

**REGISTRO DE FATIGA MUSCULAR, SIMULADA Y EMULADA EN UN BRAZO  
ROBOT CON SEÑALES ELECTROMIOGRAFICAS**

**PRESENTADO POR:  
LAURA MILENA LOPEZ FLOREZ  
CARLOS EDUARDO MESA MESA  
JOSE ARTURO PINZON HERRERA**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
COORDINACIÓN DE INGENIERIA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2016**

**REGISTRO DE FATIGA MUSCULAR, SIMULADA Y EMULADA EN UN BRAZO  
ROBOT CON SEÑALES ELECTROMIOGRAFICAS**

**PRESENTADO POR:  
LAURA MILENA LOPEZ FLOREZ  
CARLOS EDUARDO MESA MESA  
JOSE ARTURO PINZON HERRERA**

**Tesis Para Optar Por El Título De Ingeniero Biomédico**

**Asesor: Edward Hernando Bejarano Barreto  
Ingeniero En control Electrónico**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
COORDINACIÓN DE INGENIERIA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2016**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarnos por el buen camino, darnos fuerzas para seguir adelante y no desfallecer ante los problemas que se presentaban, enseñándonos a superar las adversidades sin perder las esperanzas. A mi familia quienes fueron nuestro apoyo incondicional para lograr nuestra meta y a aquellas personas quienes estuvieron pendientes en el planteamiento, proceso y elaboración de la investigación, la dedicación, consejos y tutorías fueron muy importantes para conseguir resultados que fueron claves en la terminación de actividades relacionadas con el tema.

## **AGRADECIMIENTOS**

Durante todo el tiempo de aprendizaje se lograron grandes metas y retos para obtener un título profesional con altos valores y estándares de calidad, en donde se ve la destreza del estudiante y la colaboración de un grupo de Profesionales, Humano y Ético como lo son los profesores de la Universidad ECCI. Desde allí nacen los verdaderos profesionales que cumplirá con las labores y responsabilidades en un medio que demanda las necesidades Nacionales e internacionales.

Agradecemos al Ing. Edward Bejarano por su apoyo y entrega en la ayuda a que esta tesis se pudiera lograr.

<b>TABLA DE CONTENIDO</b>	<b>PAG.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	11
1.1 Formulación Del Problema.....	11
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	12
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	13
3.1 Objetivo General.....	13
3.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	14
4.1 Marco Teórico.....	14
4.1.1 Fisiología Del Tejido Muscular.....	14
4.1.2 El Miocito.....	15
4.1.3 Contracción Del Musculo Esquelético.....	16
4.1.3.1 Mecanismos Generales De La Contracción Muscular.....	16
4.1.3.2 Energía De La Contracción Muscular Generación De Trabajo Durante La Contracción Muscular.....	16
4.1.3.3 Fuentes De Energía Para La Contracción Muscular.....	17
4.1.3.4características De La Contracción De Todo El Musculo.....	17
4.1.4 Utilización De Los Músculos.....	17
4.1.4.1 Tipos De Acción Muscular.....	18
4.1.4.2angulo De La Articulación.....	19
4.1.5 Movimiento De Los Músculos.....	21
4.1.5.1bíceps Alternos Con Supinación.....	21
4.1.5.2 Bíceps Alterno Con Martillo.....	22
4.1.5.3 Bíceps Con Polea.....	23
4.1.6 Factores Metabólicos En La Fatiga.....	24
4.1.6.1 Lugares Donde Potencialmente Se Puede Producir La Fatiga.....	25
4.1.6.2 Agotamiento De Los Depósitos Energéticos.....	25
4.1.7 Electromiografía (Emg).....	26
4.1.7.1 Tratamiento De La Señal Emg.....	28
4.1.7.2 Amplificación.....	28
4.1.7.3filtros.....	29
4.1.7.4 Digitalización.....	29
4.2 Estado Del Arte.....	30
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	33
5.1 Tipo De Investigación.....	33
5.2 Diseño Metodológico.....	33
5.3 Modelo Físico.....	34
5.4 Modelo Matemático.....	38
<b>6. CRONOGRAMA</b> .....	41
<b>7.ELABORACION DEL PROYECTO</b> .....	42
<b>8. PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	52
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	63
<b>ANEXOS</b> .....	64
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	69

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		<b>Pagina</b>
<b>Figura 1</b>	Tejido del musculo.....	14
<b>Figura 2</b>	Estructura del musculo.....	15
<b>Figura 3</b>	Acción de los músculos.....	18
<b>Figura 4</b>	Acción concéntrica.....	18
<b>Figura 5</b>	Acción estática.....	19
<b>Figura 6</b>	Acción excéntrica.....	19
<b>Figura 7a</b>	Bíceps braquial a 100°.....	20
<b>Figura 7b</b>	Reducción del ángulo a 90°.....	20
<b>Figura 7c</b>	Incrementación del ángulo a 120° reducción de transmisión de fuerza musculo-hueso.....	20
<b>Figura 8</b>	Movimiento de inspiración y flexión con rotación de muñeca	21
<b>Figura 9</b>	Ejercicio de semipronacion.....	22
<b>Figura 10</b>	Musculo supinador.....	22
<b>Figura 11a</b>	Posición distal de la mano.....	23
<b>Figura 11b</b>	Giro del bíceps sobre su eje.....	23
<b>Figura 11c</b>	Función del bíceps braquial como supinador.....	23
<b>Figura 12</b>	Angulo para calcular la fuerza.....	35
<b>Figura 13</b>	Verificación de la energía cinética rotacional.....	36
<b>Figura 14</b>	Plano del emg.....	42
<b>Figura 15</b>	Montaje en protoboard.....	43
<b>Figura 16</b>	Circuito digital.....	43
<b>Figura 17</b>	Tarjeta emg.....	44
<b>Figura 18</b>	Señal defectuosa.....	45
<b>Figura 19</b>	Tarjeta Arduino.....	45
<b>Figura 20</b>	Circuito eléctrico para procesar la señal emg.....	45
<b>Figura 21</b>	Pulso de adquirió de la señal normal.....	46
<b>Figura 22</b>	Filtro de la señal adquisición de pulsos positivos.....	47
<b>Figura 23</b>	Pulso de salida señal bíceps.....	47
<b>Figura 24</b>	Tarjeta emg adquisición señal bíceps – tríceps.....	48
<b>Figura 25</b>	Registro de la fatiga muscular.....	48
<b>Figura 26a</b>	Ensamble de los circuito a cajas.....	49
<b>Figura 26b</b>	Circuito emg y fuente de voltaje en cajas.....	49
<b>Figura 27</b>	Brazo robot.....	50

<b>LISTA DE TABLAS</b>		<b>PAG</b>
<b>Tabla 1</b>	Factores metabólicos que causan la fatiga.....	18
<b>Tabla 2</b>	Tipos de investigación.....	27
<b>Tabla 3</b>	Masas en kg.....	31
<b>Tabla 4</b>	Cronograma.....	33
<b>Tabla 5</b>	Rutinas carga 2kg.....	52
<b>Tabla 6</b>	Rutinas carga 5kg.....	55
<b>Tabla 7</b>	Rutinas cargas de 5,5kg.....	58

<b>LISTA DE GRAFICAS</b>		<b>PAG</b>
<b>Grafica 1</b>	Musculo bíceps con carga 2kg	45
<b>Grafica 2</b>	Musculo tríceps con carga 2kg	46
<b>Grafica 3</b>	Bíceps con carga de 5kg	48
<b>Grafica 4</b>	Bíceps en presencia de fatiga	49
<b>Grafica 5</b>	Tríceps carga de 5kg	49
<b>Grafica 6</b>	Incrementación de fatiga en el tríceps	50
<b>Grafica 7</b>	Demostración de la fatiga muscular en el bíceps	51
<b>Grafica 8</b>	Adaptación del muscular en el tríceps a la carga	51
<b>Grafica 9</b>	Indicador de máximo voltaje por musculo con carga 2kg	53
<b>Grafica 10</b>	Indicador de máximo voltaje por musculo con carga 5kg	54



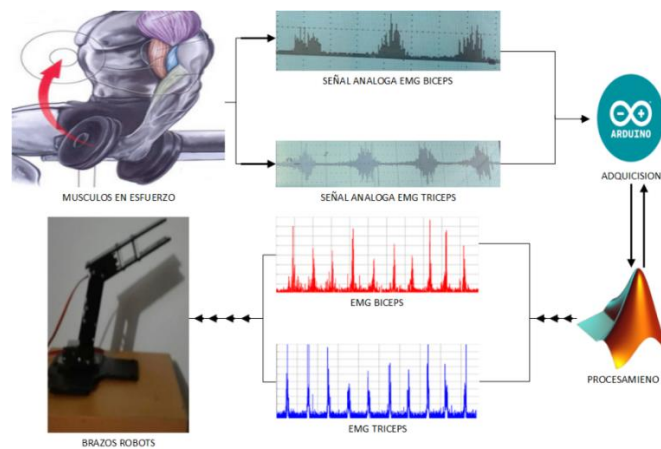
## RESUMEN

El principal objetivo de la investigación es determinar la fatiga muscular en tiempos y movimientos con diferentes cargas, se realizó la revisión de la literatura que fueron relevantes para los puntos de la investigación y los artículos “Brazo Robótico Controlado Por Electromiografía”, “A Learning Scheme for Reach to Grasp Movements: On EMG-Based Interfaces Using Task Specific Motion Decoding Models” y “Effect of Lower Etremity Muscular Fatigue on Motor Control Performance” entre otros.

El proyecto se presenta mediante simulación y emulación del mismo, para este proceso se diseñaron dos tarjetas de Electromiografía (EMG) para la adquisición de la señal de los músculos Bíceps y Tríceps, una tarjeta que filtra la señal Análoga manteniendo pulsos positivos, una tarjeta Arduino quien es el centro de operaciones ya que esta tiene la programación indica para recibir y transmitir las señales al software por lo cual se visualizara en una interfaz gráfica de Matlab, posterior a esto el hardware también se encarga de controlar dos Servomotores mediante la programación ya establecida para identificar los movimientos de los músculos.

En las pruebas realizadas se puede observar el comportamiento de los músculos en la interfaz gráfica durante la rutina de ejercicio, cada servomotor también indica los registros de movimientos proporcionados por el musculo en cualquier actividad, aquí se determina la fatiga muscular debido a los comportamientos aplicados en las pruebas, una vez realizado los estudios con cargas asignadas durante un tiempo determinado se debe cambiar los valores en Kg para continuar con la investigación.

### DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROYECTO



## INTRODUCCIÓN

La presente investigación comprende de los riesgos que puede causar una fatiga muscular, lo cual están enfocados aquellos deportistas o personas que a diario realizan una rutina de ejercicios sin contar con los riesgos que se puede presentar si no se tiene los cuidados necesarios.

La característica principal por riesgos de la fatiga muscular es el desconocimiento de las causas que esta puede presentar durante la actividad física, no llevar un cronograma especificado que permita desarrollar con claridad un nivel básico de ejercicios.

Para analizar el problema es necesario mencionar algunos factores por lo cual se desconoce. Uno de ellos es no contar con equipos para medir el comportamiento muscular en una etapa de ejercicio, esto permite conocer la capacidad motora del musculo para establecer unos parámetros controlados.

Otro factor de riesgo se presenta en las personas inexpertas en el tema, terminan con una lesión o fuerte dolor muscular dejando atrás el ejercicio y recurren a otros medios que no son buenos para la salud.

Ya mencionados los problemas que se puede presentar en cualquier ejercicio, mostraremos unas rutinas y series que no perjudican nuestro sistema muscular logrando buenos resultados mediante un sistema de análisis que comprende de equipos diseñados especialmente para el seguimiento y comportamiento de los músculos a estudiar

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Existen diversos tipos de ejercicio que pueden producir daños musculares. Entre estos, encontramos ejercicios de larga duración como sesiones intensas de pesas, ejercicios isométricos, carreras informales y especialmente ejercicios que enfatizan las contracciones excéntricas. Aquellos que han participado en entrenamiento de pesas, frecuentemente han experimentado dolor muscular, sobre todo si el mismo ha tenido fases de contracción excéntrica.

Todos los días hay un número considerado de personas realizando cualquier tipo de ejercicios, esto implica que deben hacer un precalentamiento antes de realizar cualquier ejercitación muscular, muchas personas ya tienen su rutina, como hay algunas que no tiene claridad de su actividad y no tiene un control de los tiempos de ejercitación y se exceden ocasionando daños internos, ante esto se puede presentar una fatiga muscular, en donde implica rupturas en las fibras musculares interrumpiendo su deporte o actividad diaria programada. De tal forma que la recuperación puede ser rápida como también un poco demorada dependiendo de los daños ocasionados.

No solo las personas aficionadas al deporte puede sufrir este tipo de lesiones, los profesionales también necesitan controlar su actividad diaria deportiva, ya que ellos tiene un desgaste físico considerado y requieren de un cronograma más específico para llevar a cabo su rutina.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El desgarre muscular por exceso de ejercicio es uno de los principales problemas tanto en deportista como de las personas que realizar una actividad de ejercicio en casa, esto implica que muchas personas por llegar a ser deportistas de cierto nivel o simplemente por vanidad exceden los niveles de excitación muscular y terminan en fatiga o desgarres. Por esta razón nos surge la siguiente pregunta.

¿Es posible emular y simular en un brazo robot la fatiga muscular usando señales electromiografías tomadas del musculo bíceps?

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Existe un porcentaje de la población en nuestro país que practica alguna actividad física y sufren micro lesiones, ya que no cuentan con la información, recursos, o un guía especializado en rutinas físicas que controle el desgaste muscular causado por ejercicio excesivo.

Partimos de una idea que consiste en realizar un estudio de fatiga muscular y así poder determinar con rutinas de ejercicio el tiempo adecuado para no llevar a futuros daños musculares. Por lo tanto este proyecto se basa en un prototipo existente de brazo robot y una interfaz gráfica para realizar el registro la fatiga muscular. Este brazo robot nos permitirá observar el comportamiento de la actividad eléctrica de los músculos y su comportamiento durante el ejercicio en donde determinara el punto de fatiga.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un prototipo de un brazo robot existente, que permita emular y simular la actividad física presentada en el bíceps, estas señales se registraran en una interfaz gráfica para determinar la fatiga muscular, dichos registros se verán reflejados en el brazo robot permitiendo conocer el comportamiento en el bíceps con cada rutina de ejercicios.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- ✓ Diseñar un algoritmo para el movimiento de un brazo robot existente basado en servomotores
- ✓ Analizar el funcionamiento normal y cansancio muscular he implementarlo al prototipo (brazo robot) para identificar el descenso de la actividad eléctrica del musculo que allí se presentan en cada rutina de ejercicio.
- ✓ Demostrar en una serie de movimientos los resultados obtenidos de la investigación que permite analizar los beneficios y riesgos a los que somete una persona al realizar rutinas de ejercicio enfocadas al musculo bíceps.

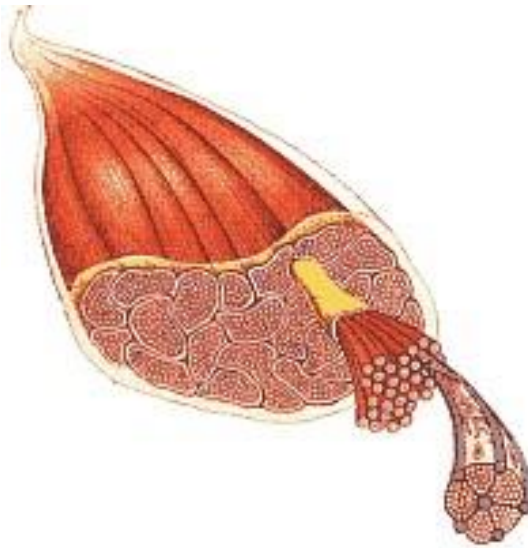
## 4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 MARCO TEÓRICO

#### 4.1.1 FISIOLOGÍA DEL TEJIDO MUSCULAR

El tejido muscular, es el encargado de la contracción que produce por una disminución en una dirección opuesta al engrosamiento del musculo manteniendo su volumen constante. Esta contracción, la realizan unas células denominadas miocitos, células musculares o fibras musculares. Estas celular poseen unas proteínas las cuales son las encargadas de la contracción como lo son la actina y la misiona. Al observar el miocito podemos ver que tienen una serie de bandas que se encuentran en las miofibrillas y se encargan de la contracción.

- ✓ Cuando estas bandas se alternan, se dice, que el músculo es estriado.
- ✓ Cuando no son visibles estas bandas se dice que el músculo es liso.



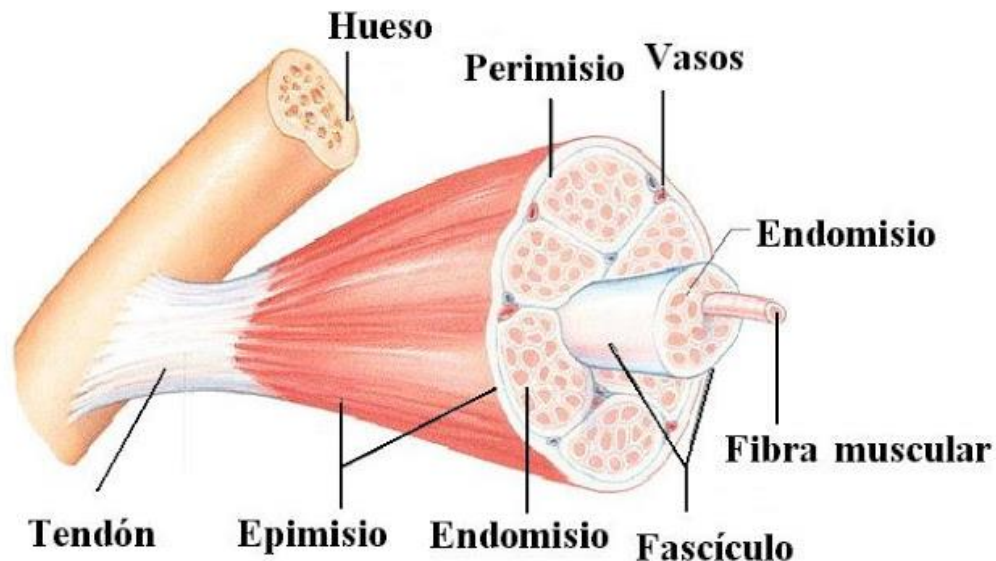
**Figura 1.** Tejido del musculo

Existen 4 tipos de tejido muscular:

- ✓ Tejido muscular cardiaco. No se contrae voluntariamente.
- ✓ Tejido muscular visceral. Es siempre involuntario.
- ✓ Tejido muscular esquelético: Forma parte del aparato locomotor. Los músculos son órganos que están conformados por este tipo de tejidos.

- ✓ Tejido conjuntivo en los músculos: Tejido que establece conexión con los otros tejidos y sirve de soporte a diferentes estructuras del cuerpo; es un tejido rico en fibras y de abundante sustancia intercelular. Sus funciones son:
  - Protección mecánica.
  - Mantiene la temperatura en el músculo.
  - Es la vía de entrada de vasos linfáticos y nervios.
  - Almacén de grasa.

El músculo esquelético está unido a los huesos por medio de tendones. Las fibras musculares o miocitos están rodeadas por una membrana de tejido conectivo, llamado ENDOMISIO. Las distintas células se agrupan así en un fascículo, rodeado éste por otra membrana (PERIMISIO). Los distintos fascículos formarán ya el músculo como tal, envuelto en la membrana que se llama EPIMISIO.



**FIGURA 2.** Estructura del musculo

#### 4.1.2 EL MIOCITO.

Es la célula de los tejidos musculares especializada en la contracción. Puede tener 3 formas:

1. Cilíndrica.
2. Cónica.
3. Fusiforme.

El miocito son las células que forman los músculos, son multinucleadas los cuales están en una posición adyacentes. Tienen una membrana que recibe el nombre de sarcolema y un citoplasma llamado sarcoplasma.

...“Toda la fibra celular presenta invaginaciones en su membrana hacia el sarcoplasma, que reciben el nombre de túbulos T o túbulos transversos. También encontramos gran cantidad de mitocondrias alineadas y especializaciones responsables de la contracción que son las MIOFIBRILLAS.

Dentro del citosol encontramos diversas sustancias como el ATP, un pigmento responsable del almacén y captación de oxígeno (MIOGLOBINA, de color rojo como los músculos), proteínas y sustancias inorgánicas.”...[1]

### **4.1.3 CONTRACCIÓN DEL MUSCULO ESQUELÉTICO**

#### **4.1.3.1 Mecanismo General De La Contracción Muscular**

- 1) Un potencial de acción viaja a lo largo de la fibra motora hasta sus terminales sobre las fibras musculares.
- 2) En cada terminal, el nervio secreta una pequeña cantidad de la sustancia transmisora: acetilcolina.
- 3) La acetilcolina actúa en una zona local de la membrana de la fibra muscular para abrir múltiples canales a través de moléculas proteicas que flotan en la membrana.
- 4) La apertura de los canales activados por acetilcolina permite que grandes cantidades de iones de sodio difundan hacia el interior de la membrana de la fibra muscular. Esto inicia el potencial de acción en la membrana.
- 5) El potencial de acción despolariza la membrana muscular y buena parte de la electricidad del potencial de acción fluye a través del centro de la fibra muscular, donde hace que el retículo sarcoplasmático libere grandes cantidades de iones de calcio.

#### **4.1.3.2 Energía De La Contracción Muscular Generación De Trabajo Durante La Contracción Muscular**

Cuando un musculo se contrae contra una carga realiza un trabajo (transfiere energía del musculo hasta la carga externa) El trabajo se define mediante la siguiente ecuación:

$$T = C \times D$$



T: Trabajo generado /C: Carga/D: Distancia del movimiento que se opone a la carga

#### **4.1.3.3 Fuentes De Energía Para La Contracción Muscular.**

El ATP es una fuente muy importante para la contracción muscular y al mismo tiempo es la fuente de energía necesaria para que se provoque la contracción muscular

#### **4.1.3.4 Características de la contracción de todo el musculo.**

Muchas características de la contracción muscular se pueden demostrar desencadenando espasmos musculares únicos. Esto se puede conseguir con la excitación eléctrica instantánea del nervio que inerva un musculo o haciendo pasar un estímulo eléctrico breve a través del propio musculo dando lugar a una única contracción súbita que dura una fracción de segundo.”...[2]

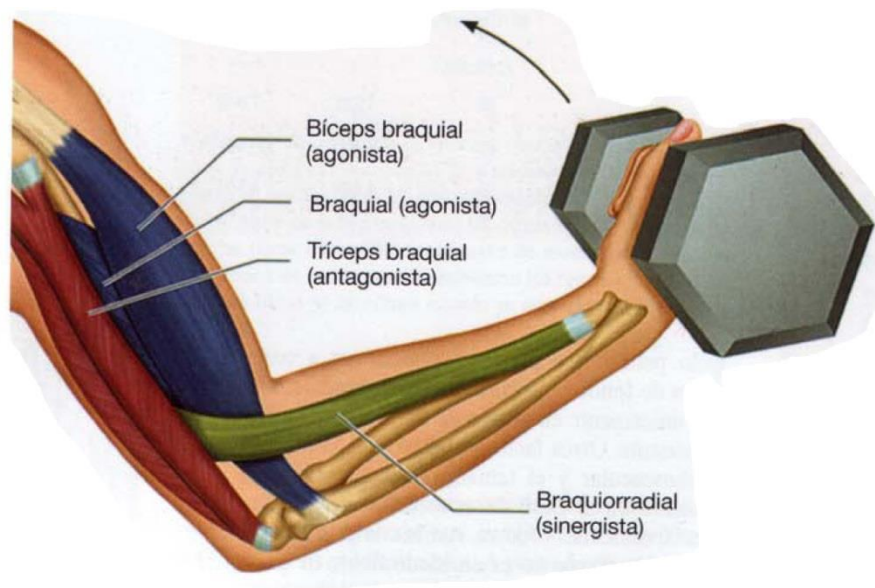
#### **4.1.4 UTILIZACIÓN DE LOS MÚSCULOS**

...”Entendemos que cuando se estimulan todas las fibras de una unidad motora actúan al mismo tiempo que y que distintos tipos de fibras se van movilizando por fases, dependiendo de la naturaleza de la actividad. Ahora podemos volver al nivel general, centrando nuestra atención en cómo funcionan los músculos para producir movimientos.

Los más de 600 músculos esqueléticos varían ampliamente en cuanto a tamaño forma y utilización. Cada movimiento coordinado requiere la aplicación de fuerza muscular. Esto se logra mediante:

- Los agonistas o movimientos principales, músculos que son los principales responsables del movimiento;
- Los antagonistas, músculos que se oponen a los movilizadores principales;
- Los sinergistas, musculo es que ayudan a los movilizadores principales.

Tal como se ilustra en la figura 4, la flexión uniforme del codo requiere el acortamiento de los músculos braquial anterior y bíceps braquial (agonista) y la relajación del tríceps braquial (antagonista). El musculo supinador largo (sinergista) ayuda al braquial y al bíceps braquial en su flexión de la articulación.

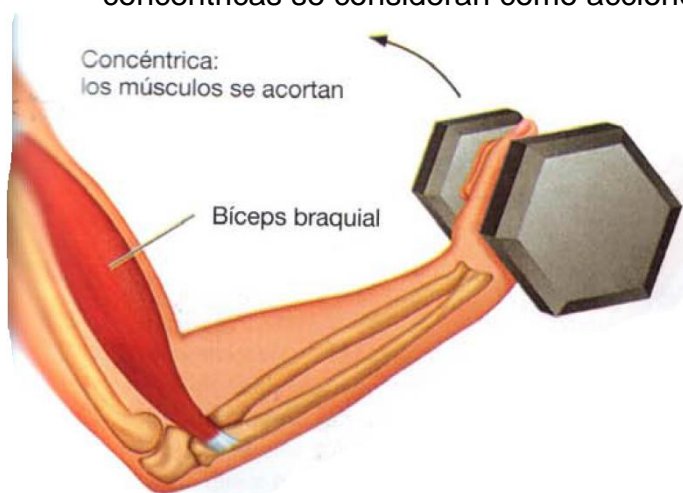


**Figura 3.** Acción de los músculos agonistas, antagonistas y sinergistas durante la flexión. (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 46.)

#### 4.1.4.1 Tipos De Accion Muscular

El movimiento muscular puede clasificarse generalmente en tres tipos e acciones:

- ✓ **Accion Concentricas:** es la accion principal de los musculos, el acortamiento. Puesto que se produce movimiento articular las acciones concentricas se consideran como acciones dinamiacas (figura 5).



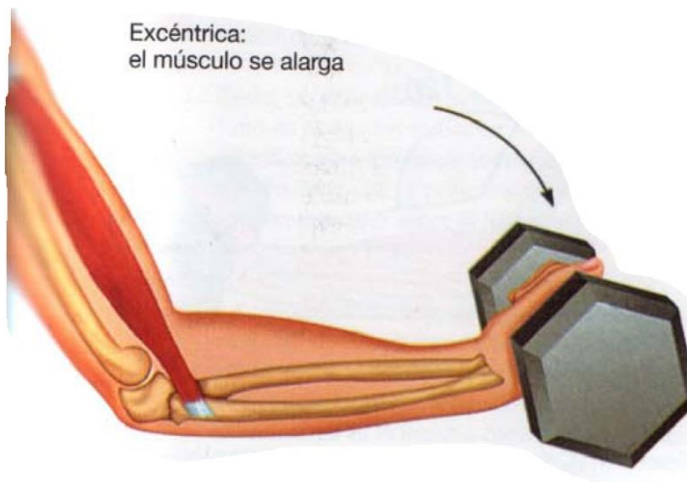
**Figura 4.** Accion concéntrica (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 47).

- ✓ **Acción estática:** los músculos pueden actuar también sin moverse. Cuando esto ocurre, el músculo genera fuerza, pero su longitud permanece estática (invariable) también recibe el nombre de acción isométrica. (Figura 6).



**Figura 5.** Acción estática (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 47).

- ✓ **Acción excéntrica:** los músculos producen fuerza cuando se alargan, puesto que el movimiento articular se produce, esta es también una acción dinámica un ejemplo de esto es la acción del bíceps braquial cuando el codo se extiende para bajar un gran peso.



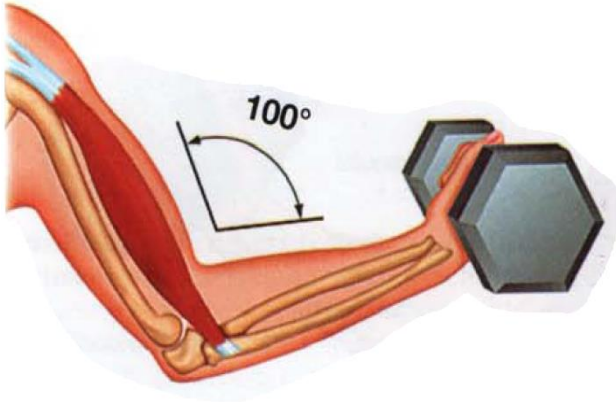
**Figura 6.** Acción Excéntrica. (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 47).

#### 4.1.4.2 Angulo De La Articulación

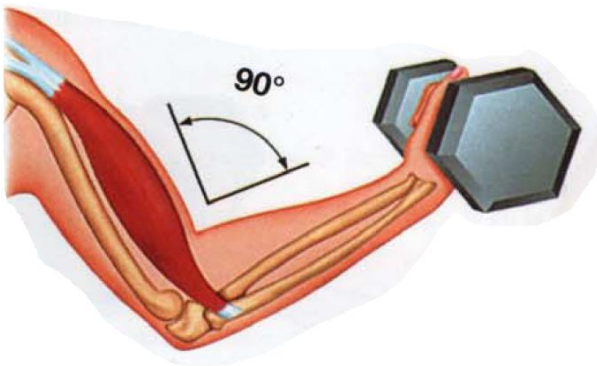
Dado que los músculos ejercen su fuerza a través de las palancas Oseas, comprender la disposición física de estas poleas musculares y de estas palancas Oseas es crucial para entender el movimiento. La unión del tendón bíceps abarca solamente una décima parte de la distancia comprendida entre el surco del codo y

la resistencia pesada que se mantiene en la mano, así para sostener un peso de 4,5kg el musculo debe ejercer 10 veces (45kg) esta fuerza.

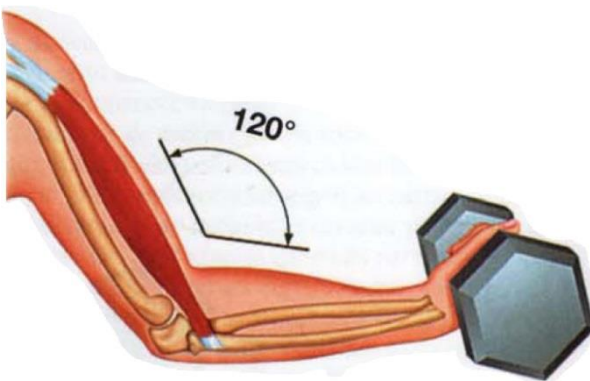
Una mayor o menor flexión de la articulación del codo alterara el ángulo en que se aplica fuerza, reduciendo la intensidad de la fuerza transferida al hueso (figura 8).”...[3]



**Figura 7a.** bíceps braquial actuando en el codo a un ángulo de 100°. (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 48).



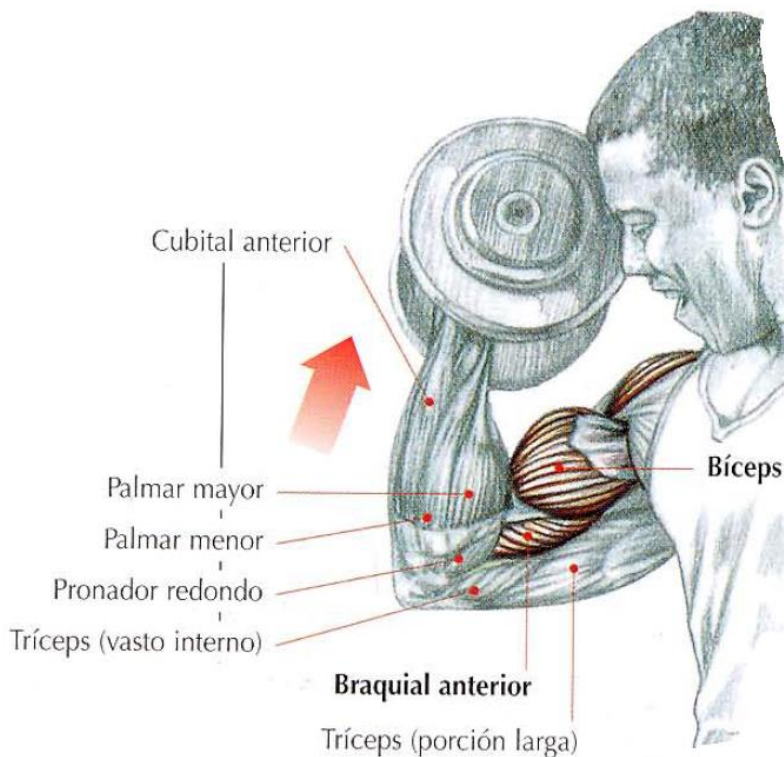
**Figura 7b.** reducción del ángulo de optimización a 90°. (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 48).



**Figura 7c.** Incremento del ángulo a 120° reduce la fuerza transferida del músculo al hueso. (Libro fisiología del esfuerzo y del deporte página 48).

## 4.1.5 MOVIMIENTO DE LOS MÚSCULOS

### 4.1.5.1 Bíceps Alternos Con Supinación



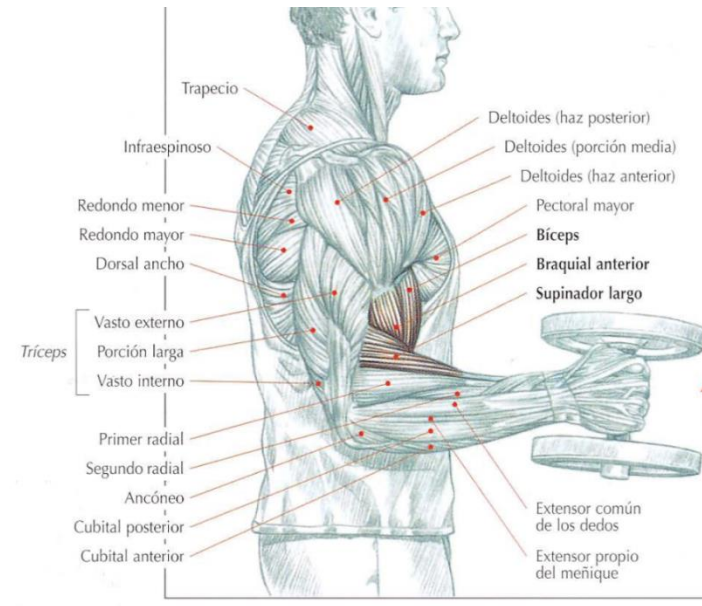
**Figura 8.** Movimiento de Inspirar y flexiona con rotacion externa de la muñecar.  
(Libro Guía De los Movimientos de Musculación deporte página 2).

Sentado una mancuerna en cada mano cogida en semipronacion:

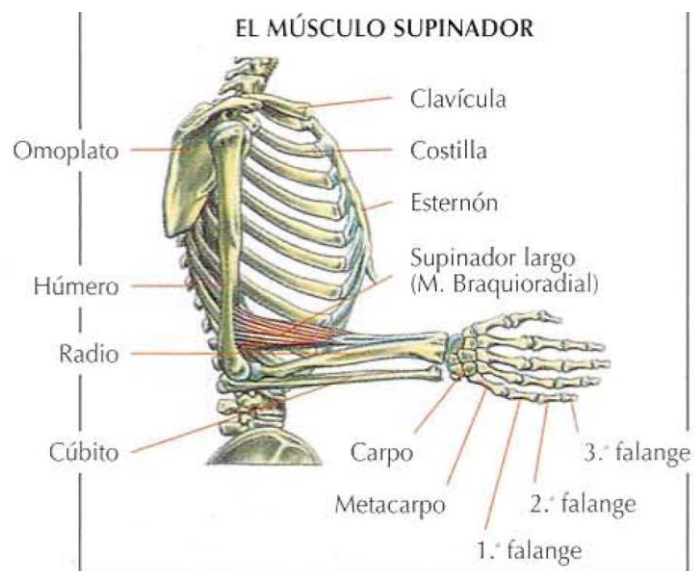
- Inspirar y flexionar los codos efectuando una rotacion externa de la muñeca antes de que los antebrazos alcancen la horizontal;
- Finalizar la flexion elevando los codos espirar al final del movimiento.

En este ejercicio se ponen a funcionar los musculos, supinador largo (humero-cubito-radial) braquial anterior, biceps braquial, deltoides anteriores y en menor medida, el coracobraquial y el haz clavicular del pectoral mayor.

#### 4.1.5.2 Bíceps Alterno Con Martillo



**Figura 9.** Ejercicio de Semipronación. (Libro Guía De los Movimientos de Musculación deporte página 2).



**Figura 10.** Musculo Supinador. (Libro Guía De los Movimientos de Musculación deporte página 2).

De pie o sentado, con una mancuerna en cada mano, cogida en semipronación:  
 - Ispirar y efectuar una flexion de los codos simultaneamente o  
 alternativamente, espirar al final del movimiento.

Es el mejor esjercicio para desarrollar el supinador largo (humero-cubito-radial). Tambien ejercita el biceps, el braquial anterior y en menor medida, el primer y segundo radiales.

#### 4.1.5.3 Biceps Con Polea.

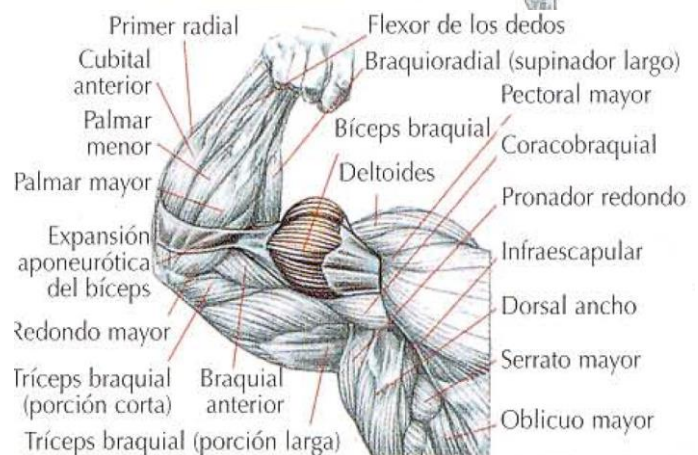
**Figura 11a.** Cuando la mano se situa en pronacion, el tendon distal del musculo biceps braquial se encuentra parcialmente enrollado alrededor del radio.. (Libro Guía De los Movimientos de Musculación deporte página 6).



**Figura 11b.** Cuando el biceps braquial se contrae la fuerza ejercida sobre el tendon distal hace que el radio gira sobre su eje haciendo que la mano se situe en supinacion. (Libro Guía De los Movimientos de Musculación deporte página 6).



**Figura 11c.** Observsvon: la margen de su funcion de flexor del codo, el musculo biceps braquial tambien en el musculo supinador mas potente. (Libro Guía De los Movimientos de Musculación deporte página 6).



La variante realizada con una cerda en lugar del mango solicita más intensamente el vasto externo del tríceps. Efectuando el movimiento con las manos en supinación, se traslada una parte del esfuerzo hacia el vasto interno una contracción isométrica de uno o dos segundos al final de la extensión permite exhibir claramente el esfuerzo.

Si se realiza el ejercicio con una carga pesada se aconseja inclinar el tronco hacia delante para mejorar la estabilidad. Este movimiento, muy fácil de ejecutar, puede realizarlo principiantes a fin de adquirir fuerza suficiente para pasar a movimientos más complejos. Los mejores resultados se obtienen con series de 10 a 15 repeticiones.”...[4].

#### **4.1.6 FACTORES METABÓLICOS EN LA FATIGA**

- ✓ El mantenimiento de la fuerza muscular durante el ejercicio depende de la generación de energía química (ATP) a través del metabolismo no oxidativo (anaeróbico) y oxidativo (aeróbico).
- ✓ La fatiga se produce cuando los sustratos precursores para la producción de ATP se han agotado o cuando los productos de desecho del metabolismo se han acumulado en los músculos.
- ✓ Estos sucesos metabólicos pueden producir la fatiga por medio de acciones en los procesos nerviosos que activan los músculos. Ambos, el sistema nervioso central y el periférico pueden verse afectados.
- ✓ La reducción en los niveles musculares de ATP, fosfocreatina, y glucógeno, así como la reducción en la disponibilidad de la glucosa de la sangre pueden impedir el rendimiento muscular. La reducción de los niveles de glucosa puede también afectar al sistema nervioso central. Los incrementos en los niveles de magnesio intramuscular, ADP, fosfato inorgánico, ion hidrógeno y radicales libres pueden impedir el correcto funcionamiento del músculo. Además, los incrementos en los niveles de amonio y la hipertermia pueden contribuir a la fatiga, probablemente afectando al sistema nervioso central.
- ✓ Un programa de entrenamiento apropiado e intervenciones nutricionales pueden mejorar la resistencia a la fatiga y el rendimiento deportivo a través de una mejora en la habilidad de los músculos para mantener la producción de ATP.  
Se ha dedicado bastante esfuerzo al estudio de los mecanismos de fatiga que potencialmente causan la reducción en la fuerza y/o la producción de potencia muscular durante el ejercicio y el papel que juegan algunos factores metabólicos. Estos factores metabólicos se pueden categorizar de manera general como



desgaste de los sustratos energéticos (ATP y otros compuestos bioquímicos que se usan para producir el ATP) y la acumulación de metabolitos derivados del catabolismo de los sustratos energéticos (Tabla 1).

**TABLA 1. Factores metabólicos que causan la fatiga**

<b>Desgaste de sustrato energético</b>	<b>Metabolitos derivados</b>
ATP	Iones Magnesio ( $Mg^{2+}$ )
Fosfocreatina	Difosfato de adenosina(ADP)
Glucógeno muscular	Fosfato inorgánico (P)
Glucosa sanguínea	Iones de lactato
	Iones de Hidrógeno ( $H^+$ )
	Amonio
	Radicales libres
	Calor

#### **4.1.6.1 Lugares Donde Potencialmente Se Puede Producir La Fatiga**

La fatiga es un proceso multifactorial que dificulta la realización del ejercicio o deporte. De manera general se puede definir como la incapacidad para mantener la fuerza o potencia requerida o esperada o, como la reducción en la capacidad de generar fuerza y potencia. Aunque la fatiga puede involucrar a muchos sistemas, la mayoría de la atención se centra en el músculo esquelético y en su habilidad para generar fuerza. Por esto, en la búsqueda de los focos potenciales de la fatiga se necesita considerar las fases involucradas en la activación del músculo esquelético.

Ha sido habitual que los científicos del ejercicio consideren ambos mecanismos en el origen de la fatiga, el central y el periférico, y en verdad, ambos contribuyen a reducir el rendimiento muscular durante el ejercicio.

#### **4.1.6.2 Agotamiento De Los Depósitos Energéticos**

Una disponibilidad reducida de los sustratos involucrados en la producción de energía puede limitar el suministro de ATP durante el ejercicio y comprometer la función del músculo esquelético y la función del sistema nervioso central. Estos sustratos son la FCr, el glucógeno muscular y la glucosa sanguínea.

**ATP.** Numerosos estudios han demostrado que la concentración de ATP en muestras de tejido muscular con fibras musculares de varios tipos, está razonablemente bien protegido durante el ejercicio, cayendo ~30-40%.

Sin embargo, en los análisis de fibras musculares aisladas, se observa que el ATP desciende más en las fibras tipo II “fibras rápidas” tras el ejercicio intenso lo cual limita la habilidad de estas fibras para contribuir al desarrollo de la potencia (Casey et al., 1996). Además, puede haber pequeñas reducciones temporales y espaciales en la disponibilidad del ATP dentro del micro ambiente local de ciertas enzimas clave dependientes del ATP (miosina ATPasa, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPasa, Ca<sup>2+</sup> ATPasa en el retículo sarcoplasmático) y dentro de los canales de liberación del Ca<sup>2+</sup> del retículo sarcoplasmático. Dutka y Lamb (2004) demostraron en ratas que esta reducción en el ATP puede contribuir a la fatiga. En su experimento, una reducción de la concentración de ATP impidió el acoplamiento del ciclo excitación-contracción y la producción de fuerza en fibras musculares sin membrana. En seres humanos, durante el ejercicio breve de alta intensidad y en las últimas fases del ejercicio prolongado y vigoroso, se observan incrementos en los productos del catabolismo del ATP lo que implica que el ritmo de utilización del ATP excede el ritmo de resíntesis”...[4]

#### **4.1.7 ELECTROMIOGRAFÍA (EMG)**

La membrana de las células excitables se encuentra polarizada, siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior. En la célula muscular, con un electrodo situado en el interior de la fibra y otro en el exterior se puede detectar una diferencia de potencial de reposo de unos 90 milivoltios. Este potencial es producido por diferencias existentes en la concentración de diversos iones (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Cl, etc.). Además, obedeciendo a señales procedentes de otras células, la fibra muscular puede sufrir despolarizaciones transitorias (potenciales de acción) que determinan la actividad de la maquinaria contráctil de la fibra. En el músculo podemos distinguir dos tipos de unidades, las anatómicas y las funcionales. La unidad anatómica es la llamada fibra muscular y la unidad funcional es la unidad motora.

Una unidad motora es un grupo de fibras musculares inervado por una única moto neurona de la médula espinal o de un núcleo motor del tallo cerebral. Este concepto fue introducido por Liddell y Sherrington y comprende una moto neurona, su axón, las ramificaciones de éste y el conjunto de fibras musculares sobre los que estos hacen contacto sináptico. Si la moto neurona sufre una despolarización, ésta recorre todo el axón hasta las terminaciones sinápticas y provoca la despolarización, casi sincrónica, en todo el conjunto de fibras musculares de la unidad motora.

La unidad contráctil de la musculatura del esqueleto es la fibra muscular, que es una célula cilíndrica de unos 50 µm de diámetro, que al ser estimulada se contrae desarrollando fuerza. Un músculo consiste en haces paralelos de fibras musculares. La activación de cada fibra muscular se hace a través del axón de la fibra nerviosa motriz que la inerva. Según la posición y la función del músculo, el

número de fibras musculares inervadas por un mismo axón puede variar entre uno o más de mil. El conjunto formado por la célula nerviosa motriz en la espina dorsal, su axón y las fibras musculares que éste inerva constituye la unidad funcional básica del sistema muscular y se conoce por unidad motora –UM– (figura 1). Cuando el potencial de acción del nervio alcanza el punto en el que éste se une con el músculo, se libera una cierta cantidad de un transmisor químico (la acetilcolina) que origina la despolarización local de la membrana de la fibra muscular. El transmisor es rápidamente neutralizado por una sustancia denominada estereato de acetilcolina, quedando la unión mio-neuronal libre para una nueva excitación. Al potencial complejo que originan las fibras de una UM se le conoce por potencial de la unidad motriz (PUM) y es la suma de los potenciales de acción de las distintas fibras de la UM (potenciales de acción cuasi-sincrónicos en UM normales).

Con todo esto, un músculo puede considerarse como un conjunto de unidades motoras dispuestas en paralelo, entre las cuales se encuentran otras fibras musculares modificadas llamadas Husos Musculares que contienen elementos sensoriales que perciben las tracciones en el músculo y sirven para el servo-control de la posición del músculo. El significado de una orden de excitación dirigida a un músculo se refiere al número mayor o menor de unidades motoras que recibirán una orden de despolarización. Una orden motora puede ser mínima, si solo ordena actividad a una única unidad motora, o máxima, si ordena la contracción completa del músculo. La actividad de una unidad motora es el elemento individualizable mínimo de la contracción muscular. En el electromiograma (EMG) se registra la actividad del músculo y en él se puede distinguir la activación de sus unidades motoras, las variaciones características de estas activaciones y las relaciones de unas unidades con otras.

El número de fibras musculares que contiene cada unidad motora determina la finura o la delicadeza de los movimientos que puede ejecutar. Este número de unidades recibe el nombre de «tasa de inervación» y cuanto menor sea (es decir, muchas moto neuronas y pocas fibras musculares) más flexibilidad motora tendrá el músculo. Por lo tanto, La fuerza de la contracción muscular se gradúa controlando el número de axones que se estimulan y la frecuencia de estimulación de cada axón.

Cada unidad motora ocupa un territorio en el cual es posible registrar su actividad. Este territorio es algo mayor que el que físicamente ocupa sus fibras. De hecho, las unidades no se agavillan unas junto a otras, ni hay una frontera definida entre ellas; por el contrario, sus fibras o grupos de fibras se entrelazan con las de unidades vecinas de tal forma que en una reducida sección transversal de músculo conviven varias unidades motoras. En líneas generales, se puede afirmar que una unidad motora de un miembro superior se corresponde con un área de unos 5-7 mm de radio. En los miembros inferiores son 7-10 mm. Estos valores se han obtenido por medios electrofisiológicos.

La señal de EMG es generada por los potenciales de acción de diferentes unidades motoras, que se activan durante una contracción muscular y se propagan en volumen conductor. Diferentes unidades motoras son activadas de forma asíncrona, lo que permite movimientos suaves.

La electromiografía de superficie solo puede usarse para medir los potenciales de músculos superficiales y es sensible a la actividad eléctrica en un área demasiado amplia. Esta medida es muy sensible a la posición de los electrodos y la cantidad de grasa que se encuentre entre la piel y el músculo. Las señales suelen tener mayor amplitud en zonas donde existe menos cantidad de grasa en comparación con las zonas donde existe mayor cantidad. Los tejidos del cuerpo tienden a atenuar las frecuencias altas de las señales, como el efecto de filtro pasa bajas.

#### **4.1.7.1 Tratamiento De La Señal Emg**

Las señales EMGS, son colectadas típicamente mediante electrodos bipolares de superficie, ubicados sobre la piel. Estas han sido utilizadas para el control de prótesis de miembros superiores desde 1948 [5]. Estas señales proveen información sobre la actividad neuromuscular que las origina, siendo esencial esta información en: diagnóstico clínico, rehabilitación y como fuente de control para dispositivos activos y esquemas de estimulación eléctrica funcional [4]. Hargrove L. et al. [2], realizaron un trabajo comparativo de clasificación con señales EMG superficiales e intramusculares, concluyendo que la información extraída en las dos clases de señales es igualmente valiosa, sin encontrar diferencias significativas en su capacidad de clasificación. Este resultado es importante, ya que brinda la seguridad de continuar utilizando las señales EMGS en futuros trabajos de investigación aplicada.

Las señales EMGS son generadas por la contracción muscular, por lo que su adquisición requiere de una correcta identificación de las regiones musculares comprometidas en la ejecución de los movimientos a clasificar. Debido a la elevada resistencia eléctrica natural de la piel, se recomienda la aplicación de un gel que mejore la conductividad además de lograrse una buena superficie de contacto y adherencia con los electrodos. A pesar de estas disposiciones, las señales recogidas serán demasiado débiles, por lo que se hace necesario un procesamiento previo de filtraje y amplificación antes de su análisis.

El tratamiento de biopotenciales requiere de unas etapas de amplificación y filtrado antes de obtener una etapa de digitalización, con el fin de obtener voltajes aceptables y discriminar el ruido presente en el paciente o en el ambiente, los cuales pueden provocar una mala interpretación de la señal.

#### **4.1.7.2 Amplificación**

Una señal de EMG tiene rangos de amplitud que van desde 0.1 a 0.5 mV. Esta señal puede contener componentes de frecuencia que se extienden hasta los 10kHz. El preamplificador usado para EMG es generalmente del tipo diferencial y su impedancia de entrada debe ser varios ordenes mayor a la impedancia de los electrodos para reducir el efecto de carga y minimizar el efecto de las interferencias de modo común que aparecen a la entrada, lo cual hace que se requiera tener un alto CMRR o rechazo de modo común por sus siglas en inglés (Common Mode Rejection Ratio) y un lazo de realimentación que permita disminuir ruidos que son provocados por el paciente. La etapa de pre-amplificación necesita ser lo suficientemente sensible como para detectar y amplificar las pequeñas señales, para esto se hace uso de amplificadores de Instrumentación que cumplen con esas características y están especialmente contruidos para propósitos de instrumentación médica. A su vez permite variar el factor de amplificación con la modificación de un juego de resistencias.

#### **4.1.7.3 Filtros**

Es necesario filtrar la información de la señal de EMG obtenida; esto se logra usando amplificadores operaciones con los cuales se construyen filtros activos para obtener registros únicamente de EMG, que se encuentran en el rango de frecuencia de 10 a 500Hz. Sin embargo las señales de ruido provenientes por el movimiento de los cables y de los artefactos se encuentran entre 0 y 15 Hz, es por eso que en muchos trabajos publicados se prefiere tener un filtro de 15 a 500Hz o de 20 a 500Hz, dependiendo de lo que se desee. Para evitar el ruido de la toma de corriente y del ambiente se diseña un filtro rechaza bandas de 50 o 60Hz, sin embargo esto tiene algunas complicaciones, en el caso particular de la EMG el mayor número de componentes de estos potenciales se encuentran alrededor de estas frecuencias, por lo que se deben implementar cálculos muy precisos tomando en cuenta las configuraciones más apropiada así como el orden del filtro, que ayuda en gran medida a la reducción del ruido.

#### **4.1.7.4 Digitalización**

Para la digitalización de los datos que provienen del sistema de registro, se utiliza una etapa de hardware (convertor A/D) y una etapa de software.

Se hace uso de los microcontroladores que poseen módulos de adquisición y de convertor analógico/digital, su función es convertir voltajes analógicos que se introducen por distintas entradas disponibles a palabras binarias. Esto lo realiza utilizando recursos propios del módulo, es decir sin interferir en el procesamiento principal del microcontrolador.

Se hace uso de una interfaz de comunicación de datos digitales en serie a un computador donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez, de modo que se elija un tipo de configuración y el puerto específico que mayor se ajuste a las necesidades. Por último en esta etapa se hace necesario de un software que dependiendo del lenguaje de programación genere un aplicativo

que obedezca a un algoritmo capaz de leer, graficar y almacenar los datos obtenidos.

## 4.2 ESTADO DEL ARTE

El artículo titulado EMG-Based Control of a Robot Arm Using Low-Dimensional Embeddings escrito por Panagiotis K. Artemiadis y Kostas J. Kyriakopoulos. Trata de una Interfaz de control es una necesidad utilizando la señal de electromiografía (EMG) procedentes de los músculos de la extremidad superior humano. Como el control entre el usuario y un brazo de robot. Un modelo matemático está capacitado para decodificar el movimiento de las extremidades superiores de registros de EMG, utilizando una técnica de reducción de dimensionalidad-que representa sinergias musculares y primitivas de movimiento. Se muestra que una incrustación 2-D de activaciones musculares puede ser decodificado a un perfil continuo de la representación en el movimiento del brazo el espacio cartesiano 3-D, incrustado en un espacio 2-D. Se utiliza el sistema para el control continuo de un brazo de robot, utilizando sólo señales de EMG de la extremidad superior. La precisión del método se evaluó a través de tiempo real experimentos, incluyendo los movimientos de brazos aleatorios. [6]

El artículo titulado A Learning Scheme for Reach to Grasp Movements: On EMG-Based Interfaces Using Task Specific Motion Decoding Models escrito por Minas V. Liarakapis, Panagiotis K. Artemiadis, Kostas J. Kyriakopoulos and Elias S. Manolakos se trata de un esquema de aprendizaje basado en bosques aleatorios se utiliza para discriminar entre diferentes alcance de captar movimientos en el espacio 3-D, en base a la actividad de los músculos humanos de la parte superior del brazo y el antebrazo. Especificidad de tareas para la decodificación de movimiento se introduce en dos niveles diferentes: subespacial se mueva hacia y objeto que hay que aprovechar. La discriminación entre los diferentes alcances a comprender las estrategias se realiza con técnicas de aprendizaje automático para la clasificación. La decisión de clasificación se utiliza con el fin de desencadenar un modelo de decodificación movimiento tarea específica a base de EMG.

Modelos específicos de tareas logran superar a los modelos "generales" que proporciona una mejor precisión de la estimación. Por lo tanto, el sistema propuesto se aprovecha de un marco que incorpora tanto un clasificador y un regresor que cooperan ventajosamente con el fin de dividir el espacio tarea. El esquema de aprendizaje propuesto puede ser fácilmente utilizado para una serie de interfaces basadas en EMG que deben operar en tiempo real, proporcionando capacidades orientadas a datos para los problemas multi-clase, que se producen en entornos complejos de la vida cotidiana.[7]

El artículo titulado Cirugía robótica escrito por Drs. OCTAVIO A. CASTILLO C, IVAR VIDAL M. se trata del desarrollo y utilización de técnicas laparoscópicas representa uno de los más importantes avances tecnológicos en el campo de la cirugía en los últimos veinte años. El abordaje laparoscópico permitió realizar cirugías con incisiones mínimas en lugar de grandes incisiones traumáticas sobre la cavidad abdominal o torácica. Los beneficios de esta técnica se caracterizan por

un menor tiempo de internación, un menor dolor post operatorio y un más rápido retorno a las actividades diarias. Desde hace tiempo, la tecnología ocupa un papel central en la medicina. Entre los diversos ejemplos existentes, podríamos mencionar la utilización de un simple manómetro para registrar la presión arterial, o el desarrollo de sofisticados monitores que controlan las funciones respiratorias de pacientes que así lo requieran. De igual manera, la tecnología se encuentra aplicada en forma rutinaria para suplir la función de diversos órganos, como la hemodiálisis, dispositivos de circulación extracorpórea para cirugía cardíaca, etc. Estos y muchos otros ejemplos de la medicina actual hubiesen parecido historias de ciencia-ficción no mucho tiempo atrás.[8]

El artículo titulado Brazo robótico controlado por electromiografía escrito por Javier Villamizar Pinzón M.Sc 'Docente Universidad de los Llanos' (Ingeniería Eléctrica, Universidad de los Llanos, Meta, Colombia), Rafael Padilla Mayorga 'Estudiante Universidad de los Llanos, Meta, Colombia' y Gabriel Cabrera Hurtado Estudiante 'Universidad de los Llanos, Meta, Colombia' se trata de descripción y la construcción de un brazo robótico controlado por señales Electromiografías EMG, las cuales son tomadas por los electrodos que son conectados al brazo del paciente. Esas señales, son controladas por unos sensores superficiales de EMG. Los biopotenciales que pasan por los músculos del brazo son controlados por el Dispositivo microcontrolador marca Arduino, en el cual dependiendo de la diferencia de potencial que circule por el músculo va activar los servomotores que controlan el brazo robótico. Se utilizan 4 servomotores y sensores de EMG para darle 8 grados de libertad al brazo robótico. [9]

El artículo titulado the effects of post-stroke upper-limb training with an electromyography (EMG)-driven hand robot escrito por Hu, KY, XJ Wei, W. Rong, Susanto EA, SK Ho. Se trata de la pérdida de la función de la mano y la destreza de los dedos son las principales discapacidades en el miembro superior después del accidente cerebrovascular. Una electromiografía (EMG) robot mano impulsada había sido desarrollado para el entrenamiento de rehabilitación después de una apoplejía. La eficacia de la formación asistida miembro superior entero robot mano se investigó sobre las personas con accidente cerebrovascular crónica en este trabajo. Todos los sujetos participaron en un entrenamiento de 20 sesiones (3-5 veces / semana) mediante el uso de la mano robot para practicar tareas de prensión objeto / liberación y transporte brazo. Se observaron mejoras significativas en el motor de Fugl-Meyer mano / muñeca y puntuaciones hombro / codo ( $p < 0,05$ ), y también en la Prueba de funcionamiento del brazo de acción de investigación y Wolf Motor ( $p < 0,05$ ). Reducción significativa de la espasticidad de los dedos como se midió mediante la Escala de Ashworth modificada ( $p < 0,05$ ). La formación mejoró la coordinación muscular entre el par músculo antagonista (flexor digitorum (FD) y extensor digitorum (ED)), asociado con una reducción significativa en el nivel de ED EMG ( $p < 0,05$ ) y una disminución significativa de la disfunción eréctil y FD co-contracción durante el entrenamiento ( $p < 0,05$ ); las actividades musculares excesivos en el bíceps braquial también se redujo significativamente después del entrenamiento ( $p < 0,05$ ).

Las lesiones constituyen contratiempos adversos que no pueden evitarse del todo, pues la propia actividad deportiva conlleva implícito el riesgo de que se produzcan. Sin embargo, se puede conseguir que este riesgo disminuya (prevención) o que su evolución sea más favorable y la incorporación del deportista se realice en el menor tiempo posible (recuperación funcional/readaptación física). Hasta hace relativamente pocos años, los esfuerzos se centraban en el tratamiento del trauma en sí, prestando especial atención al proceso terapéutico desde una perspectiva clínica. Sin embargo, en los últimos tiempos los intereses se han orientado hacia el desarrollo de estrategias y propuestas multidisciplinares de intervención relacionadas con la prevención y la readaptación de las lesiones deportivas y del deportista.

Cualquier intervención profesional para la prevención de lesiones deportivas debe tener en cuenta que no existe un factor único de predisposición lesional. Muy al contrario, en la actualidad se asume un “modelo multifactorial de lesiones deportivas”.

La motricidad específica del deporte supone el factor extrínseco más relevante, ya que los gestos que hay que realizar implican la exacerbación de determinado mecanismo lesional, incluyendo las formas de producción de lesión más comunes: traumatismo directo, sobreuso por gestoformas repetidas, velocidad, descoordinación, etc.

– La dinámica de la carga de entrenamiento, ya que se asocia un aumento de las lesiones en los ciclos de mayor densidad competitiva o de aumento de la carga de entrenamiento. Asimismo, el volumen de entrenamiento, en cuanto a tiempo de exposición o carga acumulada en la temporada (minutos y competiciones disputadas), podría indicar sobrecarga de entrenamiento o fatiga residual, siendo un importante disparador de lesiones.

– La competición (su nivel, el tiempo de exposición, etc.) supone un disparador fundamental que dobla o triplica el riesgo lesional.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según los criterios con los que se ha venido desarrollando nuestro proyecto se determinó que los tipos de investigación que se están realizando son los mostrados en la tabla 2:

Tabla 2. Tipos de investigación.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Estudios de caso</li></ul>	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Seccional</li></ul>	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Longitudinal</li></ul>	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Experimental</li></ul>	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

### 5.2 DISEÑO METODOLÓGICO

El método de la ciencia es el método científico el cual se basa en factores fundamentales como la objetividad; el conocimiento científico es a veces desagradable desde el punto de vista que este contradice a los clásicos y pone en jaque al sentido común. La ciencia para que sea considerada como tal debe ser verificable, sin embargo no toda la información es verificable, lo no verificable son definiciones nominales y afirmaciones sobre fenómenos naturales; en definitiva la verificación torna más exacto el significado. El método científico es falible, lo cual produce la imposibilidad de establecer reglas permanentes, además el método científico no produce automáticamente el saber, sino que lleva todo un proceso de investigación que trata de comprender la variedad de habilidades y de informaciones, por lo que ha planteado un esquema donde se tratan los siguientes puntos:

- Planteamiento del problema: Reconocimiento de hechos, descubrimiento del problema, y formulación del problema.
- Construcción del modelo teórico: Selección de patrones pertinentes, Invención de hipótesis centrales, traducción a un lenguaje matemático.

-Deducción de técnicas particulares: Búsqueda de soportes racionales y empíricos.

-Prueba de las hipótesis: Diseño de la prueba, ejecución de la prueba, elaboración de los datos, inferencia de la conclusión.

Etapa1: se define el método científico que se utilizó en este trabajo es el de Mario Bunge, ya que primero se realizó el planteamiento del problema, en este punto teniendo en cuenta que se efectuó el reconocimiento de los hechos con la lectura del capítulo 5, denominado marco referencial dando pie para encontrar y descubrir el problema y posterior a ello realizar una formulación a dicho problema formulado en el capítulo 2.

Etapa2: Se realizó la identificación de factores fisiológicos que puedan afectar el funcionamiento de la señal de EMG. Para la caracterización de un buen sistema de automatización y de caracterización de esta señal en el capítulo denominado marco conceptual.

Etapa3: De tal forma que se realizó la correspondiente investigación de que sea realizado en el mundo en la parte de artículos científicos sobre el diseño de brazos robot al nivel mundial es hacia la industria en el capítulo de nominado estado de arte.

### 5.3 MODELO FÍSICO

Energía cinética rotacional

La energía cinética de un objeto girando es análoga a la energía cinética lineal y puede expresarse en términos del momento de inercia y de la velocidad angular. La energía cinética total de un objeto extenso, se puede expresar como la suma de la energía cinética de traslación de su centro de masa y la energía cinética de rotación sobre el centro de masa. Para un eje de rotación fijo dado, la energía cinética, se puede expresar en la ecuación 1.

$$E_{\text{Crotacional}} = \frac{1}{2} I w^2$$

**Ecuación 1 energía rotativa**

Donde  $I$ =inercia rotacional o momento de inercia

$W$ =velocidad angular

La fórmula de la energía cinética lineal y rotacional tiene la misma forma.

$$E_{\text{Clineal}} = \frac{1}{2} m v^2$$

**Ecuación 2 energía cinética lineal**

Donde  $m$ =inercia traslaciones (masa)

$v$ =velocidad lineal

$$k_i + v_i = k_f + v_f$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

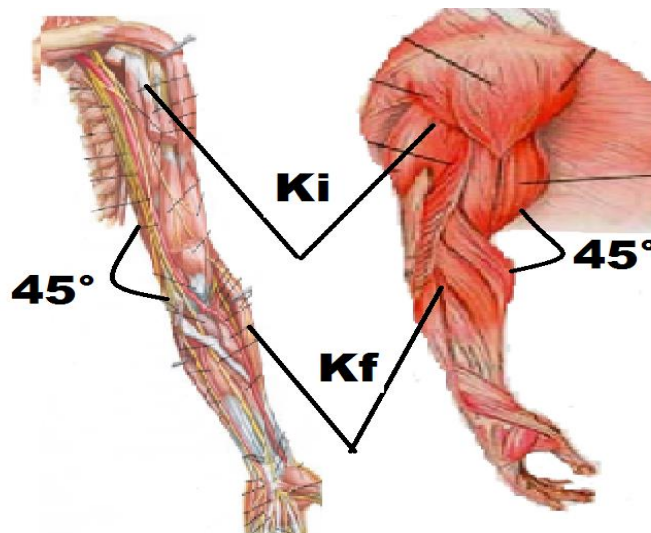
$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}mR^2\right)\left(\frac{v^2}{R^2}\right)$$

### Ecuación 3 resolución de la formula

Las ecuaciones para calcular las fuerzas sobre los objetos en equilibrio se pueden aplicar fácilmente al cuerpo humano (o animal) y resultan de gran utilidad al estudiar las fuerzas sobre músculos, huesos y articulaciones, para los organismos en movimiento o en reposo.

Por lo general, un músculo está unido, mediante tendones, a dos huesos diferentes. Los puntos de unión se llaman inserciones. Dos huesos están conectados flexiblemente con una articulación, como las del codo, rodilla y cadera. Un músculo ejerce un jalón cuando sus fibras se contraen bajo estimulación nerviosa, pero un músculo no puede ejercer un empujón. Los músculos que tienden a acercar dos extremidades, como el bíceps en el brazo se llaman flexores; los que actúan para extender una extremidad hacia afuera, como el tríceps en la, se llaman extensores.

El flexor del brazo se usa cuando se eleva un objeto que se tiene en la mano; el extensor se usa cuando se lanza una pesa. Se utiliza los parámetros inerciales aportados por Clauser et al. (1969) para determinar el peso que afectan los movimientos de la fuerza.



**Figura 12.** Angulo para calcular la fuerza

Para calcular la masa del antebrazo 1,6%

Para calcular la masa de la mano 0,7%

Para calcular las masas de los antebrazo es de 0,912Kg y la mano de 0,4Kg Donde las medidas del paciente son 41cm de antebrazo y de 18cm y 5 cm del codo.

$$F_{m_{2kg}} = \frac{0.18m * 1.312 + 0.41 * 2kg}{0.05} = 163.03N$$

$$F_{m_{5kg}} = \frac{0.18m * 1.312 + 0.41 * 5kg}{0.05} = 448N$$

$$F_{m_{5.5kg}} = \frac{0.18m * 1.312 + 0.41 * 5.5kg}{0.05} = 488N$$

#### Ecuación 4 solución en fuerza en newton

Teniendo en cuenta estos parámetros y formulas encontramos que la energía cinética rotacional equivaldrá a la suma de la energía cinética inicial y la energía cinética final, para ello se tomó como punto inicial la ecuación 1.

$$\Delta K = \frac{1}{2} I_f (W_f)^2 - \frac{1}{2} I_i (W_i)^2$$

#### Ecuación 5 energía cinética del sistema

Para poder despejar la incógnita debemos tener en cuenta que:

$$I = \frac{1}{2} mr^2$$

#### Ecuación 6 I es el momento de inercia

$$W = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

#### Ecuación 7 w es el movimiento rotacional

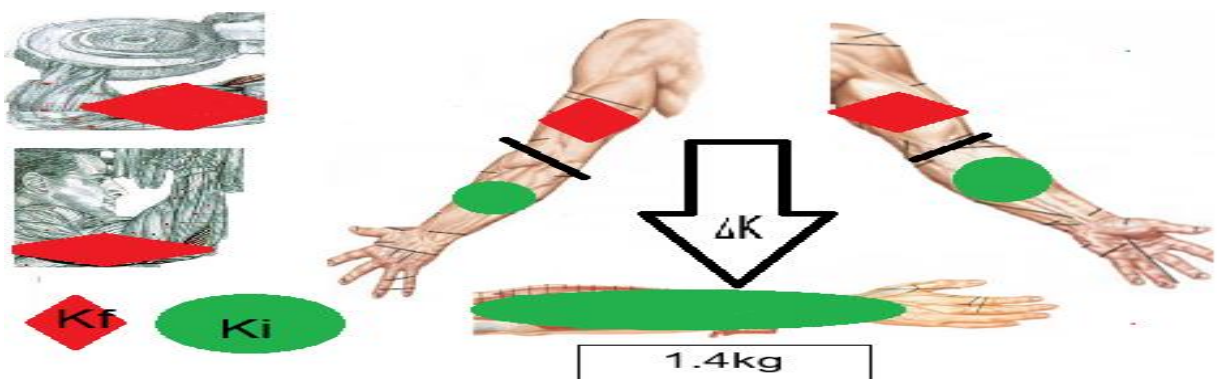


Figura 13. Verificación de los puntos de energía cinética rotacional

Para esto consideramos los conceptos de rotación de un cuerpo rígido y conservación de la energía.

Tomamos la ecuación 5 e indicamos que:

$$\Delta K = K_f - K_i$$

En base a esto hallamos:

$$I_{in} = \frac{1}{2} 1,4\text{kg}(0.046)^2$$

$$I_{in} = 389.39 * 10^{-3}\text{kgm}^2$$

$$w_{in} = \frac{\Delta\phi}{\Delta T} = \frac{0 \text{ rad}}{6000\text{s}} = 0 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$k_i = 389.39 * 10^{-3}\text{kgm}^2 * 0 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 0\text{J}$$

### **Ecuación 8 solución de la energía cinética inicial**

La energía cinética inicial del sistema es igual a cero ya que el sistema se encuentra en reposo. Para calcular cada una de las fuerzas empleadas necesitamos saber cada uno de los pesos con los que vamos a trabajar más el peso del antebrazo y mano cómo se observara en la tabla1 la energía gastada y la fuerza empleada para cada uno de ellos.

$$I_{fin} = \frac{1}{2} 3,4\text{kg}(0.046)^2$$

$$I_{fin} = 3.5972 * 10^{-3}\text{kgm}^2$$

$$w_{fin} = \frac{\Delta\phi}{\Delta T} = \frac{\frac{\pi}{4} \text{ rad}}{6000\text{s}} = 130 * 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$k_{fin} = 3.5972 * 10^{-3}\text{kgm}^2 * 130 * 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\Delta k = 467.6\text{Nj}$$

### **Ecuación 9 energía cinética rotacional para 3,4Kg**

$$I_{fin} = \frac{1}{2} 6,4\text{kg}(0.046)^2$$

$$I_{fin} = 6.7712 * 10^{-3}\text{kgm}^2$$

$$w_{fin} = \frac{\Delta\phi}{\Delta T} = \frac{\frac{\pi}{4} \text{ rad}}{6000\text{s}} = 130 * 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$k_{fin} = 6.7712 * 10^{-3}\text{kgm}^2 * 130 * 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\Delta k = 880.256\text{nj}$$

### **Ecuación 10 energía cinética rotacional para 6,4Kg**

$$I_{fin} = \frac{1}{2} 6,9\text{kg}(0.046)^2$$

$$I_{fin} = 7.3 * 10^{-3}\text{kgm}^2$$

$$w_{fin} = \frac{\Delta\theta}{\Delta T} = \frac{\frac{\pi}{4} \text{ rad}}{6000\text{s}} = 130 * 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$k_{fin} = 7.3 * 10^{-3}\text{kgm}^2 * 130 * 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\Delta k = 949\text{nJ}$$

### Ecuación 11 energía cinética rotacional para 6,9Kg

Tabla 3. Masas en kg.

Masa a trabajar	Masa del antebrazo y mano	Masa total	Energía	Fuerza
5Kg	1,4Kg	6,4Kg	880.256nJ	448N
5,5Kg	1,4Kg	6,9Kg	949nJ	488N
2Kg	1,4Kg	3,4Kg	467.6nJ	163.03N

## 5.4 MODELO MATEMÁTICO

La ganancia obtenida con éste amplificador es de 500 por lo tanto se realiza la siguiente formula.

$$RG = \frac{49.4K\Omega}{G - 1}$$

Donde G es la ganancia.

$$RG = \frac{49.4K\Omega}{500 - 1} = 99\Omega$$

### Ecuación 12 Resistencia de Ganancia

Con el resultado de la ecuación 12 procedemos a hallar la ganancia que se va a manejar;

$$100\Omega = \frac{49.4K\Omega}{G - 1}$$

$$G = \frac{49.4K\Omega}{100\Omega} + 1$$

### Ecuación 13 Ganancia del Inversor

Obtenemos una ganancia total de 495 veces sobre el voltaje del circuito de instrumentación.

El cálculo para el amplificador no-inversor en ganancia se utilizó la formula;

$$G = \frac{R1 + Rf}{R1}$$
$$G = \frac{100K\Omega + 1M\Omega}{100K\Omega}$$

#### **Ecuación 14 ganancia No - inversor**

Esto nos da una ganancia relativa de 11 veces

Filtro pasa bandas Butterworth de orden uno cuya finalidad es limitar el rango de frecuencias entre 0 y 479 Hz, aunque este rango se ve modificado por los artefactos de movimiento, que se producen por dos fuentes principales: uno es la interfaz entre la superficie de detección del electrodo y la piel y el otro es el movimiento del cable que conecta el electrodo con el amplificador. Las señales eléctricas de ambas fuentes de ruido tienen la mayoría de su energía en un rango de frecuencia de 0 a 19.39 Hz

$$FH = \frac{1}{2\pi RC}$$

#### **Ecuación 15. Frecuencia**

La frecuencia de corte del filtro pasa altas es de 19.39Hz, con ésta se determinó la resistencia correspondiente así

$$R = \frac{1}{2\pi * 19.39 * 0.1\mu F}$$

#### **Ecuación 16 resistencia filtro pasa alta**

Dándonos como resultado una resistencia de 82K $\Omega$

La frecuencia de corte del filtro pasa bajas es de 479Hz, con ésta se determinó la resistencia correspondiente así:

$$R = \frac{1}{2\pi * 479 * 0.1\mu F}$$

La resistencia va a ser de 3.32K $\Omega$ .

#### **Ecuación 17 resistencia filtro pasa baja**

Se realiza de nuevo una amplificación con un circuito que consta de un no-inversor.

$$G = \frac{R1 + Rf}{R1}$$
$$G = \frac{100K\Omega + 220K\Omega}{100K\Omega}$$

Con una ganancia equivalente de 3.2 veces

**Ecuación 18 Ganancia Circuito no inversor**



## 6. CRONOGRAMA

Tabla 4 Cronograma

Duración	Oct 2015	Nov 2015	Dic 2015	Ene 2016	Feb 2016	Mar 2016	Abr 2016	May 2016	Jun 2016	Jul 2016	Ago 2016
Actividades											
Planteamiento del problema											
Justificación											
Objetivos											
Hipótesis											
Marco Referencial/Estado del arte											
Metodología											
Resultados y Discusión											
Elaboración documento final											
Revisión Bibliográfica											

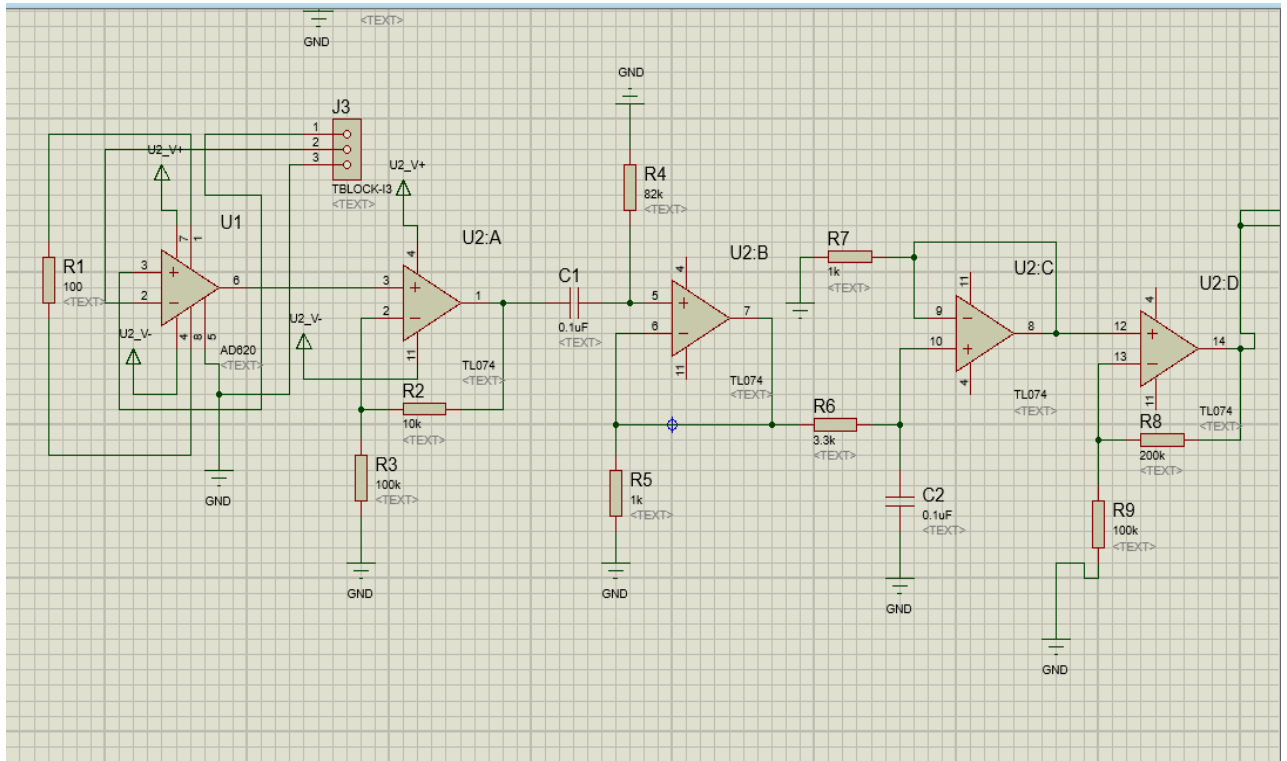
## 7. ELABORACIÓN DE PROYECTO.

Inicio de elaboración y diseño de circuito de EMG para la adquisición de la señal, el circuito fue montado en protoboard para las respectivas pruebas de funcionamiento, se utiliza el programa proteus para el diseño del plano electrónico y la herramienta ares para el diseño de la tarjeta o vuqela.

Se realizaron 3 montajes de emg los cuales no funcionaron por la alta impedancia que arrojaban, ya que al realizar las pruebas los montajes no presentaron ningún resultado especifico, solo presentaban ruido cuando era analizado por el osciloscopio, en los montajes se hicieron modificaciones de los componentes electrónicos para registrar las señales EMG del musculo, como resultado a esto se determinó que las pruebas realizadas no eran las esperadas.

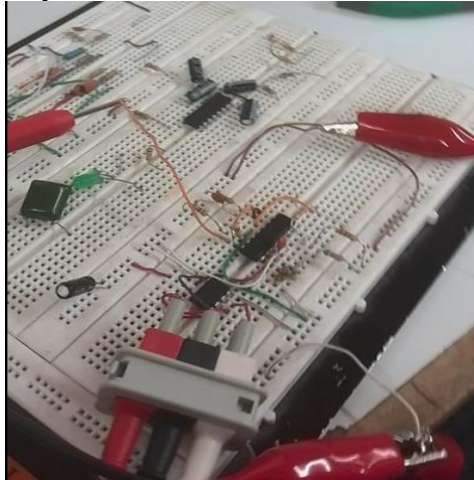
Después de varios montajes y de los errores obtenidos se decide instalar un nuevo circuito en donde los resultados y pruebas mejoraron notablemente (figura 14), se pudo adquirir la señal con algunos ajustes electrónicos, las pruebas se realizaron con los implementos de laboratorio y electrodos para la captura de dicha señal, el musculo utilizado inicialmente para estas pruebas es el bíceps.

En la figura 14 se muestra el plano que se utilizo para la captura de la señal EMG, desde alli parte la investigación enfocado a la fatiga muscular.



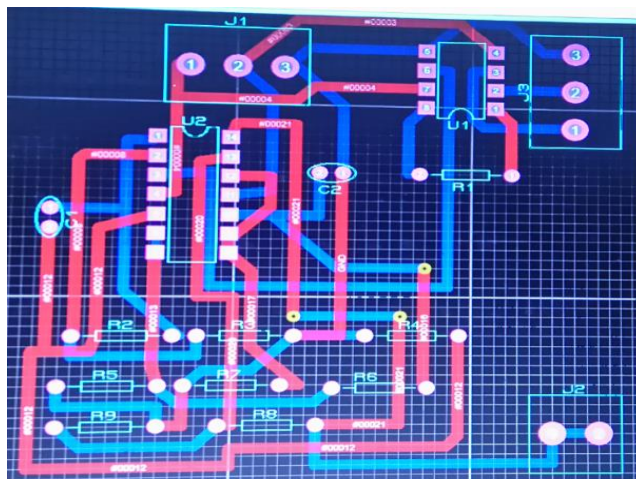
**Figura 14.** Plano final de EMG

El cuarto montaje electrónico de EMG (figura 15), al realizar las pruebas, los resultados fueron los esperados ya que la señal adquirida nos indicaba el funcionamiento del circuito, los datos obtenidos en pantalla necesitaban algunos ajustes , se realizaron varias pruebas para verificar el comportamiento del circuito, pero este presentaba mucho ruido por lo cual se cambiaron algunos componentes electrónicos como las resistencias, gracias a estos cambios el circuito se comportó mucho mejor y el ruido presentado se eliminó asegurando así el buen funcionamiento del circuito, los integrados utilizados en el montaje fueron: AD 620 para la adquisición de la señal y TL 074 para filtrar la señal con los demás componentes, resistencias y condensadores.



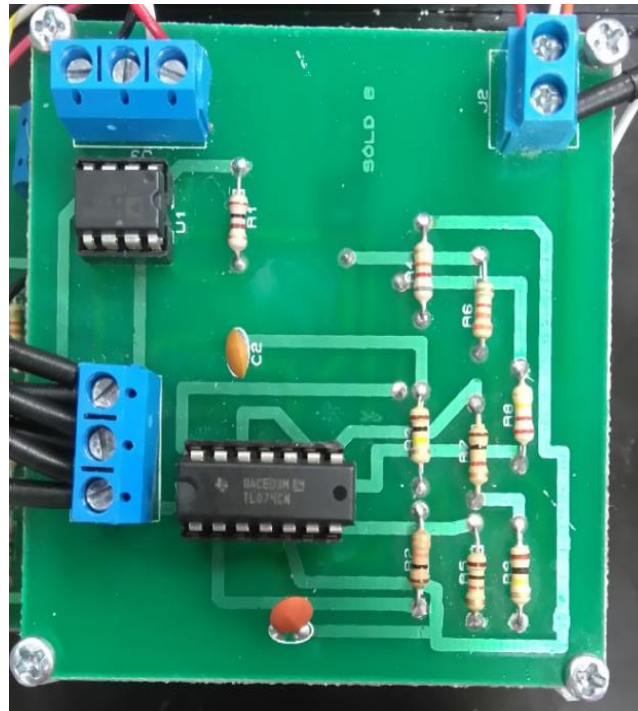
**Figura 15.** Montaje en protoboard

Una vez comprobado el funcionamiento del circuito electrónico montado en protoboard, se realiza el diseño en ares para la construcción de la primera tarjeta que capturaba la señal de EMG, en la (figura 16), se muestran los planos del circuito en digital para luego ser impreso en vácueta.



**Figura 16.** Circuito digital

La siguiente imagen (figura 17), se muestra el circuito ya en la tarjeta que se va a trabajar con sus componentes electrónicos para la adquisición de la señal EMG.

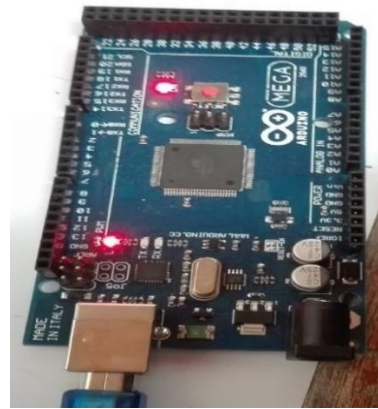


**Figura 17.** Tarjeta EMG

En las primeras pruebas realizadas se implementó un PIC 16f877a, quien era el encargado de recibir la señal, procesarla, enviarla al computador y al brazo robot, se presentaron problemas con el PIC ya que la programación no era la adecuada para los servomotores, después de varios intentos con este circuito, las pruebas realizadas no eran las esperadas por lo que la señal de salida presentaba alto nivel de ruido lo cual no permitía que los datos fueran correctos (figura 18) , por ese motivo se decidió trabajar con la tarjeta Arduino (figura 19), este no requería un circuito adicional para la transmisión de datos al computador, la tarjeta cuenta con características que permite realizar trabajos más complejos y sin complicaciones en los algoritmos, la adquisición y transmisión de señal a los diferentes componentes fueron más factibles, los resultados y pruebas realizadas con Arduino nos permitían realizar ajustes más rápidos en los algoritmos.



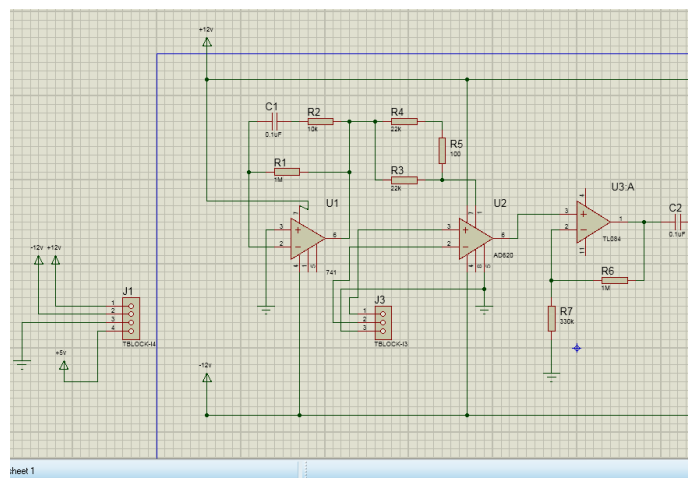
**Figura 18.** Señal defectuosa



**Figura 19.** Tarjeta Arduino

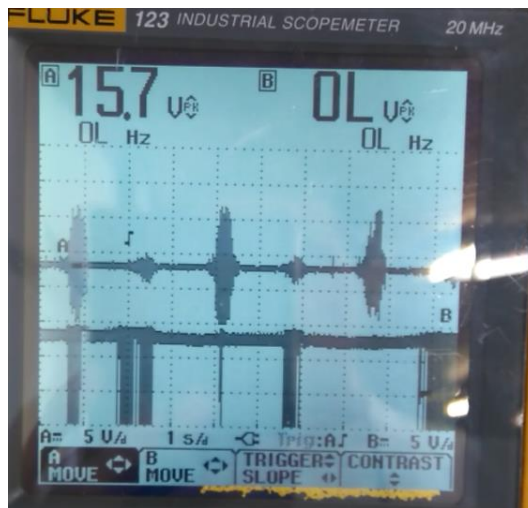
La señal de salida de la tarjeta del EMG nos arroja datos análogos con valores superiores a 5V los cuales son necesarios sean específicos, adicional a esto se requiere que la señal sea digital, por esta razón se implementa un circuito con la función de atenuar la señal y mantener voltajes máximo a 5V de salida para que la tarjea Arduino no haga recortes de los registros y se puedan evidenciar de la manera más adecuada.

El primer montaje, se realizó (figura 20) para procesar la señal se compone de dos potenciómetros de 50k, con este montaje se pretendía manejar la señal para que los pulsos de salida sean positivos, uno de los problemas encontrados inicialmente es que este recortaba la señal y no permitía tomar los datos completos, de inmediato se descarta este montaje y se procede a cambiarlo.



**Figura 20.** Circuito electrónico para procesar la señal EMG

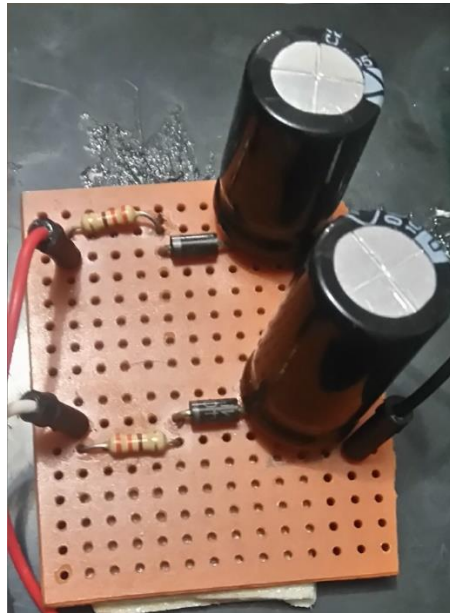
El nuevo circuito electrónico que se implementó para procesar la señal contaba con los siguientes elementos; integrado TL074, dos Tremmer para controlar los rangos de la señal, y resistencias, al realizar las pruebas la señal arrojaban datos con variaciones, se hicieron los ajustes pertinentes con los Tremmer y cambios en las resistencias para mejorar la señal de salida, aun así el circuito no funciono adecuadamente, los datos arrojados nos mostraban un recorte de la señal y los voltajes totalmente diferentes a lo esperado. En la siguientes imágenes se puede apreciar la comparación que se registra en la pantalla del osciloscopio de la señal EMG, la primera señal se muestra el pulso normal de la actividad eléctrica del musculo, la segunda señal se muestra datos totalmente fuera de control(figura 21).



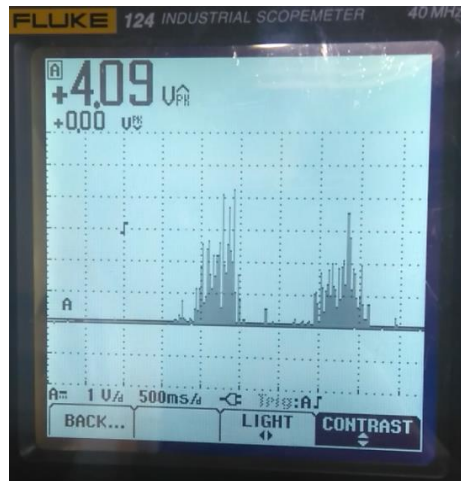
**Figura 21.** Pulso de adquirió de la señal normal.

Después de intentos fallidos se decide cambiar el circuito anterior, los datos representados en la imagen (figura22) no son los adecuados, se decide descartar por completo porque al realizar modificaciones este no respondía y las señales variaban sin estar cerca a los datos deseados.

Con último montaje siendo ya el tercero se procede a realizar el montaje en la protoboard, este se compone de seis elementos básicos, dos condensadores de 3300  $\mu\text{f}$  dos resistencias de 330 $\Omega$  Y dos diodos rectificadores (figura 22), que permitieron una mejor atenuación en la señal de salida y un mejor registro en pantalla de la señal EMG, porque los voltajes no superaba los 5V y los pulsos fueron positivos lo cual es lo ideal para trabajar y registrar este tipo de señal, la (figura 23) muestra los pulsos de salida que son tomados por cada movimiento del musculo bíceps.

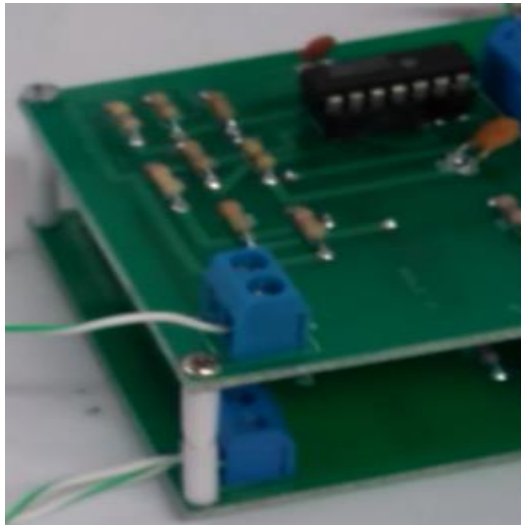


**Figura 22.** Filtro se señal para la adquisición de pulsos positivos



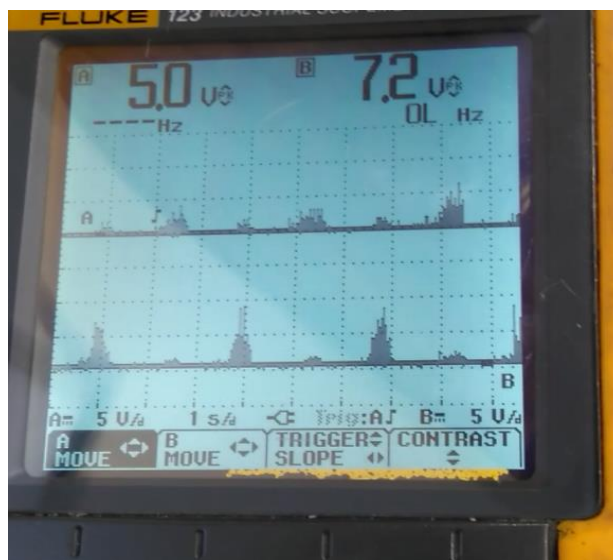
**Figura 23.** Pulsos de salida señal biceps

Una vez determinado que los circuitos cumplían con las especificaciones que nos permitía trabajar satisfactoriamente, se decidió realizar una nueva tarjeta de EMG con las mismas características de la tarjeta anterior (figura 24), esta vez con el fin de capturar la señal del musculo tríceps quien nos determinaba el funcionamiento del segundo servomotor, adicionalmente se hace otro circuito para procesar la señal y obtener la señal de salida en pulsos positivos.



**Figura 24.** Tarjeta emg adquisición señal bíceps - tríceps

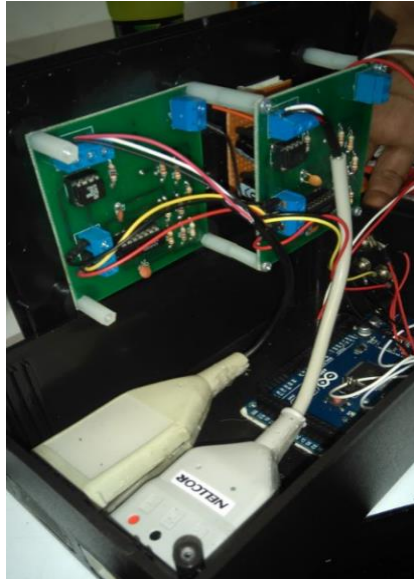
Se comprobó el funcionamiento del circuito electrónico ya montado en la váquela, se realizaron pruebas con el musculo bíceps y tríceps, con el fin observar y estudiar un movimiento más entendible de una fatiga muscular (figura 26). Estas señales son enviadas a la tarjeta Arduino que nos permitirá registrar y verificar la comunicación del algoritmo-robot, por lo cual se trabajaron con diferentes códigos de programación, al igual que los circuitos de EMG, los primeros algoritmos no daban resultados debido a la programación que no hacia la recepción de la señal, ante este problema la codificación fue modificada para que ajustara a los rangos propuestos para la transmisión de datos.



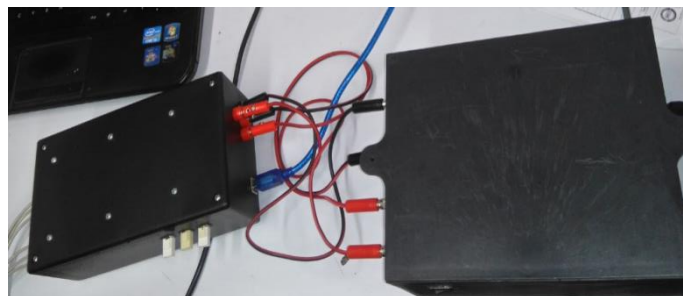
**Figura 25.** Registro de la fatiga muscular



Durante el proceso de verificación y algunos errores presentados en la elaboración de los circuitos se decide instalar las tarjetas en cajas para la protección de los mismos (figura 27a), estas cajas contienen los circuitos de adquisición de la señal, tarjetas de procesamiento de la señal y tarjeta Arduino, tienen dos entradas para la conexión de los latiguillos que son los encargados de tomar la señal por medio de los electrodos y enviarla a las tarjetas EMG, adicional a esto se tiene una fuente de Voltaje para la alimentación de los mismos(figura 27b).



**Figura 26a.** Ensamble de los circuitos a cajas



**Figura 26b.** Circuito emg y fuente de voltaje en cajas

La tarjeta Arduino tiene la responsabilidad de recibir la señal de EMG, por medio de un algoritmo transmitirla para luego ser visualizada por medio de una interfaz gráfica creada en Matlab, desde allí podemos identificar una fatiga muscular debido a los cambios que se presentan en los picos de las señales registradas, la herramienta Matlab también puede guardar dicha señal para la comparación de los registros.

Desde la tarjeta Arduino se controla un brazo robot compuesto por dos servomotores que reciben la señal de EMG Análogo/Digital, estos realizan una serie de movimiento imitando los que se realizan con el brazo humano, de esta manera simulamos y emulamos la señal EMG quien es representada por los movimientos del brazo robot (figura 28).



**Figura 27.** Brazo robot

El brazo robot está compuesto por dos servomotores, uno servomotor recibe la señal del musculo Tríceps, ya que va en la parte de abajo este requiere de más fuerza porque debe mover el peso del primer motor, la señal EMG del musculo Bíceps está dirigida al primer servomotor, el brazo robot tiene que realizar dos movimiento con retorno de los músculos antes mencionados, aquí se determinara también una disminución de los movimientos del brazo indicando la fatiga muscular.

También se realizo una parte de simulación que nos dice; Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento de un sistema.

La simulación del brazo robot se desarrolló en el conjunto de herramientas de MATLAB y ARDUINO realizando un proceso de acoplamiento de sus entornos de tal manera que los motores tienen algunas similitudes con el proceso de emulación.

La señal se estandarizo para mostrar un movimiento relativamente cercano a los movimientos que se esperan demostrar teóricamente con la emulación. Para

poder digitalizar la señal necesitamos los captar la señal de los músculos y posterior mente enviarla a simular.

A partir de un modelo físico teórico ya expuesto en uno de nuestros capítulos anteriores poseemos la factibilidad que con las herramientas que nos presenta MATLAB y el conjunto de herramientas de compilación de ARDUINO.

Nos permite agilizar este proceso, esta placa no solo adquiere nuestra señal también permite mover el brazo al mismo tiempo que el paciente su jeto a pruebas el robot replica este movimiento tratando de eliminar la mayor parte de ruidos o señales basura.

## 8. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las primeras pruebas realizadas con una carga de 5Kg, se hicieron para verificar el funcionamiento del circuito electrónico, estas pruebas constaban de 10 secuencias con 10 repeticiones en una rutina, en el momento solo se sintió un cansancio muscular en el brazo izquierdo donde se hizo el ejercicio, esto se realizó como un experimento, pero al terminar las rutinas la fatiga muscular aparece, al día siguiente este presento un dolor que perduro más de una semana, gracias a este hallazgo se tomaron las precauciones necesarias para que no se vuelva a presentar este inconveniente.

Después de la experiencia obtenida por fatiga muscular y con información más detallada de investigaciones ya realizadas en otros artículos, se determina el tipo de rutina que debe realizar cada musculo con carga (kg).

A continuación hablaremos de los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas con un tiempo estimado de tres (3) meses, ya que la rutina de ejercicio requirió de tiempo específico para la investigación, lo cual estamos enfocados en realizar.

Para estas pruebas tomaremos diferentes cargas en kg, con rutinas en tiempos y repeticiones diferentes, cada peso se debe tomar en un tiempo específico en días evitando la interrupción de los estudios, el musculo necesita descanso para que no haya una sumatoria de cargas y se realice un adecuado reposo del mismo.

Las pruebas se tomaron en un paciente masculino de 31 años de edad, un peso de 58 Kg, estatura 1.67 mts, es la persona idónea para estas pruebas, esto se debe a que en una serie de pacientes masculinos con diferentes pesos se realizaron las pruebas encontrando que a mayor masa corporal la lectura de EMG era errada, esto se debe a que este tipo de pacientes tiene mayor resistencia para la adquisición de cualquier señal o actividad eléctrica del cuerpo, por este motivo se selecciona este paciente ya que su masa corporal permite la adquisición de la señal EMG mucho mejor, y así obtener registros más óptimos.

Primera etapa de rutinas; Esta se realiza con una carga de 2Kg, esta pruebas a igual que las demás tendrá series específicas para no llevar a una fatiga muscular con resultados satisfactorios, las pruebas realizadas se tomaron en el brazo derecho que corresponde al musculo Bíceps y el brazo izquierdo tenemos en prueba el musculo Tríceps, una vez terminado las rutinas en los músculos a estudiar, se realiza una serie similar al brazo contrario para que este se adapte a las siguientes pruebas.

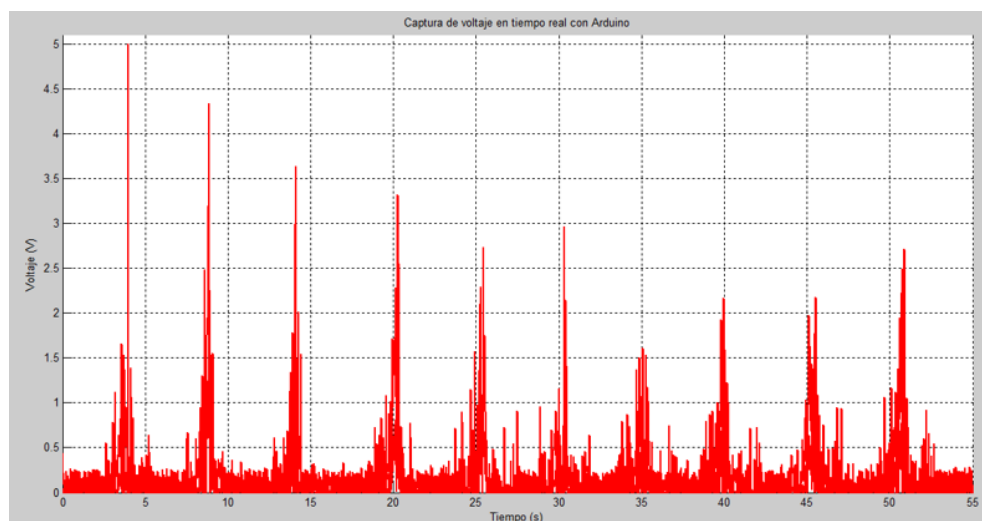
**Tabla 5. Rutinas Carga 2kg**

RUTIN A	MUSCULO	TIEMP O	REPO SO	REPETICIO NES	CARGA KG	ESTA DO
1	Bíceps – Tríceps	30seg	15seg	10	2	Normal
2	Bíceps – Tríceps	30seg	15seg	10	2	Normal
3	Bíceps – Tríceps	30seg	15seg	10	2	Normal

Estas pruebas se repiten 12 veces más con un total de 15 series, 10 repeticiones cada una durante 15 minutos, por cada serie se tomó un tiempo de 30 segundos contados, por repeticiones 2 segundos para el levantamiento de la pesa que debe estar en una posición de 120°, el Tríceps en una posición de 90° y su movimiento es hacia atrás, adicional se descansa el musculo durante 15 segundos por cada repetición.

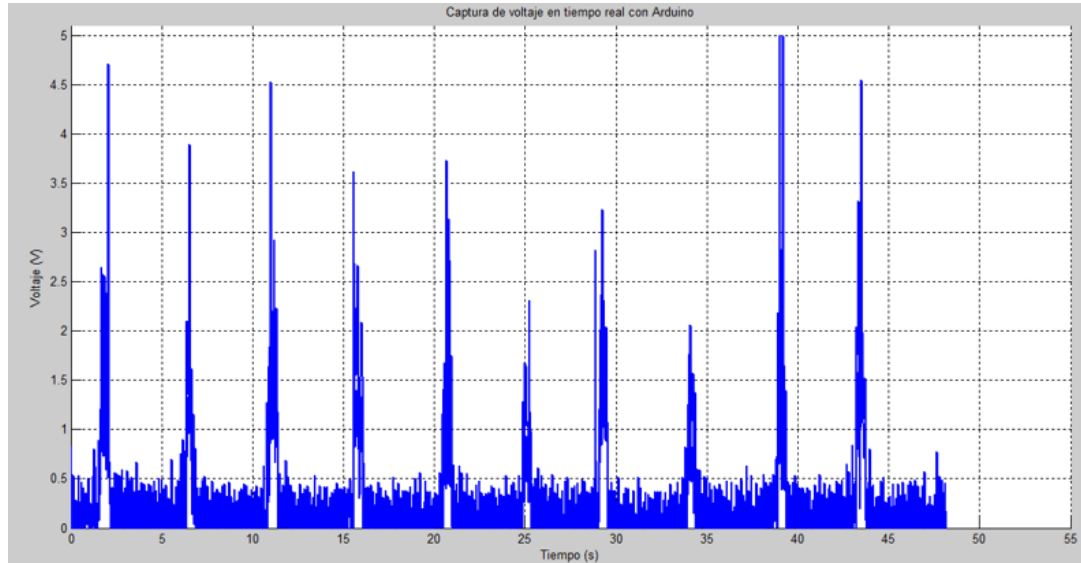
En la serie número 8 se detecta una leve fatiga, el comportamiento del brazo robot en la repetición número 7, se nota una diferencia anunciando que el musculo Bíceps ya se encontraba próximo a fatigarse, en la gráfica (1) del Bíceps presenta una escala de pulsos diferentes pero también registra niveles bajos en las últimas repeticiones.

En las siguientes graficas se muestran los comportamientos de los músculos.



**Gráfica 1. Musculo Bíceps con carga 2kg**

En la gráfica se muestra un descenso de pulsos, pero en la repetición número 9 y 10 se presenta una elevación debido al esfuerzo que el musculo está realizando para continuar con la serie, este se presenta en la semana 1 en la serie 9.



**Gráfica 2.** Musculo Tríceps con carga 2kg

Durante el ejercicio los músculos experimentaron dos etapas de temperatura, en reposo la temperatura de los músculos se encuentra aproximadamente entre los 33 y 35 °C, al realizar la pruebas este aumenta de temperatura alrededor de los 39 a 40 °C máximo, la temperatura se presenta para todos los ejercicios, al terminar la pruebas los músculos ya presentan una fatiga pero no en exceso por los controles que determinamos en cada movimiento y descanso, si este es llevado a una rutina más larga es posible llegar a lesión ocasionando un daño para los músculos.

Para no lesionar el musculo con ejercicios frecuentes y realizar un estudio más detallado se toma un espacio de día por medio durante 3 semanas y una semana para descansar los músculos, cuando los músculos ya se encuentran cansados o fatigados pierden la capacidad de fuerza y hace que este realice un esfuerzo con más trabajo pero descoordinado.

Al día siguiente se analizan los síntomas para determinar el dolor muscular y el progreso del mismo, por lo cual se evidencio que la primera semana de ejercicio se presentó un leve dolor que en términos fisiológicos es la ruptura de fibras musculares por el ejercicio realizado, el musculo no tiene complicaciones ya que no fue llevado a su desgaste total, el paciente no presento síntomas graves al mover el musculo y su estado es normal.

En la segunda semana se continua con la rutinas de ejercicio, se notó que los músculos no presentaron ningún síntoma, como dolor o incapacidad de

movimiento, al contrario este mejora en cada rutina, así como el cuerpo humano se acostumbra a las diferentes actividades diarias, los músculos inician un proceso de adaptación a la carga colocada y este evoluciona obteniendo un poco de masa muscular y es notable a simple vista.

Continuamos con la tercera semana, los resultados son satisfactorios porque el musculo ya se adaptó a la carga acondicionada desde el primer día, los registros tomados con los componentes electrónicos y visualizados en las gráficas de Matlab se determinó que los cambios presentados en los estudios el musculo evoluciono gracias a las rutinas establecidas con anterioridad, las reacciones tomadas en las ultimas rutinas determina que este ya se encuentra listo para continuar con un peso mayor, hay que tener en cuenta que para las próximas rutinas y por más que los músculos estén acostumbrados a una serie de ejercicios no se deben exceder el número de movimientos para levantamiento de cargas.

Para demostrar un avance sin dañar los músculos con las siguientes pruebas, aquí tomaremos cargas de 5Kg, las rutinas cambia porque la carga es mayor, no podemos exceder los músculos, con el mismo número de series y repeticiones a los estudios anteriores, los músculos sufrirían un cambio drástico y posiblemente se lesionen ocasionando un problema grave para el paciente, aunque los músculos se recuperan rápidamente no es lo aconsejable llegar a tal extremo. Después de tres semanas de rutinas constantes se deja en descanso los músculos durante 15 días, esto se hace para observar los músculos con nueva carga y reacciones que este tome al dar inicio las siguientes rutinas, se tomaran diez (10) series con repeticiones más cortas que serían cinco (5), al igual que los movimientos debido al peso que se va a manejar en toda la sesión, aquí notaremos diferencias y manejo de la carga con más dificultad.

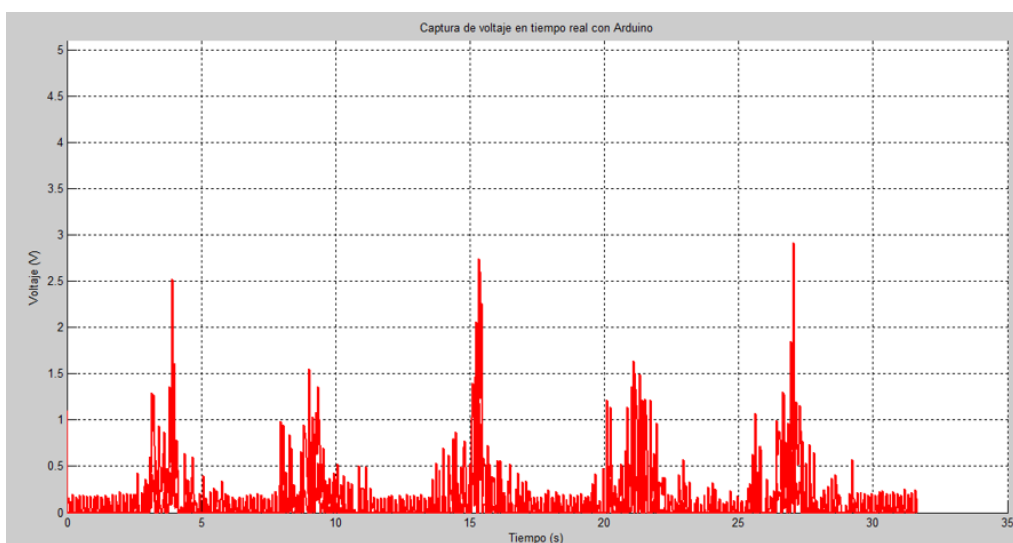
Tabla 6. Rutinas Carga 5kg

RUTIN A	MUSCULO	TIEMP O	REPO SO	REPETICIO NES	CARGA KG	ESTA DO
1	Bíceps – Tríceps	15seg	15seg	5	5	Normal
2	Bíceps – Tríceps	15seg	15seg	5	5	Normal
3	Bíceps – Tríceps	15seg	15seg	5	5	Normal

Una vez nombramos y especificamos las rutinas estas se lleva a cabo, con los mismos pasos nombrados anteriormente damos inicio a las pruebas para observar el comportamiento en cada semana que este presenta.

En la primera semana de rutinas observamos que al iniciar con una carga mayor a la anterior notamos que su comportamiento fue notablemente diferente, las señales en el software presento una señal diferente debido a la fuerza que este ejerce para mantener la carga en posición, para mejorar estos registros los músculos debe estar totalmente relajados y en posición adecuada para la adquisición de las señales, al iniciar los movimientos la tensión del musculo hace que el comportamiento del brazo robot tenga vibraciones.

Los movimientos realizados por el brazo robot son los mismos ocasionados por el musculo cuando este se encuentra en actividad, en la gráfica 3 podemos apreciar el comportamiento y variaciones de los músculos, estos presentan un ancho de pulso por la dificultad en levantamiento ya que requiere de mayor fuerza.

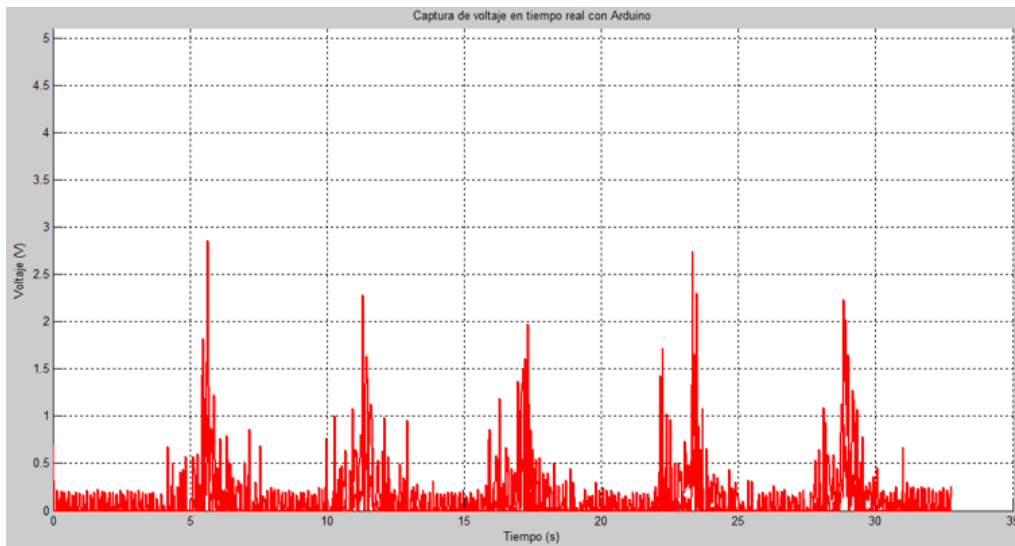


**Grafica 3.** Bíceps con carga de 5kg

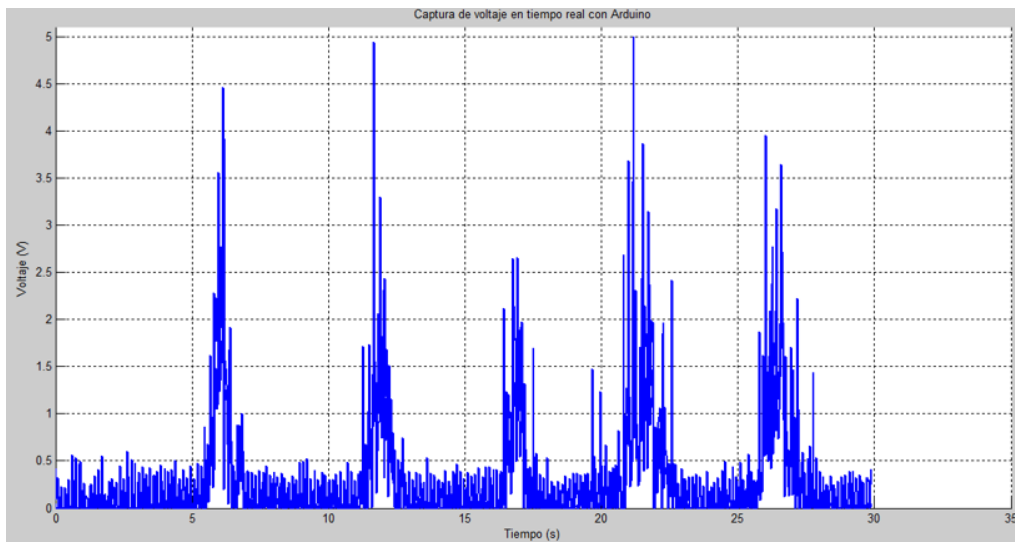
Inevitablemente el dolor muscular se presentó al día siguiente, un poco más fuerte que los estudios anteriores, esto quiere decir que los movimientos realizados en los ejercicios programados no se pueden exceder, los síntomas solo se presentó en los primeros tres días, el musculo no se excedió en su ejercicio pero aun así este presento molestias leves.

Algo que podemos apreciar es que el musculo Bíceps presenta un voltaje menor, en la gráfica de Tríceps los voltajes siempre van a ser más altos, esto es porque el Tríceps tiene menos resistencia, pero los dos músculos presentan una distorsión pulsos indicando un esfuerzo en los movimientos.





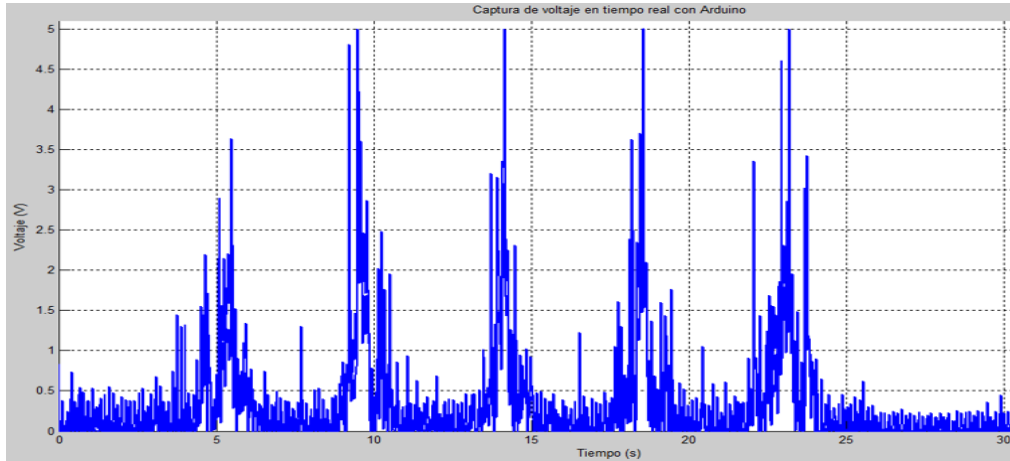
**Grafica 4. Biceps en presencia de fatiga**



**Grafica 5. Triceps carga de 5kg**

En la segunda semana el dolor ya ha desaparecido debido a la rutina, el musculo reacciona a la etapa de evolución por lo cual se hace más resistente y adaptable a la carga de levantamiento, en el software se presenta un mejor rendimiento y los pulsos presentado anteriormente mejora registrando un nivel más alto.

Esta imagen corresponde al musculo Tríceps que indica una constante de los pulsos manteniendo su estado sin fatiga.



**Gráfica 6.** Incrementación de fatiga en el tríceps

Una vez terminados los estudios en la tercera semana podemos indicar que las pruebas físicas mejoraron, el musculo se encuentra en buenas condiciones, las pruebas realizadas en los tiempos específicos sin alteraciones mostraron que se puede trabajar una rutina pausada donde el paciente tiene la oportunidad de lograr un buen rendimiento a nivel muscular.

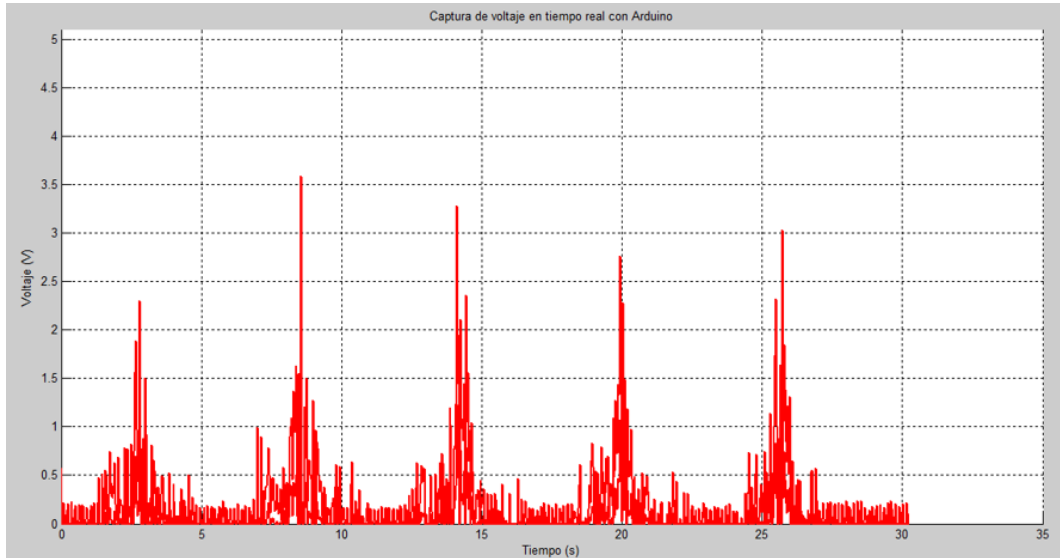
Por ultimo terminamos con una carga de 5.5 Kg, se hizo pruebas por una semana para analizar el comportamiento de los músculos, antes de iniciar dejamos descansar el musculo por una semana para iniciar un nuevo estudio.

Como ya sabemos en los estudios de investigación se realizan varias pruebas para identificar anomalías y mejoras, en este caso cuando realizamos el último estudio se presentó que los músculos aún no había perdido su cronograma de rutinas, por esto el comportamiento no fue muy notable, es decir que para observar los comportamientos con 500 Gramos que se agregaron, se debió dejar un periodo de tiempo más largo, sin embargo se realizó los estudios.

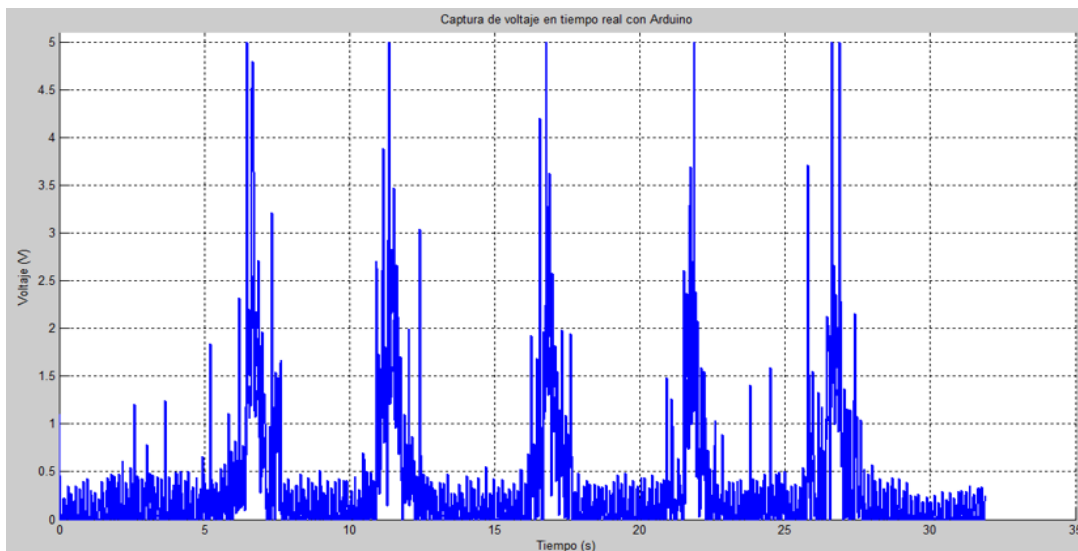
**Tabla 7.** Rutinas cargas de 5,5kg

RUTIN A	MUSCULO	TIEMP O	REPO SO	REPETICIO NES	CARGA KG	ESTA DO
1	Bíceps – Tríceps	15seg	15seg	5	5.5	Normal
2	Bíceps – Tríceps	15seg	15seg	5	5.5	Normal
3	Bíceps – Tríceps	15seg	15seg	5	5.5	Normal

Continuamos con las pruebas y rutinas para aclarar un poco la fatiga muscular, con la nueva carga y al observar el comportamiento en la primera semana se detecta que aun con un musculo ya adaptado a una rutina que se venía realizando en pruebas anteriores, este indicaba una fatiga al final de cada ejercicio pero no grave, posterior a eso el musculo presento un aumento de su masa, en las figuras siguientes los registros tomados en la actividad muestran los pulsos en su estado normal.



**Gráfica 7.** Demostración de una señal sin fatiga, musculo Bíceps.



**Gráfica 8.** Adaptación del musculo tríceps a la carga, sin fatiga.

Todo lo que se pudo observar con el brazo robot nos ayudó a comprender el esfuerzo que debe hacer los músculos para mantener cualquier carga sin importar la rutina que se está manejando, por esta razón se decidió ver desde otro punto de vista los factores que puede afectar nuestro sistema muscular.

Es muy importante destacar el funcionamiento del brazo robot, por medio de este se pudo observar los comportamientos de los músculos en su estado normal o cuando se presentaba alguna anomalía como las fatigas, los movimientos que este presentaba nos ayudó a presenciar todo lo que pasaba en cada repetición indicando que el musculo ya estaba cansado.

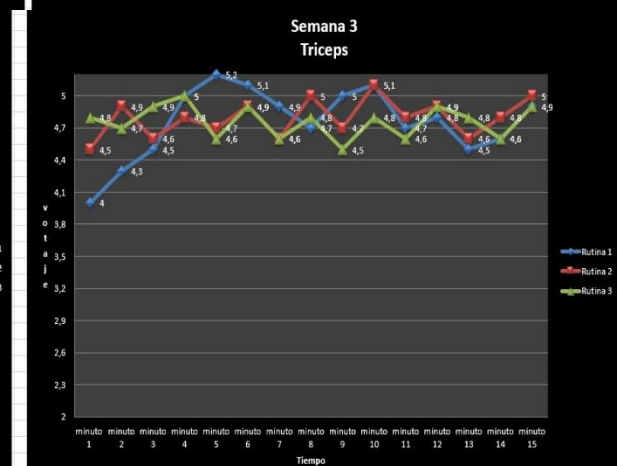
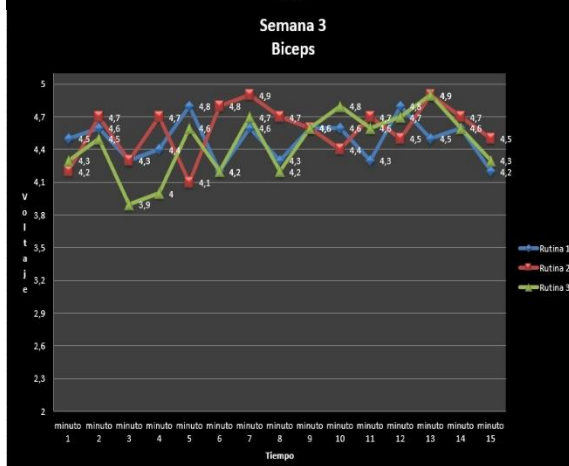
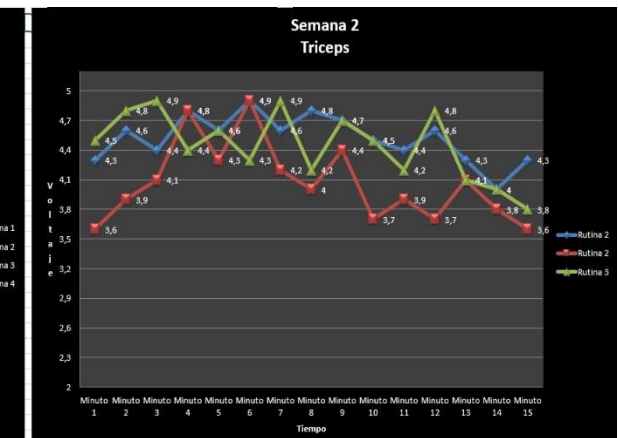
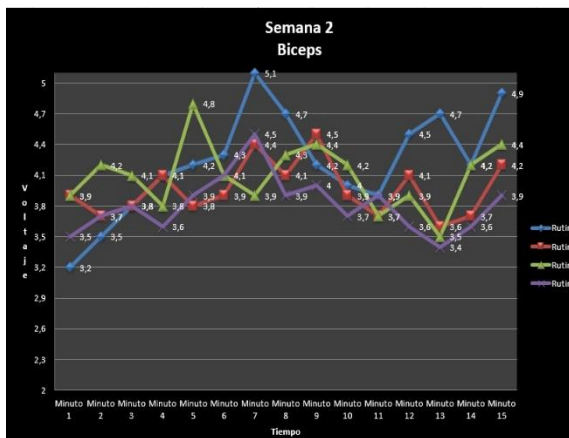
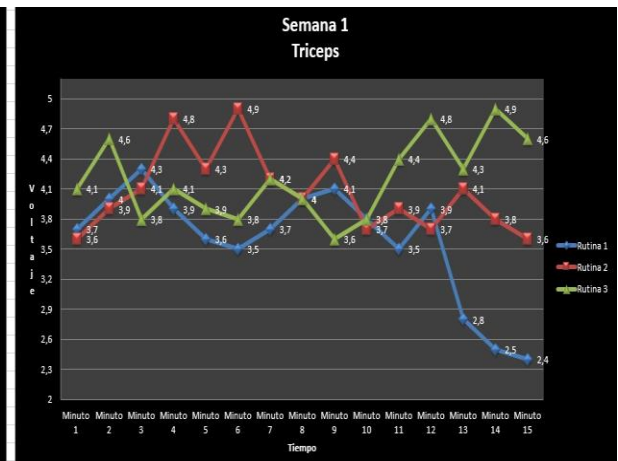
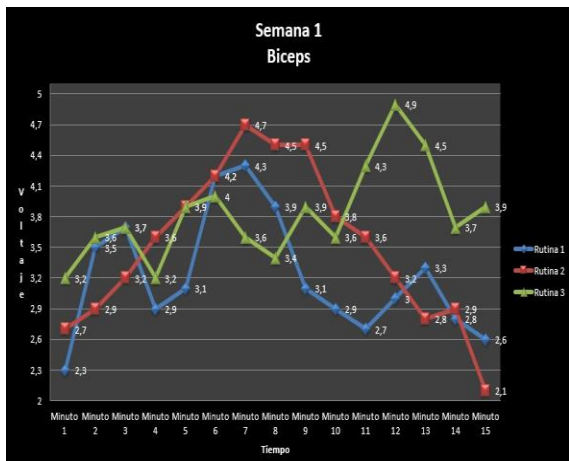
Algo que también se destacaba es el comportamiento que presentaba cuando se tenía la carga de 5kg, por la fuerza que se ejercía en la mano y el musculo para sostener la carga, el brazo robot presentaba vibraciones cuando el brazo de prueba estaba estático, por esta razón no se podía exceder a más de 5 repeticiones por sesión, con carga de 2kg se presentaba las vibraciones cuando ya el músculos estaba cansado al final de cada rutina.

Damos por terminada la investigación con buenos datos y resultados que permitieron conocer los comportamientos de cada musculo, las cargas utilizadas por cada sesión demostraron que se debe tener en cuenta un cronograma especificado para proteger los músculos de lesiones.

Las estadísticas en Excel muestran el punto máximo por rutina y la evolución del mismo, aquí se toda la información de lo sucedido por semana en donde el indicador nos informa todo suceso de las pruebas, como podemos ver en la semana tres (3) de cada carga, el comportamiento de los músculos mejoraron, en los descensos que se presentan indican las fatigas en cada rutina, los ejercicios continuaron mostrando un nivel un poco más alto al finalizar los ejercicios, estos registros son evaluados por pico de voltaje máximo por rutina, indica que el musculo dio su mejor esfuerzo en cada resultado.

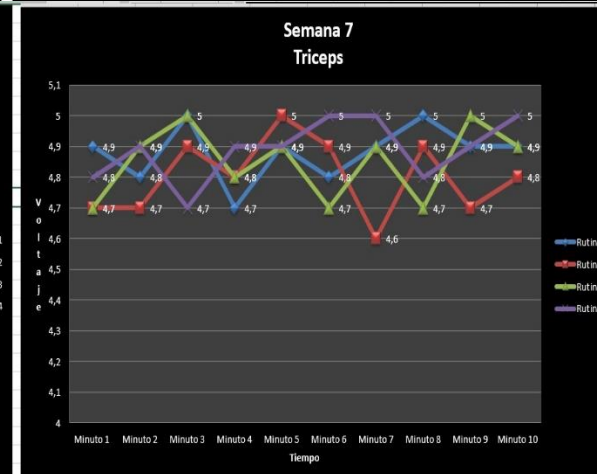
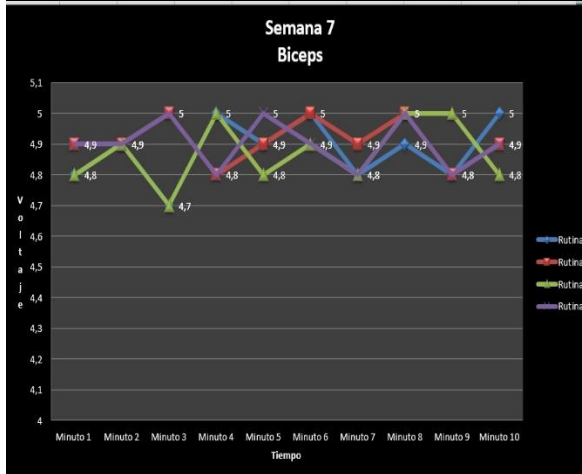
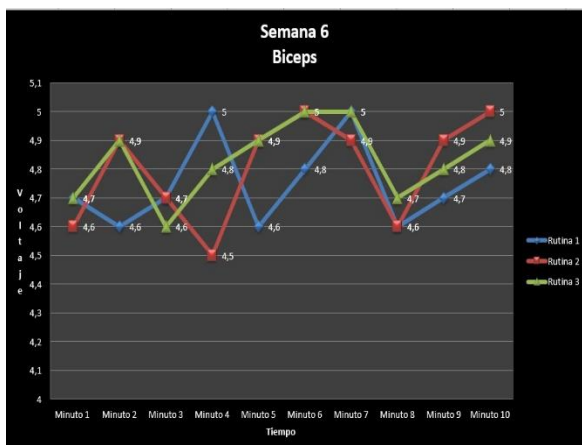
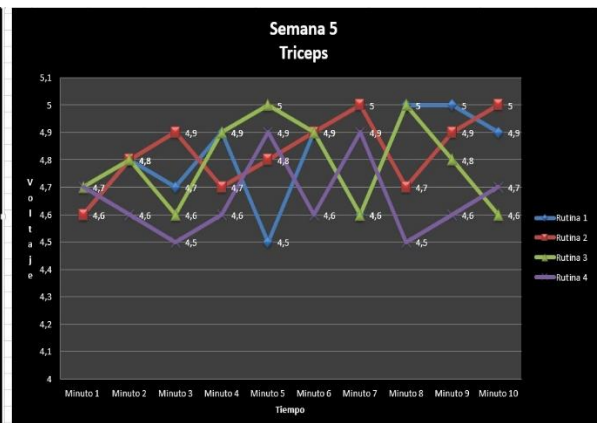
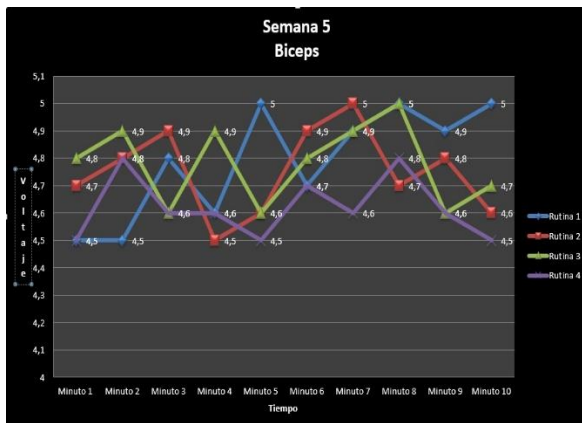
El musculo Tríceps responde mejor y presenta un indicador más alto, como ya lo mencionaba antes este presenta menos resistencia para la adquisición de los datos, aun así los resultados en el transcurso del tiempo indicaron su progreso.

Después de un tiempo largo manejando unas cargas durante el periodo de investigación es notable el aumento de masa muscular, gracias a la rutinas establecidas podemos indicar que es un éxito el estudio realizado porque no se presentó complicaciones, los músculos respondieron de a acuerdo con lo establecido.



Grafica 9. Indicador de máximo voltaje por musculo con carga 2kg

En las siguientes figuras se muestran los indicadores de los ejercicios realizados con cargas de 5kg.



**Grafica 10.** Indicador de máximo voltaje por musculo con carga 5kg

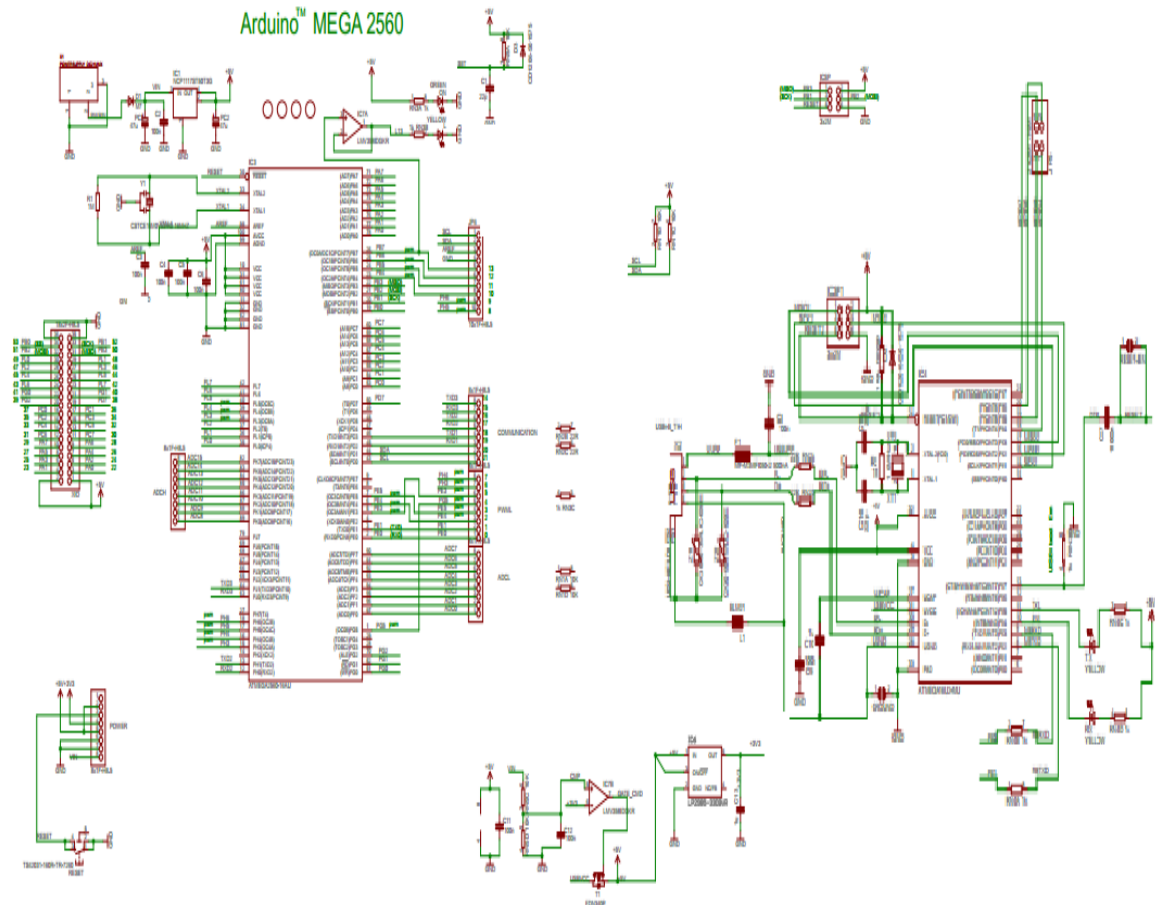
## 9. CONCLUSIONES

- En las pruebas realizadas podemos determinar que las señales presentadas en el documento tiene diferencias de potencial, esto se debe porque los músculos no estaban adaptados a las cargas y se presentaban una fatiga muscular, cuando iniciamos las pruebas se notó un comportamiento diferente, al terminar las pruebas estas ya tenían un pulso más alto con mejoras y no presentaban una fatiga como lo hacía en las primeras pruebas.
- Para la captura de la señal se utilizaron electrodos no invasivos, podemos llegar a la conclusión que con este tipo de electrodos no se puede hacer un registro óptimo para pacientes con volumen lipídico, en las pruebas estos pacientes no arrojaron buenos resultados.
- En las rutinas realizadas se presentó dolor leve en los músculos, si estos son llevados a extremo o el cronograma de series son cambiadas para llegar a un aumento de masa muscular, tendríamos un colapso por el rompimiento de las fibras, con estas rutinas especificadas no llegamos a ocasionar este tipo de lesiones por lo cual es un buen programa de ejercicio.
- Las fatigas musculares son ocasionadas por personas inexpertas que no tiene un tiempo específico, a este problema encontramos una solución que se puede tomar sin dificultad llevando a cabo una disciplina de ejercicios.
- En los movimientos presentados en el brazo robot indicaba el descenso del mismo, las reacciones que este indicaba y pesar que teníamos un cronograma de ejercicios este tomaba reacciones desordenada por causa de una fatiga muscular.
- El brazo robot fue una buena herramienta para visualizar el comportamiento de los músculos, este tomo todas las reacciones ocasionadas por la señal captada de EMG, gracias a estos movimientos determinamos las rutinas a seguir sin fatigar los músculos.

## ANEXO1

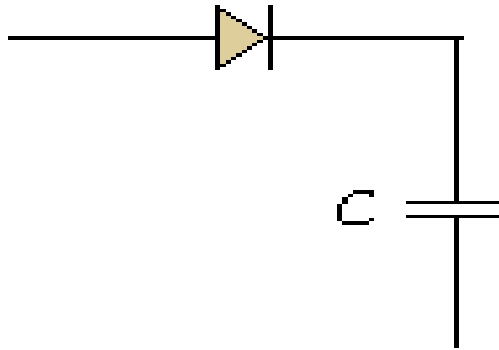
Se realiza la programación en una placa arduino mega 2560 con las siguientes características ya que nos aseguraron un buen procesamiento y manejos de los motores.

- Micro controlador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de – 7-12V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz

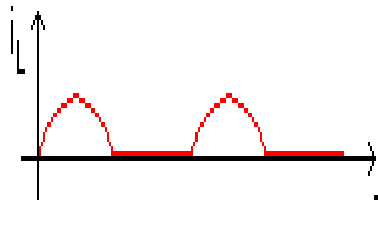




ANEXO2  
Rectificador de media onda con filtro por condensador



En este caso la forma de onda de la intensidad es igual a la tensión en la resistencia del cable,



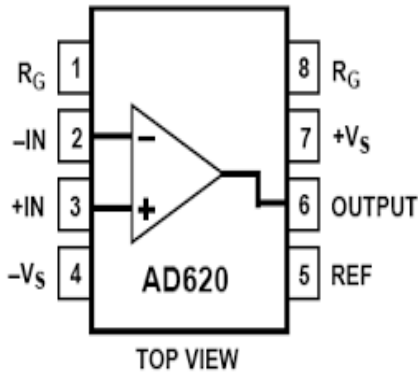
El objetivo del C es desviar parte de la corriente por él, para que sólo vaya por la  $R_L$  la componente continua de Fourier y el resto se cortocircuite a masa a través del condensador. Para que esto ocurra tenemos que ver la impedancia equivalente del condensador, y ver así como afectan los diferentes valores de la frecuencia a esta impedancia por la siguiente formula.

$$Z = \frac{1}{2\pi fC}$$

El valor de frecuencia más problemático es el de 50 Hz, ya que es el que más depende de la capacidad, y por lo tanto el que tiene un mayor valor de la impedancia. Si se consigue que a la frecuencia de 50 Hz tengamos un valor aceptable de la impedancia, para el resto de las frecuencias funcionará bien. Las ondas que tendríamos con y sin C serán estas, comparadas con la onda del secundario.

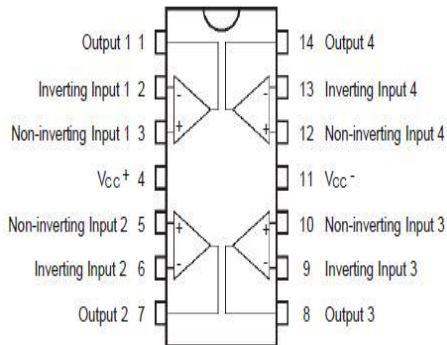
### ANEXO 3

#### Configuración de elementos a utilizar.



Por medio del instrumental AD620 aemos la adquisición de la señal EMG de tal forma que podemos aplicar de una buena manera sin ruidos que afecten la condición de nuestra señal. Según la teoría para ser un amplificador de instrumentación debe cumplir las siguientes condiciones:

- La primera es que presente una muy alta impedancia en sus terminales de entrada, esto responde a las leyes de Kirchoff y elimina posibles caídas de voltaje de la señal cardiaca que den como resultado la reducción o anulación de su amplitud
- La segunda es que solamente amplifique la diferencia de voltaje existente entre dichas terminales. El amplificador que reúne las dos características mencionadas es el amplificador de instrumentación.



Por medio del amplificador TL074 aemos la amplificación de la señal EMG y aplicar diversos filtros de tal manera que podemos eliminar diversos ruidos como los adquiridos por una toma AC.

Esto es posible por la utilización de resistencias para realizar inversores, no inversores y diferenciales para realizar la amplificación de esta señal utilizando las siguientes formulas encada uno de los casos.

$$G = - \frac{R_f}{R_l} \quad G = \frac{R_f}{R_1} + 1 \quad v_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

Y utilizando los condensadores podemos realizar filtros en ciertas partes de la señal para mejorar sus características.

## ANEXO 4

### Problemas y soluciones

Los códigos de simulación y emulación presentan problemas de compatibilidad ya que las bibliotecas difieren en la comunicación de MATLAB y el de ATmega2560 con su entorno de programación "ARDUINO" y su placa ARDUINO MEGA 2560.

Una de las soluciones nos llevó a experimentar la fusión de las bibliotecas de ARDUINO MATLAB con un error de compilación por utilizar los dos compiladores al mismo tiempo generando un problema de compatibilidad entre ellos.

La posibilidad de poder solucionar esto es poder unir dos computadores por medio de un cable en red asiendo el registro en uno y enviándolo al otro o haciendo dos archivos por separados para poder unirnos en dos formas distintas.

El otro inconveniente tener en cuenta es la regla de tres de angulación que es la siguiente:

$$\phi = \frac{1 * \text{angulo a obtener}}{180^\circ}$$

Por la presente podemos calcular el vector a mover según su voltaje sabiendo que 5 voltios equivalen a 1 y este al ángulo de 180° sabiendo esto la variación de voltaje de la señal EMG dará una diferencia de movimiento ya que estos voltajes no podrán ser normalizados pero sus movimientos serán semejantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Artículos Exclusivos de medicina. Filosofía del tejido muscular  
Disponible en: <http://www.biblioteca-medica.com.ar/2012/04/fisiologia-del-tejido-muscular.html>
- [2] GUYTON. Arthur y HALL. Jhon. Contracción del musculo esquelético. En: Compendio Fisiología médica Decimoprimer edición. Barcelona: Editorial Elsevier. 2007. 45- 52 p.
- [3] WILMOR. Jack y COSTILL. David. Control muscular del movimiento. En: Fisiología Del Esfuerzo Y Del Deporte 5ta edición. España: Editorial Paidotribo, 2004. 26-50 p.
- [4] DELAVIER. Frederic. Brazos y Antebrazos. En: Guía De Los Movimientos De Musculación Descripción Anatómica 4ta Edición. Paris: Editorial Paidotribo. 1- 22 p.
- [5] Gatorade Sports Science Institute. Factores metabólicos en la fatiga. Victoria-Australia. 2005. Vol. 18, No 13.  
Disponible en :  
[https://secure.footprint.net/gatorade/stg/gssiweb/pdf/es/98\\_Mark\\_Hargreaves.pdf](https://secure.footprint.net/gatorade/stg/gssiweb/pdf/es/98_Mark_Hargreaves.pdf)
- [6] P. K. Artemiadis and K. J. Kyriakopoulos, "EMG-Based Control of a Robot Arm Using Low-Dimensional Embeddings," IEEE Trans. Robot., vol. 26, no. 2, pp. 393–398, Apr. 2010.
- [7] M. V. Liarakis, P. K. Artemiadis, K. J. Kyriakopoulos, and E. S. Manolagos, "A Learning Scheme for Reach to Grasp Movements: On EMG-Based Interfaces Using Task Specific Motion Decoding Models," IEEE J. Biomed. Health Inform., vol. 17, no. 5, pp. 915–921, Sep. 2013.
- [8] C. C. O. A, and I. Vidal M, "Cirugía robótica," Rev. Chil. Cir., vol. 64, no. 1, pp. 88–91, Feb. 2012.
- [9] J. V. Pinzón, R. P. Mayorga, and G. C. Hurtado, "Brazo robótico controlado por electromiografía," Sci. Tech., vol. 1, no. 52, pp. 165–173, Dec. 2012.
- [10] Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance.  
Autores: Johnston RB 3rd , Howard ME , Cawley PW , Losse GM  
<http://europepmc.org/abstract/med/9861603>
- [11] Influencia de la fatiga muscular en la señal electromiográfica de músculos estimulados eléctricamente  
Autores: Juliana M. Fernández, Rubén C. Acevedo, Carolina B. Tabernig.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179412372007000100010&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179412372007000100010&script=sci_arttext&tlng=pt)
- [12] La fatiga muscular en los deportistas: métodos físicos, nutricionales y farmacológicos para combatirla  
Autores: Urdampilleta, Aritz | Armentia, Ivan | Gómez-Zorita, Saioa | Martínez Sanz, José Miguel | Mielgo-Ayuso, Juan  
[http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/165\\_rev02.pdf](http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/165_rev02.pdf)

[13] Fatiga muscular: recuperación física en el deportista  
Autores: Juan Gondra del Río (coord.), Andoni Jauregui Crespo (coord.)  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=6123>

[14] THE MECHANISMS INVOLVED IN ACUTE FATIGUE  
Autores: Gómez-Campos, R.<sup>1</sup>; Cossio-Bolaños, M.A.<sup>2</sup>; Brousett Minaya, M.<sup>3</sup> y  
Hochmuller - Fogaca, R.T.<sup>4</sup>  
<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista40/artmecanismo171.htm>

### **Fuentes Secundarias**

<http://www.sylesport.es/documentos/fatigamuscular.pdf>  
<http://www.thesauro.com/imagenes/fatigamuscular.pdf>  
<http://www.efisioterapia.net/articulos/sindrome-sobreentrenamiento>

[file:///C:/Users/Milena%20Florez/Documents/TESIS/TRABAJO%20FINAL/TESIS%20PARTES7tutu/S0025775301717964\\_S300\\_es.pdf](file:///C:/Users/Milena%20Florez/Documents/TESIS/TRABAJO%20FINAL/TESIS%20PARTES7tutu/S0025775301717964_S300_es.pdf)