



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN EXPERIMENTO PARA OBTENER
SEÑALES MIOELÉCTRICAS DEL BRAZO**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERA EN COMPUTACIÓN

P R E S E N T A

JUANA MELÉNDEZ MERCADO

DIRECTOR DE TESIS

JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ



Ciudad Universitaria, Ciudad de México., 2016



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

*Hay una fuerza motriz
más poderosa que el vapor
la electricidad y la energía atómica:
la voluntad.
Albert Einstein.*

*Se puede quitar a un general su ejército,
pero no a un hombre su voluntad.
Confucio.*



Dedicatoria.

A Dios por hacer de mi lo que soy.

A mi madre Edith Mercado Cardenas por ser mi luz y apoyo en todos los momentos de mi vida.

Agradecimientos:

A mi compañero de viaje : Gabriel Eduardo Muñoz Cruz.

A mis amados hijos: Eduardo Atonatiuh Muñoz Meléndez

Valeria Edith Muñoz Meléndez

A mis guerreras hermanas. Todo mi infinito amor:

Edith, Adriana, Claudia.

A mis hermanos: Sergio, Mario, Rogelio.

A Dr. Jesús Manuel Dorador González por ser un extraordinario ser humano.

A M.I. Ana Marissa Juarez Mendoza por su apoyo, su cariño, enseñanzas, complicidad y compromiso infinitas gracias.

A M.I. Yew Alva Castañeda por brindarme toda la confianza, entrega, pasión para hacer bien las cosas. Mi reconocimiento por ser tan profesional.

A toda mi familia por estar.

A mis amigos hoy y siempre que son demasiados pero sus nombres están incluidos en mi corazón.

A la UNAM por sentirme orgullosamente parte de ella.

A la Facultad de Ingeniería por su larga espera para que culminara mi carrera.



Contenido.

Introducción.....	6
Objetivo general.	7
Objetivos específicos.	7
Alcances.....	7
Capítulo I Antecedentes.	8
1.1 La electromiografía de superficie.	8
1.2 Investigaciones nacionales.	12
1.3 Investigaciones internacionales.	15
Capítulo 2 Marco teórico.	18
2.1 Diseño de experimentos.....	18
2.1.1 Definición 18	18
2.1.2 Directrices para el diseño de experimentos 19	19
2.2 Metodología cualitativa y análisis de datos estadísticos. 19	19
2.2.1 Los métodos robustos..... 20	20
2.2.2 Los métodos de valores desviados..... 20	20
2.2.3 La media 21	21
2.2.4 Mediana 21	21
2.2.5 Moda 21	21
2.2.6 Desviación estándar (DS) 21	21
2.2.7 Curva Normal..... 21	21
2.2.8 Adquisición de la señal 22	22
2.3 Anatomía del brazo humano. 23	23
2.3.1 Fisiología de la contracción..... 23	23
2.3.2 Tejido muscular..... 23	23
2.3.3 Tono muscular. 24	24
2.3.4 Excitación muscular. 24	24
2.3.5 Condiciones de las contracciones musculares. 25	25
2.3.6 Tipos de contracciones musculares..... 26	26
Contracción de los músculos esqueléticos..... 26	26
2.3.7 Tipos de músculos 27	27
2.3.8 Músculo bíceps braquial. 28	28



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Acción del bíceps braquial	28
2.3.9 Músculo tríceps braquial	28
Acción del tríceps braquial	28
2.3.10 Músculo deltoides	29
2.3.11 Músculo pectoral.....	30
2.3.12 Músculo extensor de los dedos	30
2.3.13 Músculo flexor superficial de los dedos	31
2.4 Análisis de las señales mioeléctricas durante el reposo muscular.....	32
2.4.1 Potencial de acción.....	32
2.5 Estrategias para la colocación de electrodos de superficie.....	34
2.6 Prensiones de la Mano.....	37
Capítulo 3 Desarrollo.....	39
3.1 Población de los sujetos de prueba.....	39
3.2 Informar al sujeto las características del experimento.....	39
3.3 Preparación del sujeto.....	39
3.4 Adquisición de datos del movimiento asignado.	44
3.5 Equipo.....	48
3.6 Adquisición de datos.....	50
Capítulo 4 Análisis estadístico del movimiento.....	53
Capítulo 5 Conclusiones	81
Trabajo a futuro	81
Bibliografía	85



Introducción.

En el desarrollo de esta tesis el lector encontrará el diseño de un experimento para conocer la señal mioeléctrica relacionada con un movimiento dado.

El presente estudio se realizó en el marco del proyecto DGAPA PAPIIT IT101915 “Mecatrónica en los sistemas biomédicos” durante el periodo comprendido del 1 de enero de 2014 al 1 de febrero del 2015. Se llevó a cabo en quince estudiantes de la Facultad de Ingeniería a quienes se les aplicó el protocolo¹ propuesto en este trabajo para la adquisición de señales mioeléctricas.

El estudio fue realizado mediante métodos no invasivos, por lo que se seleccionaron los músculos superficiales como son; bíceps largo, porción corta del tríceps braquial, extensor común de los dedos, flexor común de los dedos, deltoides y pectoral, por ser de fácil acceso.

Se asignó una tarea específica a los estudiantes que implicó ejecutar movimientos del miembro torácico para tomar tres tipos de objetos, un lápiz, un mazo y un portafolio con el objetivo de estimular la actividad mioeléctrica de los músculos. Dicha actividad mioeléctrica se captó por medio de electrodos de superficie y del equipo Procomp Infiniti a través del software Biograph Infiniti 5.0.

El análisis de la actividad mioeléctrica a través de la clasificación de la señal mioeléctrica es fundamental para el perfeccionamiento de programas de rehabilitación en pacientes amputados, así como en el desarrollo, adaptación e implementación de prótesis mioeléctricas con el objetivo de mejorar la funcionalidad y la calidad de vida de quienes lo requieran.

En el primer capítulo se describe una breve síntesis histórica de la electromiografía de superficie (EMGS), con reportes de algunos estudios nacionales e internacionales en particular para la técnica aplicada en brazo.

Posteriormente en el capítulo dos, denominado marco teórico se desarrollaron los siguientes temas: diseño de experimentos, anatomía y fisiología de brazo, análisis de las señales mioeléctricas durante el reposo muscular, estrategias para la colocación de electrodos de superficie y prensiones de la mano.

En el capítulo tres, desarrollo del experimento se presenta la propuesta de un protocolo que se llevó a cabo para la realización de las pruebas en los quince estudiantes.

En el capítulo cuatro se realiza el análisis estadístico descriptivo para cada uno de los movimientos asociados con cada uno de los músculos. Finalmente en el capítulo cinco se establecen las conclusiones y el trabajo a futuro.

¹ De acuerdo a la real academia española protocolo secuencia detallada de un proceso a seguir.

Objetivo general.

Diseñar un experimento para obtener señales mioeléctricas de seis músculos superficiales de miembro torácico que participan en la realización de movimientos para la prensión de objetos.

Objetivos específicos.

- Desarrollar un protocolo que permita identificar los puntos de localización para los músculos; bíceps, tríceps, deltoides, pectoral, flexor y extensor común de los dedos, en una muestra de quince alumnos.
- Establecer los movimientos que realizarán los alumnos para la sujeción de tres tipos de objetos, un lápiz, un mazo y un portafolio.
- Registrar las señales mioeléctricas de los músculos de brazo durante cada uno de los movimientos.
- Realizar un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos.

Alcances.

En esta tesis se presenta el diseño del experimento mediante el desarrollo de un protocolo para obtener información de seis músculos que participan al realizar movimientos con el brazo para la prensión de objetos. Los resultados presentados corresponden a las pruebas realizadas en seis músculos de un individuo y no para toda la población propuesta en el diseño del experimento, esto se decidió debido a la gran cantidad de información para encontrar las señales mioeléctricas que se generan en la prensión de objetos y que se pretende utilizar para el control de sistemas protésicos de miembro torácico. El análisis de la información obtenida de los seis músculos en toda la población se realizará por parte de los integrantes del proyecto y será motivo de otros trabajos de tesis.



Capítulo I Antecedentes.

Considerando el desarrollo de la electromiografía a nivel histórico nacional e internacional, se encontró lo siguiente:

1.1 La electromiografía de superficie.

La electromiografía es un registro de la actividad eléctrica muscular y por lo tanto constituye una extensión de la exploración física y prueba la integridad del sistema motor.

Se puede decir que la electromiografía cinesiológica también denominada electromiografía de superficie (EMGS), es el análisis electromiográfico que permite recoger la señal eléctrica de un músculo en un cuerpo en movimiento.

La finalidad principal de este tipo de medida es conocer la actividad de uno o varios músculos en una acción concreta.

A mediados del siglo XX se introdujo el primer equipo comercial de electromiografía para uso médico basado en circuitos electrónicos analógicos. El desarrollo posterior de la tecnología digital ha permitido disponer de sistemas controlados por microprocesadores cada vez más fiables y potentes para captar, representar, almacenar y clasificar señales mioeléctricas. A continuación, se presenta la Tabla 1 Hitos científicos y tecnológicos relacionados con la bioelectricidad y la electromiografía. [1]

Tabla 1 Hitos científicos y tecnológico relacionados con la bioelectricidad y la electromiografía.

Edad Antigua y Edad Media: los cuatro elementos constitutivos de la materia	
Galeno (ca.130-200)	Sintetiza el pensamiento clásico sobre fisiología y concibe el sistema neuromuscular como una red de conducción de aire (pneumas) desde el encéfalo a los músculos para controlar su contracción.
Siglos XV y XVI (Renacimiento): continuidad	
Andrea Versalio (1514-1564) Leonardo da Vinci (1452-1519)	Se mantiene la doctrina de Galeno pese al detallado conocimiento anatómico logrado en esta época.



Tabla 2 (Continuación)

Siglo XVII: primeras aproximaciones empíricas	
Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679)	Descarta experimentalmente la existencia del aire en los músculos. Influenciado por la alquimia propone la posibilidad de fermentaciones para explicar la concentración.
William Gilbert (1544-1603)	Publica la monografía <<De Magnate>> (1600): primera evidencia del fenómeno eléctrico en los tejidos animales.
Francesco Redi (1626-1697)	Describe los <<efectos nerviosos>> de las descargas eléctricas del pez torpedo (1666)
Siglo XIX: formulaciones teóricas de la física del electromagnetismo	
Claude Bernard (1813-1878)	Funda la medicina experimental, de la que es el principal exponente.
Carlo Matteuci (1811-1865)	Primeras medidas de fenómenos bioeléctricos: con un galvanómetro detecta corriente eléctrica entre el segmento dañado de un músculo y la parte intacta <<corriente de lesión>>.
Emil Du Bois-Reymond (1818-1896)	Demuestra la existencia de corriente eléctrica asociada a la excitación nerviosa: el potencial de acción.
Herman Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894)	Calcula la velocidad de propagación de los impulsos nerviosos (27-30 m/s) con un cronómetro sincronizado con la excitación nerviosa y la contracción. La publicación de estos resultados (1850) puede considerarse el inicio de la neurofisiología moderna.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Primera mitad del siglo XX: física electrónica, biofísica de la membrana	
Pipper	En 1912 se realiza el primer estudio a profundidad de electromiografía y al estudio de la actividad eléctrica de los músculos esqueléticos se le conoció como electromiografía (EMG); se registraron potenciales durante la contracción voluntaria empleando electrodos de superficie y un galvanómetro de hilo.
Joseph Erlanger y su discípulo el fisiólogo Herbert Spencer Gasser	En 1922, pudieron amplificar las señales eléctricas originadas al estimular una fibra nerviosa y representarlas gráficamente en un osciloscopio de rayos catódicos. Por sus descubrimientos relacionados con las funciones altamente diferenciadas de las fibras nerviosas recibieron el premio Nobel de Medicina en 1944.
Charles Scott Sherrington (1857-1952)	Define el concepto de unidad motora.
Edgar Douglas Adrián (1889-1977) y Detlev Wulf Bronk(1897-1975)	Introducen el electrodo concéntrico para registros para EMG experimentales (1929).
Francesco Redi	A mediados del siglo XX, demostró la existencia de un músculo especializado capaz de generar electricidad en el pez raya.
Alan Lloyd Hodgkin (1914-1998) y Andrew Fielding Huxley (1917)	Registros con micro electrodos de los potenciales eléctricos Transmembrana en el axón gigante del calamar. Formulación de las propiedades bioeléctricas de la membrana.



Tabla 3 Continuación

Estudios electromiográficos en patología	
Weddel y col 1944	Publican el primer trabajo específicamente dedicado a la EMG en condiciones patológicas
Fritz Buchthal (1907-2003) 1950	DISA A/S (Dinamarca) en colaboración con el médico alemán, saca al mercado el primer equipo comercial de EMG. Tecnología analógica con válvulas electrónicas.
1950-1972	Perfeccionamientos analógicos: sistemas transistorizados. Procesamiento básico de la señal: línea de retardo (delay line), premedicación y cursores en pantalla para la medición de parámetros. Visualización en un tubo de rayos catódicos. Análisis de señales sobre papel previa fotografía de las pantallas con cámaras Polaroid. Sistematización de los estudios EMG por Buchthal.
Segunda generación: electromiógrafos digitales	
1973-1981	Sistemas modulares digitales: señales digitalizadas que pueden imprimirse en tiempo real y analizarse en módulos
Tercera generación: computación microinformática	
1982	Sistemas de adquisición y análisis controlados por microprocesadores. Potencia computacional limitada: ejecución de análisis elementales. Posibilidad de transferencia de datos a computadores externos para análisis off-line.
1982-1992	Erik Stalberg: continuación de la EMG cuantitativa iniciada por Buchthal, impulso de los sistemas computarizados y estandarización de técnicas.
Cuarta generación: adaptación de ordenadores personales.	
1993	La práctica totalidad de las funciones de adquisición y análisis de señales es controlada por ordenadores con hardware y software específicos.
Perspectivas futuras	
Siglo XXI	Adaptación de sistemas de inteligencia artificial: Sistemas expertos de apoyo al diagnóstico. Diagnóstico automatizado. Sistemas tutoriales para formación.



1.2 Investigaciones nacionales.

Para la realización del experimento, se encontró a nivel nacional, en 2012 en la Universidad Politécnica de Tlaxcala, realizó la “Comparación de métodos de extracción de características para la clasificación de señales mioeléctricas”. [2]

En este trabajo se exponen los resultados del análisis de algunas señales mioeléctricas para obtener las características de cada movimiento, de esta manera se clasifican de acuerdo a los tipos de movimientos (esférico cilíndrico, precisión y llave) realizados por la mano. De su análisis se puede destacar que los métodos estadísticos, valor de la raíz cuadrática media (RMS), varianza, valor medio absoluto y desviación estándar son eficaces para la clasificación de señales mioeléctricas ya que agrupan los resultados obtenidos dentro de un rango de valores específicos para cada movimiento. En la Figura 1 se muestran las prensiones básicas.

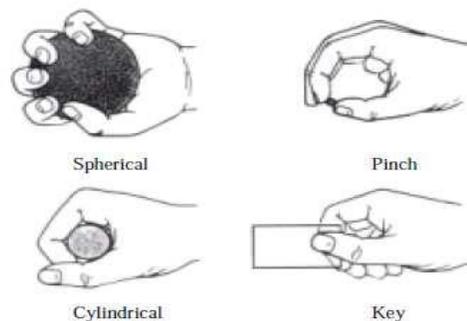


Figura 1 Prensiones básicas. [2]

La metodología que emplearon, era proponer los movimientos, equipo de medición y software, ubicación de los electrodos según SENIAM [3] (Electromiografía de Superficie para la evaluación no Invasiva de los músculos). Para la adquisición de la señal se utilizó una tarjeta DAQ No. 9234. Se obtuvieron señales con un total de 153600 muestras. Esto es importante para la propuesta del diseño del experimento para obtener señales mioeléctricas del brazo.

La importancia de las señales mioeléctricas es ver algunas de las aplicaciones que se obtienen a partir de ellas como se menciona en la siguiente información.

En el año 2011 en el Instituto Tecnológico Superior Zacapoaxtla, Puebla. Vergara Betancourt (*et al*), realizaron el estudio “Detección y acondicionamiento de señales mioeléctricas”. [4]

Para demostrar que es posible detectar las señales eléctricas generadas por la contracción de los músculos del brazo, se requiere de tres etapas principales: detección, acondicionamiento y aplicación. Consideran que la parte más complicada es acondicionar estas señales. Tienen como propósito demostrar que es posible utilizar las señales mioeléctricas generadas por los músculos del brazo para activar el encendido apagado de dos dispositivos electromecánicos. Para ello utilizaron electrodos superficiales para su detección y un amplificador de instrumentación para su acondicionamiento. Siguió los lineamientos de SENIAM.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En 2011 en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME-IPN se realizó el “Diseño personalizado de una interfaz mioeléctrica para una prótesis de miembro superior”. [5]

La metodología con 6 etapas: 1) seleccionar el método de captación de las señales de EMG; 2) escoger los electrodos a utilizar e identificar los músculos donde se colocarán; 3) la preparación de la zona no está lo suficientemente limpia; 4) con base en la normatividad SENIAM, la posición longitudinal es la forma más práctica de trabajar, los electrodos de captación se colocan a unos 20 mm de distancia entre centros y el electrodo de referencia se ubica en cualquier parte de la muñeca; 5) posterior a esto, se alimentan los circuitos necesarios para proceder a conectar los electrodos y realizar el proceso de adquisición de señales; 6) etapa de pre amplificación, amplificación y filtrado.

Los resultados obtenidos muestran un avance considerable sobre el control mediante señales de electromiografía de superficie (EMGS) de un prototipo de implante que simula los principales tipos de agarre de la mano. En la Figura 2 se muestra a) colocación de electrodos en el músculo flexor radial del carpo y b) Electrodo de referencia en la muñeca. En dicho trabajo la investigación se enfocó específicamente en el estudio teórico y experimental del control de señales mioeléctricas que pueden simular los principales agarres de la mano mediante el entrenamiento del músculo afectado.

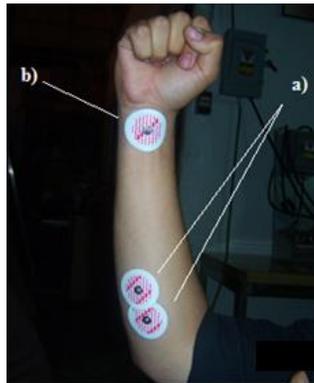


Figura 2a) Electrodo colocado en el músculo flexor radial del carpo. b) Electrodo de referencia [5].

Dentro de la aplicación más amplia se encuentra el entrenamiento de señales mioeléctricas, para el uso de prótesis mioeléctricas en personas amputadas. Es por eso importante generar protocolos para obtener las respuestas de los músculos en personas sanas y después aplicarlo en personas amputadas.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En 2014 en la Sección Bioelectrónica del CINVESTAV-IPN se realizó “Prótesis para extremidad superior controlada mediante la interpretación de la señal mioeléctrica en músculos remanentes”. [6]

La prótesis está diseñada para ser utilizada por personas que hayan sufrido una amputación por arriba de la articulación del codo y que aún conserven el bíceps y el tríceps sanos y gobernables, Figura 3. La señal entregada por el receptor externo será procesada con la finalidad de obtener sus parámetros estadísticos, tales como son la media, varianza, desviación estándar, etc. Estos parámetros se introducirán en una red neuronal para su control. En este trabajo se analizan las señales mioeléctricas con estudios estadísticos, lo cual es la razón de interés para el caso de la propuesta del experimento para obtener señales mioeléctricas del brazo.

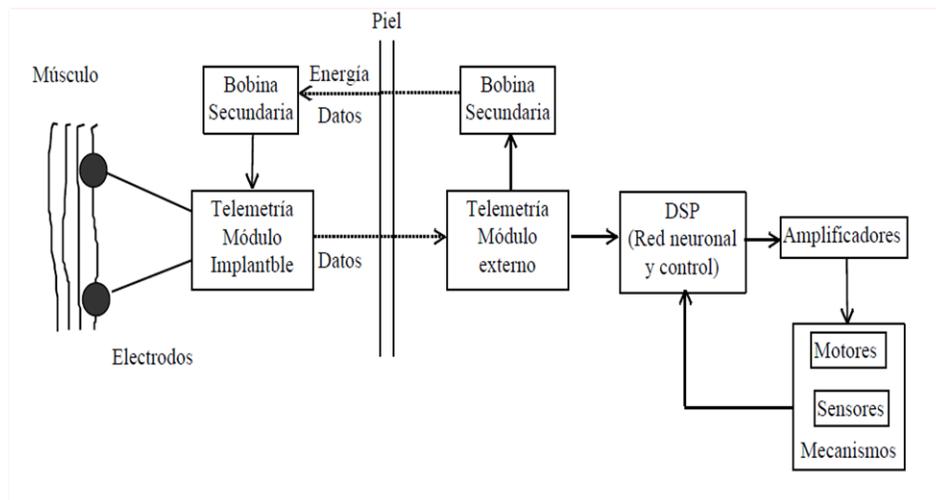


Figura 3 Diagrama de bloques de la prótesis para extremidad superior [6]



1.3 Investigaciones internacionales.

En el ámbito internacional en el año 2010 se realizó la “Valoración de la electromiografía multicanal para el análisis de mialgia de esfuerzo en músculos del antebrazo.” [7]

Se obtuvo la extracción de características de la señal para medir su activación proporcionando información sobre el estado de los músculos en cuanto a patrones de activación, fatigabilidad, velocidad de conducción de los potenciales estableciendo un protocolo para el registro de una base de datos de pacientes sanos y otra de pacientes con mialgia de esfuerzo en diferentes grados, Figura 4.

Esto significó un avance para la comprensión de las señales mioeléctricas con respecto a las contracciones y relajaciones de los músculos investigados.

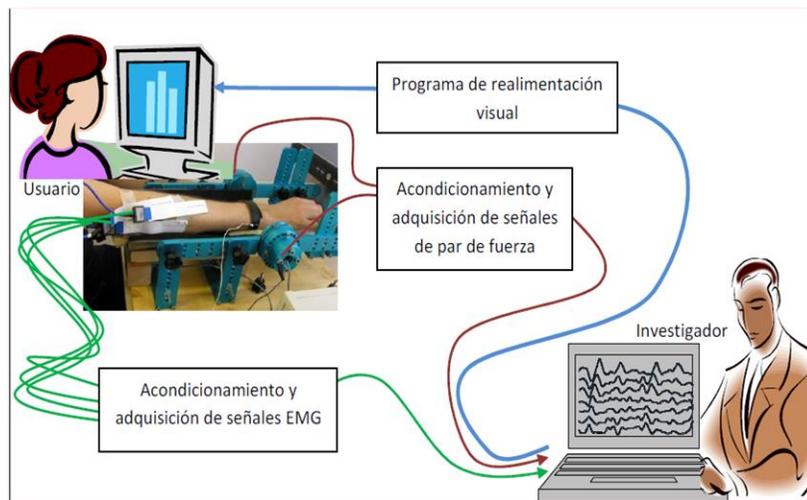


Figura 4 Configuración global del sistema [7]

Con respecto a la metodología aplicada, usaron un software de retroalimentación visual que permite al usuario una medida cuantitativa de la fuerza instantánea que se está aplicando en el brazo mecánico, a través de la presentación de las señales de par adquiridas. Los electrodos utilizados están condicionados por el tamaño de los músculos y el tipo de señal a registrar. La propuesta para esta investigación, en la distancia es de 5 mm Inter electrodo, preparación de la piel, tipos de electrodos, localización de los músculos, se pide al sujeto el movimiento a realizar, acondicionamiento y adquisición con un amplificador que cuenta con 128 canales, tiene una norma en 60601 para equipos médicos eléctricos. Proporciona da una idea en cuanto a las características de los aparatos con los que cuentan para la adquisición de señales mioeléctricas.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En el año 2012 se realizó el trabajo “Aplicaciones de las señales mioeléctricas para el control de interfaces Hombre-Máquina”. [8]

El sistema implementado permite realizar la adquisición y el procesamiento de señales EMG para el control de interfaces hombre-máquina y aplicaciones en Medicina y Rehabilitación está constituido por un bloque de software. El bloque de hardware lo conforman los módulos de sensores, acondicionamiento de señales y adquisición de señales; el bloque software está constituido por el módulo de procesamiento de señales. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la Figura 5.

Este trabajo permite comprender el comportamiento de las señales mioeléctricas con respecto al protocolo y movimiento propuesto.

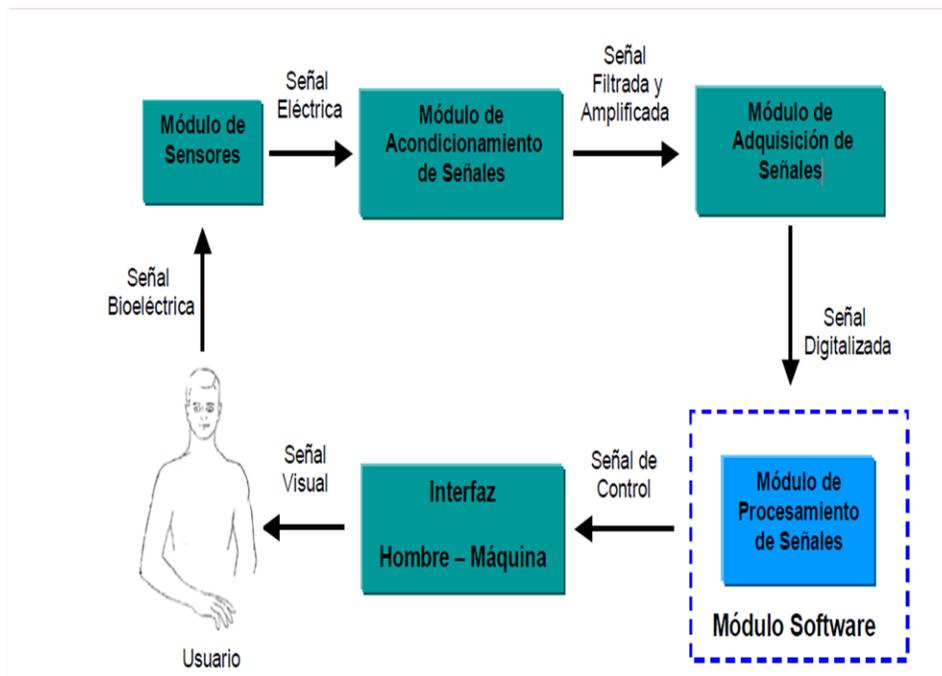


Figura 5 Diagrama de bloques del sistema [8]

En el año 2011 un grupo de investigación de Laboratorio de Análisis del movimiento, en Madrid, España realizó el “ Análisis de movimiento de la extremidad superior hemiparética en pacientes con accidente cerebro vascular: estudio piloto. [9]

Se utilizó el equipo de electromiografía de superficie Aurion ZeroWire. Se analizaron los movimientos articulares del codo, el hombro y el tórax. El objetivo de este estudio es analizar qué diferencias cinemáticas y de cronología de activación muscular pueden existir entre pacientes con ACV (Accidente Cerebro Vascular) y sujetos sanos al realizar la actividad de beber agua de un vaso. La hipótesis de que las limitaciones de la extremidad superior presentes en los sujetos con ACV ocasionan que al realizar la actividad de ingerir líquidos exista una estrategia motora de compensación, por parte de otros músculos.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Resultados: Se observó una disminución de las amplitudes articulares en el plano sagital del codo y el hombro durante la actividad de beber agua en el grupo de casos; sin embargo, las amplitudes articulares del tronco y el hombro en el plano frontal fueron mayores con respecto a los sujetos controles.

La metodología fue el número de sujetos 4 varones con ACV, además de 4 varones sanos, solicitándoles el consentimiento para iniciar la participación del estudio. Instrumentación, actividad a realizar, análisis de los datos se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para la comparación de grupos.

En contraparte, la metodología empleada para el diseño del experimento objeto de estudio de esta tesis, se utilizó equipo Procomp Infiniti a través del software BioGraph Infiniti 5.0. Obteniendo de los dos primeros canales A y B 2048 muestras por segundo. Comparativamente con la propuesta de estos métodos de extracción el experimento propuesto obtuvo más datos que las propuestas previamente citadas. Y se lograron obtener las señales para los movimientos propuestos.

En el dominio del tiempo y la frecuencia. En la clasificación de los métodos en el dominio de tiempo se encuentran los métodos estadísticos, razón de interés para así poder realizar el experimento. Cabe mencionar que el software Infiniti, maneja datos estadísticos de la señal para determinados intervalos y como se presentó una muestra de 15 alumnos con seis músculos y tres movimientos esto era conveniente para el análisis.

Para el desarrollo de nuestro experimento fue importante conocer las metodologías a nivel nacional e internacional para obtener señales mioeléctricas.



Capítulo 2 Marco teórico.

Para la realización de este experimento se consideró lo siguiente: el tipo de experimento que se propuso es exploratorio, porque se desconocía el comportamiento de la señal para determinado movimiento y además relacionarlo con cada músculo propuesto. Se encontraron las respuestas para cada movimiento, relacionado con un músculo. Gracias a la anatomía y fisiología del miembro torácico aquí detallada. Ahora bien, el protocolo propuesto se obtuvo con las metodologías dadas a nivel nacional e internacional, para obtener señales mioeléctricas del brazo. La estadística descriptiva es una forma sencilla para establecer las clasificaciones con un valor máximo, un mínimo, la media y la desviación estándar DS, para cada una de las señales que se obtuvieron. Se describen 2 normas establecidas para la correcta colocación de electrodos, y prensiones de la mano. A continuación, se describen a detalle.

2.1 Diseño de experimentos.

El diseño estadístico de experimentos es el proceso de planear un experimento para obtener datos apropiados, que pueden ser analizados mediante métodos estadísticos con el objeto de producir conclusiones significativas a partir de los datos. [10]

Se pueden distinguir dos grandes tipos: experimentos exploratorios y confirmatorios.

En un experimento exploratorio no se posee una hipótesis explícita, sino informal. Pero esta hipótesis no está lo suficientemente avanzada como para decir qué tipo de efecto tendrá una variable sobre la otra, o siquiera para decir que habrá efecto. El experimento exploratorio se lleva a cabo en las primeras etapas de la investigación de un problema.

A medida que reúne datos relevantes al problema, el experimentador es más capaz de formular hipótesis de naturaleza más definidas. En esta etapa del desarrollo de los conocimientos realiza el experimento confirmatorio, empieza con una hipótesis explícita que desea probar. En base a esta hipótesis puede predecir el resultado de su experimento, establece su experimento para determinar si el resultado es realmente el que predijo su hipótesis.

Experimentos confirmatorios se pretende comprobar o en su caso desaprobar, la tesis originalmente planteada, mediante la prueba de la hipótesis establecida y siguiendo los métodos y procedimientos determinados en la experimentación.

Un ejemplo concreto de esta experimentación son los resultados que comprueban un comportamiento formulado previamente en una hipótesis.

2.1.1 Definición

Según [10], los tres principios básicos en el diseño de experimentos son el de la obtención de réplicas, aleatorización y análisis de bloques.

La réplica se refiere a una repetición del experimento básico.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Se entiende por aleatorización el hecho de que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales o ensayos se determinan aleatoriamente.

El análisis por bloques es una técnica que se usa para incrementar la precisión del experimento.

2.1.2 Directrices para el diseño de experimentos

1. Comprensión y planteamiento del problema es necesario desarrollar todas las ideas sobre los objetivos del experimento.
2. Elección de factores y niveles. El experimentador debe elegir los factores que variarán en el experimento, los intervalos de dicha variación y los niveles específicos a los cuales se hará
3. Selección de la variable de respuesta. Es seleccionar la variable dependiente.
4. Elección del diseño experimental.
5. Realización del experimento es vital vigilar el proceso para asegurar que todo se haga conforme a lo planeado.
6. Análisis de datos: deben emplearse métodos estadísticos para analizar los datos.
7. Conclusiones y recomendaciones.

2.2 Metodología cualitativa y análisis de datos estadísticos.

La estadística, como disciplina matemática, se dedica a recoger, ordenar y analizar índices cuantitativos numerales extraídos de cierta población seleccionada previamente por el investigador. Así además de describir las múltiples y particulares características de una muestra, en realidad la estadística aspira a extrapolar, valiéndose del cálculo de probabilidades, los resultados muestrales al resto de la población. Es por ello que la estadística se desdobra en dos ramas complementarias. La estadística descriptiva y la estadística inferencial. Figura 6.

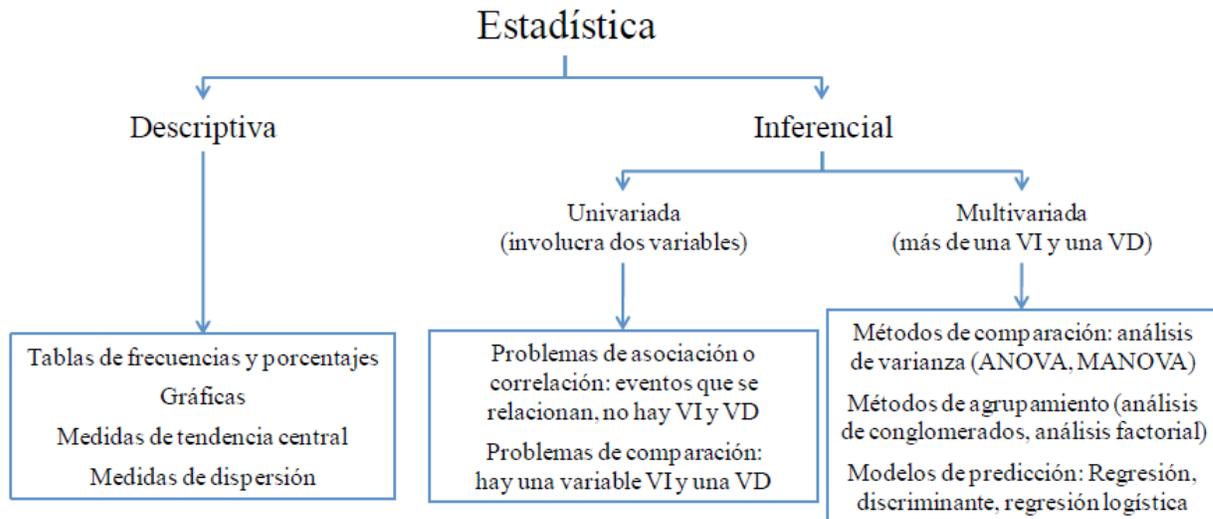


Figura 6 Tipos de Estadística [26]

Con el objeto de conocer el significado de los datos experimentales, se requiere la aplicación de diversos métodos estadísticos. Cuando la medición de un parámetro físico arroja una serie de datos univariados, el primer propósito es conocer la tendencia central y la dispersión, para lo cual existen dos grandes grupos de métodos:

2.2.1 Los métodos robustos

Se les llaman así debido a que se consideran robustos contra que son poco afectados por la presencia de los valores desviados. Se les conoce también como los métodos de acomodación.

2.2.2 Los métodos de valores desviados

Como su nombre sugieren, se basa en primero, detectar los valores desviados o aberrantes mediante un riguroso procedimiento estadístico; la aplicación de las pruebas de discordancia, luego eliminarlos hasta que los datos restantes cumplan con la distribución esperada.

El método más comúnmente empleado es la media. Ecuación 1

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación 1



2.2.3 La media

es conocida como el “promedio”, el “centro” o el “centro de gravedad”; se le conoce también como el “primer momento”, es importante recordar que cuando la distribución de los datos no es totalmente Gaussiana o normal, la media no es una medida adecuada para expresar la tendencia central de estos datos.

2.2.4 Mediana

Una medida robusta de la tendencia central es la mediana a partir de un arreglo ordenado $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-1}, X_n$ la mediana es un valor central $x_{((n+1)/2)}$ cuando el número de observaciones n es impar. Para un par de observaciones, la mediana es la media aritmética de los dos valores centrales $x_{(n/2)}$ y $x_{((n/2) + 1)}$.

2.2.5 Moda

Es el valor más observado más frecuentemente en un conjunto de datos y se puede estimar

2.2.6 Desviación estándar (DS)

Mide la dispersión de los datos respecto al valor medio.

$$DS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Ecuación 2 Desviación estándar

2.2.7 Curva Normal

Es un modelo teórico o ideal sobre cómo debe comportarse la distribución de la frecuencia de las variables en una muestra y sus propiedades son fundamentales para hacer inferencias estadísticas. Como se muestra en la Figura 7.

Área bajo la curva representa 100%

Área=1 (probabilidad)

La mitad representa 50%

34.13 %

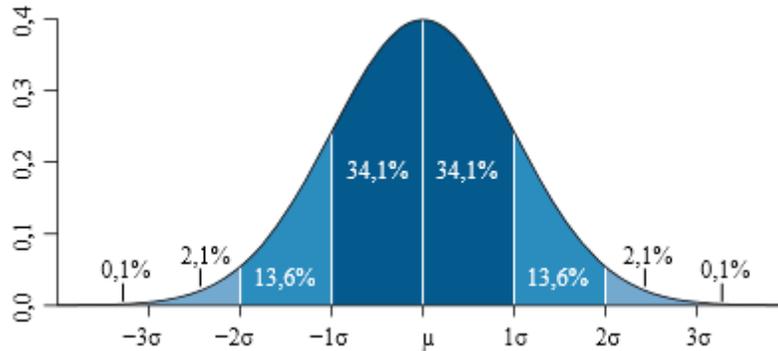


Figura 7 Distribución normal [26]

2.2.8 Adquisición de la señal

A continuación, se describen los elementos empleados y las técnicas de caracterización, selección, clasificación y validación en el proceso.

Características extraídas

Las características extraídas de la señal EMG, dan idea de diferentes comportamientos de la misma, en amplitud, fase, tiempo y frecuencia. Se indican algunas de las características temporales que pueden ser empleadas en la clasificación.

Características Temporales

En la mayoría de los casos, las características temporales que han sido usadas en señales EMG son: la señal RMS, cruces por cero, la media de la señal rectificadas.

Algunas de las características temporales que pueden dar idea del movimiento realizado se expresan en:

Valor raíz cuadrada media RMS: Permite caracterizar la señal de acuerdo a su contenido de energía

$$VRMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}}$$

Ecuación 3

Valor medio: Describe la tendencia central de la señal EMG

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación 4



Desviación estándar (DS): mide la dispersión de los datos respecto al valor medio

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Ecuación 5

2.3 Anatomía del brazo humano.

En anatomía humana, el brazo es el segundo segmento del miembro superior, entre la cintura escapular (que lo fija al tronco) y el antebrazo. Se articula con la primera en la escápula y con el segundo en el cúbito. [11]

2.3.1 Fisiología de la contracción.

El movimiento es una actividad importante del cuerpo que es posible efectuar por el desarrollo especial de la función de contractilidad del tejido muscular. En este sentido el movimiento no sólo comprende los desplazamientos del cuerpo o de sus partes de un lugar a otro.

Todas las actividades fisiológicas están estrechamente relacionadas al movimiento realizado por la contracción del músculo.

2.3.2 Tejido muscular

En los seres humanos el tejido muscular comprende del 40 al 50 por ciento del peso corporal. Las características especiales del tejido muscular son la irritabilidad (excitabilidad), contractilidad, la extensibilidad y la elasticidad. La irritabilidad o excitabilidad es la propiedad de recibir estímulos y responder a ellos. Todas las células poseen esta propiedad. La respuesta de cualquier tejido a la estimulación es la de llevar a cabo su función especial, que en el caso del tejido muscular es la de contracción. La contractilidad es la propiedad que permite al músculo cambiar su forma y hacerse más pequeño y más grueso. La extensibilidad de una célula muscular viva significa que puede extenderse o alargarse, y elasticidad significa que pronto regresa a su forma inicial una vez suspendida la fuerza extensora.



2.3.3 Tono muscular.

Es la propiedad del músculo por medio de la cual se sostiene una contracción parcial permanentemente de grado variable. No se conoce a ciencia cierta cuál es el mecanismo fundamental productor del tono, pero se sabe que es debido a impulsos nerviosos. Por medio de las contracciones tónicas en los músculos esqueléticos se mantiene la postura sin signos de fatiga por largos periodos. La ausencia de fatiga se debe a que las diferentes fibras musculares se contraen por separado dando periodos alternos de descanso y actividad a un grupo de fibras musculares determinado.

2.3.4 Excitación muscular.

Un músculo es excitable (estimulable) a causa de que las fibras musculares que lo componen son excitables. Todo protoplasma posee la propiedad de la excitabilidad. Cualquier fuerza que afecte esta excitabilidad se denomina estímulo. Fisiológicamente, un estímulo representa un cambio en el medio ambiente de las células musculares. El protoplasma también posee la propiedad de conductividad; de modo que cuando se le estimula en un punto, la respuesta puede desplazarse a través de la célula.

La respuesta es especializada y característica del tejido estimulado; en los músculos es la contracción. Normalmente, los músculos son estimulados por impulsos que les llevan las fibras nerviosas, como se muestra en la Figura 8.

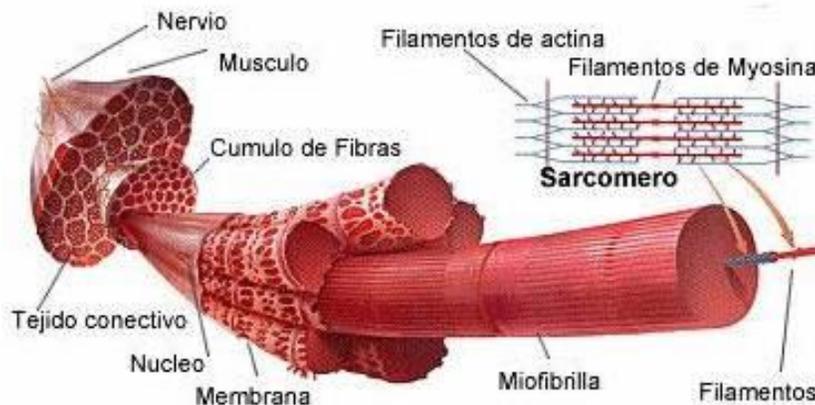


Figura 8 Fibra Nerviosa [21]

A medida que la fibra nerviosa se aproxima a la fibra muscular, va perdiendo su vaina de mielina. La fibra de mielina se divide en ramificaciones terminales que establecen un contacto profuso e íntimo con una parte especializada del sarcomero del músculo llamada placa neuromuscular.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Cuando el impulso nervioso llega a la terminal nerviosa, se libera acetilcolina, que se difunde sobre la placa neuromuscular².

Una fuente común de estimulación es la electricidad, porque es fácil disponer de ella y conviene en su manejo, se regula con facilidad por lo que se requiere a su fuerza y velocidad con que se aplica y resulta muy poco destructora para los tejidos estimulados con ella. Se puede producir excitación muscular por estímulos artificiales aplicados directamente al músculo o bien a sus nervios.

Los músculos están provistos de dos tipos de fibras nerviosas: fibras sensoriales que llevan al sistema nervioso central la información sobre el estado de contracción del músculo y fibras motoras que transmiten impulsos del sistema nervioso central a los músculos para regular su contracción.

2.3.5 Condiciones de las contracciones musculares.

Los músculos esqueléticos se contraen y se relajan rápidamente. En contraste con esto las contracciones de las capas musculares viscerales se desarrollan lentamente, se detienen un poco y desaparecen con lentitud. La contracción de un músculo esquelético es el resultado de estímulos descargados por las fibras nerviosas que lo inervan.

Si se analiza una de estas contracciones, se encontrará que existe un breve período después de que el músculo estimulado empieza a contraerse, este período se denomina de latencia y va seguido por el período de contracción, que a su vez precede al período de relajación. Se ha demostrado experimentalmente que, si se aplican estímulos eléctricos a los músculos, como, por ejemplo, al gastrocnemio de la rana, y se registran las contracciones, la intensidad de las variaciones (ondulaciones) depende de algunos factores:

- 1) La fuerza del estímulo,
- 2) la velocidad de aplicación del estímulo,
- 3) la duración del estímulo,
- 4) el peso de la carga y
- 5) la temperatura.

En general mientras mayor sea el estímulo alcanzado, más fuerte será la contracción, es decir, mayor será el número de células que se van a contraer. Las contracciones más vigorosas se deben a estímulos de duración moderada, Se necesita cierta carga para obtener ciertas respuestas.

² La acetilcolina se une al receptor de la placa, y se produce el potencial eléctrico local en esa misma. Con el tiempo la superficie de la membrana se despolariza, las fibras nerviosas inician un potencial de acción muscular propagado, y el músculo responde.



2.3.6 Tipos de contracciones musculares.

Cuando un tronco muscular se contrae al levantar un peso, el músculo se hace más corto y más grueso, pero su tono permanece igual. Puesto que el tono de las fibras no se altera, estas contracciones se denominan isotónicas. Si se hace que el músculo se contraiga contra algún peso que es capaz de levantar, la tensión de las fibras aumenta, pero la longitud del músculo permanece invariable. Puesto que la longitud de las fibras no cambia, estas contracciones se llaman isométricas. La contracción de los músculos esqueléticos es generalmente del tipo isotónico, pero la complejidad del trabajo muscular implica el desarrollo coordinado de contracciones tanto isométricas como isotónicas en las diferentes fibras del tono muscular.

Contracción de los músculos esqueléticos.

La onda de contracción de un músculo esquelético guarda relación directa con la fuerza del estímulo aplicado. Esta no es una contradicción a la ley del “todo o nada”; se explica por el hecho de que las células de los músculos voluntarios son unidades separadas aisladas entre sí por tejido conectivo. Por razones del medio ambiente local, los estímulos umbrales de estas fibras aisladas pueden variar.

Así, el estímulo mínimo de un tronco muscular esquelético es el que provoca la contracción de una sola fibra; el estímulo máximo es el que determina la contracción de todas las fibras existentes. No se conoce la causa inmediata de la contracción muscular, aunque hay pruebas de que la difusión y ciertas características físicas de los estados coloidales, tales como la tensión superficial, puedan ayudar a entender el mecanismo íntimo. Las reacciones químicas que se han asociado con la contracción más parecen seguirla que producirla, Figura 9.

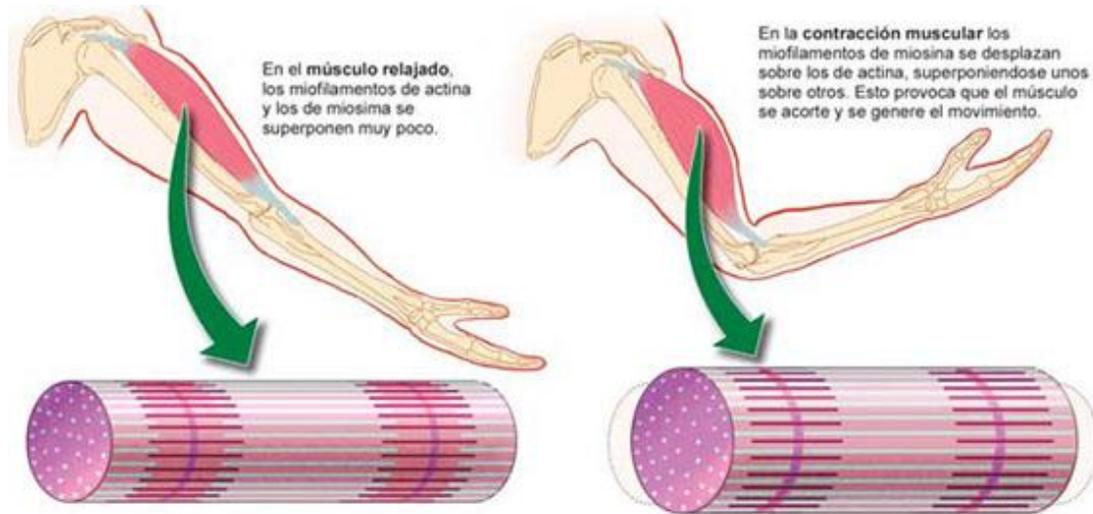


Figura 9 Contracción y relajación. [22]

Existen 2 fases de contracción de las fibras musculares: la fase de contracción, para la cual se requiere energía, y la fase de recuperación durante la cual la fibra regresa a su estado de reposo. La fuente directa de energía para la contracción muscular proviene de reacciones que involucran el trifosfato de adenosina (ATP), un compuesto rico en energía química.

2.3.7 Tipos de músculos

Atendiendo a su forma, encontramos diversos tipos de músculos: acentuados, fusiformes (con uno o varios vientres), cuadriláteros, triangulares, etc...

También se encuentran diferentes tipos musculares en función de la dirección de las fibras musculares: paralelos, oblicuos y espirales.

De acuerdo a su estructura interna, se pueden distinguir músculo estriado y el liso. El músculo estriado esquelético es voluntario, es decir, está bajo el control consciente. En cambio, el músculo estriado cardíaco y el músculo liso son involuntarios, es decir, funcionan independientemente de la voluntad.

La contracción muscular se produce al deslizarse los monofilamentos gruesos sobre los delgados, acortándose la longitud total del músculo. Este deslizamiento se produce gracias a la interacción entre las moléculas de actina y miosina.

El estímulo que genera la contracción del músculo esquelético es eléctrico y está producido en forma voluntaria en el cerebro. Los músculos a tratar en el protocolo que se presenta en esta tesis son los siguientes:



2.3.8 Músculo bíceps braquial.

El bíceps braquial es un músculo fusiforme que tiene dos cabezas. Su inserción mediante la aponeurosis bicipital permite la flexión del codo, Figura 10.

Acción del bíceps braquial.

Con el antebrazo parcialmente flexionado, el bíceps braquial es un potente supinador del antebrazo. También es un flexor importante del antebrazo supinador.

Ayuda a otros músculos, aunque débilmente, como flexor del brazo a nivel del hombro.



Figura 10 Músculo Bíceps 1

2.3.9 Músculo tríceps braquial

La cabeza medial del tríceps braquial es antagonista funcional del flexor del codo, el músculo braquial. La percusión del tendón del tríceps braquial provoca el reflejo tricépites asociado a los segmentos medulares C7 y C8, Figura 11.

Acción del tríceps braquial

El músculo ancóneo y las tres cabezas del tríceps braquial extienden el antebrazo a nivel de codo. El ancóneo también abduce el cúbito durante la pronación. La cabeza larga del tríceps braquial, que se origina en la escápula, también puede extender el húmero (brazo) a nivel del hombro.

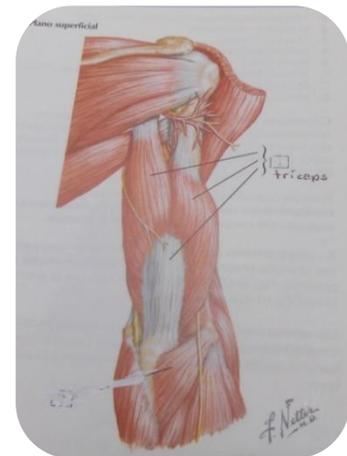


Figura 11 Tríceps [12]



2.3.10 Músculo deltoides

Se origina en el tercio lateral de la clavícula, en la cara superior del acromion y en la espina de la escápula, Figura 12.

Acción del músculo deltoides: La función principal es la abducción del brazo, es un movimiento iniciado junto con el músculo supra espinoso.

La porción clavicular del músculo hace rotar el brazo medialmente y ayuda al músculo pectoral mayor a flexionar el brazo a nivel de hombro. La porción espinosa hace rotar el brazo lateralmente y ayuda al músculo dorsal ancho extender el brazo a nivel del hombro.

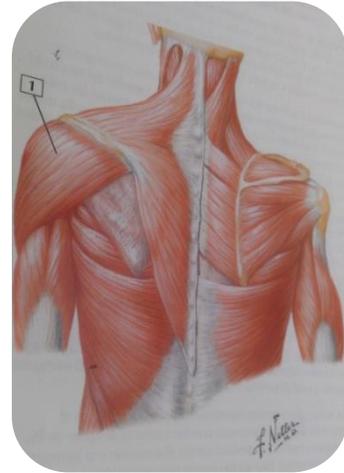


Figura 12 Músculo deltoides.
[12]



2.3.11 Músculo pectoral

Las fibras convergentes de este músculo en forma de abanico discurren hacia la inserción en el húmero, formando el límite anterior de la axila, Figura 13.

Las arterias toracoacromial y torácica lateral irrigan el músculo pectoral mayor.

Acción Músculo pectoral: es la aducción del brazo a nivel del hombro. El pectoral mayor es también un rotador medial del húmero y su porción clavicular ayuda a flexionar el hombro y aducir el húmero medialmente, cruzando la línea media.

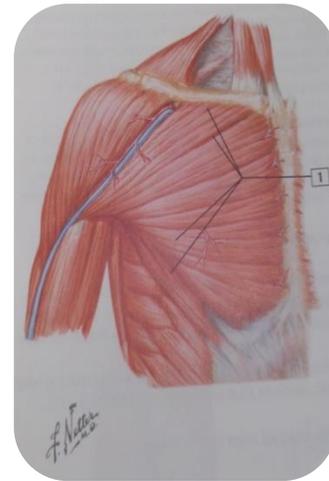


Figura 13 Músculo pectoral [12]

2.3.12 Músculo extensor de los dedos

Origen. Epicóndilo lateral del húmero, Figura 14.

Acción: Extensión de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas. Este músculo también interviene en la extensión del carpo cuando los dedos están extendidos. Los tendones del extensor de los dedos pasan a través del retináculo extensor en dirección a las expansiones extensoras de los 4 dedos mediales. En ocasiones, este músculo tiene tres tendones en vez de cuatro. A menudo el músculo extensor del meñique está unido al extensor de los dedos.

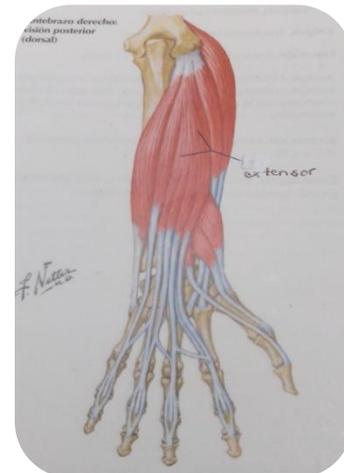


Figura 14 extensor común de los dedos [12]



2.3.13 Músculo flexor superficial de los dedos

Se origina mediante dos cabezas y se inserta mediante 4 tendones a nivel de las bases de las primeras falanges, cada tendón se divide para permitir al tendón correspondiente del músculo flexor profundo de los dedos alcanzar cada dedo. Figura 15.

Acción: Una vaina tendinosa sinovial común envuelve el conjunto de los dos tendones, facilitando el deslizamiento de un tendón sobre otro.

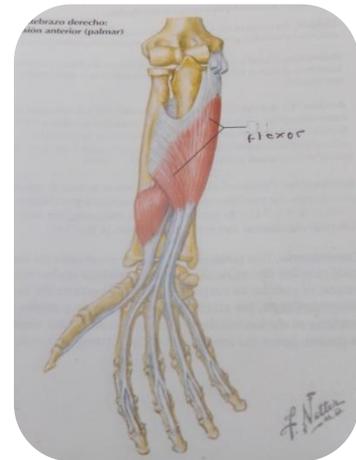


Figura 15 flexor común de los dedos [12]



2.4 Análisis de las señales mioeléctricas durante el reposo muscular.

Para lograr una comprensión y análisis importante se deben considerar los siguientes aspectos:

- Primero se debe tener al músculo en estado de reposo, para así no generar y no registrar ninguna actividad eléctrica, segundo, se coloca el sensor de superficie a 20 mm de distancia, a lo largo del músculo, para así registrar el cambio al iniciar un movimiento, esta actividad puede durar milisegundos.
- Cuando se realiza un movimiento se produce una contracción muscular. El sensor de superficie registra un potencial resultante de la suma temporal y espacial de la actividad de las fibras musculares de la unidad motora, es el potencial de la unidad motora dependiendo de la posición del electrodo dentro del músculo, del número, tamaño e inervación de las fibras musculares componentes, el diámetro del axón motor que las inerva, grosor de su capa mielítica, velocidad de conducción y su umbral de despolarización.

El potencial de unidad motora (PUM) se caracteriza por la duración del potencial de unidad motora, que refleja el número de fibras musculares de la unidad motora, aunque no en su totalidad, sus parámetros no varían mucho con la distancia del electrodo.

Cuando se presenta una contracción muscular ocurren los llamados procesos de suma tanto de múltiples fibras como de frecuencia. Las unidades motoras desiguales son estimuladas en forma asincrónica por la medula espinal para provocar así una contracción sincrónica de estas. La secuencial de la unidad motora se produce por el principio del tamaño Enema. Primero se contraen las unidades motoras pequeñas asociadas principalmente con fibras musculares del tipo I (de contracción lenta, metabolismo oxidativo, resistentes a la fatiga). En el proceso gradual de reclutamiento de nuevas unidades, se van involucrando unidades motoras mayores con fibras musculares tipo II (de contracción rápida, resistentes a la fatiga con enzimas oxidativas y glagolíticas) y III (contracción rápida, metabolismo glagolítico, fácilmente fatigarles). En este proceso de contracción muscular máxima se superponen todos los potenciales de diferentes unidades motoras que descargan a diferentes frecuencias.

2.4.1 Potencial de acción.

Las acciones que son realizadas por el cuerpo humano son realizadas por medio de impulsos eléctricos, los cuales son resultado de la acción electroquímica de cierto tipo de células, las cuales generan la diferencia de potencial mediante partículas ionizadas como potasio o calcio, así como la despolarización de sus membranas celulares.

La mayoría de estos intercambios de potenciales son realizados en el cerebro, el cual envía impulsos eléctricos, los cuales son transportados a otra parte del cuerpo a través de los nervios. La unidad básica del sistema nervioso es la neurona, la cual es una célula especializada que cumple la función de recibir y transmitir impulsos eléctricos denominados potenciales de acción.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Un potencial de acción comienza con un cambio desde el potencial de membrana negativo en reposo normal hasta un potencial positivo y después termina con un cambio rápido de nuevo al potencial negativo. Para conducir una señal nerviosa el potencial de acción se desplaza a lo largo de la fibra nerviosa hasta que llegue al extremo. En la Figura.16 se muestra la transición entre el potencial de reposo. Se pueden observar los cambios sucesivos del potencial de membrana durante un pequeñísimo periodo de tiempo, ilustrando el inicio explosivo del potencial de acción y la recuperación que es igual de rápida. Las fases sucesivas del potencial de acción son tres: fase de reposo, fase de despolarización y la fase de repolarización.

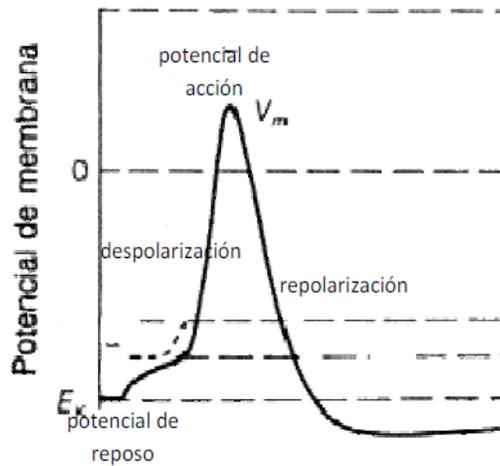


Figura 16 Transición entre el potencial de reposo [13].

Fase de reposo: es el potencial de membrana en reposo antes del comienzo del potencial de acción. Se dice que la membrana está “polarizada” durante esta fase debido al potencial de membrana negativo de -70 mv que está presente [13].

Fase de despolarización: en este momento la membrana se hace súbitamente permeable a los iones de sodio, lo que permite que un número muy grande de iones sodio con carga positiva difunda hacia el interior del axón.

Fase de repolarización: el estado “polarizado” se neutraliza por la entrada de iones positivos y el potencial aumenta rápidamente en dirección positiva. Esto se denomina despolarización. En las fibras nerviosas grandes el potencial de membrana se “sobre excita” más allá del nivel cero y se vuelve positivo. En otras fibras nerviosas más pequeñas el potencial simplemente se acerca a cero y no hay “sobre excitación” hacia el estado positivo.



2.5 Estrategias para la colocación de electrodos de superficie

La propuesta de colocación de electrodos superficiales que el autor Cram's. [13] En su libro titulado "Surface Electromyography" es la siguiente:

1. Seleccionar el sitio cercano a la masa muscular subyacente de interés manteniendo una distancia mínima de tejido entre los electrodos colocados sobre las fibras musculares.
2. Seleccionar la posición apropiada de los electrodos relativa a las fibras musculares. Siempre que sea posible, los electrodos deben ser colocados a lo largo de una línea paralela a las fibras musculares para maximizar la sensibilidad y selectividad, como se muestra en la Figura 17.
3. Elegir sitios que no obstaculicen la visión indebidamente o movimiento. Evite las áreas que presentan problemas a causa de pliegues de la piel, obstrucción ósea, y otros factores.
4. Minimizar interferencias hacia los músculos superficiales mediante la selección del mejor tamaño del electrodo y el espaciamiento entre ellos.

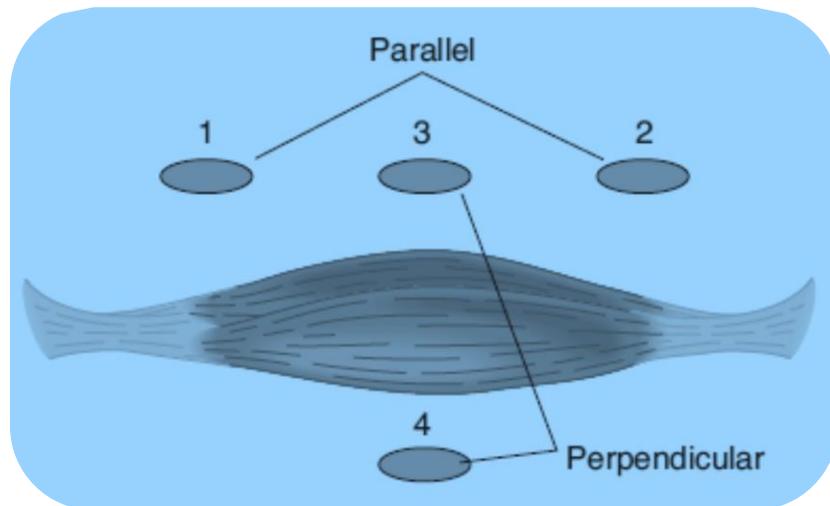


Figura 17 Correcta posición del electrodo [13]



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Existe una propuesta de colocación de los electrodos en los músculos exteriores utilizando los lineamientos del: Proyecto SENIAM electromiografía de superficie para la evaluación no invasiva de los músculos. [3]

En este contexto SENIAM adquirió relevancia al atender al aspecto de la electromiografía de superficie (SEMG) porque es una técnica que se utiliza para muchas aplicaciones como es el caso de la Neurología con impacto en diversos campos: la rehabilitación física, en ortopedia, en la ergonomía, los deportes, entre otros.

SENIAM plantea que “la variedad en la metodología utilizada por diversos investigadores impide el uso generalizado de una técnica, por lo tanto, la normalización es esencial en dos aspectos.

1. Para resolver temas claves que impiden un intercambio útil de información y experiencia (clínica).
2. Para integrar la investigación básica y aplicada de la SEMG en Europa y establecer cooperación a nivel internacional”.

Las pautas que establece SENIAM buscan estandarizar la aplicación por ello las recomendaciones para la colocación de sensores resultan de mucha utilidad en el diseño de protocolos.

<p>1. Selección del sensor Recomendación general, independientemente del músculo en el que se colocan los sensores. “Sensor” se define como el conjunto de electrodos construcción de electrodo y si es aplicable el preamplificador.</p>	 <p>Selección del sensor</p>
<p>2. Preparación de la piel. Rasurar al paciente si la superficie que se colocará a los electrodos está cubierta de vello. Limpiar la piel con alcohol y dejarlo evaporar.</p>	 <p>Preparación de la piel.</p>
<p>3. Colocación del paciente Postura inicial (sentado, recostado boca abajo etc.)</p>	 <p>Colocación del paciente</p>



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

<p>4. Colocación y fijación en los músculos individuales Colocar los electrodos a una distancia entre si orientara de forma paralela a la fibra muscular, en los músculos relativamente pequeños la distancia no debe exceder 1/4 de la longitud de la fibra muscular.</p>	 <p>Colocación y fijación en los músculos individuales</p>
<p>5. Distancia entre electrodo 20 mm de centro a centro para músculos pequeños no exceder 1/4 de la longitud de la fibra muscular.</p>	 <p>Distancia entre electrodo</p>
<p>6. Orientación a) Respecto a la posición longitudinal: colocar el sensor a la mitad de la zona más distal de las fibras nerviosas motoras y el tendón distal. b) Respecto a la posición transversal colocar el sensor en la superficie lejos del límite con otras subdivisiones o músculos.</p>	 <p>Orientación</p>
<p>7. Conexión al equipo Se recomienda una prueba clínica por cada músculo de manera individual. La prueba clínica tiene que ser iniciada desde la postura inicial para ubicaciones de sensores y tiene que ser realizada con las recomendaciones para cada musculo.</p>	 <p>Conexión al equipo</p>



2.6 Prensiones de la Mano.

La prensión es la capacidad de tomar objetos con la mano, está relacionada principalmente con la forma y dimensiones del objeto. Se clasifican en tres tipos, digital, palmar y centrada.

En la prensa digital los músculos más utilizados para este tipo de agarre son los extensores y flexores de los dedos. A su vez se clasifican en:

a) Bidigitales: generalmente pulgar índice ver Foto1.	 <p>Foto1. Bidigital: pulgar</p>
b) Pluridigitales: hacen intervenir, además del pulgar los otros dos, tres o cuatro dedos ver Foto2	 <p>Foto 2 Pluridigital.</p>
c) Tetradigitales: se utiliza cuando se trata de un objeto muy grueso y debe cogerse con mayor firmeza ver Foto3.	 <p>Foto 3 Tetradigital</p>
d) Pentadigitales: emplean todos los dedos y el pulgar se opone en forma variada a los otros dedos ver Foto 4.	 <p>Foto.4 Pentadigital</p>



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En la prensa palmar se utiliza toda la palma de la mano, pueden ser de dos tipos

a) Dígito palmar opone la palma de la mano a los cuatro últimos dedos ver Foto 5.	 <p><i>Foto 5 Dígito palmar.</i></p>
b) La presión palmar con la totalidad de la palma ver Foto 6.	 <p><i>Foto 6 Totalidad de la mano</i></p>

En la prensa centrada. Realizan una simetría con el eje longitudinal

a) Director de orquesta ver Foto 7	 <p><i>Foto 7 Director de orquesta</i></p>
b) Destornillador ver Foto 8.	 <p><i>Foto. 8 Destornillador.</i></p>



Capítulo 3 Desarrollo.

De acuerdo al diseño de un experimento exploratorio visto en el capítulo 2, sección 2.1, se obtuvo el análisis de bloques para poder clasificar las señales mioeléctricas, propuestas para los movimientos y músculos establecidos. Se aplica un protocolo para obtención de señales mioeléctrica.

En este capítulo se identifica a la población de los sujetos de prueba, se informa al sujeto las características del experimento, se prepara al sujeto, se adquieren los datos del movimiento propuesto.

3.1 Población de los sujetos de prueba.

Este estudio se realizó con la ayuda de 15 estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, como sujetos de prueba.

Las características de estos son:

- Se trata de una población aparentemente sana; y similares entre sí.
- Edad: La actividad eléctrica varía con respecto a nuestra trayectoria de nuestra vida. La edad de los alumnos es de 19 a 25 años.
- Sexo: Por condiciones genéticas los hombres desarrollan mayor fuerza muscular que las mujeres. Nuestra muestra se realizó solo con 2 mujeres el resto fueron hombres.
- Biotipo se define con respecto a que los individuos son clasificados con respecto a sus formas.
- Las características importantes a considerar son edad, peso, altura para de ellas obtener: el índice de masa corporal $IMC = Masa / Estatura^2$ (Kg/M²).

3.2 Informar al sujeto las características del experimento

Se informó a los sujetos las características del experimento mediante la carta de consentimiento informado, anexo 1. Se les informa de lo que es la electromiografía de superficie y firmen esa carta.

3.3 Preparación del sujeto

Se aplicó el protocolo de SENIAM y Cram's Capítulo 2 sección 2.5.

1. Las variantes realizadas para este experimento son: la distancia inter electrodo es de 1cm. Porque se utilizó un trío que tiene esa distancia. Para una correcta adquisición de EMGS es necesario contar con un protocolo para garantizar que se concluya con éxito este proceso. Se distinguirán seis músculos: bíceps largo, porción corta del tríceps braquial, extensor común de los dedos, flexor común de los dedos, deltoides, y pectoral por ser superficiales, de fácil acceso.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Primero se coloca el triodo por pares, canal A músculo Bíceps, canal B músculo Tríceps. Figura 18. Se le explica al alumno los movimientos a realizar, descritos en la sección 3.4 se captura la información en BioGraph Infiniti. La razón de que se conecten de 2 en dos es porque el Procomp tiene dos canales A y B de 2048 datos por segundo.

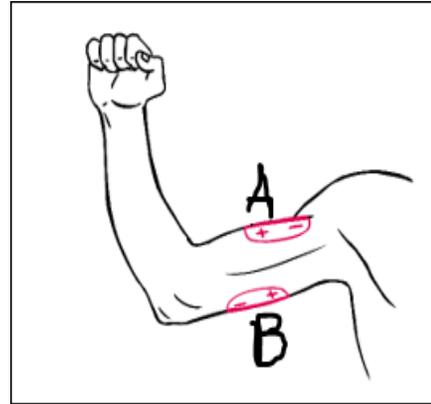


Figura 18 Colocación del triodo canal A músculo Bíceps, canal B músculo Tríceps

Segundo se coloca el triodo por pares canal A músculo Flexor, canal B músculo Extensor. Figura 19. Se le explica al alumno que vuelva a realizar los mismos movimientos, descritos en la sección 3.4, se captura la información en BioGraph Infiniti.

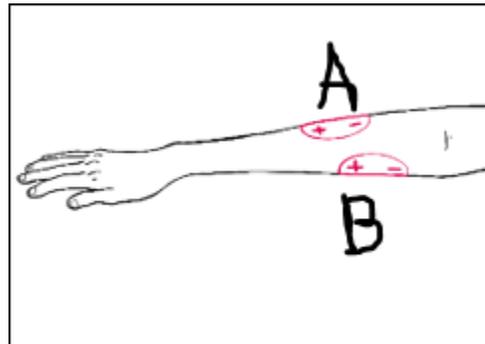


Figura 19 Colocación del triodo canal A músculo Flexor canal B músculo Extensor.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Finalmente se coloca el triodo por pares canal A músculo Deltoides canal B músculo Pectoral. Figura 20. Se vuelve a realizar los movimientos descritos en la sección 3.4 se captura la información en BioGraph Infiniti.

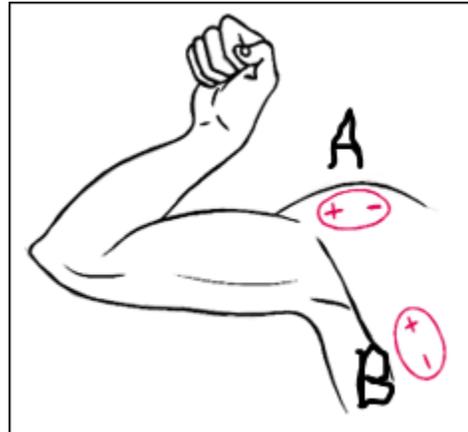


Figura 20 Colocación del triodo canal A músculo Deltoides canal B músculo Pectoral.

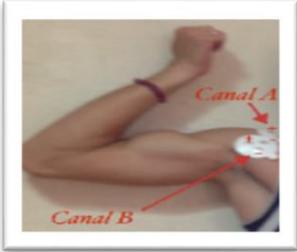
2. En importante la posición longitudinal de los triodos se halla por palpación, asegurando que los electrodos queden puestos sobre el vientre muscular. Con dirección de + -. Figura 21.



Figura 21 Distancia y orientación 1



3. Para fines de este estudio se propuso la localización de los triodos de acuerdo a la *Tabla 4 Localización de los músculos.*

Músculos	Región de colocación	Canal asociado con el músculo
1) Deltoides 2) Pectoral		Canal A (1 Deltoides) Canal B (2 Pectoral)
3) Bíceps		Canal A (3 Bíceps)
4) Tríceps		Canal B (4 Tríceps)
5) Extensor común de los dedos		Canal B (6 Extensor común de los dedos)
6) Flexor común de los dedos		Canal A (7 Flexor común de los dedos)



4. Conexión al Procomp infiniti.



Figura 22 Conexión al Procomp Infiniti



3.4 Adquisición de datos del movimiento asignado.

En el experimento, es importante identificar las variables del proceso que influyen en la repuesta. La propuesta de nuestros movimientos es para poder distinguir uno de otro y estudiar su comportamiento.

Al sujeto se le explican los movimientos a realizar.

Se indica al sujeto que se irán conectando de 2 en 2 los músculos propuestos y una vez iniciado el procedimiento, la señal será grabada.

El estado inicial para tener una referencia con respecto a los movimientos propuestos es el:

Reposo Figura 23.

1. Para iniciar será bajo la postura de pie y realizar respiraciones profundas en posición de relajación. Durante 10 segundos alrededor de 5 repeticiones.
2. Se registra la señal.



Figura 23 Relajación



Movimiento Fino. El cual consiste en tomar una pluma que está en la mesa. Figura 24.

1. Inicia con las manos al costado.
2. Después dirige su mano derecha a tomar la pluma que está sobre la mesa.
3. Levantarla y formar un ángulo de 90° .
4. Regresarla nuevamente a la mesa.
5. Desde que inicia el paso 1 contar durante 10 segundos alrededor de 5 repeticiones.
6. Se registra la señal con BioGraph Infiniti.

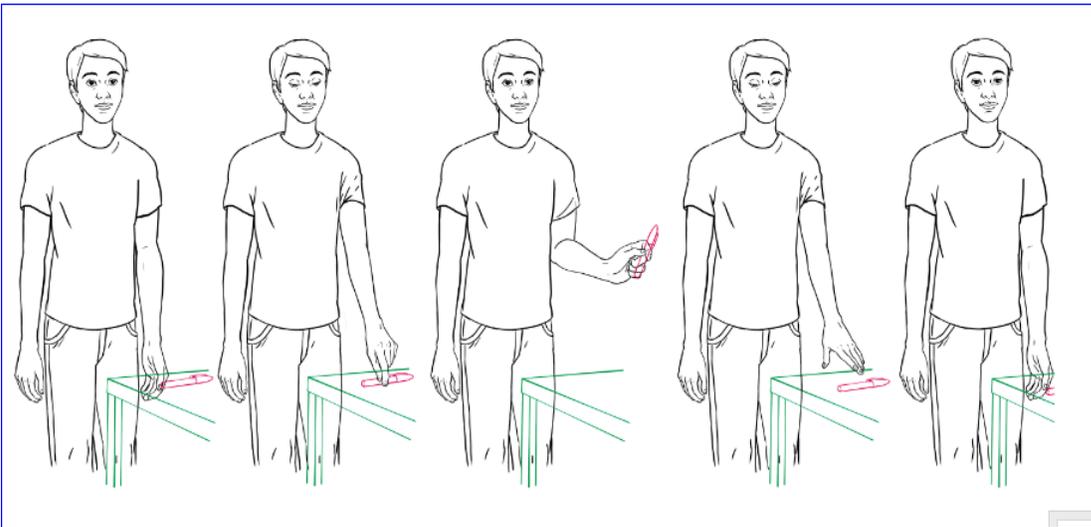


Figura 24 Movimiento Fino

Posteriormente se realizará el movimiento grueso el cual consiste en tomar el mazo que está en la mesa. Figura 25.

1. Inicia con las manos al costado.
2. Después dirige su mano derecha a tomar el mazo que esta sobre la mesa.
3. Levantarlo y formar un ángulo de 90° .
4. Regresarla nuevamente a la mesa.
5. Desde que inicia el paso 1 contar durante 10 segundos alrededor de 5 repeticiones.
6. Se registra la señal con BioGraph Infiniti.

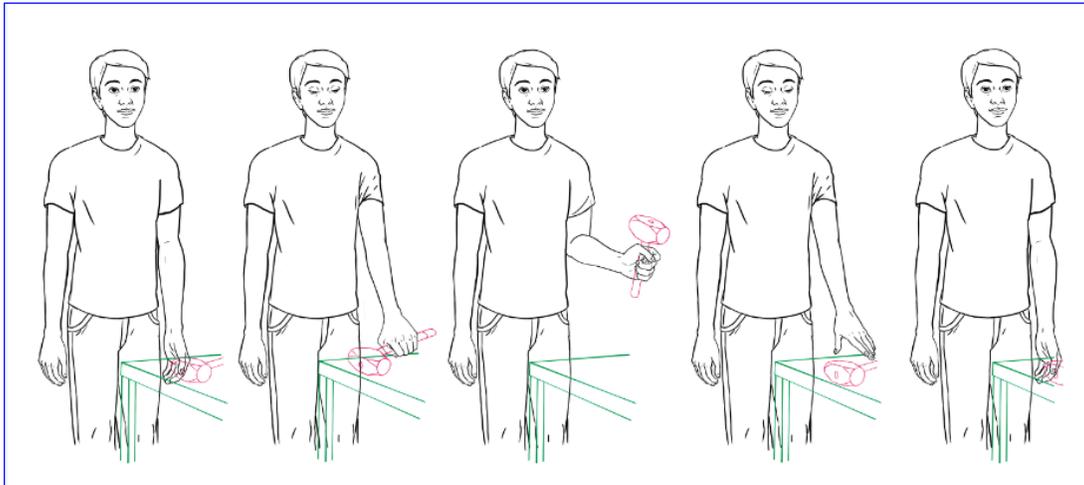


Figura 25 Movimiento grueso

Finalmente se realizará el movimiento de gancho el cual consiste en cargar una mochila. Figura 26.

1. Inicia con las manos al costado.
2. Después hace flexión con sus rodillas para alcanzar la mochila que está al lado en el piso.
3. Tomarla y cargarla.
4. Regresarla nuevamente al piso.
5. Desde que inicia el paso 1 contar durante 10 segundos alrededor de 5 repeticiones.
6. Se registra la señal con BioGraph Infiniti.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

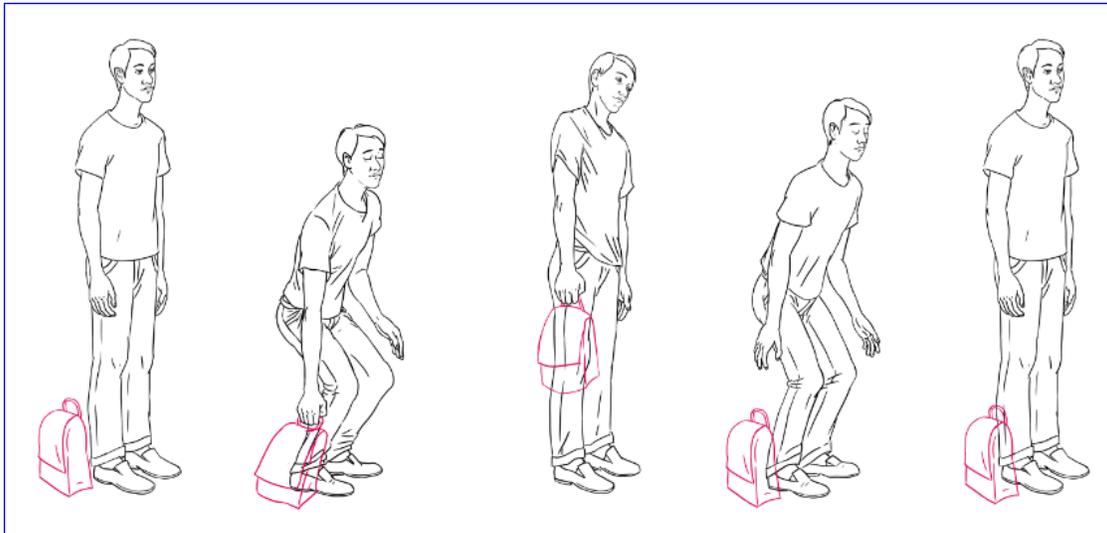


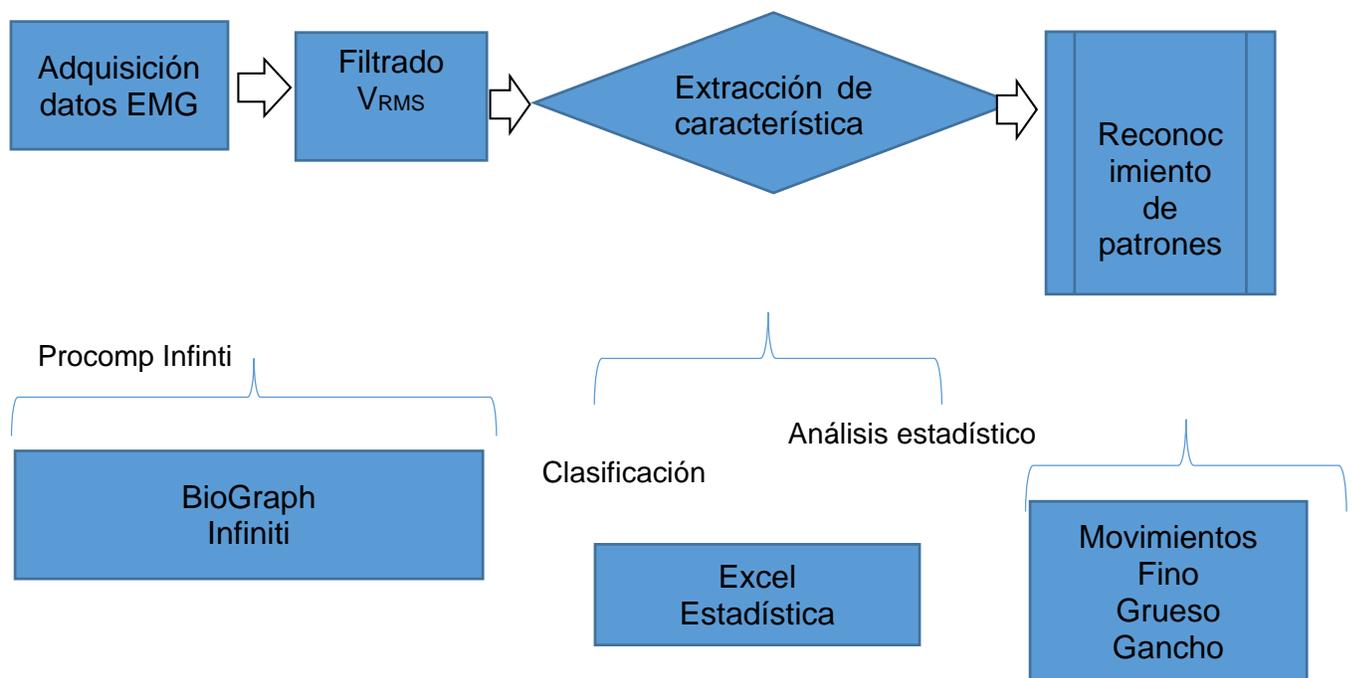
Figura 26 Movimiento gancho.



3.5 Equipo

Este trabajo forma parte de una propuesta de protocolo de colocación para seis músculos del brazo.

Se basa en la clasificación de tres movimientos y un estado de reposo partiendo de señales EMGS. Para adquisición de datos se emplea el siguiente algoritmo.



Para obtener las señales se empleó un sistema completo de señales biológicas Procomp Infiniti de 8 canales, Figura 27, conectado con el sensor MyoScan-Z™ y un trío de superficie.

Los dos primeros canales de sensores proporcionan una fidelidad de señal (2048 muestras por segundo) para ver SEMG para visualización en crudo EMGS. Las señales EMG fueron adquiridas empleando un sistema propio de amplificación de instrumentación y una tarjeta de adquisición de datos Procomp Infiniti.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Se eligieron los dos primeros canales del Procomp debido a las características de la señal al aportar un mayor número de muestras.



Figura 27 Procomp Infiniti

MyoScan-Z™ evita el riesgo de una mala colocación del cable. El tríodo nos guía del signo +- para una buena colocación su distancia es 1cm. Figura 28 MyoScan-Z™ y el tríodo de superficie.



Figura 28 Sensor MyoScan Z y tríodo 1

Recomendaciones

Se deben establecer las posibles causas de ruido producidas por el ambiente en que se trabaja y controlarlas.

El lugar donde se realizase la electromiografía debe ser aislado con las mínimas fuentes de movimiento, vibraciones, celulares.

Los sujetos deben de firmar una carta de consentimiento informado donde se aceptan las condiciones del estudio y se pueden retirar si así lo desean.

Se debe realizar un estudio antropométrico del miembro torácico para la correcta posición del electrodo. Se describe en anexos.



3.6 Adquisición de datos

Para describir los datos primero se observan las gráficas obtenidas con los datos de la señal, mediante Infiniti se procesan los valores y se exportan a una base datos con extensión .XLSX para procesar los datos y realizar el análisis de los mismos. La cuantificación de la señal consiste en extraer de ella los datos numéricos que la definen. Esto permite realizar comparaciones de valores obtenidos durante los movimientos realizados. En este sentido, es importante el procesado de las señales obtenidas mediante infiniti.

Se analiza el movimiento fino siguiente Figura 29.

- El canal 1A señal que se muestra de color rosa representa el músculo bíceps. RAW EMG.
- El canal 2B señal que se muestra de color verde representa el músculo tríceps. RAW EMG.

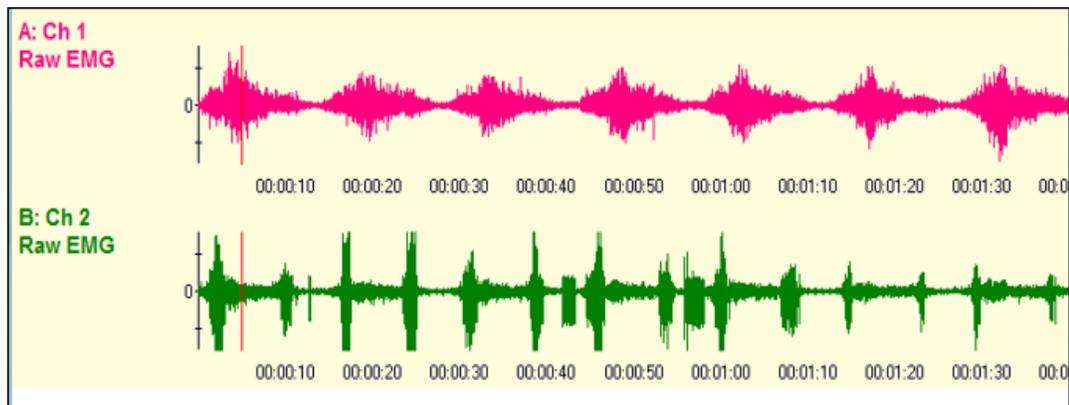


Figura 29 Señal en bruto del músculo Bíceps color rosa, músculo tríceps color verde.

Los valores RMS son los que se trabajaron para el análisis de datos, Algo importante dentro de la metodología empleada fue que se clasificaron los músculos por pares protagonistas y antagonistas para el movimiento realizado, y se muestra en las gráficas obtenidas porque se visualiza una más pequeña que otra. Figura 30.

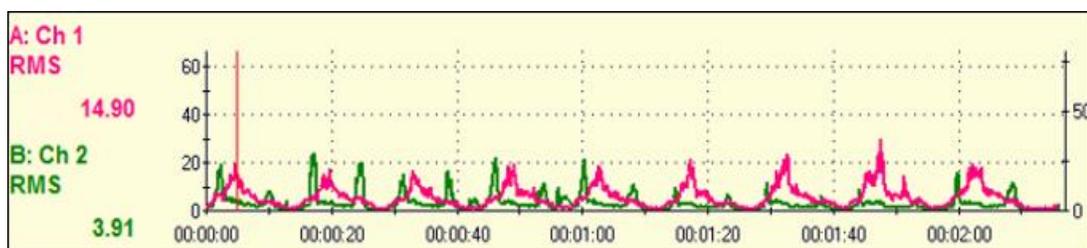


Figura 30 Valores RMS del Músculo Bíceps color rosa, músculo tríceps color verde.



El espectro de frecuencias muestra las frecuencias con las que actúan diferentes unidades motoras que están activas durante la acción que se analiza y, así, se puede estudiar la potencia eléctrica que para obtener el espectro de frecuencias se pueden extraer diferentes valores.

1. La frecuencia media. Es el promedio de todas las frecuencias.
2. La frecuencia mediana MM o central. Es la frecuencia en el que el espectro es dividido en dos regiones con igual potencia. Es menos sensible al ruido que la frecuencia media.
3. El cruce por cero es el número de veces que la señal bruta cruza la línea de base (o valor 0). Parece estar relacionada con la fuerza de contracción muscular.

El análisis del experimento se obtuvo con las siguientes condiciones: Para el tratamiento de los datos se realizó lo siguiente:

- Recolección de los datos.
- Recuento de los datos.
- Análisis.
- Interpretación.

Variables de amplitud.

1. Integración de la señal. La cantidad de actividad muscular en un intervalo de tiempo viene dada por el área bajo la curva durante el intervalo de tiempo. El proceso se denomina integración de la señal. El primer paso debe ser realizar una rectificación de la misma, es decir, pasar la señal en bruto, que es bipolar y en la que pueden anular entre si las ondas positivas y negativas, a una señal mono polar. Esto se puede conseguir, bien eliminando una polaridad (rectificación de media onda) o invirtiéndola (rectificación de onda completa) Es decir pasando las señales de negativas a positivas. Figura 24 segunda gráfica.
2. Curva envolvente consiste en, tras la rectificación, obtener el área de la curva envolvente de la señal.
3. Root mean square (RMS). Mide el poder eléctrico de la señal electromiográfica. Es la raíz cuadrada del área entre el cuadrado de la señal y el tiempo computado en un intervalo de tiempo dividido entre dicho tiempo. Figura 24 primera gráfica.

Para obtener el valor inicial del voltaje, se obtiene el promedio de todos los datos que arroja el experimento. Para cada uno de los músculos estudiados a un estudiante, el programa



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Infiniti genera 256 datos por segundo. El movimiento se realizó en 10 segundos lo que equivale a obtener 2560 datos por segundo

Una vez que es representada la morfología del movimiento se extrae la información del mismo programa y la analizamos con Excel para obtener la media y la desviación estándar de todos los datos obtenidos. Después se procesan con el mismo criterio el movimiento grueso y el movimiento gancho.

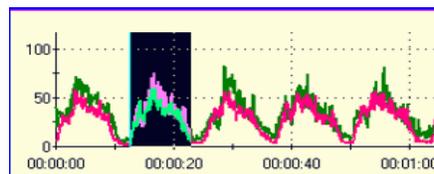


Capítulo 4 Análisis estadístico del movimiento

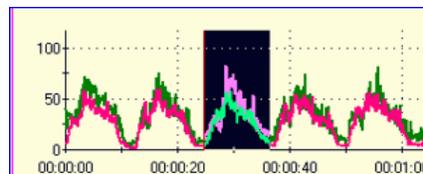
Se realizó el análisis estadístico para 1 sujeto de la muestra, obteniendo la media ecuación 4 página 22 y la desviación estándar DS ecuación 5 página 22 para cada movimiento y en los músculos propuestos.

MOVIMIENTO FINO CANAL A QUE SE MUESTRA EN COLOR VERDE Y CORRESPONDE AL MÚSCULO DELTOIDES.EL CANAL B QUE SE MUESTRA EN COLOR ROSA Y CORRESPONDE AL MÚSCULO PECTORAL.

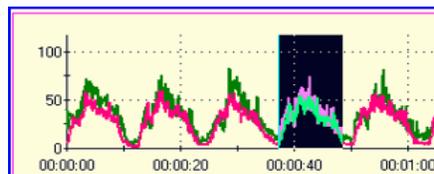
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento fino.El canal A señal que se muestra en color verde y corresponde al músculo deltoides El canal B señal que se muestra en color rosa y corresponde al músculo pectoral.



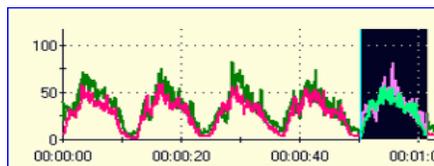
1a)



1 b)



1 c)



1 d)



1 e)



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Graficas 1 a) b) c) d) e) de Movimiento fino. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo deltoides, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo pectoral

Movimiento Fino Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Deltoides			Canal B: Pectoral		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
1a	1.65	62.83	31.86	4.16	52.5	25.19
2b	4.8	57.56	28.46	6.45	57.07	23.9
3c	3.92	58.42	31.53	5.33	51.47	24.82
4d	4.04	59.95	32.01	5.65	56.24	24.97
5e	3.64	72.32	34.01	7.58	56.03	25.99
Promedio	3.61	62.216	31.574	5.834	54.662	24.974
DS	1.1768174	5.9935493	1.9940485	1.27653045	2.50115373	0.75101931

Como puede observarse en las gráficas 1a de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, segunda repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 1.65 y un máximo de 62.83. Obteniéndose su promedio 31.86 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 4.16 y un máximo 52.5 obteniendo su promedio de 25.19 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 2b de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 4.8 y un máximo de 57.56 obteniendo su promedio de 28.46 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 6.45 y un máximo 57.07 obteniendo su promedio de 23.9 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 3c de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 3.92 y un máximo de 58.42 obteniendo su promedio 31.53 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 5.33 y un máximo 51.47 obteniendo su promedio de 24.82 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 4d de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 4.04 y un máximo de 59.95. obteniendo su promedio 32.01 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

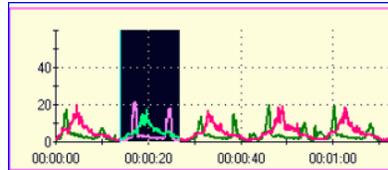
al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 5.65 y un máximo 56.24 obteniendo su promedio de 24.97 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 5e de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, sexta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 3.64 y un máximo de 72.32 obteniendo su promedio 34.01 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 7.58 y un máximo 56.03 obteniendo su promedio de 25.99 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

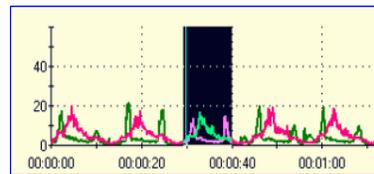


MOVIMIENTO FINO CANAL A MÚSCULO BÍCEPS CANAL B TRÍCEPS

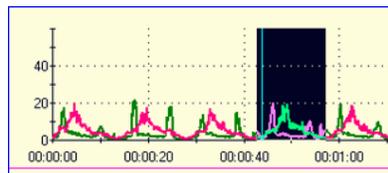
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento fino. El canal A señal que se muestra en color verde y corresponde al músculo bíceps El canal B señal que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps.



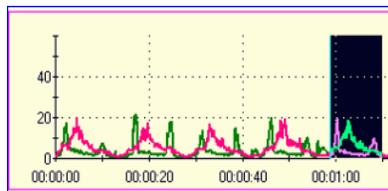
2 a)



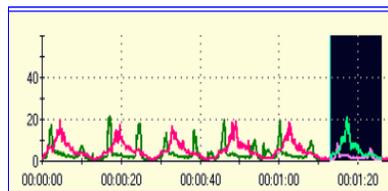
2 b)



2 c)



2 d)



2 e)

Gráficas 2 a) b) c) d) e) de Movimiento fino. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo bíceps, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps



Movimiento Fino Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Bíceps			Canal B: Tríceps		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1	0.94	17.24	5.67	0.85	29.26	5.78
2	1.8	17.04	5.93	1.22	19.89	5.1
3	0.86	19.62	5.51	0.92	29.95	5.33
4	1.79	18.98	6.52	0.99	26.87	5.15
5	0.86	21.73	5.53	0.75	11.74	2.74
Promedio	1.25	18.922	5.832	0.946	23.542	4.82
DS	0.4985983	1.92005729	0.41954738	0.17700282	7.7048342	1.19325186

Como puede observarse en las gráficas 2a de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, segunda repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 0.94 y un máximo de 17.24. Obteniéndose su promedio 5.67 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 0.85 y un máximo 29.26 obteniendo su promedio de 5.78 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 2b de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.8 y un máximo de 17.04 obteniendo su promedio de 5.93 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 1.22 y un máximo 19.89 obteniendo su promedio de 5.1 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 2c de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 0.86 y un máximo de 19.62 obteniendo su promedio 5.51 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 0.92 y un máximo 29.95 obteniendo su promedio de 5.33 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 2d de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.79 y un máximo de 18.98. obteniendo su promedio 6.52 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

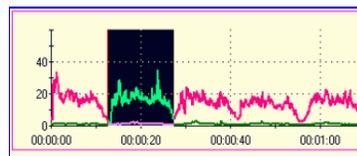
al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 0.96 y un máximo 26.87 obteniendo su promedio de 5.15 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 2e de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, sexta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 0.86 y un máximo de 21.73 obteniendo su promedio 5.53 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 0.75 y un máximo 26.542 obteniendo su promedio de 4.82 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

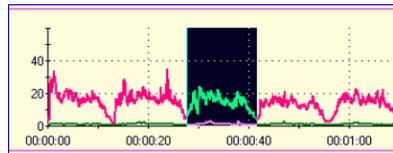


MOVIMIENTO FINO CANAL A EXTENSOR COMÚN DE LOS DEDOS CANAL B FLEXOR COMÚN DE LOS DEDOS.

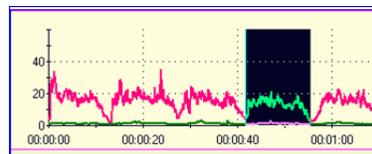
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento fino. El canal A señal que se muestra en color verde y corresponde al músculo extensor. El canal B señal que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor.



3 a)



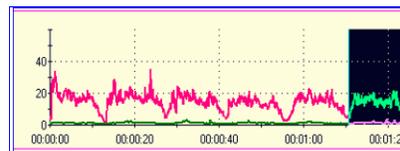
3 b)



3 c)



3 d)



3 e)

Gráficas 3 a) b) c) d) e) de Movimiento fino. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo extensor común de los dedos, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor común de los dedos



Tabla 3 de Movimiento Fino. Canal A extensor, canal B flexor.

Movimiento Fino Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Extensor			Canal B: Flexor		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
1	1.72	34.69	16.16	0.71	3.85	1.54
2	3.69	24.49	14.38	0.82	4.28	1.6
3	2.64	21.97	12.86	0.82	4.07	1.43
4	2.72	23.23	13.97	0.79	3.35	1.42
5	3.24	22.76	13.87	0.87	5.83	1.52
Promedio	2.802	25.428	14.248	0.802	4.276	1.502
DS	0.7389316	5.2576537	1.2062217	0.05890671	0.93492246	0.07628892

Como puede observarse en las gráficas 3a de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, segunda repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 1.72 y un máximo de 34.69 obteniéndose su promedio 16.16 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.71 y un máximo 3.85 obteniendo su promedio de 1.54 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 3b de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 3.69 y un máximo de 24.49 obteniendo su promedio de 14.38 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.82 y un máximo 4.28 obteniendo su promedio de 1.6 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 3c de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 2.64 y un máximo de 21.97 obteniendo su promedio 12.86 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.82 y un máximo 4.07 obteniendo su promedio de 1.43 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 3d de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 2.72 y un máximo de 23.23 obteniendo su promedio 13.97 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.79 y un máximo 3.35 obteniendo su promedio de 1.42 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 3e de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, sexta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 3.24 y un máximo de 225.428 obteniendo su promedio 14.248 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.802 y un máximo 4.272 obteniendo su promedio de 1.502 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

Como se puede observar el músculo protagonista para este movimiento es el extensor común de los dedos debido a que la amplitud de su señal es mayor que la del flexor, lo que indica que este músculo realiza la mayor contracción.

Finalmente, con los resultados obtenidos se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

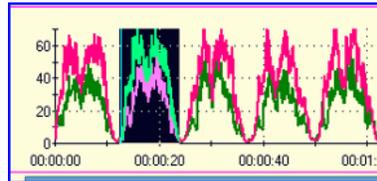
1. Los músculos bíceps y tríceps tienen un valor de amplitud muy similar con un valor de 5 [mV]
2. Los músculos deltoides y pectoral tienen un valor de amplitud mucho mayor que los demás músculos con un valor que va de los 25 a 30 [mV]
3. Los músculos extensor y flexor son los que más difieren en sus valores de amplitud ya que es evidente que el músculo extensor es protagonista del movimiento

Medias del movimiento fino alumno 1		
Músculos	media	Desviación Estándar
Bíceps	5.832	0.419
Tríceps	4.82	1.193
Deltoides	31.574	1.994
Pectoral	24.974	0.751
Extensor	14.248	1.206
Flexor	1.502	0.0762

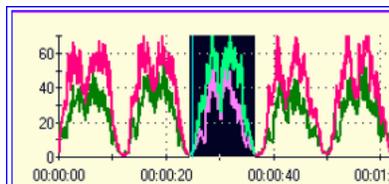


MOVIMIENTO GRUESO CANAL A MÚSCULO DELTOIDES CANAL B PECTORAL

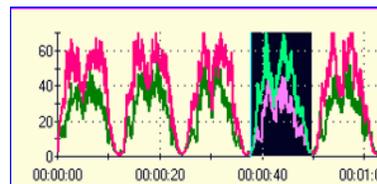
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento grueso. El canal A señal que se muestra en color verde y corresponde al músculo deltoides. El canal B señal que muestra en color rosa y corresponde al músculo pectoral.



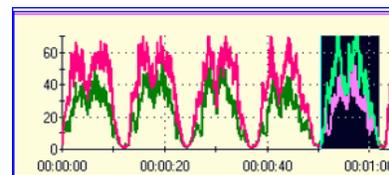
4 a)



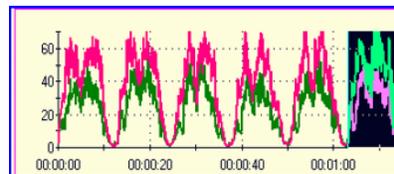
4 b)



4 c)



4 d)



4 e)

Gráficas 4 a) b) c) d) e) de Movimiento grueso. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo deltoides, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo pectoral



Movimiento Grueso Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Deltoides			Canal B: Pectoral		
	mínimo	Máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1	1	75.01	40.21	1.99	65	29.81
2	1.14	79.54	36.68	1.22	68.79	26.96
3	1.97	71.93	35.23	2.23	54.3	24.01
4	1.78	91.54	39.39	2.08	63.14	28.55
5	1.05	79.23	40.65	0.98	62.24	30.53
Promedio	1.388	79.45	38.432	1.7	62.694	27.972
DS	0.4524049	7.4580258	2.3622483	0.56084757	5.32313629	2.59698286

Como puede observarse en las gráficas 4a de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, segunda repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 1 y un máximo de 75.01 Obteniéndose su promedio 40.21 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 1.99 y un máximo 65 obteniendo su promedio de 29.81 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 4b de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.14 y un máximo de 79.54 obteniendo su promedio de 36.68 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 1.22 y un máximo 68.79 obteniendo su promedio de 26.96 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 4c de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.97 y un máximo de 71.93 obteniendo su promedio 35.26 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 2.23 y un máximo 54.3 obteniendo su promedio de 24.01 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

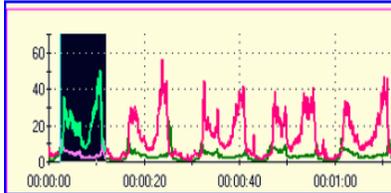
En las gráficas 4d de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.78 y un máximo de 91.54 obteniendo su promedio 39.39 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 2.08 y un máximo 63.14 obteniendo su promedio de 28.55 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 4e de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, sexta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.05 y un máximo de 79.23 obteniendo su promedio 40.65 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo .98 y un máximo 62.24 obteniendo su promedio de 30.53 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

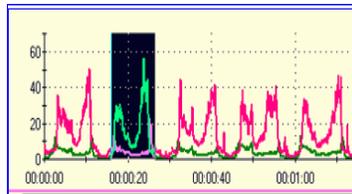


MOVIMIENTO GRUESO CANAL A MÚSCULO BÍCEPS CANAL B TRÍCEPS

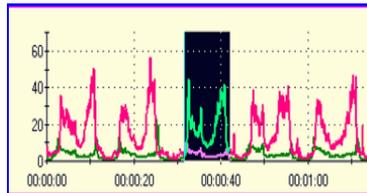
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento grueso. El canal A señal que se muestra en color verde y corresponde al músculo bíceps El canal B señal que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps.



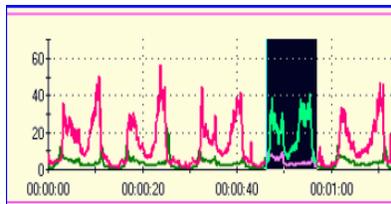
5 a)



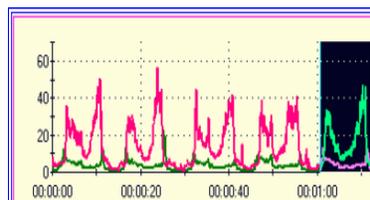
5 b)



5 c)



5 d)



5 e)

Gráficas 5 a) b) c) d) e) de Movimiento grueso. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo bíceps, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps



Movimiento Grueso Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Bíceps			Canal B: Tríceps		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1a	4.45	56.84	19.53	1.68	16.32	5.29
2b	2.84	60.09	17.47	1.37	25.94	5.24
3c	3.12	49.64	17.94	1.58	13.35	4.51
4d	3.04	45.56	18.57	1.24	12.5	5.19
5e	3.06	46.98	16.64	1.24	15.34	5.04
Promedio	3.302	51.822	18.03	1.422	16.69	5.054
DS	0.650323	6.34347854	1.09492009	0.20029978	5.39058438	0.31816662

Como puede observarse en las gráficas 5a de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, primera repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 4.45 y un máximo de 56.84 obteniéndose su promedio 19.53 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 1.68 y un máximo 16.32 obteniendo su promedio de 5.29 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 5b de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, segunda repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 2.82 y un máximo de 60.09 obteniendo su promedio de 17.47 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 1.37 y un máximo 25.94 obteniendo su promedio de 5.24 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 5c de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de .86 y un máximo de 19.62 obteniendo su promedio 5.51 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 0.92 y un máximo 29.95 obteniendo su promedio de 5.33 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 5d de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.79 y un máximo de 18.98. obteniendo su promedio 6.52 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo .96 y un máximo 26.87 obteniendo su promedio de 5.15 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



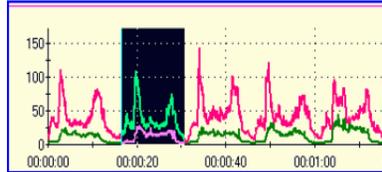
Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En las gráficas 5e de movimiento fino canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 0.86 y un máximo de 21.73 obteniendo su promedio 5.53 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS .Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 0.75 y un máximo 26.542 obteniendo su promedio de 4.82 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

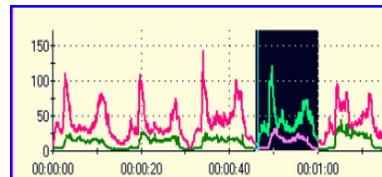


MOVIMIENTO GRUESO CANAL A MÚSCULO EXTENSOR COMÚN DE LOS DEDOS
CANAL B FLEXOR COMÚN DE LOS DEDOS.

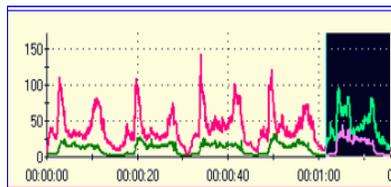
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento fino. El canal A se muestra en color verde y corresponde al músculo extensor. El canal B se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor.



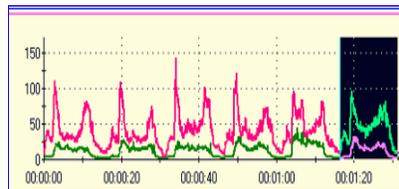
6 a)



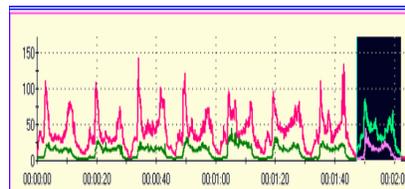
6 b)



6 c)



6 d)



6 e)

Graficas 6 a) b) c) d) e) de Movimiento grueso. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo extensor común de los dedos, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor común de los dedos



Movimiento Grueso Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Extensor			Canal B: Flexor		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1	6.95	112.88	36.32	1.01	14.12	5.61
2	6.5	130.16	42	0.94	20.69	6.05
3	10.08	100.74	43.86	0.78	17.03	7.41
4	8.67	103.55	44.69	0.77	15.43	6
5	5.7	89	37.39	0.78	24.49	6.18
Promedio	7.58	107.266	40.852	0.856	18.352	6.25
DS	1.7702969	15.376089	3.7954144	0.11148991	4.22305813	0.68238552

Como puede observarse en las gráficas 6a de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, segunda repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 6.95 y un máximo de 112.88 obteniéndose su promedio 36.32 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 1.01 y un máximo 14.12 obteniendo su promedio de 5.61 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 6b de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 6.5 y un máximo de 130.16 obteniendo su promedio de 42 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.94 y un máximo 20.79 obteniendo su promedio de 6.05 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 6c de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 10.08 y un máximo de 100.74 obteniendo su promedio 43.86 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.78 y un máximo 17.03 obteniendo su promedio de 7.41 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 6d de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 8.67 y un máximo de 103.55 obteniendo su promedio 44.69 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.77 y un máximo 15.43 obteniendo su promedio de 6 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En las gráficas 6e de movimiento grueso canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, séptima repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 5.7 y un máximo de 89 obteniendo su promedio 37.39 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.78 y un máximo 24.49 obteniendo su promedio de 6.18 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

Con los resultados obtenidos se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

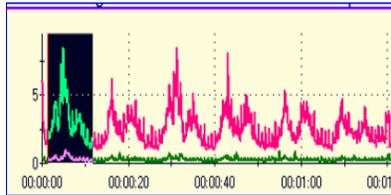
1. El músculo bíceps tiene un valor de amplitud más grande que el tríceps, existe mayor actividad para realizar este movimiento.
2. Los músculos deltoides y pectoral tienen un valor de amplitud mucho mayor que los demás músculos con un valor que va de los 38 a 27 [mV]
3. Los músculos extensor y flexor son los que más difieren en sus valores de amplitud ya que es evidente que el músculo extensor es protagonista del movimiento.
4. Las morfologías para los músculos bíceps deltoides y extensor varían desde los 18 27 y 41[mV] en amplitud.

Medias del movimiento grueso alumno 1		
Músculos	media	Desviación Estándar
Bíceps	18.03	1.094
Tríceps	5.054	0.318
Deltoides	38.432	2.362
Pectoral	27.972	2.596
Extensor	40.852	3.795
Flexor	6.25	0.682

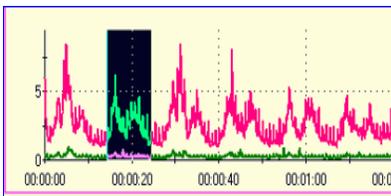


MOVIMIENTO GANCHO CANAL A MÚSCULO DELTOIDES CANAL B PECTORAL

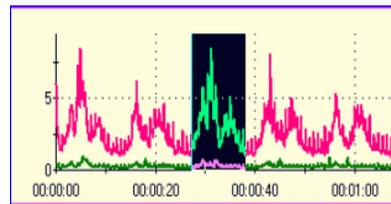
Se analizaron cinco repeticiones para un solo sujeto y así obtener las características de la señal para el movimiento gancho. El canal A se muestra en color verde y corresponde al músculo deltoides. El canal B se muestra en color rosa y corresponde al músculo pectoral.



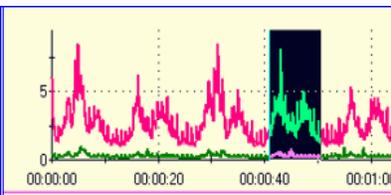
7 a)



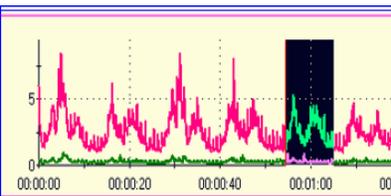
7 b)



7 c)



7 d)



7 e)

Graficas 7 a) b) c) d) e) de Movimiento gancho. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo deltoides, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo pectoral



Movimiento Gancho Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Deltoides			Canal B: Pectoral		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1	1.05	9.32	3.1	0.96	8.67	2.86
2	0.96	8.67	2.86	1.05	7.1	2.44
3	1.02	9.4	3.18	1.04	6.31	2.55
4	1.06	8.8	2.95	1.04	6.55	2.45
5	1.18	5.6	2.66	1.1	8.58	2.4
Promedio	1.054	8.358	2.95	1.038	7.442	2.54
DS	0.0804985	1.57404574	0.20469489	0.0501996	1.11770748	0.18721645

Como puede observarse en las gráficas 7a de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, primera repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 1.05 y un máximo de 9.32 Obteniéndose su promedio 3.1 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 0.96 y un máximo 8.67 obteniendo su promedio de 2.86 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 7b de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, segunda repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 0.96 y un máximo de 8.67 obteniendo su promedio de 2.86 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 1.05 y un máximo 7.1 obteniendo su promedio de 2.44 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 7c de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.02 y un máximo de 9.4 obteniendo su promedio 3.18 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 1.04 y un máximo 6.31 obteniendo su promedio de 2.55 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 7d de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.18 y un máximo de 5.6 obteniendo su promedio 2.66 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 1.04 y un máximo 6.55 obteniendo su promedio de 2.45 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

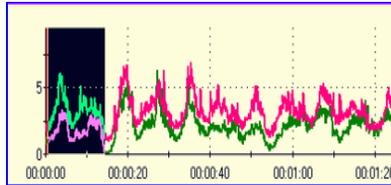
En las gráficas 7e de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo Deltoides, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.18 y un máximo de 5.6 obteniendo su promedio 2.66 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo Pectoral sus rangos van de un mínimo 1.1 y un máximo 8.58 obteniendo su promedio de 2.4 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



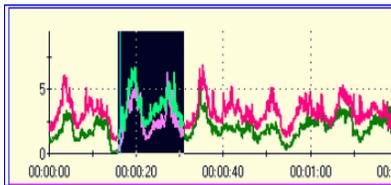
Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

MOVIMIENTO GANCHO CANAL A MÚSCULO BÍCEPS CANAL B TRÍCEPS

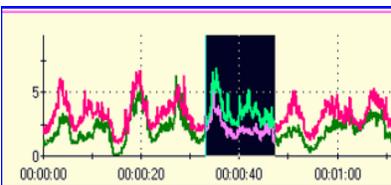
Se analizaron cinco repeticiones para un solo alumno y así obtener las características de la señal para el movimiento gancho. El canal A se muestra en color verde y corresponde al músculo bíceps. El canal B se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps.



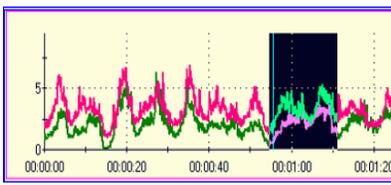
8 a)



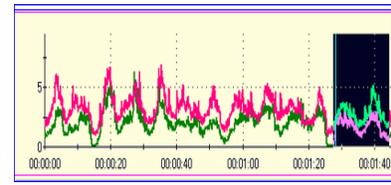
8 b)



8 c)



8 d)



8 e)

Graficas 8 a) b) c) d) e) de Movimiento gancho. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo bíceps, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

Movimiento Gancho Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Bíceps			Canal B: Tríceps		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1	1.1	6.27	3.32	1.23	28.6	15.57
2	1.09	7.06	3.65	1.6	54.47	23.2
3	1.98	7.03	3.52	8.02	51.68	19.01
4	1.25	5.42	3.32	2.47	35.89	19.05
5	1.44	5.43	2.79	1.42	27.6	14.68
Promedio	1.372	6.242	3.32	2.948	39.648	18.302
DS	0.3683349	0.8102286	0.3277957	2.87476434	12.7062571	3.37764267

Como puede observarse en las gráficas 8a de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, primera repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 1.1 y un máximo de 6.27 obteniéndose su promedio 3.32 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 1.23 y un máximo 28.6 obteniendo su promedio de 15.57 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 8b de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, segunda repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.09 y un máximo de 7.06 obteniendo su promedio de 3.65 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 1.6 y un máximo 54.47 obteniendo su promedio de 23.2 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 8c de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de .1.98 y un máximo de 7.03 obteniendo su promedio 3.52 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 8.02 y un máximo 51.68 obteniendo su promedio de 19.01 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 8d de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.25 y un máximo de 5.42 obteniendo su promedio 3.32 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 2.47 y un máximo 35.89 obteniendo su promedio de 19.05 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



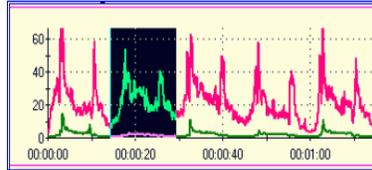
Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En las gráficas 8e de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo bíceps, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 1.44 y un máximo de 5.43 obteniendo su promedio 2.79 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo tríceps sus rangos van de un mínimo 1.42 y un máximo 27.6 obteniendo su promedio de 14.68 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

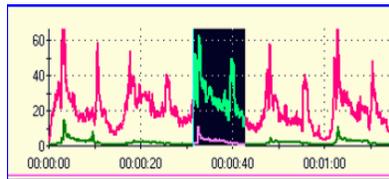


MOVIMIENTO GANCHO CANAL A MÚSCULO EXTENSOR COMÚN DE LOS DEDOS
CANAL B FLEXOR COMÚN DE LOS DEDOS.

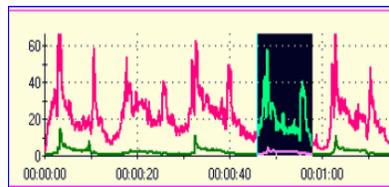
Se analizaron cinco repeticiones para un solo sujeto y así obtener las características de la señal para el movimiento gancho. El canal A se muestra en color verde y corresponde al músculo extensor. El canal B se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor.



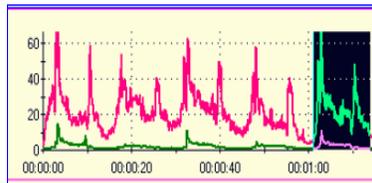
9 a)



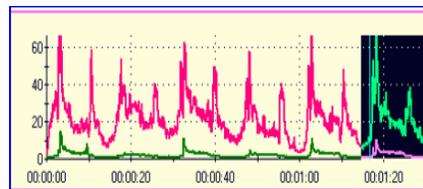
9 b)



9 c)



9 d)



9 e)

Gráficas 9 a) b) c) d) e) de Movimiento gancho. Canal A que se muestra en color verde y corresponde al músculo extensor común de los dedos, canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor común de los dedos



Movimiento Gancho Valor RMS [mV]						
Repetición	Canal A : Extensor			Canal B: Flexor		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	Promedio
1	5.94	54.3	22.75	0.88	4.01	1.79
2	10.49	65.22	28.19	0.91	13.94	3.13
3	5.48	63.6	20.09	0.89	5.57	2.21
4	4.22	102.81	22.85	0.77	15.23	2.88
5	4.84	84.32	20.75	0.35	13.55	2.9
Promedio	6.194	74.05	22.926	0.76	10.46	2.582
DS	2.487964	19.42831	3.182935	0.2355848	5.2422804	0.5603306

Como puede observarse en las gráficas 9a de movimiento gancho el canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, segunda repetición del movimiento sus rangos van de un mínimo de 5.94 y un máximo de 54.3 obteniéndose su promedio 22.75 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.88 y un máximo 4.01 obteniendo su promedio de 1.79 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 9b de movimiento gancho el canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, tercera repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 10.49 y un máximo de 65.22 obteniendo su promedio de 28.19 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.91 y un máximo 13.94 obteniendo su promedio de 3.13 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 9c de movimiento gancho canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, cuarta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 5.48 y un máximo 63.6 de obteniendo su promedio 20.09 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.89 y un máximo 5.27 obteniendo su promedio de 2.21 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.

En las gráficas 9d de movimiento gancho el canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, quinta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 4.22 y un máximo de 102.81 obteniendo su promedio 22.85 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.77 y un máximo 15.23 obteniendo su promedio de 2.88 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

En las gráficas 9e de movimiento gancho el canal A que se muestra de color verde y corresponde al músculo extensor, sexta repetición del movimiento sus rangos van un mínimo de 4.84 y un máximo de 84.32 obteniendo su promedio 20.75 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS. Ahora para el canal B que se muestra en color rosa y corresponde al músculo flexor sus rangos van de un mínimo 0.35 y un máximo 13.55 obteniendo su promedio de 2.9 para las cinco repeticiones y su desviación estándar DS.



Análisis de resultados

Se eligieron estos músculos por encontrarse a nivel superficial en el brazo pueden ser localizados fácilmente y ser los protagonistas y antagonistas de los movimientos propuestos.

Finalmente, con los resultados obtenidos se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

1. El músculo bíceps tiene un valor de amplitud más pequeño que el tríceps, existe menor actividad para realizar este movimiento.
2. Los músculos deltoides y pectoral tienen un valor de amplitud muy pequeño que los demás músculos con un valor que va de los 2.95 a 2.54 [mV]
3. El músculo extensor es el que más difiere en sus valores de amplitud ya que es evidente que el músculo extensor es protagonista del movimiento.
4. Los músculos antagonistas casi tienen las mismas amplitudes bíceps deltoides y flexor varían desde los 3.32 2.95 y 2.58 [mV] en amplitud.

Medias del movimiento gancho alumno 1		
Músculos	media	Desviación Estándar
Bíceps	3.32	0.327
Tríceps	18.3	3.377
Deltoides	2.95	0.204
Pectoral	2.54	0.187
Extensor	22.92	3.182
Flexor	2.58	0.56



Capítulo 5 Conclusiones

- Se logró obtener un protocolo de colocación para los músculos propuestos dando por resultado morfologías casi semejantes de cada uno de los movimientos para cada uno de los músculos, obteniendo resultados de cada uno de ellos con la media y la desviación estándar se obtuvieron los datos para poder clasificar se respuesta.
- Al seleccionar toda muestra de datos se clasificaron aquellos que eran aptos para el propósito de manera que a pesar de manejar gran cantidad de datos se acotaron aquellas señales más óptimas para poder proceder a nuestra selección. Obteniendo así las características para cada movimiento.
Además de poder comparar que músculos nos dan mayor información como quienes son los protagonistas y antagonicos para cada movimiento.
- Estos músculos por encontrarse a nivel superficial en el brazo pueden ser localizados fácilmente con el apoyo del protocolo de colocación. Los valores obtenidos de las señales mioeléctricas puede contribuir al diseño de prótesis.
- Se clasifican las señales por tipo de movimiento obteniendo las morfologías para cada uno.
- La cuantificación de los registros de la actividad motora durante tareas establecidas ha demostrado que son repetibles, fiables. Por ello, una primera función de la EMG es determinar la función normal de los músculos en distintas actividades, para realizar un adecuado análisis de las situaciones que se apartan de dicha normalidad.
- Permite analizar la utilización de ortesis y prótesis y realizar adaptaciones para una mejor utilización.
- Es importante destacar que para poder realizar este protocolo se realizó bajo las propuestas de los protocolos mencionados en el capítulo 3.
- En los últimos años ha crecido enormemente la aplicación de movimiento. A raíz de esto se han creado programas fáciles y la invención de mejores equipos que permiten la adquisición de datos y su tratamiento en forma más rápida y mejor. Pero es importante destacar que las propuestas a distintas metodologías varían con respecto a diferentes movimientos se están analizando entre distintos usuarios.

Trabajo a futuro

La extracción de características es de vital importancia, sí se hace correctamente podemos obtener valores para poder clasificar los movimientos. Con un análisis temporal de amplitud. Lo que resta por hacer, es analizar esta propuesta del experimento para obtener las señales en toda la población de los 15 sujetos y concluir si es viable estandarizar las señales con respecto al músculo y movimiento propuestos, y así clasificarlos.



Referencias

- [1] L.Gila, A. Malanda, I. Rodríguez Carreño, J. Rodríguez Falces, «Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas,» *Servicio de Neurofisiología*, vol. 32, nº 3, pp. 27-43, 2009.
- [2] Flores Nava Irma, Flores Salazar Fabiola, Carro Suarez Jorge, «Comparación de método de extracción de características para la clasificación de señales mioeléctricas, » *La mecatrónica en México*, vol. 1, pp. 12-19, Septiembre 2012.
- [3] «<http://www.seniam.org/>,» 10 marzo 2006. [En línea].
- [4] Ramiro Ramos Mario, Vergara Betancour Angel, Vazquez Gerónimo Gustavo, «Detección y Acondicionamiento de Señales Mieléctricas,» *Asociación Mexicana de Mecatrónica*, vol. 3, nº 4, 2011.
- [5] Torres-San-Miguel, Christopher René, Velázquez Sanchez, Alejandro Tonatiu, Lugo Gonzalez Esther, «Diseño personalizado de una interfaz mioeléctrica para una prótesis del miembro superior,» *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XIII, nº 2, pp. 70-83, 2011.
- [6] Escudero Z., Leija L., Alvarez J, Muñoz R., «zescuder@mail.cinvestav.mx,» Sección Bioelectrónica. [En línea]. [Último acceso: 2013 enero 29].
- [7] M. García, «upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9874/1/PFC%20anexos.pdf,» Universidad Politécnica de Catalunya, 2010. [En línea]. [Último acceso: 18 3 2014].
- [8] Edgar Muñoz Burbano, Oscar H.Paruma, Juan Fernando Florez, «Universidad de Cauca,» unicauca.edu.com, [En línea]. Available: http://www.unicauca.edu.co/ai/publicación./ASB_CIHM.pdf. [Último acceso: 20 08 2013].
- [9] F.Molina Rueda, F. M. Rivas Montero, M. Pérez de Heredia Torres, I. M. Alguacil Diego, «Análisis del movimiento de la extremidad superior hemiparética en pacientes con accidente cerebrovascular: estudio piloto,» *ELSEVIER DOYMA*, vol. 27, nº 6, pp. 343,347, 2012.
- [10] D. C. Montgomery, «Diseño y análisis de experimentos,» de México, Iberoamérica, 1991.
- [11] G. A. C., Tratado de fisiología Médica, México D. F. Mc Graw Hill, 2006.
- [12] Netter, «Atlas de anatomía humana,» 2014 mayo 24. [En línea]. [Último acceso: 2015 enero 10].
- [13] C. Eleanor, Cram's Introduction to surface electromyography, USA: Jones end Bartlett Publishers, 1998.
- [14] C. A. Fiallo, «http://bvs.sld.cu/revistas/mil/vol35_4_06/mi/08406.htm,» 16 Diciembre 2012. [En línea].
- [15] Rojas, M., García, M., Alonso, J., Mañanas, M., & Marin, J., «recyt.recyt.es/index.php/RIAll/rt/captureCiite/RIAl.2011.02.06,» Revista



Universidad Nacional Autónoma de México.
Diseño de un experimento para obtener EMGS de brazo

- Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI), 6 2 2011. [En línea]. [Último acceso: 2 6 2013].
- [16] G. A. Perez, «<http://www.zaragozadeporte.com/Noticia.asp?>,» Colegio Profesional de Fisioterapeutas, 20 02 2013. [En línea]. [Último acceso: 23 01 2014].
- [17] I. R. Babío, «www.taringa.net/posts/salud-bienestar/8355225/Como-movemos-los-musculos/html.,» Plantilla Picture Windows, 13 2 2013. [En línea]. [Último acceso: 15 8 2014].
- [18] Konemann, de *El cuerpo humano*, Barcelona, Arco, 2000, pp. 112-114.
- [19] J. T.Hansen, «Fichas de autoevaluación,» de *Netter Anatomía*, Barcelona, Elsevier Masson, 2007, pp. 17-45.
- [20] M. G. Prieto, «Universidad Politécnica de Catalunya,» UPC, 27 10 2015. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2099.1/9874>. [Último acceso: 12 10 2014].
- [21] L. Fitness, «google imágenes de fibra muscular,» 15 08 2015. [En línea]. [Último acceso: 12 10 2014].
- [22] «imágenes de relajación y contracción,» google, 8 10 2015. [En línea]. Available: <http://google.com/images?q=imágenes+de+relajación+y+contracción>. [Último acceso: 2 10 2014].
- [23] M. Aparicio, «Electromiografía cinesiológica,» *Rehabilitación*, vol. 39, nº 6, pp. 255-64, 2005.
- [24] E. C. Martín, «<https://www.mc-mutual.com>,» Dpto. Desarrollo de Proyectos en PRL MC Mutual. [En línea]. [Último acceso: 2016 03 05].
- [25] E. Caballero, «<https://www.mc-mutual.com>,» Dpto. Desarrollo de Proyectos en PRL MC Mutual, 12 03 2009. [En línea]. [Último acceso: 05 03 2016].
- [26] Francisco Juárez García, Joaquín López Bárcena, Verónica Salinas Mendoza, «Pruebas de comparación para grupos independientes,» de *Apuntes para la investigación en salud*, de México, Color S.A. de C.V., 2014, p. 272.
- [27] «al.elsevier.es/es/revista-andaluza-medicina-deporte-286/la-electromiografia-de-superficie,» Revista andaluza, 2 2 2011. [En línea]. [Último acceso: 1 8 2013].



ANEXOS

Anexo 1

ELECTROMIOGRAFÍA

La electromiografía de superficie (EGMS) es una prueba realizada bajo supervisión médica para estudiar cómo funcionan muchos de los nervios que transmiten la sensibilidad y la fuerza, así como los músculos.

Para ello se colocarán unos electrodos de superficie sobre la piel de lugares precisos del cuerpo registrando la actividad eléctrica muscular. Para explorar los músculos no será necesario utilizar ningún tipo de aguja y por lo tanto no existe riesgo alguno de contagios, ni de electrocución. No se inyecta ninguna sustancia ni se aplica corriente eléctrica.

Para la realización de esta prueba es necesario que acuda con el cuerpo limpio y sin haberse aplicado cremas hidratantes ni productos cosméticos. No es necesario que venga en ayunas; puede desayunar o comer normalmente.

Durante la sesión se le darán las indicaciones para la realización de los ejercicios.

La sesión durará aproximadamente 30 minutos.

RIESGOS DE LA ELECTROMIOGRAFÍA

Esta exploración no es dolorosa, y generalmente es bien tolerada. No se produce ninguna consecuencia importante predecible.

Existe un mínimo riesgo de irritación y enrojecimiento debido al adhesivo de los electrodos y solamente aparece en pieles especialmente sensibles resolviéndose espontáneamente en minutos. No existe riesgo de infección local.

Consentimiento

Yo, _____, doy
Mi consentimiento para que me sea realizada una **ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE**.

Se me ha facilitado esta hoja informativa, habiendo comprendido el significado del procedimiento y los riesgos inherentes al mismo, y declaro estar debidamente informado/a habiendo tenido oportunidad de aclarar mis dudas en entrevista personal con el Grupo de Investigación Ejercicio Físico y Rendimiento

Asimismo, he recibido respuesta a todas mis preguntas, habiendo tomado la decisión de manera libre y voluntaria.

México D.F, _____ de _____ 2014.

Sujeto de Grupo de Investigación

Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería.

Laboratorio de sistemas Biomédicos

Firma: _____



Bibliografía

- [1] L.Gila, A. Malanda, I.Rodríguez Carreño, J.Rodríguez Falces, «Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas,» *Servicio de Neurofisiología*, vol. 32, nº 3, pp. 27-43, 2009.
- [2] Flores Nava Irma, Flores Salazar Fabiola, Carro Suarez Jorge, «Comparación de método de extracción de características para la clasificación de señales mioeléctricas,» *La mecatrónica en México*, vol. 1, pp. 12-19, Septiembre 2012.
- [3] «<http://www.seniam.org/>,» 10 marzo 2006. [En línea].
- [4] Ramiro Ramos Mario, Vergara Betancour Angel, Vazquez Gerónimo Gustavo, «Detección y Acondicionamiento de Señales Mioeléctricas,» *Asociación Mexicana de Mecatrónica*, vol. 3, nº 4, 2011.
- [5] Torres-San-Miguel, Christopher René, Velázquez Sanchez, Alejandro Tonatiu, Lugo Gonzalez Esther, «Diseño personalizado de una interfaz mioeléctrica para una prótesis del miembro superior, » *Revista Colombiana de Biotecnología* , vol. XIII, nº 2, pp. 70-83, 2011.
- [6] Escudero Z, Leija L, Alvarez J, Muñoz R., «zescuder@mail.cinvestav.mx,» Sección Bioelectrónica. [En línea]. [Último acceso: 2013 enero 29].
- [7] M. García, «upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9874/1/PFC%20anexos.pdf,» Universidad Politécnica de Catalunya, 2010. [En línea]. [Último acceso: 18 3 2014].
- [8] Edgar Muñoz Burbano, Oscar H. Paruma, Juan Fernando Florez, «Universidad de Cauca,» unicauca.edu.com, [En línea]. Available: http://www.unicauca.edu.co/ai/publicación./ASB_CIHM.pdf. [Último acceso: 20 08 2013].
- [9] F. Molina Rueda, F. M. Rivas Montero, M. Pérez de Heredia Torres, I. M. Alguacil Diego, «Análisis del movimiento de la extremidad superior hemiparética en pacientes con accidente cerebrovascular: estudio piloto,» *ELSEVIER DOYMA*, vol. 27, nº 6, pp. 343, 347, 2012.
- [10] D. C. Montgomery, «Diseño y análisis de experimentos,» de México, Iberoamérica, 1991.
- [11] G. A. C., Tratado de fisiología Médica, México D.F. Mc GrawHill, 2006.
- [12] Netter, «Atlas de anatomía humana,» 2014 mayo 24. [En línea]. [Último acceso: 2015 enero 10].
- [13] C. Eleanor, Cram's Introduction to surface electromyography, USA: Jones end Bartlett Publishers, 1998.
- [14] C. A. Fiallo, «http://bvs.sld.cu/revistas/mil/vol35_4_06/mi/08406.htm,» 16 Diciembre 2012. [En línea].
- [15] Rojas, M.,García, M., Alonso, J., Mañanas, M., & Marin, J., «recyt.recyt.es/index.php/RIAll/rt/captureCiite/RIAl.2011.02.06,» Revista



- Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI), 6 2 2011. [En línea]. [Último acceso: 2 6 2013].
- [16] G. A. Perez, «<http://www.zaragozadeporte.com/Noticia.asp?>,» Colegio Profesional de Fisioterapeutas, 20 02 2013. [En línea]. [Último acceso: 23 01 2014].
- [17] I. R. Babío, «www.taringa.net/posts/salud-bienestar/8355225/Como-movemos-los-musculos/html.,» Plantilla Picture Windows, 13 2 2013. [En línea]. [Último acceso: 15 8 2014].
- [18] Konemann, de *El cuerpo humano*, Barcelona, Arco, 2000, pp. 112-114.
- [19] J. T.Hansen, «Fichas de autoevaluación,» de *Netter Anatomía*, Barcelona, Elsevier Masson, 2007, pp. 17-45.
- [20] M. G. Prieto, «Universidad Politecnica de Catalunya,» UPC, 27 10 2015. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2099.1/9874>. [Último acceso: 12 10 2014].
- [21] L. Fitness, «google imagenes de fibra muscular,» 15 08 2015. [En línea]. [Último acceso: 12 10 2014].
- [22] «imagenes de relajación y contracción,» google, 8 10 2015. [En línea]. Available: <http://google imagenes de contracción y relajación>. [Último acceso: 2 10 2014].
- [23] M. Aparicio, «Electromiografía cinesiológica,» *Rehabilitación*, vol. 39, nº 6, pp. 255-64, 2005.
- [24] E. C. Martín, «<https://www.mc-mutual.com>,» Dpto Desarrollo de Proyectos en PRL MC Mutual. [En línea]. [Último acceso: 2016 03 05].
- [25] E. Caballero, «<https://www.mc-mutual.com>,» Dpto Desarrollo de Proyectos en PRL MC Mutual, 12 03 2009. [En línea]. [Último acceso: 05 03 2016].
- [26] Francisco Juárez García, Joaquín López Bárcena, Verónica Salinas Mendoza, «Pruebas de comparación para grupos independientes,» de *Apuntes para la investigación en salud*, de México, Color S.A. de C.V., 2014, p. 272.
- [27] «al.elsevier.es/es/revista-andaluza-medicina-deporte-286/la-electromiografia-de-superficie,» Revista andaluza, 2 2 2011. [En línea]. [Último acceso: 1 8 2013].