común y filtros analógicos donde su objetivo será que la señal EMG sea pura y sin ruido de por medio. [3]

Una vez que la señal es pura, se rectificara los valores positivos para luego aplicar un detector de envolvente para tener una señal que muestre la actividad del músculo estudiado, el cual estará ligado al movimiento de una extremidad.

La fuerza de contracción muscular total se incrementa por medio de dos mecanismos: el reclutamiento de unidades motoras previamente inactivas y el incremento de la frecuencia de descarga de unidades ya activas.

La señal Mioeléctrica es la integración temporal y espacial de todos los potenciales de acción de la unidad motora detectados utilizando uno o dos electrodos a partir de un cierto volumen de tejido. La señal Mioeléctrica, cuando se amplifica y se registra, se denomina electromiograma, y el proceso de obtención, procesamiento y análisis de señales electromiografías (EMG) se denomina electromiografía. [4].

Luego de este proceso análogo se estará realizando un proceso digital por microcontroladores con el fin de establecer una relación de la actividad mioeléctrica del musculo y los actuadores de un robot basado en algoritmos de programación usando como referencia los valores de los potenciómetros del sistema y como realimentación la señal EMG. Esto se detalla en la figura 1, siendo el diagrama de bloques del sistema de acondicionamiento EMG.

Como es propio en esta área involucra dos áreas extensas una de ellas es la medicina Humana y nuestra especialidad de Ingeniería electrónica. Para el lado de Electrónica se aplicara el uso de motores con servomecanismo con señal de control PWM, para llegar a su control de estos motores a usar en el robot, es objetivo principal el uso de controladores por el protocolo I2C, siendo este un estándar puesto por Philips. [5].

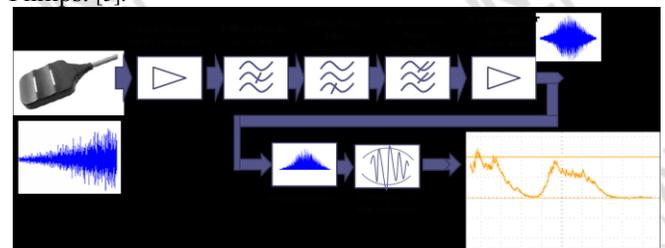


Figura 1. Diagrama de bloques de Acondicionamiento.

### Etapas de Acondicionamiento

Se explica del diseño de las etapas más relevantes a continuación:

#### Amplificador Instrumental

Dado el caso que la señal EMG esta perturbada por el ruido blanco externo. Entonces se procede a realizar una amplificación especial donde el factor crucial será el CMRR, permitiendo así eliminar en lo posible el ruido común que se encuentra en ambos extremos del cable extensor de los Electrodo EMG. Además se tiene que tener una corriente mínima en los electrodos, es por eso que el integrado principal en el desarrollo del proyecto será de tecnología JFET el cual la corriente de flujo en los electrodos esta en el orden los nano Amperios (inferior a los 0.2nA). En caso contrario fluyera un corriente significativa por los electrodos, este lo desgastaría prontamente y hacer variar los resultados finales.

Circuito INA y determinación del voltaje de salida en función de los voltajes de entrada y las resistencias. Ver Figura 2.

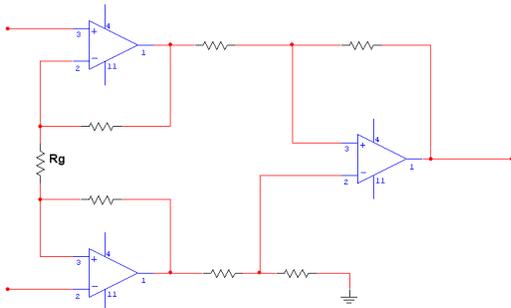


Figura 2. Circuito Amplificador Instrumental basado en OPAM

## Filtros Análogos

El proceso de acondicionamiento es aquel que permita tener la señal EMG, en lo más posible, libre de ruido externo e intrínseco. Es por eso el uso de filtros análogos es inevitable antes de comenzar el procesamiento digital de la señal.

Se inicia con la amplificación instrumental, la cual es más que un amplificador diferencial de alto rechazo a modo común, en este caso es el ruido en ambas líneas, para tener el mayor rechazo al proveniente de varias fuentes del exterior, las frecuencias electromagnéticas (radio, luz, línea eléctrica, etc.). Entre estas; la línea eléctrica de 60Hz es aquel que más destaca en potencia al resto; tal motivo se inserta 2 filtros Notch de 2do orden en cascada para una atenuación de 40dB en la frecuencia de línea externa 60Hz. Pero para no eliminar otras frecuencias cercanas a 60Hz se utiliza circuitos de alta precisión para obtener un ancho de banda de rechazo estrecho.

Hasta entonces la señal está amplificada por amplificador instrumental y en serie con un filtro Notch. Prosigue realizar un filtro pasa banda para evitar las frecuencias altas o desarrollo de un filtro anti-aliasing para que de esa manera en el momento de digitalización no exista errores. Se inicia con el filtro pasa alto en  $F_c = 10\text{Hz}$ , así conseguir la señal DC (corriente continua) e inferiores a 10Hz. En este caso se utilizan filtro de 2do orden con topología de realimentación para un buen factor Q.

Una vez teniendo la primera frecuencia de corte  $F_c = 10\text{Hz}$  se procede a realizar un filtro pasa bajo de 4to orden para así eliminar frecuencias altas e inútiles para el procesamiento EMG.

La frecuencia de corte  $F_c = 400\text{Hz}$ . Con esto se consigue un filtro pasa banda  $F_c = 10\text{Hz}$  y  $F_{c2} = 400\text{Hz}$ . Este a continuación de la salida del filtro Notch. Ver Figura 3.

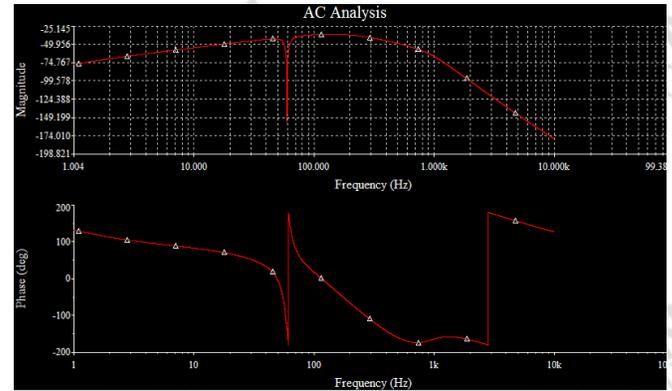


Figura 3. Diagrama de Bode de la respuesta en frecuencia del circuito acondicionador de la señal EMG.

## Filtraje Digital

Esta Etapa se baso en el análisis de la señal EMG totalmente acondicionada y pasar a un evaluador o análisis de Espectro para ver las frecuencia predominantes y cuál de estas esta involucradas mas a los movimientos significativos de la articulación. Se eligió la ventana de Hanning por ser puesta a prueba anteriormente con DSP de Texas permitiendo así verificar la linealidad de la fase. Ver figura 4 y 5

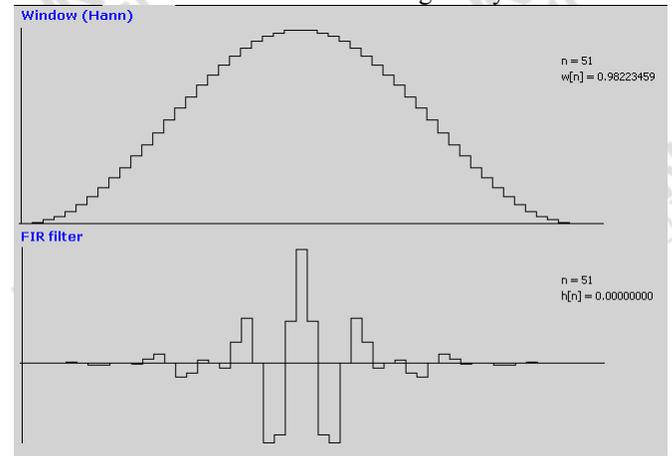


Figura 4. Ventana Hanning de 51 pesos.

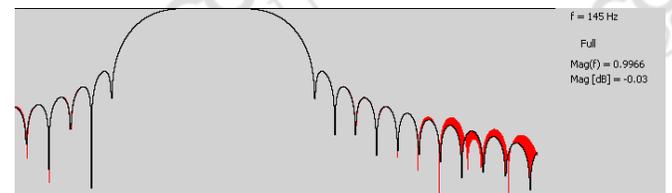


Figura 5. Grafica de la respuesta en frecuencia del filtro centrado en 145Hz.

Es así que basado a un listado de coeficientes de 3 filtros pasa banda se puede saber la actividad específica en cada banda de trabajo determinando la actividad muscular o no. Esto corroborado con la envolvente de la señal.

## 6. RESULTADOS

En los resultados se observa que la actividad muscular de cada dedo está ligado en el potencial eléctrico o señal EMG un periodo de actividad. Ver figura 6.

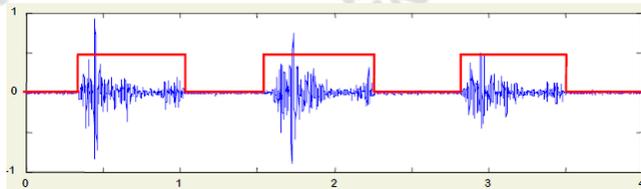


Figura 6. Relación Actividad muscular y periodo de activación

En el lado de rectificación es de suma importancia, ya que el nivel de voltaje de las señales Mieléctricas amplificadas es inferior a los 500mV. Dado que un rectificador o diodo simple tiene un voltaje umbral superior a los 700mV, no sería factible. Es por eso motivo que se utilizó un rectificador de precisión. Ver Figura 7.

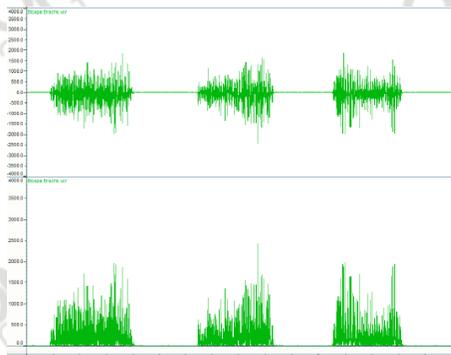


Figura 7 Onda EMG rectificadora. Notar que la señal rectificadora está amplificada

Por último una vez rectificadora la onda. Se produce a realizar la detección de envolvente y de ahí se procede a usar el Microcontrolador. Con el uso del periférico conversador Analógico-Digital. Para luego proceder a la relación Fuerza-Sígnal EMG. Figura 8

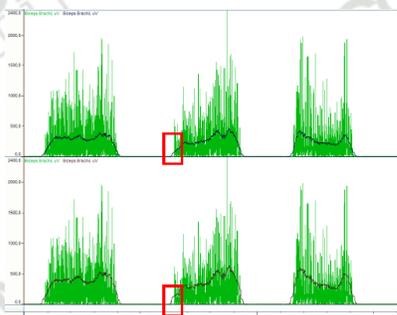


Figura 8 Onda final con detección de envolvente.  
Datos obtenidos con otras investigaciones

## 7. CONCLUSIONES

Una vez obtenida la señal Mieléctrica captada de zonas específicas del cuerpo humano, en este caso, el brazo humano. Se comienza a discriminar las señales provenientes de cada dedo del paciente con el uso de procesamiento de señales. El Microcontrolador a usar tendrá algoritmo de procesamiento digital, el cual permitirá tener filtros digitales o bancos de filtros; permitiendo realizar una síntesis de la señal EMG. Este será nuestro objetivo principal, el cual traerá como consecuencia el desarrollo de prótesis robóticas para personas con discapacidad física.

Como resultado a esta investigación da un enfoque amplio para las aplicaciones de la electrónica. En este sentido se procede a la demostración de una aplicación muy difundida que son las prótesis robóticas para personas con discapacidad física como mencionamos. La portabilidad del producto será clave para el transporte fácil del equipo o sistema completo donde esta principalmente sistemas analógicos y discretos como también los sensores EMG con una amplificación diferencial con un alto índice de rechazo al modo común, para este caso el ruido. Dado que las señales mieléctricas se emanan por los músculos, la diafonía de los músculos estará en toda ubicación del sensor, para eso se evite a lo más mínimo posible será importante usar sensores con la menor distancia en separación de los electrodos conductores.

El robot de 5 grados de libertad es un producto genérico el cual permite la flexibilidad de usar otros tipos de robots más complejos los cuales según su complejidad es proporcional al costo final. Sin embargo, este trabajo de investigación se basará en un prototipo básico de alta calidad de producción que fue brindado por la empresa Custom Entertainment Solutions, el cual se dedica al desarrollo de robots humanoides para propósitos generales.

## 8. RECOMENDACIONES

El uso de dispositivos con tolerancia alta produce la incertidumbre de la respuesta del sistema. Es por eso que se recomienda altamente realizar las mediciones de los componentes tan elementales como la resistencia, condensadores e impedancia de la línea de transmisión a fin de poder conseguir la mayor precisión posible haciendo que el producto sea estable.

## 9. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el respaldo y apoyo de la Facultad de Ingeniería y el Departamento de Investigación de la Universidad Ricardo Palma. A la Escuela de Ingeniería Electrónica con Director Ing. Oscar Penny Cabrera. Al señor Decano Ing. Rafael Taipe Chihuán, y cabe destacar el apoyo de muchos docentes y estudiantes de la Facultad como Ing. Huamani Navarrete, Mg. Maria y Alicia Chiok. Además, Cabe resaltar las magníficas enseñanzas de nuestro profesor Ing. Javier Cieza Dávila.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] De Luca, C.J. Electromyography. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, (John G. Webster, Ed.) John Wiley Publisher, 98-109, 2006.
- [2] Edited by Joseph D. Bronzino, "The Biomedical Engineering Handbook" - Biomedical Engineering Fundamentals, Third Edition, Ed. CRC Press, 2006. Chapter 25..
- [3] C. J. De Luca, "The use of surface electromyography in biomechanics", Journal of Applied Biomechanics, 13 (2): 135-163.
- [4] Lyn Weiss, Lyn D. Weiss, Julie K. Silver, Jay Weiss (MD.), "Easy EMG: a guide to performing nerve conduction studies and electromyography", Ed. Butterworth-Heinemann, 2004. Appendix 2 Figures to Table 5.4 Common muscles - innervation, location and needle placement.
- [5] Rabin Raut and M. N. S. Swamy, "Modern Analog Filter Analysis and Design" A Practical Approach, Ed. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2010, ISBN: 978-3-527-40766-8. Pags. 110-112.

## 11. APÉNDICES

### 11.1. Demostraciones

Demostración del robot esclavo siendo controlado por el microcontrolador siendo resistores variables como punto de referencia al sistema y luego con realimentación de la señal EMG procesado advirtiendo la actividad muscular involucrada..

## 12. ANEXOS

La presente sección está conformada de los siguientes puntos:

### 12.1. Hojas de Especificaciones

TL084.-

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tl084.pdf>

PIC18F45202.-

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/f/0xwypjaz882icwuhol9cl7exy37y.pdf>

SD21.-

<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/sd21tech.htm>

### 12.2. Resumen de formulas de libros

Formulas obtenidas del libro Ron Mancini, Op Amps For Everyone. Design Reference. 2002. Advanced Analog Products. Texas Instruments. Sections 16-15. Para los filtros analogos de la topologia Sallen Key. Siendo muy utilizado para filtraje de la señal EMG.

Formulas Sallen Key (Filtro Pasa Alto)

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + s \left( \frac{R_1 C_2 + C_1 R_1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right) + \left( \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right)}$$

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

$$Q = \frac{W_0 R_1 R_2 C_1 C_2}{R_1 C_2 + C_1 R_1}$$

Formulas Sallen Key (Filtro Pasa Alto)

$$H(s) = \frac{\left( \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right)}{s^2 + s \left( \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_1 C_1} \right) + \left( \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right)}$$

$$W_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

$$Q = \frac{W_0 R_1 R_2 C_1 C_2}{(R_1 + R_2) C_2} = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(R_1 + R_2) C_2}$$