

REDISEÑO DE LA ETAPA DE PREAMPLIFICACIÓN DEL ELECTROMIÓGRAFO
DIGITAL DE CUATRO CANALES IMPLEMENTADO EN LA UNIVERSIDAD
MILITAR NUEVA GRANADA.

1800543. LUZ ADRIANA ALARCON RODRIGUEZ



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2012

REDISEÑO DE LA ETAPA DE PREAMPLIFICACIÓN DEL ELECTROMIÓGRAFO
DIGITAL DE CUATRO CANALES IMPLEMENTADO EN LA UNIVERSIDAD
MILITAR NUEVA GRANADA.

1800543. LUZ ADRIANA ALARCON RODRIGUEZ

Propuesta de trabajo de grado para optar al título de ingeniera en Mecatrónica

DIRECTOR: Ing. NELSON VELASCO TOLEDO



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ D.C.

2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

1. TITULO.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1. Descripción del problema.....	2
2.2. Elementos del problema.....	2
2.3. Formulación del problema.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. JUSTIFICACION.....	5
5. MARCOS DE REFERENCIA.....	6
5.1. Antecedentes.....	6
5.2. Marco teórico.....	12
5.3. Marco conceptual.....	22
6. METODOLOGIA.....	24
6.1. Tipo de investigación.....	24
6.2. Metodología.....	24
7. RESULTADOS.....	30
8. CONCLUSIONES.....	38
9. SUGERENCIAS.....	39
10. GLOSARIO.....	40
11. BIBLIOGRAFIA.....	44
12. INFOGRAFIA.....	45
13. LISTA DE FIGURAS	47
14.LISTA DE CUADROS	49

INTRODUCCION

Con un electromiógrafo y un buen diagnóstico médico se busca un estudio del sistema neuromuscular para evaluar el grado de compresión o de sufrimiento de los nervios que controlan la musculatura.

El electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada presentado por las ingenieras mecatrónicas Diana Carolina Beltrán Peña y Adriana Cáceres Delgado, en el segundo semestre de año 2007, requiere un rediseño en la etapa de preamplificación, es decir revisar los circuitos para mejorar la captura de la señal electromiográfica para que esta pueda seguir siendo procesada por las demás etapas que tiene el electromiógrafo.

Dentro del campo de acción de la ingeniería Mecatrónica, se puede mencionar el área de la salud, su fin es el de mejorar la calidad de vida de la humanidad, pues cuando el galeno tiene herramientas apropiadas para realizar el diagnóstico adecuado el tratamiento es positivo, con economía de tiempo, esfuerzo y menos malestar al paciente.

El rediseño de la etapa de preamplificación del electromiógrafo requiere mejorar las características del procesamiento de este, con el propósito de futuras prácticas médicas e investigaciones y que esté a disposición de los estudiantes de la Universidad, en el laboratorio de marcha, que se construirá próximamente.

1. TITULO

REDISEÑO DE LA ETAPA DE PREAMPLIFICACIÓN DEL ELECTROMIÓGRAFO DIGITAL DE CUATRO CANALES IMPLEMENTADO EN LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción Del Problema

El electromiógrafo digital de cuatro canales, de la Universidad Militar Nueva Granada, fue realizado por estudiantes de ingeniería Mecatrónica, quienes pertenecen al grupo de investigación Davinci, en el segundo semestre del 2.007.

Actualmente el electromiógrafo se encuentra en el laboratorio de robótica, de la Universidad, a disposición de los estudiantes de ingeniería para hacer uso de este en diferentes proyectos; su empleo se ha visto limitado, dado que la señal electromiográfica capturada por medio de este electromiógrafo, presenta distorsiones debido a contaminaciones de ruido y problemas con el acople de impedancias entre el paciente y el instrumento.

Por lo tanto, se hace necesario rediseñar la etapa de preamplificación para que los resultados obtenidos por esta fase tengan mejores características y se corrija el posterior procesamiento.

2.2. Elementos Del Problema

Se rediseñará la etapa de preamplificación del electromiógrafo digital de cuatro canales, implementado en la Universidad Militar Nueva Granada, analizando las características de los bioamplificadores para proponer un nuevo circuito basado en el estado del arte.

El rediseño de la etapa de pre-amplificación del electromiógrafo digital de cuatro canales de la Universidad Militar Nueva Granada, se llevará a cabo en los laboratorios de electrónica y robótica de la Universidad, y en el domicilio de quien realiza la investigación.

2.3 Formulación Del Problema

¿Se podrá plantear un modelo base para la implementación de la etapa de preamplificación del electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Rediseñar la etapa de preamplificación del electromiógrafo digital implementado en la Universidad Militar Nueva Granada, para mejorar la captura de la señal electromiográfica y seguir siendo procesada en las demás etapas del electromiógrafo.

3.2 Objetivos Específicos

Establecer el estado de la implementación del diseño actual para determinar las fallas e inconvenientes físicos y electrónicos que se presentan.

Proponer un modelo basado en el estado del arte que cumpla con las características requeridas en la etapa de preamplificación del electromiógrafo, para que este logre un mejor desempeño.

Realizar pruebas y hacer ajustes del rediseño de la etapa de preamplificación del Electromiógrafo digital de cuatro canales, para comprobar su funcionamiento.

4. JUSTIFICACION

Rediseñando la etapa de preamplificación del electromiógrafo se busca mejorar las características de este para que en sus posteriores aplicaciones clínicas y de investigación pueda entregar mejores resultados. También se busca que este pueda ser parte de un laboratorio de marcha que será construido próximamente en la universidad.

El ser humano durante el trayecto de su vida puede sufrir accidentes o deterioro de los músculos por enfermedades con el paso del tiempo, o por fatiga producto de su trabajo, se pretende rediseñar la etapa de preamplificación del Electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada, para el uso clínico y su posterior uso doméstico.

La Ingeniería Mecatrónica al servicio de la medicina ha sido y será fundamental para el logro de la calidad de vida de toda la humanidad, cuando el médico tiene instrumentos adecuados que apoyen acertadamente un diagnóstico, en consecuencia, el tratamiento es eficaz, lo que hace que el paciente pueda recuperar su ritmo de vida cotidiana.

5. MARCOS DE REFERENCIA

5.1 Antecedentes

El electromiógrafo es un instrumento bioelectrónico para uso médico, tiene como función registrar las señales eléctricas de diversas unidades motoras de un músculo, transmitir las a un ordenador o un dispositivo en el cual un médico pueda visualizarlas, para que por medio de estas pueda establecer el diagnóstico pertinente.

A continuación, se nombrarán algunos estudios previos, en donde se desarrolló un electromiógrafo con diferentes configuraciones y diferentes etapas. Debido a que esta investigación se centra en la etapa de preamplificación esa será la fase que más atención tendrá.

1. Autores Barrera Luis Eduardo, director Ing. Esteban Lucio Gonzales, nombre del artículo Electromiógrafo, fuente [3]http://www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/articulos/Electromiografo_Barrera.doc

Este electromiógrafo consta de dos etapas analógica y digital, la primera es la que se encarga de la etapa de instrumentación, dentro de esta se encuentra la etapa de preamplificación, en la cual se encuentra implementado un amplificador con referencia INA114, su función es amplificar la señal de entrada. Un sumador que tiene como función subir la señal un nivel dc, para que no queden valores negativos, permitiendo así la digitalización y previniendo la pérdida de la información. Por último se tiene la fase de aislamiento del paciente con el instrumento, para esta fase usaron un optoaislador lineal de

referencia LOC110, el objetivo principal de esta última fase de preamplificación es proteger al paciente de alguna posible descarga. Seguido de la etapa de preamplificación encontramos un multiplexor de ocho canales con referencia 4051 del cual solo se están usando dos. La etapa de filtrado esta implementada por un filtro Notch, y dos Butterworth, uno pasa bajos y otro pasa altos, el primero atenúa la frecuencia de la línea de 50/60Hz, el segundo limita la señal de entrada de frecuencia mayor a 1.3HZ y el último limita señales con valores de continua.

En cuanto a la etapa digital esta consta de un conversor análogo-digital ADC804, el bus del PC ISA y un software en donde el médico por medio del pc varia la ganancia en cuatro niveles, modificar la base de tiempo y visualiza la señal electromiográfica. Los electrodos usados en la construcción de este equipo son marca 3M®

2. Autoras Natalia Godoy Montoya, Marcela Montoya Mesa, estudiantes de Ingeniería Biomédica, e Inteligencia Artificial Sistema Básico de Registro de Electromiografía. Fuente:

[16]<http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=sistema%20b%C3%A1sico%20de%20registro%20de%20electromiograf%C3%ADa&source=web&cd=1&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fante-proyecto-protesis-mano-robotica.googlecode.com%2Ffiles%2F27.%2520espa%25C3%25B1a%2520EMG.pdf&ei=iTbATo1lzdOBB4uE8bwH&usg=AFQjCNF5XojVgHnWSxUiyx6vDyoCZeEJgQ>

La primera etapa o etapa de pre-amplificación del sistema básico de registro de electromiografía, en su primera fase tiene como objetivo amplificar la señal de entrada, para esto utilizaron dos amplificadores,

el primero es un amplificador de bioinstrumentación, cuya referencia es le AD620, la ganancia que inicialmente se quiso lograr fue de 500 veces, debido a los ajustes de las resistencia a valores comerciales la ganancia lograda fue de 495 veces. El segundo amplificador implementado tiene como referencia TL074, la ganancia para este es de 11 veces y su configuración es como un no inversor. La segunda etapa es la etapa de filtrado, esta etapa está conformada de un filtro pasa banda compuesto de un filtro pasa alto con frecuencia de corte de 20Hz y un filtro pasa bajo con frecuencia de corte de 500Hz conectados en cascada respectivamente, con la señal filtrada se implementa una amplificación no inversor de 3,2 con un amplificador de la misma referencia mencionada.

Por medio de una tarjeta de adquisición de datos marca National Instrument® referencia 1062DF6 transmite a un software diseñado en Lab View, o para que la señal electromiográfica pueda ser visualizada. Los electrodos utilizados en este diseño de electromiógrafo son de marca Meditrace®. Una de las conclusiones es que se debería implementar un filtro rechaza banda de 60Hz y tal vez otro de 120Hz, con el propósito de eliminar el ruido proveniente de la línea de corriente alterna.

3. Autores D. Delisle Rodríguez, R. Blanco Sáad, C. Díaz Novo Díaz, J. C. García Naranjo, N. López Río. Centro de Biofísica Médica. Universidad de Oriente. Electromiógrafo Digital de Ocho Canales.
[7] Fuente: <http://hab2007.sld.cu/Members/felix/electromiografo-digital-de-ocho-canales/>

Este electromiógrafo experimental cuenta con ocho canales dedicados a monitorear la actividad muscular y otros dos para monitorear la fase de locomoción, este equipo está destinado a realizar análisis de marcha mediante electromiografía superficial y videografía.

Este equipo cuenta con dos módulos uno análogo y otro digital, en el análogo utilizan un amplificador de instrumentación AD620 debido a que para este montaje aumenta el rechazo a modo común, un filtro pasa alto RC con frecuencia de corte 20Hz y un filtro Butterworth pasa bajo con frecuencia de corte 500Hz, esto para limitar la banda de la señal. En el módulo digital se encuentra un control para la videografía por medio de tres cámaras digitales, una tarjeta digital que se compone de un bloque de control implementado por medio de un micro-controlador de referencia PIC18f452, este recibe las señales electromiográficas y los canales que describen la marcha, un bloque de memorias de 64k y un bloque de comunicación con módulos MSSP (Synchronous Serial Port) y UART (Addressable Universal Synchronous Receiver Transmitter).

4. Diana Carolina Beltrán Peña, Adriana Cáceres Delgado, Tutor Ing. Nelson Velasco Toledo. Diseño Y Construcción de un Electromiógrafo Digital de Cuatro Canales. Fuente: Proyecto De Investigación Universidad Militar Nueva Granada, Facultad De Ingeniería, Programa De Ingeniería Mecatrónica.

La etapa de pre-amplificación de este prototipo actualmente cuenta con un conector de 5-leads para EMG cuya característica es proporcionar una conexión de tipo bipolar, esta conexión garantiza una medición de dos voltajes respecto a una tierra común, y un amplificador TL084 cuya característica más importante es que tiene

bajo nivel de ruido. Amplificadores de instrumentación referencia AD622 para amplificar 500 veces la señal electromiográfica proveniente de los electrodos, este amplificador tiene características para atenuar el ruido producido por el medio ambiente. *El circuito correspondiente a esta primera etapa se puede observar en la siguiente figura, fue copiado del proyecto de investigación presentado por las alumnas Diana Carolina Beltrán Peña, Adriana Cáceres Delgado*.

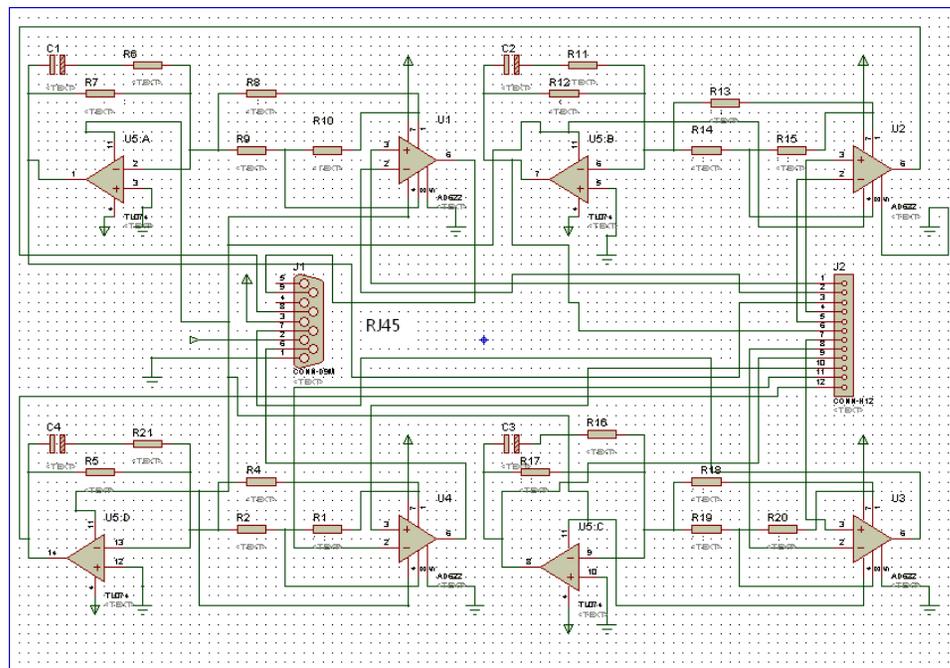


Figura 1 Diagrama Eléctrico de preamplificador actual.

La referencia del primer amplificador mencionado también lo utilizaron para que el usuario pudiera ajustar ganancias entre 10, 50, y 100, para seleccionar la ganancia deseada, se utilizó un software, por medio de el PIC 18F2550 que permite comunicación USB entre el PC y el pic, este a su vez activa los multiplexores análogos respectivos.

Implementaron un filtro pasa bajo análogo Butterworth de segundo orden, este con el objetivo de limitar la señal que se encuentra entre un rango de 0 a 500Hz, seguido de esto implementaron un sumador que tiene por objetivo subir el nivel dc de la señal electromiográfica 2,5 voltios, para que al digitalizarla no se pierda información, este sumador se implementó con un amplificador TL084. Luego de subir el nivel dc de la señal se pasó por un conversor análogo digital el cual fue implementado en un DSPIC30F4013, en este también se implementó un filtro pasa alto digital con frecuencia de corte de 15Hz, ya que este DSPIC no posee módulo de comunicación por USB se implemento I2C para establecer comunicación con el PIC18f2550, ya que este si contiene módulo USB para establecer la comunicación con el software.

El software está programado en Builder c++, con programación orientada a objetos la cual está constituido por seis clases llamadas Class Usbcomm, Class Selector, Class Canal, Class Cola, Class Nodo, Class FFT, este programa contiene una interfaz en donde se puede apreciar la señal procesada, y permite ajustar las ganancias anteriormente nombrada.

5.2 MARCO TEORICO

Un electromiógrafo es un instrumento médico que sirve para llevar a cabo un estudio electrofísico del sistema neuromuscular, para que este sirva de apoyo al profesional de la salud para llevar a cabo un diagnóstico acertado. La electromiografía consiste en el registro de pequeños potenciales eléctricos que produce el músculo cuando se contrae.

[10] Unidad Motora

Un mismo músculo recibe varias fibras nerviosas motoras, la unión entre una sola neurona motora y las fibras musculares que inerva se llama **Unidad motora**. Estas pueden variar de tamaño, desde una neurona que inerva 10 fibras musculares, como en el globo ocular, hasta una neurona que inerva hasta 200 o más fibras musculares como en los músculos de las extremidades. En el primer caso los movimientos son finos y de poca potencia y en el segundo son burdos y de gran potencia.

Los músculos de las extremidades tienen un gran número de unidades motoras y estas se contraen de forma alterna, esto determina que el músculo este en un estado constante de semicontracción a esto se le llama Tono Muscular.

Las neuronas motoras se originan en la corteza cerebral motora. De ahí se interconectan con otras neuronas motoras del tronco cerebral (Tálamo y Bulbo Raquídeo) y finalmente con las que se encuentran en la médula espinal, específicamente en las astas anteriores terminando en su órgano receptor que son los músculos.

Neuronas

La neurona es la unidad celular del Sistema Nervioso Central. Posee particularidades que la hacen una unidad funcional muy especial.

Una característica fundamental y exclusiva de estas células es la muy escasa posibilidad de renovación que tienen cuando el organismo las pierde por alguna razón.

Estructural y funcionalmente, las neuronas son “unidades celulares” que tienen la característica de ser capaces de conectarse con otras, ya sea para inhibirlas, excitarlas o simplemente para re-transmitirles el impulso nervioso, es decir, la señal electroquímica que viene desde el cerebro, y cuyo destino son las “unidades motoras”.

Las neuronas poseen dos grandes propiedades:

- La irritabilidad, que le da a esta la capacidad de dar respuesta a agentes físicos y químicos con la iniciación de un impulso.
- La conductibilidad que le da la propiedad de transmitir los impulsos de un lado a otro.

Funcionalmente: Hay tres tipos de neuronas:

- Las **neuronas sensoriales** conducen impulsos de los receptores hacia el cerebro y la médula espinal, estos impulsos son informativos (visión, sonido, tacto, dolor, etc.).
- Las **neuronas motoras** conducen los impulsos del cerebro y la médula espinal hasta los receptores (ejemplo, los músculos y glándulas exocrinas) o sea, en sentido contrario a las sensitivas. Es el componente motor de los nervios espinales y craneales.
- Las **interneuronas**, son células nerviosas multipolares cuyo cuerpo y procesos, se ubican exclusivamente en el sistema nervioso central, específicamente en el cerebro, y no tienen contacto directo con

estructuras periféricas. Un grupo importante de interneuronas se les llama motoneuronas altas, éstas son las responsables de la modificación, coordinación, integración, facilitación e inhibición que debe ocurrir entre la entrada sensorial y la salida motora.

Músculos

Los músculos son los órganos que se encargan de la movilidad y la estabilidad del cuerpo.

Tienen como característica principal las propiedades de:

- Contracción. Poder acortar sus fibras.
- Elasticidad. Poder recuperar su forma después de una contracción.
- Excitabilidad. Responder a los estímulos.

Cuando un músculo entra en actividad pueden presentarse tres fenómenos:

- El músculo activo se acorta acercando sus dos extremos. A esto se le conoce como contracción isotónica.
- El músculo está activo, pero su longitud se mantiene constante. A esto se llama contracción isométrica.
- El músculo se activa, pero sus extremos se alejan, alargando el músculo. A esto se le llama contracción excéntrica.

Por su función, los músculos se clasifican como:

- **Abductores:** Son los que se encargan de alejar las extremidades del eje central del cuerpo. Ejemplo: Levantar un brazo a los lados.
- **Aductores:** Son los que se encargan de llevar las extremidades hacia el eje central del cuerpo. Ejemplo: Llevar un brazo hacia adentro del cuerpo, como poner el codo a nivel del ombligo.

- **Pronadores:** Son los que hacen girar las extremidades hacia adentro. Ejemplo: Girar la mano hacia adentro.
- **Supinadores:** Son los que permiten la inclinación de las extremidades. Ejemplo: Inclinar la mano hacia los lados.
- **Flexores:** Son los que permiten la flexión de las extremidades. Ejemplo: La flexión de la pierna sobre el muslo o del brazo sobre el antebrazo.
- **Extensores:** Son los que permiten la extensión de las extremidades. Ejemplo: La extensión de la pierna sobre el muslo o del antebrazo sobre el brazo.

Los músculos poseen receptores **sensitivos**, que informan sobre el dolor, y receptores **propioceptivos**, que informan sobre el grado de tensión que desarrolla el músculo y su contracción, lo que da la idea de su posición en el espacio.

Piel

La piel es el mayor órgano del cuerpo humano. Actúa como barrera protectora que aísla al organismo del medio que le rodea, protegiéndole y contribuyendo a mantener íntegras sus estructuras, al tiempo que actúa como sistema de comunicación con el entorno.

Estructura de la piel

- **Epidermis:** es la capa que está en contacto con el exterior. La epidermis es un epitelio estratificado formado por una serie de estratos cuya misión principal es producir queratina. Esta sustancia es una proteína que confiere resistencia a la piel y permite protegernos frente a sustancias extrañas.

- **Membrana basal:** Es una membrana plasmática enrollada que presenta una gran superficie. Se encuentra entre la dermis y la epidermis permite el intercambio de nutrientes entre ambas, ya que en la epidermis no hay riego sanguíneo, y evita el desplazamiento de las 2 capas.
- **Dermis:** Almohadilla fibroelástica donde se asienta la epidermis y se encuentran los anejos. La dermis está formada por fibras que la confieren elasticidad.

Tipos de piel

Se pueden utilizar diferentes criterios para clasificar la piel.

- **Según la epidermis.**
 - **Piel gruesa:** su aspecto es tosco, con los poros dilatados y de color opaco amarillento.
 - **Piel delgada:** presenta una superficie uniforme, con poros poco visibles y de color sonrosado translúcido.
- **Según la dermis:** La firmeza, elasticidad y capacidad de recuperación de la piel, dependen básicamente de las características de la dermis.
 - **Piel tónica:** es aquella que presenta tensión y elasticidad.
 - **Piel flácida:** aquella que ha perdido la elasticidad y la capacidad de recuperación después de someterse a una deformación.
- **Según las secreciones.**
 - **Piel grasa:** Este tipo de piel presenta una mayor actividad de las glándulas sebáceas. Tiende a constituir emulsiones con la fase continua formada por lípidos.

- **Piel seca:** Las pieles secas se desarrollan como consecuencia de una disminución en el contenido de agua del estrato córneo, dificultando dicha función barrera.
- **Piel normal:** Es aquella cuyo manto hidrolipídico se halla correctamente formado, con una cantidad de lípidos idónea y constituyendo una emulsión de fase externa acuosa o de fase externa oleosa, bien constituida. La función barrera no presenta ninguna alteración y la hidratación cutánea presenta una normalidad absoluta.

Impedancia de la piel

Las medidas de impedancia eléctrica pueden ser clasificadas en dos tipos. El primero es el estudio de los cambios de impedancia asociados con el sistema circulatorio y la respiración. El segundo implica la determinación de características de los tejidos corporales tales como: Hidratación, volumen intra y extracelular, porcentaje de grasa, las antes mencionadas según el tipo de piel, entre otras. Por definición, la impedancia eléctrica es la oposición que presenta el tejido biológico, al paso de una corriente a través de él.

Técnica terapéutica Biofeedback.

Su principio básico consiste en que si al individuo se le da información sobre el nivel de actividad de un proceso biológico y los cambios en el mismo, la persona podrá aprender a regular esta actividad.

Electromiografía de fibra aislada

Consiste en el estudio de la actividad eléctrica de dos fibras musculares aisladas permitiendo analizar la rapidez de la transmisión del impulso eléctrico desde el nervio al músculo en la placa motora. Esta técnica es muy útil para diagnosticar casos de miastenia gravis, que cursa con un síntoma

llamado fatigabilidad y que consiste en la debilidad muscular intensa y progresiva al realizar movimientos repetidos. Esta técnica sirve también para conocer la densidad de fibras motoras de cada unidad motora en una región determinada de un músculo.

Electromiografía con músculo contraído

Una ligera contracción voluntaria de un músculo provoca la activación de un grupo pequeño de unidades motoras que provocan una onda llamada potencial de acción. Cuando el músculo está afectado la onda generada por cada unidad motora es más pequeña de lo normal. Cuando hay afectación de varios nervios pero el músculo no está afectado ocasiona un incremento de la actividad de las unidades que todavía funcionan. Con el paso del tiempo los nervios o partes de él no afectadas se harán cargo de una mayor cantidad de tejido muscular que puede generar una onda de gran tamaño. Cuando existe una contracción mantenida involuntaria (o calambre) suele haber silencio eléctrico.

Electromiografía de fibra única

Es un estudio neurofisiológico de alta especialidad, que permite la evaluación de enfermedades que afectan la unión del nervio y el músculo - particularmente la miastenia gravis, a través de técnicas especiales que permiten medir las fibras musculares individuales.

Electromiografía de Fibra Simple

Se utiliza una aguja especial con un área de registro muy pequeña (25 micras de diámetro) que, empleando filtros (bajas: 500 Hz, altas: 10 kHz) que atenúan las bajas frecuencias, permite registrar y estudiar la actividad aislada de una sola fibra muscular. Las dos indicaciones fundamentales son la

detección de cambios en la estructura de la unidad motora y el estudio de la transmisión neuromuscular.

Instrumentación Electrónica

La instrumentación se encarga del sensado, amplificación, atenuación, filtrado, almacenamiento, visualización y procesamiento de la información proveniente de transductores que reciben variables físicas, químicas, térmicas, eléctricas, mecánicas, entre otros, a partir de las cuales se realiza el monitoreo, medida y control de procesos, empleando para ello tecnologías y dispositivos electrónicos.

Registro Electromiográfico

El registro se llama monopolar cuando uno de los electrodos no es influenciado por el foco generador y bipolar cuando ambos lo son de modo idéntico aunque de forma sucesiva al medir un potencial que se propaga a lo largo de un axón o de una fibra por debajo de ellos. Ambos electrodos otorgan una polaridad inversa al potencial captado. Se ha convenido en llamar negativo al primero registro bipolar o al único monopolar que capta dicho potencial. Asimismo, se ha convenido en neurofisiología en otorgar al electrodo negativo la entrada en el amplificador que determina movimientos hacia arriba de la línea del osciloscopio y lo inverso para el positivo.

Electromiografía

Etimológicamente electromiografía proviene de Electro: eléctrico, myo: músculo, grafo: gráfico. Es el estudio de las respuestas de los músculos a través de la interpretación de gráficos de los impulsos eléctricos provenientes de las fibras musculares.

Los electrodos de detección se deben colocar sobre el musculo a examinar, el electrodo de referencia debe ir en un lugar eléctricamente no relacionado con el musculo a examinar.

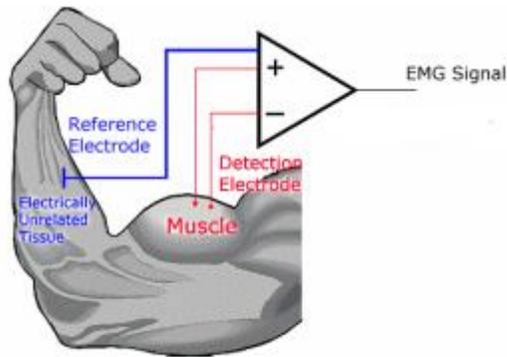


Figura 2. Modo de medición de la señal electromiografía [8]

Características de la señal EMG

La señal electromiográfica generalmente presenta amplitudes entre 0 - 10mV pico a pico, ó de 0 - 1.5 mVrms. Frecuencia entre 0 – 500Hz, y una frecuencia dominante entre 50 – 150Hz.

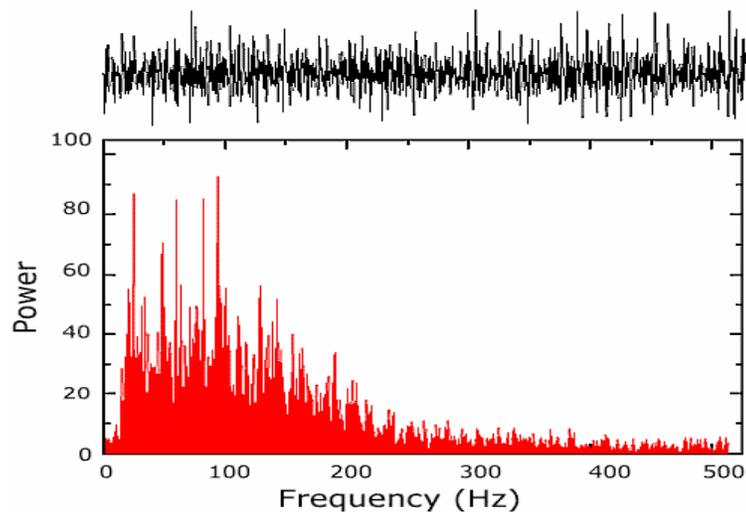


Figura 3. Espectro frecuencias [8]

Inconveniencias de medición de la señal.

- Ruido proveniente de las líneas de alta potencia.
- Ruido proveniente de la radiación electromagnética.
- Ruido inherente a los componentes electrónicos.
- Ruido proveniente del contacto de los electrodos con la piel.
- Movimientos de los cables.
- Inconvenientes en cuanto a colocación correcta en la zona muscular de estudio.

Características generales de un electromiógrafo

Los parámetros básicos más comunes entre los cuales un equipo de electromiografía funciona se enuncian a continuación:

- Rango de frecuencias entre 20 – 500Hz.
- Rechazo de modo común (CMRR) 120db como mínimo.
- Rango de ruido 0 -20Hz.
- Rango de amplitud 100 μ V – 90mV.
- Ganancia variable entre 1 – 16 veces.
- Impedancia de entrada aproximadamente de 6G Ω .
- Resolución del conversor análoga digital 8bits.
- Canales analógicos de entrada.
- Comunicación con PC

5.3 MARCO CONCEPTUAL

ELECTROMIÓGRAFO es un instrumento bioelectrónico para uso médico, tiene como función registrar las señales eléctricas de diversas unidades motoras de un músculo, transmitir las, visualizarlas y procesarlas en un ordenador en el cual un médico pueda analizarlas, para que por medio de estas pueda establecer el diagnóstico pertinente.

ELECTROMIOGRAFÍA: Técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica producida por los músculos. Instrumento: electromiógrafo.

Registro: Electromiografía.

PRE-AMPLIFICACION: La preamplificación como su prefijo la define es adaptar el nivel de entrada por medio de amplificaciones, atenuaciones entre otros métodos, básicamente se encarga de entregar la señal de entrada amplificada y lista para ser procesada por la instrumentación. Los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta para esta fase son la impedancia de entrada y salida, nivel de la señal mínima, el ruido que le está afectando, entre otras estas características son relevantes debido a que la señal captada es muy débil.

SEÑAL ELECTROMIOGRAFICA: se genera por el intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares debido a una contracción muscular.

IMPEDANCIA ELECTRICA: Es la oposición que presenta el tejido biológico, al paso de la corriente a través de él.

IMPEDANCIA DE ENTRADA: La impedancia de entrada de un amplificador determina la cantidad de corriente que toma el amplificador de la fuente.

IMPEDANCIA ELECTROQUIMICA DEL ELECTRODO: mide la oposición al paso de corriente que presenta la interfaz electrodo - electrolito

MODELO MATEMATICO: Son fórmulas matemáticas por medio de las cuales se expresan variables, parámetros, relaciones entre variables y operaciones.

DIAGRAMA ELECTRONICO: es la representación por medio de un plano de los componentes y conexiones que integran un circuito electrónico.

MATLAB: es un software matemático en el cual se desarrollan proyectos en donde se encuentren implicados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos. MATLAB integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente, sin necesidad de hacer uso de la programación tradicional.

6. METODOLOGIA

6.1 Tipo de Investigación: cualitativa, se propone basado en el estado del arte un modelo para la implementación de la etapa de preamplificación del electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada.

Descriptivo: narra el estado de las características de la etapa de preamplificación del electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada, el desarrollo de un modelo matemático, basado en un diagrama electrónico y su respectiva simulación en Matlab y en el laboratorio de la Universidad.

6.2 Metodología

El rediseño de la etapa de preamplificación del electromiógrafo digital, en su primera fase, consistió en la revisión bibliográfica, infográfico y artículos relacionados con el desarrollo de este proyecto. Posteriormente, se realizaron comparaciones, de los planos con el circuito que actualmente tiene el electromiógrafo en su fase de preamplificación, aquí se revisaron los inconvenientes físicos y electrónicos que este presenta.

El estado de las conexiones del electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada, presenta deficiencias, ya que las conexiones no son las adecuadas, actualmente el circuito de la etapa de preamplificación está en una baquelita universal, se recomienda que se realice un diseño de las pistas evitando cableado y garantizar que las conexiones del cable sean lo más estables posible ya que el movimiento de los cables genera ruido en las señales.

MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático contempla la interfaz de adquisición (impedancia de la piel y cable) y la preamplificación (amplificador), como se describe en el diagrama de bloques de la figura 4.



Figura 4. Diagrama de bloques

Interfaz de adquisición

Según el artículo [1] "Medición de impedancia eléctrica de la piel en el Rango de frecuencia de 5 a 1,000 Hz" la piel presenta características eléctricas semejantes a las de un circuito RC de tres elementos donde R_p y C se comportan como resistencia y capacitor variable. El cable se tomo como una resistencia.

IMPEDANCIA PIEL + CABLE

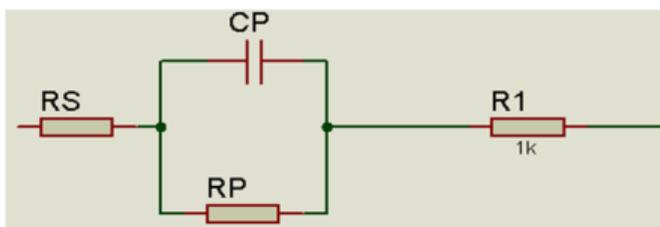


Figura 5 Diagrama eléctrico piel + cable

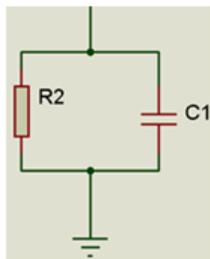
$$\begin{aligned}
 Z_1 &= R_S + \frac{R_p}{1 + R_p C_p S} + R_1 \\
 Z_1 &= \frac{R_S(1 + R_p C_p S) + R_p + R_1(1 + R_p C_p S)}{1 + R_p C_p S} \\
 Z_1 &= \frac{(R_S + R_1)(1 + R_p C_p S) + R_p}{1 + R_p C_p S}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} Z_1 \\ Z_1 \\ Z_1 \end{aligned}} \right\}
 \begin{aligned}
 Z_1 &\Rightarrow Z_{Piel+Cable} \\
 R_{Cable} &\Rightarrow R_1
 \end{aligned}$$

Figura 6 Modelo matemático Piel + Cable

Preamplificación:

En la etapa de preamplificación se toma como parámetro los valores de impedancia de entrada descrita en la hoja de datos como una resistencia en paralelo con un condensador, esto para cada amplificador.

Impedancia amplificador



$$Z_{IA} = \frac{R_2}{1 + R_2 C_1 S}$$

Figura 7 Diagrama eléctrico y modelo matemático de amplificador

Modelo:

Con base en lo anterior, se realiza un diagrama eléctrico, y se desarrolla el modelo matemático que se describe enseguida figura 8 y figura 9.

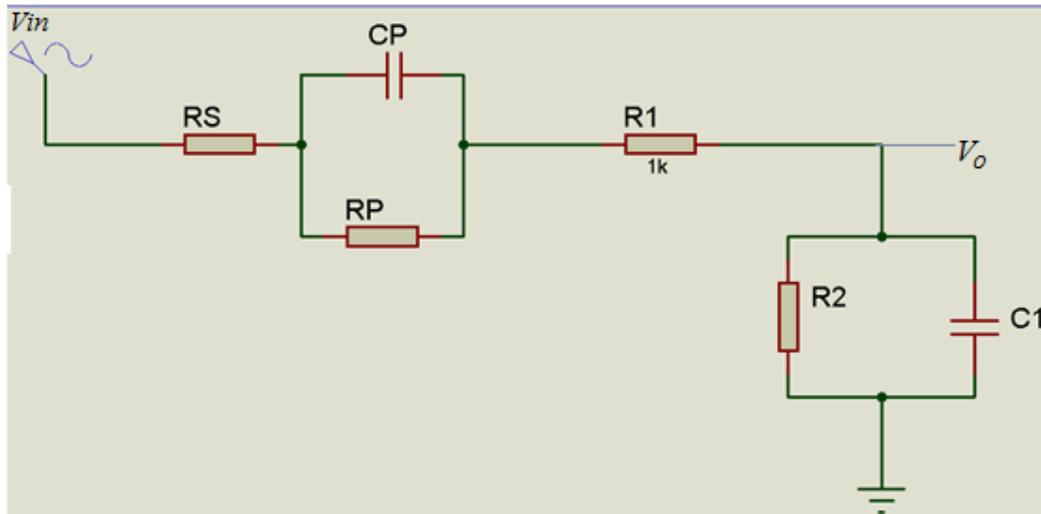


Figura 8 Diagrama eléctrico general

Como se describe anteriormente las variables que intervienen en el desarrollo del modelo matemático son:

V_{IN} = Señal de Entrada

V_o = Señal de Salida

Z_1 =Impedancia de la interfaz de adquisición

Z_{IA} =Impedancia del amplificación

A continuación se desarrolla el modelo matemático de la etapa de preamplificación el cual tiene como resultado la función de transferencia del diagrama eléctrico de la figura 8.

$$V_o = \frac{Z_{IA}}{Z_{IA} + Z_1} V_{IN}$$

$$V_o = \frac{\frac{R_2}{1 + R_2 C_1 S}}{\frac{R_2}{1 + R_2 C_1 S} + \frac{(R_s + R_1)(1 + R_p C_p S) + R_p}{1 + R_p C_p S}} * V_{IN}$$

$$V_o = \frac{\frac{R_2}{1 + R_2 C_1 S}}{\frac{R_2(1 + R_p C_p S) + (R_s + R_1)(1 + R_p C_p S) + R_p + R_2 C_1 S(R_s + R_1)(1 + R_p C_p S) + R_2 C_1 S R_p}{(1 + R_2 C_1 S)(1 + R_p C_p S)}} * V_{IN}$$

$$V_o = \frac{\frac{R_2}{1 + R_2 C_1 S}}{\frac{(R_2 + R_s + R_1 + R_s R_2 C_1 S + R_1 R_2 C_1 S) + (1 + R_p C_p S) + R_p(1 + R_2 C_1 S)}{(1 + R_2 C_1 S)(1 + R_p C_p S)}} * V_{IN}$$

$$V_o = \frac{R_2(1 + R_p C_p S)}{(R_2 + R_s + R_1 + R_s R_2 C_1 S + R_1 R_2 C_1 S)(1 + R_p C_p S) + R_p(1 + R_2 C_1 S)}$$

$$V_o = \frac{R_2(1 + R_p C_p S)}{(R_2 + R_s + R_1 + R_s R_2 C_1 S + R_1 R_2 C_1 S) + (R_2 R_p C_p S + R_s R_p C_p S + R_1 R_p C_p S + R_s R_2 C_1 S R_p C_p S + R_p C_p S R_1 R_2 C_1 S) + R_p + R_p R_2 C_1 S} * V_{IN}$$

$$V_o = \frac{R_2 + R_2 R_p C_p S}{R_2 + R_s + R_1 + R_p + S(R_s R_2 C_1 + R_1 R_2 C_1 + R_2 R_p C_p + R_s R_p C_p + R_1 R_p C_p + R_p R_2 C_1) + S^2(R_s R_2 C_1 R_p C_p + R_p C_p R_1 R_2 C_1)} * V_{IN}$$

Figura 9. Modelo matemático General

Simulación del Modelo Matemático

Los valores de impedancia de la piel, se toman del artículo mencionado anteriormente. El valor medido de la resistencia del cable es de 1KΩ. Basado en el estado del arte, las referencias de los amplificadores que se usan son INA114, AD620 y OPA620 los valores de impedancia de entrada fueron tomados de las hojas técnicas de cada uno.

En el siguiente cuadro se pueden observar las funciones de transferencia del modelo matemático con sus respectivas características de cada amplificador y sujeto.

SUJETO	AD620 R2=10GΩ; C1=2pf	INA114 R2=100GΩ; C1=6pf	OPA620 R2=100TΩ; C1=1pf
Rs=34466Ω, Rp=124080, Cp=12,98nf	$\frac{1.611e007 s + 1e010}{1.142 s^2 + 1.611e007 s + 1e010}$	$\frac{1.611e008 s + 1e011}{34.27 s^2 + 1.612e008 s + 1e011}$	$\frac{1.611e011 s + 1e014}{5712 s^2 + 1.611e011 s + 1e014}$
Rs=26696Ω, Rp=41861Ω Cp=14,2nf	$\frac{5.944e006 s + 1e010}{0.3293 s^2 + 5.946e006 s + 1e010}$	$\frac{5.944e007 s + 1e011}{9.878 s^2 + 5.948e007 s + 1e011}$	$\frac{5.944e010 s + 1e014}{1646 s^2 + 5.945e010 s + 1e014}$
Rs=39981Ω, Rp=366725Ω Cp=13.78nf	$\frac{5.053e007 s + 1e010}{4.142 s^2 + 5.054e007 s + 1e010}$	$\frac{5.053e008 s + 1e011}{124.3 s^2 + 5.056e008 s + 1e011}$	$\frac{5.053e011 s + 1e014}{2.071e004 s^2 + 5.054e011 s + 1e014}$

Cuadro 1. Funciones de transferencia del modelo matemático

Para modelar matemáticamente se debe caracterizar la señal, para esto se uso una señal sinusoidal con un espectro de frecuencia entre 0 a 500Hz ya que este es el rango más importante, según estado del arte.

Frecuencia	Función de transferencia	Frecuencia	Función de transferencia
sysA= frecuencia de 500Hz Amplitud 3Vp	$\frac{9425}{s^2 + 9.87e006}$	sys1= frecuencia de 500Hz Amplitud 1Vp	$\frac{3142}{s^2 + 9.87e006}$
sysB= frecuencia de 150Hz Amplitud 3Vp	$\frac{2827}{s^2 + 8.883e005}$	sys2= frecuencia de 150Hz Amplitud 1Vp	$\frac{942.5}{s^2 + 8.883e005}$
sysC= frecuencia de 50Hz Amplitud 3Vp	$\frac{942.5}{s^2 + 9.87e004}$	sys3= frecuencia de 50Hz Amplitud 1Vp	$\frac{314.2}{s^2 + 9.87e004}$

Cuadro 2. Funciones de transferencia de las señales de entrada

7. RESULTADOS

La simulación del modelo matemático se realiza en Matlab y en el laboratorio de robótica de la Universidad Militar Nueva Granada se hacen pruebas con los mismos valores de resistencia del artículo “Medición de impedancia eléctrica de la piel en el rango de frecuencia de 5 a 1.000Hz”

Para calcular la ganancia del amplificador AD620 se usa la siguiente fórmula, presente en la hoja de datos (datasheet) de este amplificador.

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

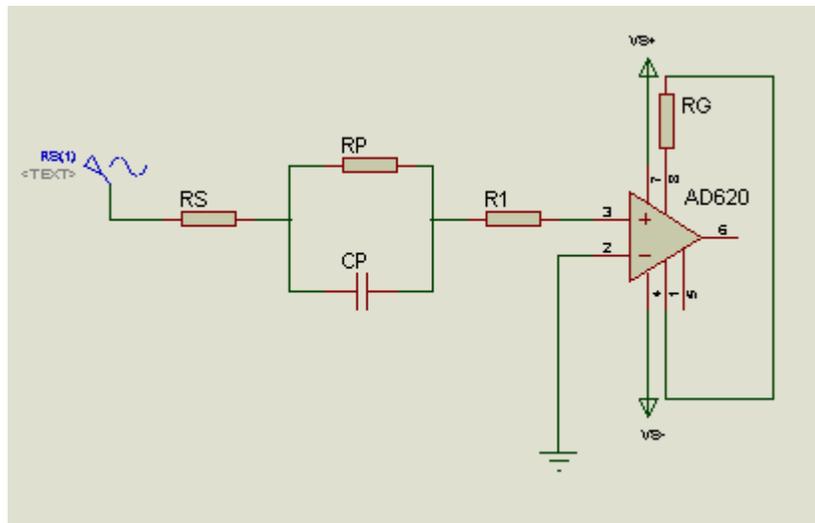


Figura 10. Diagrama Eléctrico

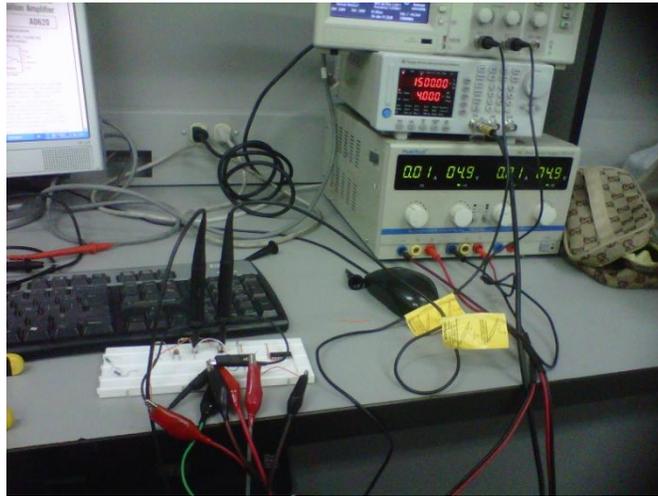


Figura 11. Práctica laboratorio UMNG

Con los tres amplificadores INA 110, AD620, OPA 620, se aplicó el modelo matemático, en el laboratorio solamente se realizaron pruebas con el AD620 por costos, y facilidad de adquisición, pues el INA110 y el OPA620, es necesario importarlo.

El máximo voltaje de alimentación que se le debe suministrar al AD620 es de 18 voltios, las señales que se usaron para la práctica en el laboratorio son del orden de 1 a 6 V de amplitud. Se logran amplificaciones máximo de 9 veces para señales de 2 voltios de amplitud y 3 veces para 6 voltios de amplitud. La señal se ve recorta cuando el valor del voltaje de salida supera el voltaje de alimentación de los amplificadores, como se observa en la figura12.

En el cuadro 3 se puede observar el valor de resistencia que se requiere para lograr amplitudes de 2 a 9 veces y sus respectivas ganancias según la amplitud de la señal de entrada.

RG Ω	49.400	24.700	16.467	12.350	9.880	8.233	7.057	6.175
Amplificacion								
Amplitud (V)								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	4	6	8	10	12	14	16	18
3	6	9	12	15	18	21	24	27
4	8	12	16	20	24	28	32	36
5	10	15	20	25	30	35	40	45
6	12	18	24	30	36	42	48	54

Cuadro3. Amplificación según voltaje de entrada.

La figura12 corresponde a una señal de entrada de 5Vpp/100Hz, su voltaje de alimentación de 8Vdc y la amplificación de 2veces, en esta figura se puede observar la señal amplificada recortada en los 8V. Este montaje corresponde al diagrama eléctrico de la figura10 con un RG: 49000 Ω

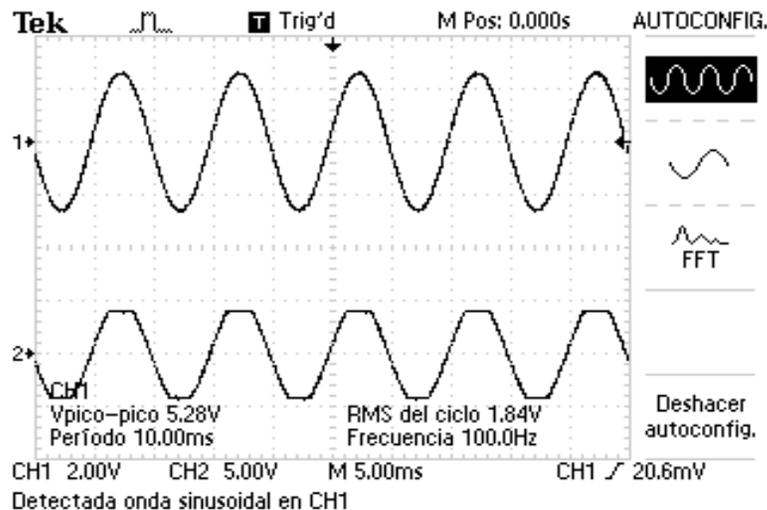


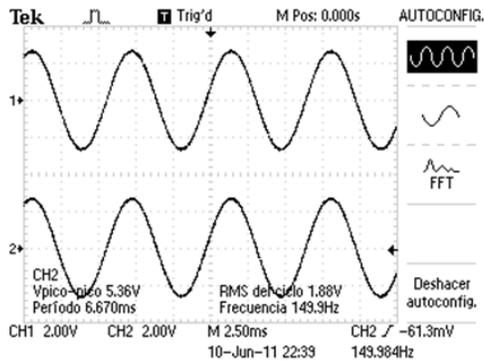
Figura 12. Señal amplificada recortada.

Amplificación = 1

Señal de entrada: 5Vpp/150Hz

Señal Amplificada: 5Vpp

Diagrama eléctrico



Modelo Matemático

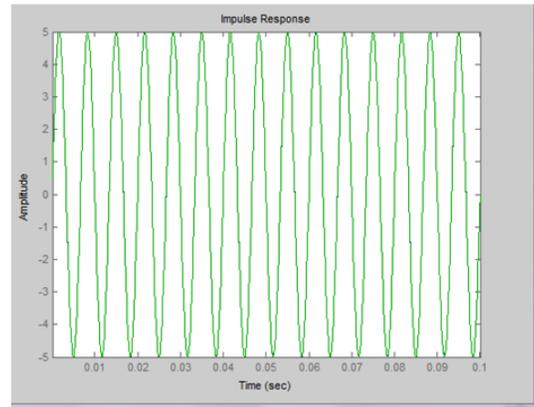


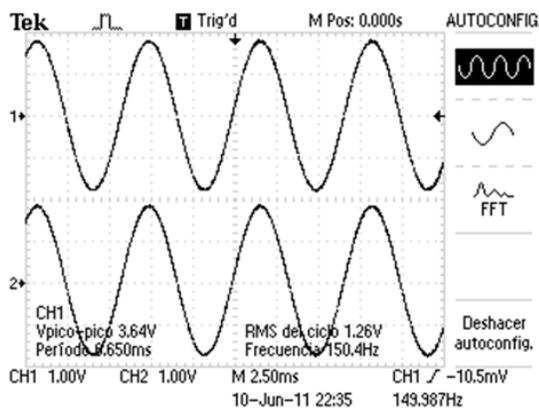
Figura 13. Resultado Diagrama eléctrico – modelo matemático con señal entrada 5Vpp y amplificación 1

Amplificación = 1

Señal de entrada: 3,6Vpp/150 Hz

Señal Amplificada: 3,6Vpp

Diagrama eléctrico



Modelo Matemático

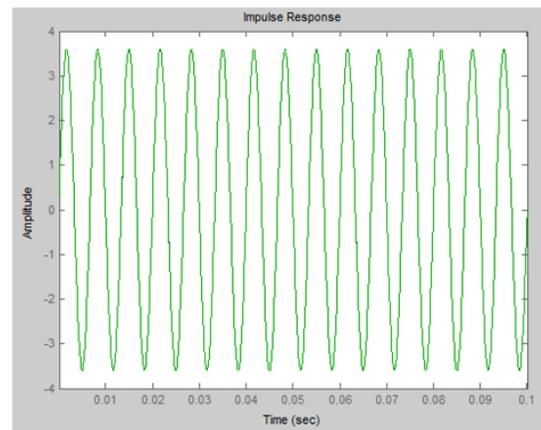


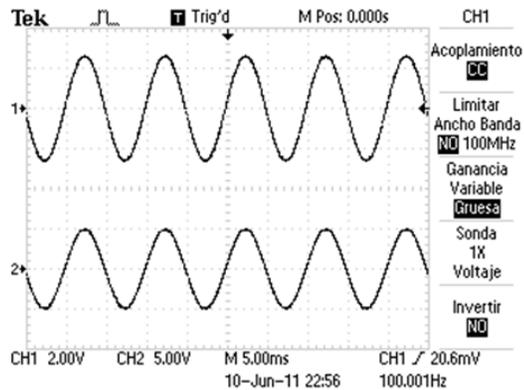
Figura 14. Resultado diagrama eléctrico – modelo matemático con señal entrada 3.6Vpp y amplificación 1

Amplificación = 2

Señal de entrada: 5Vpp / 100 Hz

Señal Amplificada: 10Vpp

Diagrama eléctrico



Modelo Matemático

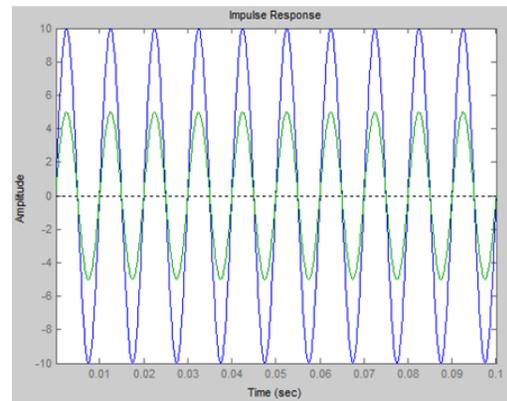


Figura 15. Resultado diagrama eléctrico – modelo matemático con señal entrada 5Vpp y Amplificación 2

La etapa de preamplificación del electromiógrafo digital de cuatro canales de la Universidad Militar Nueva Granada, requiere una amplificación de 500 veces en su etapa de preamplificación. Según el estado del arte, se puede realizar en una etapa, dando buenos resultados. En documentos de diseño y construcciones de equipos como electroencefalogramas y electrocardiogramas, se recomienda realizarlo en dos etapas para evitar saturación de los amplificadores de instrumentación. En la tabla 4 se puede observar los valores necesarios de resistencia R_G para lograr la ganancia de 500 veces en una única etapa, o en dos posibles etapas.

	Opcion 1	Opcion 2		Opcion 3	
	Etapa Unica	Etapa1	Etapa2	Etapa 01	Etapa 02
RG Ω	99	1008	5489	2058	2600
Amplificacion Amplitud V_p	500	50	10	25	20
0,0005	0,25	0,025	0,25	0,0125	0,25
0,002	1	0,1	1	0,05	1
0,004	2	0,2	2	0,1	2
0,006	3	0,3	3	0,15	3
0,008	4	0,4	4	0,2	4
0,01	5	0,5	5	0,25	5

Cuadro 4. Opciones para etapa de preamplificación de 500veces

Debido a que los valores comerciales de las resistencias son diferentes a lo que los cálculos arrojan, para la primera opción, la resistencia que se utilizaría es de 100Ω con la cual se obtiene una amplificación de 495 Veces, al igual que el resultado de la segunda opción con valores de resistencia de 1000Ω y 5600Ω con las cuales se obtienen amplificaciones de 50,4 y 9,8 veces. Para la tercera opción los valores más cercanos de resistencia son 2200Ω y 2700Ω con estas se consiguen 23,45 y 19,29 con lo cual la ganancia final adquirida es de 452veces, esta opción no es tan recomendable debido a que habría una pérdida de 48Veces. Se puede usar potenciómetros para acercarnos al valor de resistencia calculada, el inconveniente que se podría tener con estos elementos es que pierda calibración con el movimiento del equipo, por lo cual se debería realizar un arreglo de resistencias ajustadas a los valores que existen comercialmente como se muestra en las siguientes imágenes calculadas para la opción1.

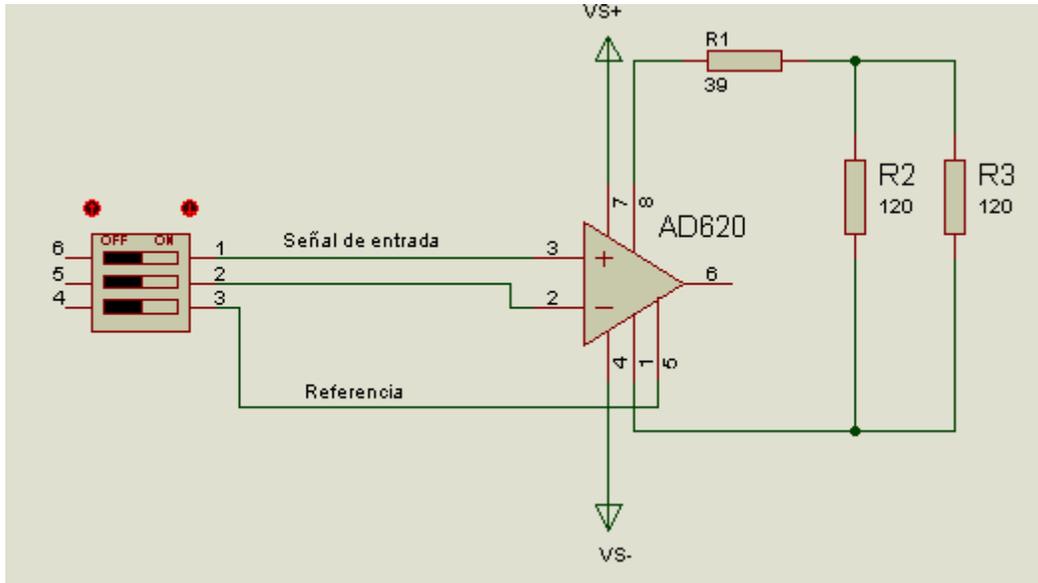


Figura 16. Diagrama A Opción 1: Ganancia= 500veces; Rg=99 mixto

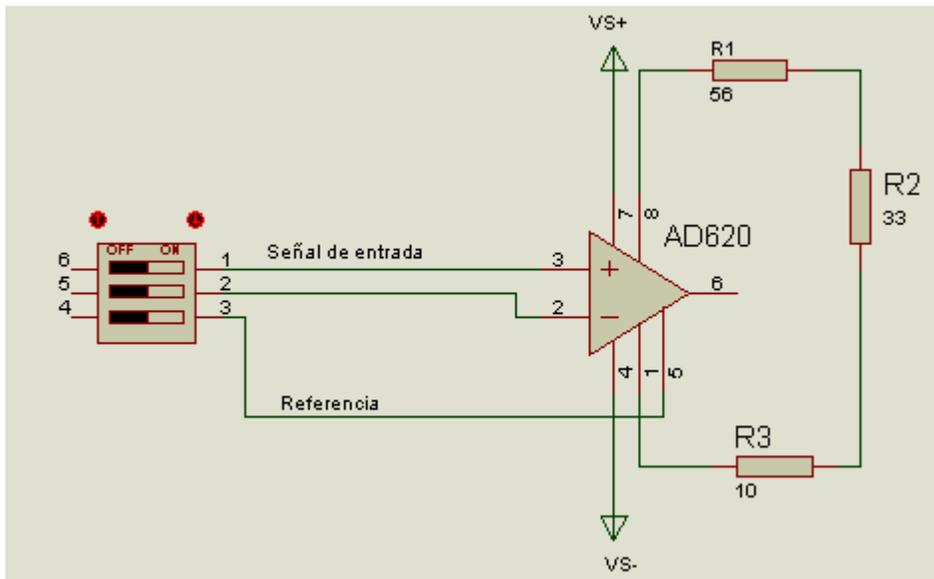


Figura17. Diagrama B Opción 1: Ganancia= 500veces; Rg=99 serie

Cualquiera de las opciones anteriores es funcional para un canal con una amplificación de 500 veces, el circuito impreso que se observa en la figura18 corresponde a la conexión con la configuración de la figura17 por cuatro canales.

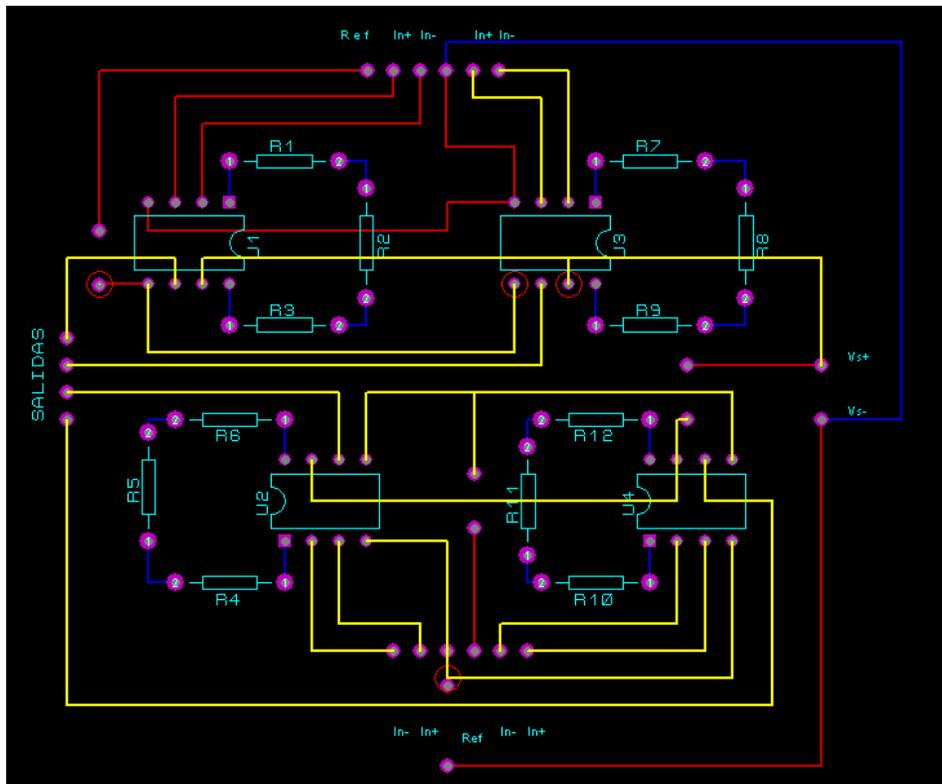


Figura18. Impreso para los cuatro canales con configuración Diagrama B

8. CONCLUSIONES

Al realizar una prueba con el circuito de Diana Carolina Beltrán et al. Se encontró que este generaba señales sin uno de los amplificadores, adicional a esto la presentación del circuito no es el adecuado, por este motivo el equipo puede estar presentando ruidos que disminuyan la calidad de la señal.

Con base en el estado del arte se realizó un diagrama eléctrico y basado en este un modelo matemático, se ejecutaron las simulaciones en el laboratorio con el diagrama eléctrico descrito y en Matlab se simuló el modelo matemático, con lo que se comprueba su funcionalidad.

Según los artículos consultados se seleccionaron tres amplificadores en AD620, INA114 y OPA620, los tres mostraron buen resultado en la simulación matemática, el amplificador que se seleccionó fue el AD620, por costos y facilidad de consecución.

Se pueden lograr amplificaciones de la señal no mayores al voltaje de alimentación de los amplificadores, se debería usar baterías para que la señal no se contamine del ruido de la red eléctrica.

9. SUGERENCIAS

Con base en el estado del arte, se debe revisar la disposición de la piel para hacer la toma del examen ya que factores como los vellos, el grosor de la piel o diferentes condiciones fisiológicas afectan la calidad de la señal, en algunos artículos recomiendan limpiar con agua y alcohol, otros con agua y jabón. Es importante de todas formas que el área donde se coloca el electrodo tenga el mejor contacto.

Otro factor que altera las señales bioeléctricas es el movimiento de los cables por lo que se recomienda que en la toma del examen se garantice esta condición.

Generalmente se usa una fuente de voltaje alimentada por la red eléctrica ya que esto disminuye costos, para disminuir el ruido de la red se recomienda que se haga un filtro notch 60 Hz, aun que lo ideal es que se use una batería.

Se continué optimizando las otras partes del electromiógrafo de la Universidad Militar Nueva Granada con el propósito de presentar una herramienta médica que ayude al galeno a diagnosticar y formular un tratamiento adecuado para mejorar el nivel de vida de las personas que lo requieran.

10. Glosario

- **Anejos:** los anejos epidérmicos son las uñas, el pelo y las glándulas.
- **Contracción:** Acción del musculo para acortar sus fibras.
- **Contracción Isotónica:** el músculo activo se acorta acercando sus dos extremos.
- **Contracción isométrica:** el músculo está activo, pero su longitud se mantiene constante.
- **Contracción excéntrica.** El músculo se activa, pero sus extremos se alejan, alargando el músculo.
- **Diagrama electrónico:** es la representación por medio de un plano de los componentes y conexiones que integran un circuito electrónico.
- **Dermis:** es la capa de piel situada bajo la epidermis, desempeña una función protectora, representa la segunda línea de defensa contra los traumatismos.
- **Electrodo** es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.
- **Electrolito:** un electrolito o electrólito es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente consisten de iones en solución, los electrólitos también son conocidos como soluciones iónicas.
- **Electromiografía:** técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica producida por los músculos.
- **Electromiógrafo:** instrumento por el cual se detecta energía potencial generada por el musculo celular, cuando estas células son activadas neuronalmente o eléctricamente.
- **Epidermis:** es la capa que está en contacto con el exterior. La epidermis es un epitelio estratificado formado por una serie de estratos cuya misión principal es producir queratina.

- **Elasticidad:** Acción de los músculos en la cual estos recuperan su forma después de una contracción.
- **Excitabilidad:** Acción del musculo al responder a los estímulos.
- **Función Barrera:** impide la entrada de sustancias nocivas para el organismo y la salida de sustancias imprescindibles para el buen funcionamiento del cuerpo humano. Frente a las agresiones mecánicas (la dermis puede soportar fuerzas de compresión y estiramiento), térmicas (la piel capta los cambios ambientales e informa de ellos al sistema nervioso central, para que ponga en marcha sus mecanismos), eléctricas (el estado córneo seco es un mal conductor de la electricidad) y ultravioletas (los organismos se han adaptado a las radiaciones solares mediante la formación de melanina, aunque ciertas radiaciones ultravioletas consigan penetrar y lesionar las células cutáneas).^[17]
- **Impedancia de la piel:** es la oposición que presenta el tejido biológico, al paso de una corriente a través de él.
- **Impedancia electroquímica del electrodo:** mide la oposición al paso de corriente que presenta la interfaz electrodo - electrolito
- **Matlab:** es un software matemático en el cual se desarrollan proyectos en donde se encuentren implicados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos. MATLAB integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente, sin necesidad de hacer uso de la programación tradicional.
- **Modelo matemático:** Son fórmulas matemáticas por medio de las cuales se expresan variables, parámetros, relaciones entre variables y operaciones.

- **Músculos Abductores:** se encargan de alejar las extremidades del eje central del cuerpo.
- **Músculos Aductores:** se encargan de llevar las extremidades hacia el eje central del cuerpo.
- **Músculos Pronadores:** hacen girar las extremidades hacia adentro.
- **Músculos Supinadores:** permiten la inclinación de las extremidades.
- **Músculos Flexores:** permiten la flexión de las extremidades.
- **Músculos Extensores:** permiten la extensión de las extremidades.
- **Piel delgada:** según la epidermis, piel que presenta una superficie uniforme, con poros poco visibles y de color sonrosado traslúcido.
- **Piel flácida:** según la dermis, aquella piel que ha perdido la elasticidad y la capacidad de recuperación después de someterse a una deformación.
- **Piel grasa:** este tipo de piel presenta una mayor actividad de las glándulas sebáceas. Tiende a constituir emulsiones con la fase continua formada por lípidos.
- **Piel normal:** aquella cuyo manto hidrolipídico se halla correctamente formado, con una cantidad de lípidos idóneos y constituyendo una emulsión de fase externa acuosa o de fase externa oleosa, bien constituida. La superficie no presenta ninguna alteración y la hidratación cutánea presenta una normalidad absoluta.
- **Piel gruesa:** según la epidermis, piel de aspecto tosco, con los poros dilatados y de color opaco amarillento.
- **Piel tónica:** según la dermis, es aquella piel que presenta tensión y elasticidad.
- **Piel seca:** Las pieles secas se desarrollan como consecuencia de una disminución en el contenido de agua del estrato córneo, dificultando dicha función barrera.

- **Pre-Amplificación:** La preamplificación como su prefijo la define es adaptar el nivel de entrada por medio de amplificaciones, atenuaciones entre otros métodos, básicamente se encarga de entregar la señal de entrada amplificada y lista para ser procesada.
- **Receptores Propioceptivos,** receptor sensorial que informan sobre el grado de tensión que desarrolla el músculo y su contracción.
- **Receptores Sensitivos:** receptor sensorial que responde a determinados estímulos que llegan a la piel. Informan sobre el dolor, calor, frío.
- **Señal electromiográfica:** se genera por el intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares debido a una contracción muscular.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Instrumentación Electrónica; Miguel A. Pérez García, Juan C. Álvarez Antón, Juan C. Campo Rodríguez, Javier Ferrero Martin, Gustavo J. Grillo Ortega; Thomson.
- [2] Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos; Boylestad Nashelsky; México; 8ªEdicion, Pearson, Prentice Hall; ISBN 970-26-04326-2
- [3] Microscopia electrónica de transmisión área biomédica: teoría y practica; Romero de Pérez Gloria; Colección Julio Carrizosa Venezuela 12; ISBN 9589205542
- [4] Sensores y acondicionadores de señal; Ramón Pallás Areny; 3ªEdicion, alfa omega; ISBN 970-15-0577-8.
- [5] Tratamiento digital de señales principios algoritmos y aplicaciones; John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis; 3ªEdición, Pearson, Prentice Hall; ISBN 84-8322-000-8
- [6] books.google.com.co/books?id=aqcaSGADoo4C&pg=PT123&lpg=PT123&dq=electrodos+de+superficie&source=web&ots=naayjkjQWQ&sig=S8c74uiQw6OHd3XIGdT8GyAORf4&hl=es

12. INFOGRAFIA

- [1] Araiza LizardeH, Muñoz Guerrero R, Medicion de impedancia eléctrica de la piel en el Rango de frecuencia de 5 a 1000Hz
[Http://www.medigraphic.com/pdfs/inge/ib-2007/ib072.pdf](http://www.medigraphic.com/pdfs/inge/ib-2007/ib072.pdf)
- [2] Delgado Saa Jaime, Electromiografia,
http://www.iuinorte.edu.co/extensiones/ids/Ponencias/PONENCIAS%20BIOINGENIERIA/Electromiografia_JAIME_DELGADO.PDF
- [3]http://www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/articulos/Electromiografo_Barreda.doc
- [4]<http://electronet.freesevers.com/ecg/>
- [5]<http://focus.ti.com/docs/solution/folders/print/272.html>
- [6]<http://www.biolinkarg.com/emgnico/index.htm>
- [7]<http://hab2007.sld.cu/Members/felix/electromiografo-digital-de-ocho-canales/>
- [8]www.ate.uniovi.es/14005/documentos/clases%20pdf/ELECTROMIOGRAFIA.pdf -
- [9]<http://telesalud.ucaldas.edu.co/rmc/articulos/v2e6a5.htm>
- [10]<http://www.postpoliomexico.org/NeuronaMúsculoUnidadMotora/NeuronaMúsculoUnidadMotora.html>
- [11]<http://www.medigraphic.com/espanol/e-htms/e-inge/e-ib2007/e-ib07-2/em-ib072e.htm>
- [12]<http://cencomed.sld.cu/socbio2007/trabajos/pdf/conferencias/tallerpost/misiones.pdf>
- [13]http://www.uco.es/cmfd/new_cmfd/articulosPublicados/pdf/06_82_da_silva.pdf
- [14]http://www.uninorte.edu.co/extensiones/IDS/Ponencias/PONENCIAS%20BIOINGENIERIA/Eletromiografia_JAIME_DELGADO.pdf

- [15] www.medmayor.cl/odontologia/segundo/fisiologia/fisiotraduccion.d
- [16] <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=sistema%20b%20C3%A1sico%20de%20registro%20de%20electromiograf%C3%ADa&source=web&cd=1&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fante proyecto-protesis-mano-robotica.googlecode.com%2Ffiles%2F27.%2520espa%25C3%25B1a%2520EMG.pdf&ei=iTbATo1IzdOBB4uE8bwH&usg=AFQjCNF5XojVgHnWSxUiyx6vDyoCZeEJgQ>
- [17] <http://www.mundobelleza.com/consejos%20belleza/cara/conoce%20tu%20piel303/conocetupiel.htm>
- [18] http://www.uniboyaca.edu.co/fcei/index.php?option=com_content&view=category&id=131&layout=blog&Itemid=647

13. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Diagrama eléctrico de pre-amplificación actual.....	10
FIGURA 2. Modelo de medición de la señal electromiográfica.....	20
FIGURA 3. Espectro de frecuencia.....	20
FIGURA 4. Diagrama de bloques	25
FIGURA 5. Diagrama eléctrico piel + cable.....	25
FIGURA 6. Modelo matemático piel + cable.....	26
FIGURA 7. Diagrama eléctrico y modelo matemático del amplificador	26
FIGURA 8. Diagrama eléctrico general.....	27
FIGURA 9. Modelo matemático general.....	28
FIGURA 10. Diagrama Eléctrico.....	30
FIGURA 11. Práctica Laboratorio UMNG.....	31
FIGURA 12. Señal amplificada recortada.....	32
FIGURA 13. Resultado diagrama eléctrico – modelo matemático con señal entrada 5Vpp y Amplificación 1.....	33
FIGURA 14. Resultado diagrama eléctrico – modelo matemático con señal entrada 3,6Vpp y Amplificación 1.....	33
FIGURA 15. Resultado diagrama eléctrico – modelo matemático con señal entrada 5Vpp y Amplificación 2.....	34

FIGURA 16. Diagrama A Opción 1: Ganancia= 500veces;
Rg=99 mixto p y Amplificación 2 36

FIGURA 17. Diagrama B Opción 1: Ganancia= 500veces;
Rg=99 mixto p y Amplificación 2 36

FIGURA 18. Impreso para los cuatro canales con configuración
Diagrama B 37

14. LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. Funciones de transferencia del modelo matemático.....	29
CUADRO 2. Funciones de transferencia de las señales de entrada.....	29
CUADRO 3. Amplificación según voltaje de entrada.....	32
CUADRO 4. Opciones para etapa de preamplificación 500 veces	35