

**ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE FLEXO-EXTENSIÓN DEL BRAZO UTILIZANDO
INSTRUMENTACIÓN ANÁLOGICA E INTERFAZ CON VISUALIZACIÓN EN LABVIEW**

JEFERRY ALEXANDER BARRERA VILLAMIL

LAURA TATIANA GONZALEZ MEDRANO



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

SECCIONAL TUNJA

INGENIERIA ELECTRONICA

2014

**ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE FLEXO-EXTENSIÓN DEL BRAZO UTILIZANDO
INSTRUMENTACIÓN ANÁLOGICA E INTERFAZ CON VISUALIZACIÓN EN LABVIEW**

JEFERRY ALEXANDER BARRERA VILLAMIL

LAURA TATIANA GONZALEZ MEDRANO

Trabajo de tesis para optar el título de INGENIERO ELECTRONICO

Director: Ingeniero Pablo Andrés Álvarez Camargo



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

SECCIONAL TUNJA

INGENIERIA ELECTRONICA

2014

Las ideas y experiencias nombradas en este libro son de responsabilidad total de los autores, por tanto La facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás de Tunja no se hace responsable por comentarios, afirmaciones y consecuencias generadas a partir del siguiente trabajo de grado.

Nota de Aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Agradecemos a Dios por iluminar Nuestros pasos en este camino que hoy culmina

A nuestros Abuelos Padres y Hermanas por ser fuente inagotable de amor y apoyo incondicional en todos los momentos de nuestras vidas

A la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas en especial a los ingenieros:

Msc(c) Pablo Andrés Álvarez Camargo por su apoyo en la dirección de este proyecto, PhD(c) Luis Fredy Sosa Quintero y Msc(c) Camilo Ernesto Pardo Beainy por sus múltiples enseñanzas dentro de la formación como profesionales y personas integrales, Msc (c) Edgar Andrés Gutiérrez Caceres y Msc(c) Carlos Alberto Cardona Coy por sus importantes aportes dentro de la realización del presente proyecto

A Nuestros compañeros Harvey Augusto Hernández, Christian José Hernández y Fabio Andrés Fonseca por sus constantes enseñanzas y apoyo incondicional en toda nuestra vida Universitaria

Laura Tatiana Y Jeferry Alexander

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido

1.	GLOSARIO	10
2.	RESUMEN DEL PROYECTO.....	12
3.	PROLOGO	13
4.	INTRODUCCION.....	14
5.	JUSTIFICACION	15
	“Dios regala la vida, los ingenieros están para mejorarla, salvarla y protegerla.”(Anónimo).	15
6.	PROBLEMATICA.....	16
6.1	FORMULACION DE LA PREGUNTA	16
6.2	DEFINICION DEL PROBLEMA	16
7.	OBJETIVOS.....	17
7.1	Objetivo General.....	17
7.2	Objetivos Específicos	17
8.	ESTADO DEL ARTE	18
9.	MARCO TEÓRICO.....	20
9.1	ANATOMÍA BÁSICA	20
9.1.1	HUESOS DE MIEMBRO SUPERIOR.....	20
9.1.2	ARTICULACIONES	22
9.1.3	ARTICULACIÓN DEL CODO	23
9.1.4	MEDIOS DE UNION	23
9.1.5	MUSCULOS DEL MIEMBRO SUPERIOR.....	24
9.1.6	LIGAMENTO	24
9.2	PATOLOGIAS COMUNES DE UN BRAZO HUMANO	24
9.2.1	CODO DEL TENISTA-EPICONDILITIS	25
9.2.2	CODO DEL GOLFISTA – EPITROCLEITIS	25
10.	2.3 DEDO EN RESORTE – TENOSINOVITIS	25
9.2.4	SINDROME DEL TUNEL CARPIANO.....	25

9.2.5 GANGLION DE MUÑECA – QUISTE SINOVIAL	25
9.2.6 TORCEDURA DE CODO	26
9.2.7 DISLOCACIONES	26
9.3 ANALISIS DE MOVIMIENTO	27
9.3.1 Movimiento de Flexo extensión	27
9.4 BIOMECANICA DEL CODO	28
9.4 INSTRUMENTACION ELECTRONICA	30
9.4.1 ACELEROMETROS	30
9.4.2 ACELERÓMETROS TIPO DEFLEXIÓN	32
9.4.3 POTENCIOMETRO	35
9.4.3.1 POTENCIOMETRO LINEAL.....	36
9.4.2 SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS.....	37
10. METODOLOGÍA	41
11. DISEÑO, DESARROLLO Y RESULTADOS	42
11.1 INSTRUMENTACION ELECTRONICA	42
11.1.2 ACELEROMETRO MMA 7361	42
11.1.3 POTENCIOMETRO LINEAL DE 10 K	43
11.2 ADQUISICION DE DATOS EN LABVIEW.....	47
11.2.1 Adquisición simple	47
11.2 HADWARE DEL DISPOSITIVO	54
11.3 REGISTRO DE DATOS	57
12 CONCLUSIONES	58
13. RECOMENDACIONES	60
14. REFERENCIAS.....	61
ANEXOS	63

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Electro goniómetro con sistema de Rehabilitación	19
Figura 2 Circuito Electrónico del Electrogoniómetro.	19
Figura No 3 Representación Gráfica de la Anatomía de un Brazo Humano	20
Figura4Huesos de Cúbito y Radio Humano.....	21
Figura 5 Cubito y Radio Humano.	22
Figura 6 Relación de Cambio de Aceleración.	31
Figura 7Modelo físico simplificado del sensor.....	33
Figura 8 <i>Acelerómetro MMA7361L Con Tarjeta</i>	33
Figura 9 Esquema de un potenciómetro	35
Figura 10 <i>Descripción del Teorema de Nyquist</i>	37
Figura 11 <i>Descripción del Teorema de Nyquist cuando se presenta el Fenómeno de Aliasing</i>	38
Figura 12: <i>Tarjeta de Adquicion de datos National Instruments NI USB 6009</i>	39
Figura 13 <i>Hardware y modo de conexión DAQ NI USB 6009</i>	40
Figura 14 <i>Terminales de Conexión de la Tarjeta DAQ NI USB 6009</i>	40
Figura 15 <i>Esquema Acelerómetro MMA 7361</i>	42
Figura 16Parametrizacion del potenciómetro por el método de Simulación.	43
Figura 17 CONFIGURACION MODULO DE ADQUISICION DE DATOS SOFTWARE LABIEW	48
Figura 18Fórmula para hallar el AnguloAtravez de la implementación del Acelerómetro en el software Labview.....	48
Figura 19 Lectura de señales procedentes de sensores a través del software Labview.	49
Figura 20 Bloque para guardar el dato presente y anterior en el software Labview.	50
Figura 21 Rango de Funcionamiento Software Labview	50
Figura 22Activacion del Bloque Elapssed Time.....	51
Figura 23 Programación del conteo de Repeticiones en Labview	52
Figura 24 Implementación final interfaz de programación Software Labview.....	52
Figura 25 Interfaz Final de Usuario software Labview.	53
Figura 26 Hardware de Madera	54
Figura 27 Hardware Metalico	55
Figura 28 Felula de Codo Con Limitador de Movimiento	55
Figura 29 Base de Datos	57

LISTADO DE TABLAS

Tabla No 1 Constates Dieléctricas.....	31
Tabla No 2Tabla de conexiones del Acelerómetro	34
Tabla No 3Sensibilidades de Acelerómetro	34
Tabla No 4Características Eléctricas Potenciómetro Común.....	36
Tabla No 5 DESCRIPCION FISICA DAQ	39
Tabla No 6 Valores independientes de Resistencia del Potenciómetro Lineal de 10 K Ω	44
Tabla No 7 Valores de Voltaje y Resistencia del Potenciómetro luego de la parametrizacion.	45

1. GLOSARIO

- **Aceleración:** Magnitud vectorial que nos indica el cambio de velocidad por unidad de tiempo.
- **Actuador:** Mecanismo que ejecuta una acción.
- **Adquisición de Datos:** Toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital).
- **Anatomía:** Rama de la medicina que estudia la morfología del cuerpo y de los órganos que lo constituye.
- **Anterior (o ventral):** Hacia o en el frente.
- **Articulación:** Conjunto de formaciones anatómicas que permiten a los diferentes huesos y cartílagos el unirse entre ellos, con o sin posibilidad de movilización.
- **Bio-electrónica:** Arte de estudiar la influencia y los medios de aplicación de la ingeniería biomédica, específicamente, la electrónica en organismos vivos.
- **Biomecánica:** Área de conocimiento interdisciplinaria que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento y al equilibrio
- **Distal:** Más lejos del punto de inserción en el tronco.
- **Extensión:** Prolongación, el efecto de extender o extenderse (hacerse extenso).
- **Flexión:** Movimiento de aproximación entre huesos o partes del cuerpo por la acción de uno o más músculos;
- **Fisiología:** Estudio del funcionamiento normal de los organismos vivos.
- **Grado:** Unidad de medida de Angulo de Movimiento
- **Inferior:** Debajo de.
- **Instrumentación:** Rama de la ingeniería que se encarga de las técnicas de medición y registro de los fenómenos eléctricos, además de los instrumentos utilizados y su manejo adecuado.

- **Ipsolateral:** En la misma cara o lado.
- **Lateral:** Más lejos de la línea central.
- **Medial:** Más cerca de la línea central.
- **Músculo:** Órgano carnoso contráctil del que se distinguen dos tipos: los músculos rojos, estriados (voluntarios que permiten el movimiento corporal) y los músculos blancos, lisos, involuntarios (órganos digestivos).
- **Plano coronal o frontal:** Divide al cuerpo en partes anterior y posterior.
- **Plano sagital:** Divide al cuerpo en partes derecha e izquierda (cuando éstas son iguales, el plano es el sagital medio).
- **Plano transversal (horizontal):** Divide al cuerpo en partes superior e inferior.
- **Posterior (Dorsal):** Hacia atrás o detrás.
- **Profundo:** Más lejos de la superficie.
- **Pronación:** Movimiento de la mano y del antebrazo de tal forma que la palma, que miraba hacia arriba, se vuelve hacia abajo.
- **Proximal:** Más cerca del punto de inserción en el tronco.
- **Velocidad:** Magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo
- **Sensor:** Elemento capaz de detectar fenómenos externos transformándolos en señales de tipo eléctrico o de distinta naturaleza.
- **Sistema óseo:** Sistema constitutivo del cuerpo en algunos organismos, hace parte del sistema de soporte sobre el cual van montados los músculos y a su vez, permite proteger algunos órganos y tejidos importantes del ser, también conocido como esqueleto.
- **Superficial:** Más cerca de la superficie.
- **Superior:** Encima de.
- **Supinación:** Movimiento de la mano y del antebrazo que lleva la palma hacia arriba.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se propuso desarrollar un sistema de detección de movimientos de flexo- extensión, con el fin de generar una herramienta que colabore a los profesionales en el área de la salud (fisioterapeutas), al momento de diagnosticar y/o apoyar en procesos de rehabilitación de patologías en el codo, midiendo de forma angular el arco que genera el brazo (movimiento de flexo-extensión).

En la primera fase del proyecto se procedió a investigar sobre los movimientos de flexión y extensión y las diferentes patologías que dificultan el movimiento normal del codo, es preciso mencionar que en la actualidad no se registran dispositivos creados para tal fin, no existenaunque existen estudios relacionados con dispositivos de terapias de rehabilitación.

En una segunda fase se propone la implementación de sensorica especializada para la captación del movimiento al tiempo que se analizan variables propias del mismo, como velocidad, aceleración y grado de movimiento; las cuales colaboraran a emitir diagnósticos más acertados sobre el estado del codo en movimiento de Flexo-extensión, dichos movimientos serán visualizados en un entorno grafico de LabView.

En la fase final se generó otra serie de facilidades para el profesional tales como visualizar el número de repeticiones de determinado ejercicio con una limitada cantidad de movimiento. Estas variables se guardaran en una base de datos la cual podrá ser revisada por el profesional, dotándolo de un registro completo sobre el progreso de su paciente.

3. PROLOGO

El presente documento es escrito por estudiantes de ingeniería electrónica como trabajo de monografía, para obtener el título profesional como ingenieros electrónicos, en la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, a través de la investigación, constante y consiente de la problemática social presente, generada por la prestación de servicios en salud, en donde, con este trabajo, se plantean alternativas desde la electrónica, que presentan ayudas que permiten colaborar con el diagnóstico de un paciente aquejado por algún tipo de patología en su codo (luxación, esguince, fractura entre otros) las cuales le impiden realizar a cabalidad el movimiento de flexo extensión del mismo. Este trabajo está dirigido a estudiantes e ingenieros de electrónica, bioingeniería y ramas afines, y todo aquel que sienta interés particular, en conocer y aplicar el saber, en pro del mejoramiento del bienestar humano, en cuanto a la salud.

El documento contiene temas concernientes principalmente a la Ing. electrónica en las áreas cómo la biomecánica, la instrumentación electrónica y los sistemas de adquisición de datos, pero al tratarse de un trabajo interdisciplinario para una aplicación médica, la bioingeniería hace su aporte desde algunos conceptos de anatomía básica, además de mencionar algunas patologías comunes de un brazo humano y mencionar algunos aspectos sobre el análisis de movimientos del codo.

Está dividido en partes organizadas de acuerdo al desarrollo de la investigación, así: la primera parte es una presentación protocolaria del trabajo, la segunda parte introduce al lector en la problemática que lleva al planteamiento del trabajo y a su desarrollo, también encontramos la justificación y los objetivos, delimitando los alcances. En seguida, se encuentra la fase del proyecto en donde se procede a investigar sobre los movimientos de flexión y extensión, así como las diferentes patologías relacionadas directamente con el codo; proponiendola implementación de sensórica especializada para la captación del movimiento al tiempo que se analizan variables propias del mismo, como velocidad aceleración y grado de movimiento.

En la parte final del documento, se dan algunas conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas. Se espera que el recorrido por este documento se grato para el lector y que contribuya a la adquisición y apropiación del conocimiento, para disponerlo al servicio de los sectores más necesitados, de influencia de la ingeniería.

Ing. Camilo Ernesto Pardo Beainy

4. INTRODUCCION

En la ingeniería electrónica existen grandes campos de aplicación, entre ellos encontramos la instrumentación médica, en donde constantemente se realizan estudios encaminados a la generación de herramientas de apoyo para el campo médico, brindando asistencia tecnológica, desarrollando dispositivos que permitan potencializar el trabajo del personal que labora en las áreas de diagnóstico y rehabilitación física, utilizando la instrumentación y el control como generador de elementos que permiten forjar, documentar y apoyar procesos de rehabilitación en torno a los movimientos del cuerpo humano, haciendo uso tanto de componentes sensóricos como del tratamiento digital de señales y electrónica aplicada.

Se han logrado crear dispositivos aplicados en el campo Medico obteniendo gran éxito en Diagnostico y Rehabilitación, muchos de estos dispositivos logran detección en tiempo real, siendo apoyo incondicional tanto para el personal médico como para el paciente en cuestión; Todo esto ha sido posible graciasa estudios posteriores a través de los años los cuales han sentado las bases para lo que hoy se conoce como “Biomecánica” la cual es área del conocimiento que estudia modelos, fenómenos y leyes relacionadas con el movimiento de los seres vivos.

En este caso se diseña y genera un prototipo que detecte el movimiento de Flexo-Extensión del brazo, considerando como eje central del movimiento el codo, así mismo realizando esta detección en tiempo real, con el fin de generar un apoyo que permita al personal especializado tomar decisiones congruentes con respecto a la rehabilitación del paciente, soportadas en los datos obtenidos a través de un entorno gráfico de fácil acceso.

5. JUSTIFICACION

“Dios regala la vida, los ingenieros están para mejorarla, salvarla y protegerla.”(Anónimo).

La ingeniería es una rama práctica que usa la ciencia en la búsqueda constante de nuevos conocimientos, en pro del mejoramiento de la calidad de vida del ser humano y su entorno.

Dentro de los múltiples saberes y aplicaciones relacionados con la ingeniería electrónica, se decide trabajar en el campo de la instrumentación y control, más específicamente en el área de la instrumentación médica con el objetivo de desarrollar un dispositivo útil y de fácil acceso para un profesional médico o fisioterapeuta. Esta herramienta de apoyo permitirá que el profesional determine un diagnóstico más confiable sobre el estado y evolución de un paciente que haya sufrido alguna clase de traumatismo (esguince, luxación, fractura etc.) en su codo y por tanto le impida realizar normalmente el movimiento de flexo-extensión; es preciso mencionar que las lesiones de codo son una causa común de consulta puesto que esta articulación es constantemente afectada debido a caídas, torceduras, utilización de fuerzas etc. En la unidad de Medicina física y rehabilitación “Fisioter” ubicada en la Calle 19 No 12-69 de la Ciudad de Tunja se estima que de cada 100 pacientes atendidos el 35% acuden a causa de alguna lesión de miembro superior .

Se propone la generación de esta herramienta de apoyo puesto que no existe un dispositivo capaz de capturar dicho movimiento en la actualidad y los cálculos sobre el mismo se hacen de forma netamente visual lo cual reduce la precisión de los diagnósticos emitidos y por tanto conlleva a que muchas veces se dictaminen terapias de rehabilitación equivocadas.

6. PROBLEMÁTICA

6.1 FORMULACION DE LA PREGUNTA

¿Cuáles son los factores pertinentes a la electrónica que inciden para que un profesional de la salud pueda generar un diagnóstico severo y acertado en cuanto al movimiento de flexo-extensión, para así proponer una serie de terapias o refuerzos con los que un paciente pueda recuperar la movilidad del codo luego de sufrir una patología cualquiera que esté relacionada con dicho movimiento?

6.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

La ingeniería electrónica dentro de sus múltiples ramas de aplicación plantea la instrumentación médica como respuesta y solución a diversas patologías existentes, ya sea en terapias de rehabilitación y/o en funciones de diagnóstico; El propósito de esta investigación es colaborar con el diagnóstico de un paciente aquejado por algún tipo de patología en su codo (luxación, esguince, fractura entre otros) lo cual le impida realizar a cabalidad el movimiento de flexo extensión del mismo.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo General

Implementar un sistema de detección de Movimiento de Flexo-Extensión en el miembro superior del cuerpo humano, con el fin de ser utilizado en el análisis de movimiento en rehabilitación y terapia física.

7.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un dispositivo capaz de captar los movimientos en grados de flexo-extensión realizados por el miembro superior.
- Implementar un sistema analógico, con el fin de obtener datos de aceleración y velocidad, los cuales serán visualizados el software LabView a través de curvas de comportamiento e indicadores numéricos.
- Diseñar un registro de datos la cual guarde las diferentes variables propias del movimiento de Flexo-extensión con el fin de analizar la evolución del paciente en tiempo real.
- Generar un manual de usuario básico el cual contenga las funciones del instrumento a implementar, las condiciones ambiente para su óptimo funcionamiento.

8. ESTADO DEL ARTE

La ingeniería Biomédica sustenta sus bases y principios apoyada en diferentes ramas de la ciencia y el marco ingenieril; esto es posible ya que el comportamiento del cuerpo humano puede compararse con diferentes sucesos propios y constantemente tratados en el campo de la ingeniería eléctrica, electrónica, mecánica entre otras, las cuales hacen uso de la Biomecánica a fin de obtener estudios especializados.

Dichos campos también hacen uso de simulaciones, estos son entornos computacionales los cuales permiten relacionar distintas variables del medio obteniendo un comportamiento muy aproximado a la realidad y así proceder a diseñar, estudiar y parametrizar (según sea el caso) diferentes señales, obteniendo estudios o dispositivos de alta calidad. *“El uso continuo de la simulación en medicina ha permitido obtener datos importantes acerca del comportamiento biológico, mecánico y químico de órganos y tejidos utilizando una formulación matemática y la consiguiente simulación numérica de procesos biológicos muy complejos”.*[1]

En la actualidad existen pocos registros de instrumentación electrónica dedicada a la medición de movimientos de miembro superior; encontramos en la fabricación de electrogoniómetros la medición de dichos movimientos dada en grados únicamente, estos dispositivos poseen características adicionales no solo de diagnóstico sino también de rehabilitación.

Un estudio realizado en la Universidad Alfonso X El Sabio ubicada en Villa nueva de la Cañada Madrid en Compañía de la Escuela Politécnica Superior ubicada en la Ciudad de México. Este estudio trata de un sistema de rehabilitación de miembro superior el cual activa un sistema de electro estimulación muscular dependiente de la medición en grados entregada por un goniómetro electrónico convencional; la terapia de rehabilitación es totalmente dependiente del movimiento de flexo extensión realizado por el paciente, la electro estimulación se realiza a través de electrodos provenientes de sistemas adicionales entre ellos: FES (functional electronica stimulation), TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulator) o NMES(Neuromuscular Electrical Stimulation) como se puede observar en la figura No 1. Dicha electro estimulación disminuye en cuanto el paciente adquiere mayor rango de movilidad en su extremidad, para la medición de este rango se usa un sistema analógico creado a partir de un potenciómetro lineal y varios sistemas de amplificadores operacionales incluidos en el goniómetro electrónico como se puede observar en la figura No 2.

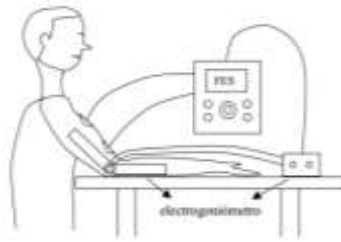


Figura 1 Electro goniómetro con sistema de Rehabilitación

Fuente: <http://www.uax.es/publicacion/electrogoniometro-como-dispositivo-de-realimentacion-biofeedback-para.pdf>

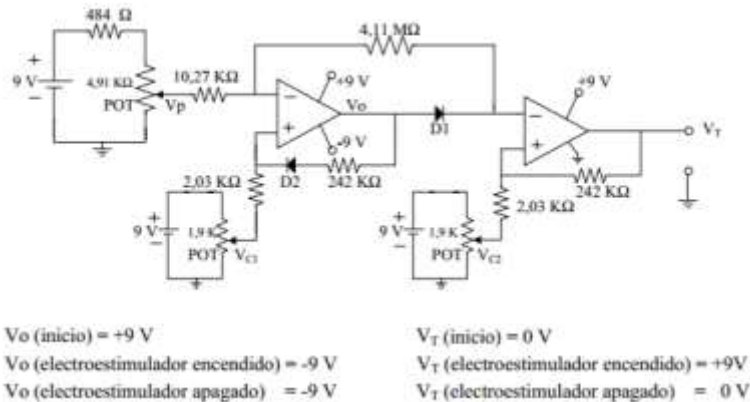


Figura 2 Circuito Electrónico del Electrogoniómetro.

Fuente: <http://www.uax.es/publicacion/electrogoniometro-como-dispositivo-de-realimentacion-biofeedback-para.pdf>

Dentro de los sistemas de medición de movimiento se encuentran también los análisis de marcha los cuales se basan en el análisis del plano sagital del cuerpo humano a menudo usados para medir el desarrollo y evolución de pacientes generalmente deportistas que hayan presentado algún tipo de lesión en sus piernas, la captura de este movimiento se determina a través de la medición de ángulos articulares del miembro inferior (Articulación de Rodilla), dentro del VII Congreso Nacional de Ciencias del deporte y educación Física de la Universidad Santo Tomás de Talca Chile, se presenta un artículo "Electrogoniómetro flexible para rodilla durante el ciclo de marcha, analizado en el plano sagital" el cual trata de un estudio de marcha producido a través de un electrogoniómetro ubicado en la rodilla compuesto por materiales flexibles que posibilitan el libre movimiento de la pierna, este sistema capta señales provenientes del movimiento a través de una tarjeta Arduino, estas son posteriormente analizadas en el programa Matlab a través de gráficas en el eje X y Y. Este sistema toma como patrón de calibración la medición de un electrogoniómetro universal.

9. MARCO TEÓRICO

9.1ANATOMÍA BÁSICA

9.1.1HUESOS DE MIEMBRO SUPERIOR

9.1.1.1Huesos largos

En este tipo determinado de huesos predomina la longitud sobre el espesor y el ancho, estos se dividen en dos categorías dependientes de su apariencia física, siendo el primero de estos el cuerpo o diáfisis y el segundo dos extremos o epífisis. La unión de estos es llamada metáfisis. A este grupo corresponden los huesos de los dos primeros segmentos de los miembros.[18]

9.1.1.2 Huesos cortos

Este tipo de huesos son de volumen restringido, una de las características por las cuales son reconocidos es que sus tres ejes son semejantes dándole así una forma de cubo la cual es reconocible en los huesos de los dedos de las manos y en los de los pies. [18]

9.1.1.3 Componentes del brazo humano

El cuerpo humano posee dos pares de extremidades, las superiores y las inferiores, las superiores normalmente poseen un uso prensil y como su nombre lo indica están ubicadas en la parte superior del cuerpo humano. Cada miembro superior está constituido por dos segmentos generales, el cingulo pectoral en el que se encuentran la escapula y la clavícula; y la parte libre de las extremidades superiores en la que se encuentran el húmero, radio, cubito y huesos del carpo, metacarpo y de los dedos.[18]



Figura No 3 Representación Gráfica de la Anatomía de un Brazo Humano

Fuente: **Shünke**, **Schumachervoll**, **wesker**,Prometheus texto y atlas de anatomía tomo I.

9.1.1.4 Huesos del antebrazo:

El antebrazo es un segmento del miembro superior capaz de efectuar movimientos de rotación sobre su eje longitudinal, movimientos de pronación y de supinación, los que modifican la orientación de los huesos del antebrazo. [18]

9.1.1.5 Radio:

El radio es un hueso largo, situado en la parte lateral del antebrazo. Comprende un cuerpo o diáfisis y dos extremidades o epífisis, superior e inferior. Su extremidad inferior o carpiana está más desarrollada que la superior, al contrario de lo que sucede en el cubito, posee cara anterior, cara lateral y cara posterior. [18]

9.1.1.6 Cúbito:

El cubito al igual que el radio, esta medialmente situado, es un hueso largo que presenta un cuerpo y dos extremidades, este se encuentra ligeramente inclinado de abajo arriba y lateromedialmente, forma con el húmero un ángulo obtuso de abertura lateral, en su parte superior, el cuerpo del hueso se curva hacia adelante, este posee cara posterior y medial, y bordes anterior y posterior. [18]

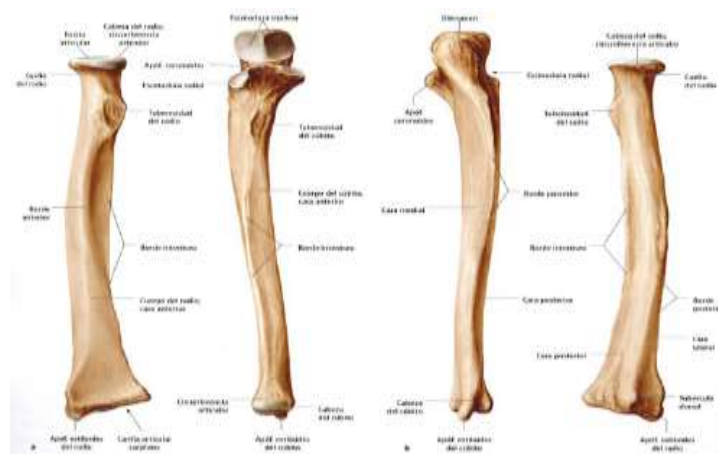


Figura4Huesos de Cúbito y Radio Humano.

Fuente: **Shünke, Schulte, Schumachervoll, wesker**. Prometheus texto y atlas de anatomía tomo I.

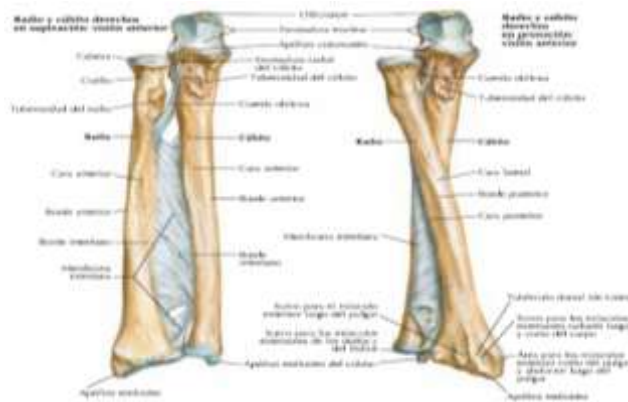


Figura 5 Cubito y Radio Humano.

Fuente: **Netter**, Frank H. Atlas de Anatomía Humana. Quinta edición.

9.1.2 ARTICULACIONES

Las articulaciones están constituidas por un conjunto de formaciones anatómicas que unen dos o más huesos, la parte de la anatomía que estudia las articulaciones se llama artrología o sindesmología. Todas las articulaciones no poseen el mismo valor ni la misma importancia algunas poseen una gran amplitud de movimientos y otras que poseen movimientos restringidos o semimóviles y por ultimo las que carecen de movimiento.

Según esta clasificación las podemos diferenciar de la siguiente manera:

- 9.1.2.1 Articulaciones inmóviles [sinartrosis]:** de acuerdo con el tejido articular *FIBROSAS*: Este tipo de articulaciones se encuentran entre los huesos del cráneo y de la cara. [18]
- 9.1.2.2 Articulaciones semimóviles [anfiartrosis]:** de acuerdo con el tejido articular *CARTILAGINOSAS*: En este tipo de articulación los movimientos son limitados y de poca amplitud, estos se caracterizan por que carecen de cavidad sinovial además que las superficies articulares están cubiertas por un cartílago articular, estas presentan ligamentos periféricos que rodean la articulación. [18]
- 9.1.2.3 Articulaciones móviles [diartrosis]:** de acuerdo con el tejido articular *SINOVIALES*: Estas son articulaciones muy móviles particularmente interesantes por su complejidad anatómica y su diversidad funcional, las superficies óseas que se encuentran en estas articulaciones están revestidas de cartílago de tipo hialino. [18]

9.1.3 ARTICULACIÓN DEL CODO

Esta es la que une el esqueleto del brazo al del antebrazo, siendo esta una articulación sinovial compuesta a su vez por dos sub-articulaciones diferentes en las que encontramos las articulaciones humeroantebraquial y la radiocubital proximal.[22]

9.1.3.1 *Articulación humeroantebraquial*: Esta es la que une la extremidad inferior del humero junto con las extremidades superiores del radio y el cubito siendo la responsable de que el antebrazo se pueda tanto acercar como alejar del brazo. [22]

9.1.3.2 *Articulación radiocubital proximal*: esta une las extremidades superiores tanto del cubito como del radio haciendo que se puedan generar movimientos tales como pronosupinación y rotación del radio sobre el cubito. [22]

9.1.4 MEDIOS DE UNION

En cada una de las articulaciones del cuerpo existen elementos que se encargan de asegurar no solo que la unión se lleve a cabo si no que el movimiento en la misma sea fluido. Por esto mismo encontramos que esta articulación posee la capsula articular y sus respectivos refuerzos ligamentosos. [22]

9.1.4.1 *Capsula articular*: esta cubre por completo la articulación de tal manera que dentro de sí alberga la articulación del codo y la articulación cubital proximal. [22]

9.1.4.2 *Ligamentos*: son estos los que se aseguran de la estabilidad de la articulación, entre los cuales encontramos cuatro que son: anterior, superior, colateral radial y colateral cubital pudiéndose considerar los últimos dos como los más importantes.[22]

9.1.5 MUSCULOS DEL MIEMBRO SUPERIOR

Estos se pueden dividir en músculos flexores y extensores, los cuales dependiendo el movimiento que se esté realizando pasan de ser agonistas a antagonistas, asegurando la precisión en los movimientos demasiado lentos y protegiendo la articulación en los rápidos.[22]

9.1.5.1Músculos flexores: Como su nombre lo indica son los encargados de que se pueda realizar el movimiento de Flexión, entre los cuales encontramos el bíceps, el braquial, el braquioradial. Se debe tener en cuenta que así todos trabajen en conjunto para poder realizar el movimiento de flexión su acción no es idéntica, esta varía respecto al lugar en donde se fijan en las inserciones anterobraquiales. [22]

9.1.5.2 Músculos extensores:Estos músculos son los encargados de realizar movimientos de extensión, están conformados por las tres porciones de tríceps, siendo uno de los extensores del antebrazo, lo inerva el nervio radial y recibe irrigación sanguínea de la arteria radial.. [22]

9.1.6 LIGAMENTO

El ligamento es una estructura anatómica en forma de banda, compuesta por fibras resistentes que conectan los tejidos que unen a los huesos en las articulaciones, estos poseen formas variables entre banda o cinta, es tomado como un cordón de resistencia considerable, que le confiere a la articulación gran firmeza, como es el caso de la rodilla que es capaz de resistir una fuerza de 415 kg sin desgarrarse. Los ligamentos presentan elasticidad variable derivándose en ligamentos fibrosos y elásticos, en donde los fibrosos son prácticamente inextensibles, por lo tanto su extensión limita el movimiento y los elásticos son algo más extensibles y por lo tanto el movimiento es mayor.

9.2 PATOLOGIAS COMUNES DE UN BRAZO HUMANO

La patología es el estudio de las enfermedades en su amplio sentido, es decir, como procesos o estados anormales de causas conocidas o desconocidas, La palabra deriva de pathos, en la medicina pathos tiene la acepción de «estado anormal duradero como producto de una enfermedad» las patologías del brazo se dividen en enfermedades y traumas.

Entre las patologías más comunes a nivel de extremidades superiores encontramos:

9.2.1 CODO DEL TENISTA-EPICONDILITIS

Esta se representa en forma de una inflamación y dolor localizado en la región antero-externa situada en el antebrazo, codo posterior y puede llegar hasta el pulgar, esta se produce, cuando se realizan movimientos repetitivos de los músculos pronadores y supinadores, que se insertan en el húmero y el dolor se advierte en la prominencia ósea externa.

9.2.2 CODO DEL GOLFISTA – EPITROCLEITIS

También se le denomina epitrocleítis o epicondilitis medial a la inflamación de la zona de inclusión en el codo de los tendones flexores de la mano y de los dedos, nuevamente esta se presenta por movimientos repetitivos de tensión mantenida sobre los tendones.

10. 2.3 DEDO EN RESORTE – TENOSINOVITIS

Este junto con el síndrome del túnel carpiano, son las patologías más frecuentes que se encuentran en los miembros superiores del cuerpo humano, la consecuencia de esta patología es que el dedo concretamente se traba, esto se da ya que el tendón flexor se encuentra ensanchado y pierde la posibilidad de fluir por debajo de la polea que lo fija al hueso.

9.2.4 SINDROME DEL TUNEL CARPIANO

Esta es una de las patologías más frecuentes, hace un tiempo se presentaba en personas mayores pero con el continuo uso de los computadores y demás herramientas actuales viene en incremento en personas de todas las esta es propiciada por la compresión del nervio mediano en el túnel del carpo, a nivel de la palma de la muñeca, esta patología es progresiva y si no es tratada a tiempo genera atrofia en la mano y pérdida de la sensibilidad.

9.2.5 GANGLION DE MUÑECA – QUISTE SINOVIAL

Es una tumoración que se produce en el dorso de la muñeca, está lleno del mismo líquido que hay en la articulación, esta se forma a partir de la articulación entre los huesos escafoides y el semilunar, este quiste puede crear dolor y deformaciones en la estética de la mano.

9.2.6 TORCEDURA DE CODO

Una torcedura es la torsión o estiramiento de un ligamento en particular, estos son tejidos que conectan los huesos de una articulación. La mayoría de torceduras se presentan en caídas, contorsiones y/o golpes. Las torceduras del tobillo y la muñeca son las comunes, Los síntomas incluyen dolor, inflamación, hematomas e incapacidad para mover la articulación. Puede sentir un chasquido o un desgarró cuando la lesión ocurre.

Las distensiones son músculos o tendones estirados o rotos. *“Los tendones son tejidos que conectan los músculos con los huesos. Torcer o estirar estos tejidos puede causar una distensión. Las distensiones pueden ocurrir repentinamente o desarrollarse con el tiempo. Las distensiones de los músculos de la espalda y los isquiotibiales son comunes”*[8]. Generalmente las personas sufren distensiones cuando practican deportes. Los síntomas incluyen dolor, espasmos musculares, inflamación y dificultad para mover el músculo.

En el tratamiento de las torceduras y las distensiones se suele incluir el reposo del área afectada, hielo, uso de vendas o compresión del área y medicinas. El tratamiento posterior puede incluir ejercicios y fisioterapia.

9.2.7 DISLOCACIONES

Las dislocaciones (o luxaciones) son lesiones en las articulaciones que arrancan los extremos de los huesos y los saca o desencajan de su posición natural. La causa suele ser una caída o un golpe y, algunas veces, una consecuencia de practicar un deporte de contacto. Pueden producirse dislocaciones en los tobillos, las rodillas, los hombros, la cadera, los codos y la mandíbula. Las articulaciones dislocadas suelen hincharse, doler y encontrarse, a simple vista, fuera de lugar. Puede suceder que no pueda moverla.

El tratamiento será diferente para cada tipo de dislocación, este dependerá de la articulación afectada y de la gravedad de la lesión. Puede incluir maniobras para volver a poner los huesos en su lugar, medicamentos, férulas (yeso) o cabestrillo y rehabilitación.

9.3 ANALISIS DE MOVIMIENTO

Dentro del análisis de movimiento de cualquier articulación del cuerpo humano es preciso mencionar los tres ejes anatómicos como sistema de referencia, pues constituye lo que se conoce como posición anatómica básica, estos ejes se dividen en Vertical, Horizontal y Anteposterior, *“Los ejes, son como los de cualquier tipo de máquina, y nos dicen que tipo movimiento se produce. Se generan de la intersección de dos planos.”* [9].

El eje Vertical data de los movimientos de rotación, bien sea a la derecha o a la izquierda y/o externa e interna; El eje Horizontal estudia los Movimientos de Flexión y Extensión, y el eje Anteposterior se encarga de los movimientos de Abducción (Separación) y aducción (aproximación).

Es necesario incluir los planos dentro del análisis de movimiento ya que nos permitirían estudios más especializados y análisis más perfectos *“Los planos son superficies imaginarias que dividen el cuerpo en dos partes. Definen movimientos y representan cortes para el estudio interno del cuerpo”* [8], Al igual que en el sistema de ejes encontramos tres tipos de planos: Vertical, Horizontal y Anteposteior; El plano vertical divide el cuerpo en dos partes derecha e izquierda, el plano Horizontal divide el cuerpo en superior o inferior, y finalmente el plano Anteposterior quien divide al cuerpo en dos partes, anterior o delantera y posterior o trasera.

9.3.1 Movimiento de Flexo extensión

“Se define la flexión como el movimiento que aproxima la cara anterior del antebrazo con la cara anterior del brazo, y extensión como el movimiento de retorno del antebrazo a su posición anatómica” [10].

El movimiento de flexo extensión es llevado a cabo por las articulaciones húmerocubital y humeroradial. El rango promedio de movimiento normal oscila entre 0° (o extensión completa) y 140°-146° de flexión, cuando ésta es realizada sin ningún tipo de patología existente, puede llegar a hasta los 160° (flexión máxima), aunque generalmente es posible realizar la mayoría de actividades cotidianas en un rango de movimiento entre los 30 y 130° de arco de movimiento, esto se conoce como arco funcional del codo. En ocasiones es posible observar en una pequeña población un cierto grado de hiperextensión del codo, este rango de movimiento se halla limitado principalmente por los propios elementos óseos, así como por otras estructuras periarticulares y diferentes características físicas, así la diferencia entre el valor angular de la superficie articular de

la tróclea, que es de 330° , y el de la escotadura troclear del cubito, que es de 190° , da como resultado 140° , que no es más que el rango de flexo-extensión del codo.

Lo mismo puede aplicarse a la diferencia entre la superficie articular de la cabeza humeral de 180° y de la fosita de la cabeza radial 40° . El eje alrededor del cual se realiza la flexo-extensión de codo ha sido motivo de numerosos estudios, alguno de ellos incluso contradictorios. *“Estos movimientos de flexo-extensión se realizan a través de un eje que discurre por el centro de la superficie articular troclear y que emerge por el centro del cóndilo humeral. Puesto que las superficies articulares no están orientadas formando ángulo recto con el eje diafisario, sino que se hallan en valgo, el eje de flexo-extensión se orienta oblicuamente, con su extremo medial situado ligeramente por debajo del lateral”*[10].

Por ello y debido a la forma helicoidal de la superficie troclear, el eje longitudinal del húmero forma respecto al eje longitudinal del cubito, con el codo en extensión completa y el antebrazo en supinación, un ángulo obtuso abierto hacia afuera (en valgo) que se denomina valgo fisiológico. En los adultos, este ángulo tiene de 10 a 15° , y en general es mayor en las mujeres. Este valor puede variar, y en efecto varía (disminuye con la flexión), durante los movimientos de flexo-extensión. La desviación en valgo del antebrazo se hace evidente y es fácil de observar en los individuos que cargan peso. Estudios biomecánicos recientes han demostrado que durante los primeros y últimos grados de flexión (5°), ésta puede acompañarse de un ligero movimiento de rotación axial del cubito.

9.4 BIOMECANICA DEL CODO

La articulación que une al brazo con el antebrazo es el codo, la cual se encuentra en medio del miembro superior también conocida como Articulación en bisagra/pivote.

Permite al antebrazo estirarse o recogerse mediante los movimientos de flexo extensión (articulaciones húmerocubital y húmeroradial), esto hace que el miembro superior pueda trabajar a diferentes distancias del cuerpo según el mismo lo requiera. Así también orienta la palma de la mano, mediante los movimientos de pronosupinación mediante las articulaciones radiocubital proximal y húmeroradial. De su movilidad y estabilidad depende el desarrollo de las actividades diarias.

El complejo articular del codo interviene también en la aplicación de fuerza y control del hombro más específicamente en el movimiento de la mano en el espacio, facilitando su capacidad de movimiento.

Desde un punto de vista funcional, la articulación de codo está compuesta por tres articulaciones diferentes: húmerocubital, húmeroradial y radiocubital proximal. Las dos primeras son las encargadas de realizar los movimientos de flexión y extensión,

mientras que en el radio cubital proximal se encargan los movimientos de pronosupinación en íntima relación con la articulación radiocubital distal.

Es importante considerar que desde un punto de vista anatómico el codo resulta ser una sola articulación; Las estructuras óseas que participan en su constitución son la epífisis distal del humero y las epífisis proximales del radio y cubito.

“El húmero presenta dos superficies articulares, la tróclea humeral y el cóndilo del húmero, el canal cóndilo-troclear separa la superficie troclear del cóndilo humeral. La tróclea humeral adopta una forma de polea asimétrica, ya que su borde medial desciende más distalmente. Está recubierta de cartílago hialino y forma un arco de unos 330-340°[10]. Sus dos superficies articulares están separadas por una garganta situada en el plano sagital, que se dispone de forma elíptica con una dirección anterolateral a posteromedial. El cóndilo humeral es un relieve óseo, de forma esferoidea recubierto de cartílago hialino, que se proyecta anteriormente y se articula con la fosita articular del radio.

Próximo a este se localiza la tróclea, la cual es una prominencia ósea que proporciona inserción a los ligamentos colaterales cubitales de la articulación y al grupo de músculos flexopronadores, la epitróclea o epicóndilo medial. Lateralmente, y proximal al cóndilo humeral, se encuentra también un relieve óseo, aunque menor tamaño, denominado epicóndilo, o más correctamente, epicóndilo lateral.

Justo por encima de ambas superficies articulares, se encuentran tres fosas que permiten alojar relieves óseos de los huesos del antebrazo durante los movimientos de flexoextensión. Anteriormente, y proximal al cóndilo, se localiza la fosita radial que recibe la cabeza radial durante la flexión. Cerca de la tróclea anteriormente se encuentra la fosa coronoidea, que aloja el proceso coronoideo del cubito durante el movimiento de flexión del antebrazo. Por último la fosa olecraneana recibe la punta del olecranon en la extensión del antebrazo.

Estas fosas permiten los movimientos de flexo extensión del codo, los cuales tienen un rango de amplitud normal (0-140/160°).

9.4 INSTRUMENTACION ELECTRONICA

Dentro del ámbito medico es necesario recurrir a la instrumentación electrónica con el fin de obtener mayor precisión en diferentes rangos de movimiento propios del cuerpo humano, con el fin de obtener diagnósticos más precisos para posteriores tratamientos de rehabilitación; dicho esto se recurre con frecuencia al uso de los acelerómetros y giróscopos los cuales son instrumentos que miden movimiento, aceleración, caída libre, choque, velocidad, vibración entre otros.

9.4.1 ACELEROMETROS

“Se considera el acelerómetro como el detector más importante de vibración y movimiento” [11], dicho dispositivo está disponible comercialmente en una amplia gama, esta varía dependiendo la aplicación que se desee implementar, aunque poseen cuatro características físicas compartidas:

1. La respuesta en frecuencia es de cero a un valor limitante, y tienen la capacidad de medir aceleraciones constantes.
2. El desplazamiento y la velocidad se pueden obtener mediante la integración eléctrica entregada por la señal del acelerómetro.
3. Cuando se desea medir movimientos transitorios resulta más recomendable usar detectores de velocidad y/o desplazamiento.
4. Las diferentes fuerzas llamadas destructivas son fácilmente relacionadas con la aceleración que con velocidad o desplazamiento.

Existen varios tipos de acelerómetros los cuales varían dependiendo del uso que se requiera darles entre ellos encontramos los acelerómetros capacitivos, piezoeléctricos, de efecto Hall o de transferencia de calor. El tipo más común de acelerómetro, y también el que se procede a utilizar en esta aplicación es el acelerómetro capacitivo el cual detecta determinado movimiento basado en la detección de un cambio de capacitancia del condensador interno.

Este dispositivo se basa en los conceptos básicos de la capacitancia es decir responde a la fórmula matemática:

$$C = \frac{kA}{d} \quad (1)$$

n donde K es la constante dieléctrica del material la cual varía dependiendo el material (Ver tabla No 1), A corresponde al Área de las placas y d la distancia comprendida entre las mismas.

Tabla No 1 Constates Dieléctricas

Material	Constante dieléctrica media
Aceite de transformador	4.0
Aire seco a 1 atm	1.006
Baquelita	7.0
Mica	5.0
Papel parafinado	2.0
Plástico	3.0
Plásticos de nitrocelulosa	9.0
Teflón	2.0
Vidrio	7.5

Fuente: **Paul E. Tippens**. *Fisica Conceptos y aplicaciones*. Séptima edición.

Los acelerómetros poseen una gran sensibilidad la cual es apropiada para el dispositivo a desarrollar puesto que es posible detectar pequeños cambios de movimiento.

El cambio de capacitancia se puede observar en mayor detalle en la figura No 4.

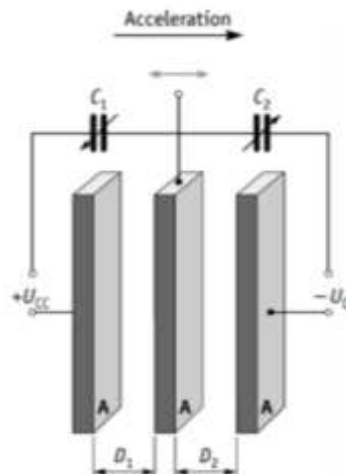


Figura 6 Relación de Cambio de Aceleración.

Fuente: **Mukhopadhyay.S.C, Lay-ekuakille.A**. *Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems*.

En la actualidad se presentan varios tipos de acelerómetros entre ellos los Acelerómetros tipo Deflexión, los tipo Balance Nulo(Servo), Para Navegación Inercial, entre otros; En este caso se decide usar un acelerómetro tipo deflexión debido a los altos índices de calidad en la respuesta de los mismos.

9.4.2 ACCELERÓMETROS TIPO DEFLEXIÓN

Los Acelerómetros tipo deflexión responden a un sistema masa resorte el cual responde a la siguiente ecuación:

$$\frac{X_o}{D^2 X_i}(D) = \frac{X_o}{X''_i}(D) = \frac{K}{\frac{D^2}{Wn^2} + \frac{2\zeta D}{Wn} + 1} \quad (2)$$

Donde

$$W_N = \sqrt{\frac{K_s}{M}} \quad \zeta = \frac{B}{2\sqrt{K_s M}} \quad (3)$$

$$K = \frac{1}{Wn^2} \text{ cm}/(\text{cm}/\text{s}^2) \quad (4)$$

Para la mayoría de los acelerómetros tipo deflexión la respuesta en frecuencia se puede dar en el rango de los 0Hz hasta alguna fracción de Wn, es importante resaltar que este es un instrumento ordinario de segundo Orden.

Los acelerómetros tipo deflexión se pueden clasificar de la siguiente forma:

9.4.2.1 TECNOLOGIA CLASICA: Se subdividen en dos grupos dependiendo la respuesta en voltaje, a) Respuesta en CD (Potenciómetro, LVDT, Extensiómetro Adherido, Extensiómetro no Adherido, Capacitancia)

9.4.2.2 TECNOLOGIA MEMS (Sistema Microelectromecanico): Estos sistemas únicamente producen una respuesta en CD (Piezorresistencia, capacitancia)

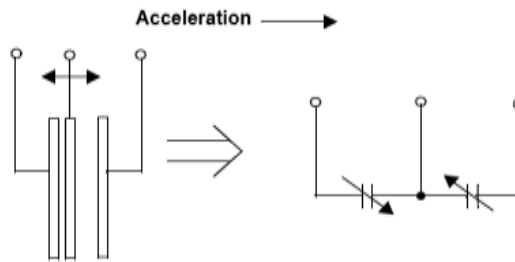


Figura 7 Modelo físico simplificado del sensor

Fuente: Hoja Técnica MMA7361L. Freescale Semiconductor

Este dispositivo posee un acondicionamiento de señal, es posible adaptarle baterías externas debido a la configuración interna que este posee, así también presenta bajo consumo de corriente aproximadamente de 400 μA , y maneja tensiones del rango de los 2,2 a los 3,6 Voltios; Estos dispositivos triaxiales tienen la posibilidad de brindar información acerca de desplazamientos, velocidades y aceleraciones lineales en los ejes X, Y y Z, y poseen el mismo principio de operación de los acelerómetros convencionales.

Es importante tener en cuenta las especificaciones técnicas del dispositivo consignadas en la hoja técnica "Data sheet" para evitar averías o malos funcionamientos. Las Características físicas de Conexión se pueden observar en la tabla No 2.

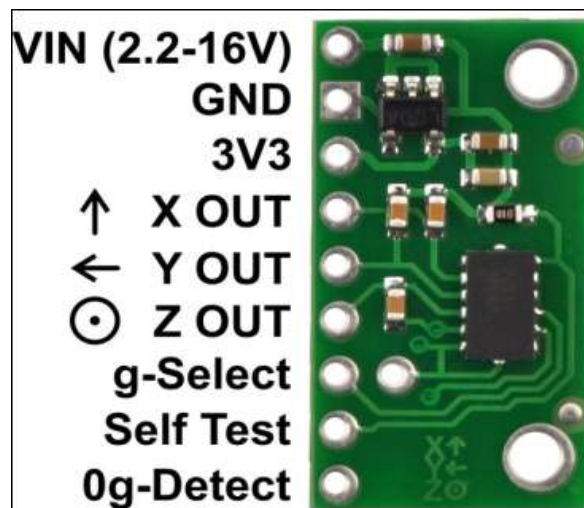


Figura 8 Acelerómetro MMA7361L Con Tarjeta

*Fuente: <http://www.pololu.com/catalog/product/1252/pictures>
PololuElectronics and Robotics®*

Tabla No 2Tabla de conexiones del Acelerómetro

PIN	DESCRIPCIÓN	CONEXIÓN
1	Voltaje de Entrada	2.2V – 16V DC
2	Tierra	Tierra
3	Salida de Voltaje Regulado 3.3V	NC
4	Salida Eje X	Salida
5	Salida Eje Y	Salida
6	Salida Eje Z	Salida
7	Selector de Rango	Tierra
8	Auto Prueba	Tierra
9	Detector de 0g.	NC

Fuente: Autores

El acelerómetro MMA7361 posee características físicas de importante apreciación como son:

Auto prueba (Self Test)

Este sensor brinda la opción de autodiagnóstico, este permite realizar una verificación de su estado mecánico y electrónico cuando el usuario lo requiera, antes durante y después de su instalación. Cuando esta función se ejecuta, el acelerómetro aplica una fuerza electrostática sobre cada uno de sus ejes para lograr una desviación que permita verificar su correcto funcionamiento y el buen estado de sus componentes tanto mecánicos como eléctricos.

Función g (g-Select)

El dispositivo permite hacer una selección entre dos rangos: 3g ó 11g. Dependiendo de la entrada lógica que se le suministre, el dispositivo le da la capacidad al usuario de seleccionar el rango que más le convenga dependiendo de la aplicación que este necesite. Si no se desea conectar el pin del selector, el dispositivo tomará por defecto el menor rango, en este caso 3g. Se debe tener en cuenta que cada rango tiene su propia sensibilidad de esta forma.

Tabla No 3Sensibilidades de Acelerómetro

g-Select	g-Range	Sensitivity
0	3g	440 mV/g
1	11g	117.5 mV/g

Fuente: Hoja Técnica MMA7361L
Freescale Semiconductor

Modo de espera (SleepMode)

El acelerómetro también proporciona la función de modo de espera, la cual es ideal para sistemas alimentados por baterías, pues al activar este modo, se apagan las salidas del dispositivo, reduciendo significativamente su operación, y por tanto su consumo de energía. La activación de este modo se da con una señal lógica de nivel bajo en el pin del modo. Al cambiar la señal lógica de bajo nivel por una de alto nivel, el dispositivo retomará su funcionamiento normal.

Relación Métrica del Radio (Ratiometricity)

Esta función es indispensable cuando se trabaja el sensor con microcontroladores o circuitos ADC. Consiste sencillamente en escalar linealmente la sensibilidad y el desplazamiento con respecto a la fuente de alimentación. Es decir, cuando la tensión suministrada aumenta, aumentan linealmente la sensibilidad y el desplazamiento. De la misma forma, cuando la tensión suministrada disminuye, disminuyen la sensibilidad y el desplazamiento.

Instalación

Para la instalación del acelerómetro, fue necesario diseñar e implementar una tarjeta que permita su fácil adaptación al sistema. Esta tarjeta cuenta con la distribución correcta de fuentes de alimentación, polarización correcta de cada uno de los pines del dispositivo, led's indicadores, e interruptor de apagado y encendido.

9.4.3 POTENCIOMETRO

“Un potenciómetro consiste esencialmente en una resistencia fija sobre la cual se desliza un cursor accionado por rotación”[12], Este puede tener un desplazamiento lineal o mixto dependiendo de las características físicas del mismo, generalmente dicho elemento posee dentro de si tres terminales, los extremos representan cada terminal de la resistencia y el pin del medio representa la conexión del cursor.

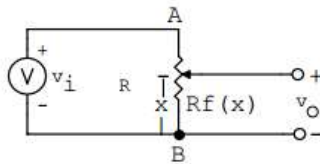


Figura 9 Esquema de un potenciómetro

Fuente : <http://www.utp.edu.co/~mauriciorami/libro2.pdf>

En donde R: es la resistencia Total del dispositivo, X: Representa el desplazamiento del cursor a un extremo de referencia, $R_f(X)$: es la resistencia comprendida entre el extremo de referencia y el cursor, el valor resultante depende directamente de la rotación externa aplicada al dispositivo, dependiendo de dicho desplazamiento los potenciómetros se pueden clasificar en: Potenciómetro de Desplazamiento lineal (se desliza longitudinalmente sobre un elemento resistivo rectilíneo), Potenciómetro Angular (el potenciómetro gira sobre un eje circular alrededor de un punto central), Potenciómetro Multivuelta o Helicoidal (el dispositivo posee varias hélices y gira alrededor de sí mismo sobre un eje central) etc.

9.4.3.1 POTENCIOMETRO LINEAL

Los potenciómetros lineales son transductores de distancia y posición con contacto y rozamiento. La medida se obtiene mediante el deslizamiento de unas escobillas sobre una pista plástica resistiva, que en función del punto donde se encuentre, dará un valor proporcional en resistencia.

El montaje es muy sencillo, ya que incorpora todo lo necesario para realizarlo de una forma fácil. Dispone de diferentes opciones mecánicas, como son las rótulas, punta palpadora, muelle, etc., todo ello pensado para cubrir las diferentes aplicaciones.

Características:

Rango: Desde 25 mm hasta 950 mm.

Linealidad: Desde 0.2 hasta 0.075 %

Salida: Resistiva 1, 5 o 10 kOhm, según modelos.

Protección: IP63 e IP65, para las series PM y PLS respectivamente.

Tabla No 4 Características Eléctricas Potenciómetro Común

CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACION
Eléctrica	Rango de Resistencia	Dependiente
Eléctrica	Tolerancia de la Resistencia	$\pm 15\%$
Eléctrica	Linealidad Independiente	$\pm 0,20$
Eléctrica	Resolución	Definida por el usuario
Eléctrica	Torque Eléctrico	$433 \pm 0,20$
Eléctrica	Rango de Potencia	0,2 Watts
Eléctrica	Resistencia de Aislamiento	1000 MΩ - 500VDC
Eléctrica	Fuerza Dieléctrica	500 VAC min
Eléctrica	Fricción	300 gramos

Fuente: Autores

9.4.2 SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS

La adquisición de datos y/ o señales consiste en una toma continua de muestras de un sistema análogo (respuesta de sensores, señales del ambiente entre otras.), con el fin de obtenerlas y finalmente manipularlos como se requieran por medio de la digitalización de las mismas de forma tal que puedan ser leídas por un ordenador y se pueda llevar registro del comportamiento y finalmente tomar una acción dependiente de las diferentes respuestas que estas señales suministran.

El elemento que hace la transformación de la señal análoga proveniente a una señal digital se llama tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

Para dicha adquisición se deben tener en claro conceptos como Dato, Adquisición, Sistema, Bit de Resolución, Rango, entre otros.

Cuando se quiere adquirir una señal análoga es importante tener en cuenta el teorema de Niquist, el cual habla de la necesidad de tener una frecuencia de muestreo mayor dos veces o más a la señal que se desea medir, en caso contrario aparecerá el fenómeno denominado aliasing el cual no permite una correcta reconstrucción de la señal digital adquirida en el ordenador.

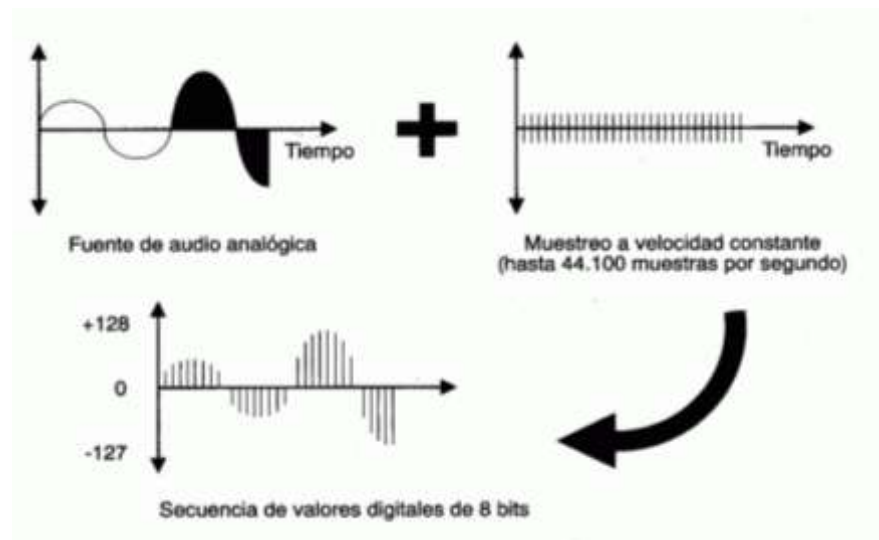


Figura 10 Descripción del Teorema de Nyquist

Fuente: <https://2010301400isaacmerida.wordpress.com/tag/teorema-del-muestreo-de-nyquist/>

PololuElectronics and Robotics®

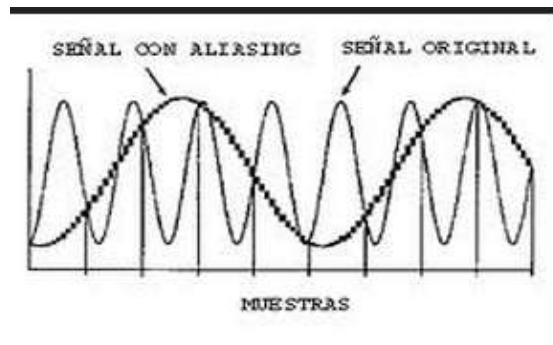


Figura 11 Descripción del Teorema de Nyquist cuando se presenta el Fenómeno de Aliasing

Fuente: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v56n2/v56n2a2.pdf>
Revista Mexicana de Física

Los datos adquiridos son adquiridos por los periféricos que posee el ordenador (paralelo, serie usb..) o por ranuras de diferentes tarjetas conectadas a el (PCI, ISA); Existen varios tipos de tarjetas con dicho fin algunas son configuradas y conectadas en los periféricos del pc y la conversión analógica-digital se realiza en un dispositivo externo generalmente en un microcontrolador que contenga dentro de si el módulo DAC; también existen tarjetas desarrolladas con altos estándares de fiabilidad, calidad y alto rendimiento como lo son las desarrolladas por la conocida empresa NationalIntruments, *“Las innovadoras tecnologías del hardware DAQ y del controlador NI-DAQmx le brindan mejor precisión y mayor rendimiento. Sin importar el tipo de aplicación, ya sea para medidas básicas o sistemas complejos, NI tiene las herramientas adecuadas para su proyecto”*[13].

Dentro de los diferentes sistemas de adquisición desarrollados por NationalIntruments encontramos las tarjetas USB, PCI-PCI Express, USB Wifi Ethernet Autónomo, PXI-PXI Express.

En este caso se decide trabajar con una tarjeta de adquisición NI USB6009 la cual es una tarjeta de registro simple de datos, muy eficaz y de bajo costo; contiene 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s) 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits, Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada y es compatible con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET



Figura 12: Tarjeta de Adquición de datos National Instruments NI USB 6009

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>
National Instruments ®

La DAQ 6009 proporciona conexiones para ocho canales de entradas analógicas AI, y dos canales de salidas analógicas (AO), 12 canales con entradas y salidas y un contador de 32 bits, cuando la interfaz USB es usada a Cabalidad.

Dichas entradas analógicas poseen un convertidor de aproximaciones sucesivas, posee 8 entradas de una sola terminal y 4 diferenciales, las cuales se pueden seleccionar en el software que se desee, en nuestro caso el programa Labview de National Instruments, las diferentes características de las entradas y salidas analógicas se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla No 5 DESCRIPCION FISICA DAQ

Tipo de Convertidor	Aproximación Sucesiva
Salida Analógica	2
Resolución de Salida	12 bits
Máxima Actualización de Muestreo	150 Hz Software-Cronómetro
Rango de Salida	De 0 a +5 V
Manejo de Corriente de Salida	50 Ω
Estado Power-On	0 V
Corriente de Corto Circuito	50 mA
Exactitud Absoluta (Sin Carga)	7mV Típico, 36.4 mV Máximo a Escala Completa

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>
National Instruments ®

Cuando se desea conectar dicha tarjeta al ordenador y/o a los sensores usados (acelerómetro y potenciómetro) es preciso tener en cuenta las características de hardware de la tarjeta, en la cubierta de la misma se encuentran marcados los terminales, estos a su vez cuentan con un bloque de tornillos los cuales ajustan los datos de entrada y/o salida a la misma tarjeta como se puede observar en la siguiente figura

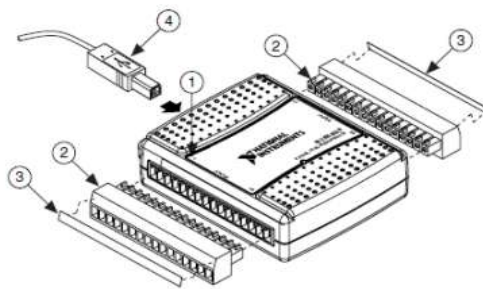


Figura 4.3 Etiqueta de la señal del diagrama de aplicaciones.

2. Combicon toma de corriente (interna de la tarjeta).
3. Las etiquetas de la señal.
4. Cable USB.

Figura 13 Hardware y modo de conexión DAQ NI USB 6009

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>
National Instruments ®

Dentro del Hardware también se integran conexiones o bloques de terminales con tornillos intercambiables las cuales permiten conectar alambres de calibre máximo de 28 AWG, estos están distribuidos como se observa en la figura No 12

Terminal	Terminal	Terminal
1	AO0	AO0
2	AO1	AO1
3	AO2	AO2
4	AO3	AO3
5	AO4	AO4
6	AO5	AO5
7	AO6	AO6
8	AO7	AO7
9	AO8	AO8
10	AO9	AO9
11	AO10	AO10
12	AO11	AO11
13	AO12	AO12
14	AO13	AO13
15	AO14	AO14
16	AO15	AO15
17	AO16	AO16
18	AO17	AO17
19	AO18	AO18
20	AO19	AO19
21	AO20	AO20
22	AO21	AO21
23	AO22	AO22
24	AO23	AO23
25	AO24	AO24
26	AO25	AO25
27	AO26	AO26
28	AO27	AO27
29	AO28	AO28
30	AO29	AO29
31	AO30	AO30
32	AO31	AO31
33	AO32	AO32
34	AO33	AO33
35	AO34	AO34
36	AO35	AO35
37	AO36	AO36
38	AO37	AO37
39	AO38	AO38
40	AO39	AO39
41	AO40	AO40
42	AO41	AO41
43	AO42	AO42
44	AO43	AO43
45	AO44	AO44
46	AO45	AO45
47	AO46	AO46
48	AO47	AO47
49	AO48	AO48
50	AO49	AO49
51	AO50	AO50
52	AO51	AO51
53	AO52	AO52
54	AO53	AO53
55	AO54	AO54
56	AO55	AO55
57	AO56	AO56
58	AO57	AO57
59	AO58	AO58
60	AO59	AO59
61	AO60	AO60
62	AO61	AO61
63	AO62	AO62
64	AO63	AO63
65	AO64	AO64
66	AO65	AO65
67	AO66	AO66
68	AO67	AO67
69	AO68	AO68
70	AO69	AO69
71	AO70	AO70
72	AO71	AO71
73	AO72	AO72
74	AO73	AO73
75	AO74	AO74
76	AO75	AO75
77	AO76	AO76
78	AO77	AO77
79	AO78	AO78
80	AO79	AO79
81	AO80	AO80
82	AO81	AO81
83	AO82	AO82
84	AO83	AO83
85	AO84	AO84
86	AO85	AO85
87	AO86	AO86
88	AO87	AO87
89	AO88	AO88
90	AO89	AO89
91	AO90	AO90
92	AO91	AO91
93	AO92	AO92
94	AO93	AO93
95	AO94	AO94
96	AO95	AO95
97	AO96	AO96
98	AO97	AO97
99	AO98	AO98
100	AO99	AO99
101	AO100	AO100
102	AO101	AO101
103	AO102	AO102
104	AO103	AO103
105	AO104	AO104
106	AO105	AO105
107	AO106	AO106
108	AO107	AO107
109	AO108	AO108
110	AO109	AO109
111	AO110	AO110
112	AO111	AO111
113	AO112	AO112
114	AO113	AO113
115	AO114	AO114
116	AO115	AO115
117	AO116	AO116
118	AO117	AO117
119	AO118	AO118
120	AO119	AO119
121	AO120	AO120
122	AO121	AO121
123	AO122	AO122
124	AO123	AO123
125	AO124	AO124
126	AO125	AO125
127	AO126	AO126
128	AO127	AO127
129	AO128	AO128
130	AO129	AO129
131	AO130	AO130
132	AO131	AO131
133	AO132	AO132
134	AO133	AO133
135	AO134	AO134
136	AO135	AO135
137	AO136	AO136
138	AO137	AO137
139	AO138	AO138
140	AO139	AO139
141	AO140	AO140
142	AO141	AO141
143	AO142	AO142
144	AO143	AO143
145	AO144	AO144
146	AO145	AO145
147	AO146	AO146
148	AO147	AO147
149	AO148	AO148
150	AO149	AO149
151	AO150	AO150
152	AO151	AO151
153	AO152	AO152
154	AO153	AO153
155	AO154	AO154
156	AO155	AO155
157	AO156	AO156
158	AO157	AO157
159	AO158	AO158
160	AO159	AO159
161	AO160	AO160
162	AO161	AO161
163	AO162	AO162
164	AO163	AO163
165	AO164	AO164
166	AO165	AO165
167	AO166	AO166
168	AO167	AO167
169	AO168	AO168
170	AO169	AO169
171	AO170	AO170
172	AO171	AO171
173	AO172	AO172
174	AO173	AO173
175	AO174	AO174
176	AO175	AO175
177	AO176	AO176
178	AO177	AO177
179	AO178	AO178
180	AO179	AO179
181	AO180	AO180
182	AO181	AO181
183	AO182	AO182
184	AO183	AO183
185	AO184	AO184
186	AO185	AO185
187	AO186	AO186
188	AO187	AO187
189	AO188	AO188
190	AO189	AO189
191	AO190	AO190
192	AO191	AO191
193	AO192	AO192
194	AO193	AO193
195	AO194	AO194
196	AO195	AO195
197	AO196	AO196
198	AO197	AO197
199	AO198	AO198
200	AO199	AO199
201	AO200	AO200
202	AO201	AO201
203	AO202	AO202
204	AO203	AO203
205	AO204	AO204
206	AO205	AO205
207	AO206	AO206
208	AO207	AO207
209	AO208	AO208
210	AO209	AO209
211	AO210	AO210
212	AO211	AO211
213	AO212	AO212
214	AO213	AO213
215	AO214	AO214
216	AO215	AO215
217	AO216	AO216
218	AO217	AO217
219	AO218	AO218
220	AO219	AO219
221	AO220	AO220
222	AO221	AO221
223	AO222	AO222
224	AO223	AO223
225	AO224	AO224
226	AO225	AO225
227	AO226	AO226
228	AO227	AO227
229	AO228	AO228
230	AO229	AO229
231	AO230	AO230
232	AO231	AO231
233	AO232	AO232
234	AO233	AO233
235	AO234	AO234
236	AO235	AO235
237	AO236	AO236
238	AO237	AO237
239	AO238	AO238
240	AO239	AO239
241	AO240	AO240
242	AO241	AO241
243	AO242	AO242
244	AO243	AO243
245	AO244	AO244
246	AO245	AO245
247	AO246	AO246
248	AO247	AO247
249	AO248	AO248
250	AO249	AO249
251	AO250	AO250
252	AO251	AO251
253	AO252	AO252
254	AO253	AO253
255	AO254	AO254
256	AO255	AO255
257	AO256	AO256
258	AO257	AO257
259	AO258	AO258
260	AO259	AO259
261	AO260	AO260
262	AO261	AO261
263	AO262	AO262
264	AO263	AO263
265	AO264	AO264
266	AO265	AO265
267	AO266	AO266
268	AO267	AO267
269	AO268	AO268
270	AO269	AO269
271	AO270	AO270
272	AO271	AO271
273	AO272	AO272
274	AO273	AO273
275	AO274	AO274
276	AO275	AO275
277	AO276	AO276
278	AO277	AO277
279	AO278	AO278
280	AO279	AO279
281	AO280	AO280
282	AO281	AO281
283	AO282	AO282
284	AO283	AO283
285	AO284	AO284
286	AO285	AO285
287	AO286	AO286
288	AO287	AO287
289	AO288	AO288
290	AO289	AO289
291	AO290	AO290
292	AO291	AO291
293	AO292	AO292
294	AO293	AO293
295	AO294	AO294
296	AO295	AO295
297	AO296	AO296
298	AO297	AO297
299	AO298	AO298
300	AO299	AO299
301	AO300	AO300
302	AO301	AO301
303	AO302	AO302
304	AO303	AO303
305	AO304	AO304
306	AO305	AO305
307	AO306	AO306
308	AO307	AO307
309	AO308	AO308
310	AO309	AO309
311	AO310	AO310
312	AO311	AO311
313	AO312	AO312
314	AO313	AO313
315	AO314	AO314
316	AO315	AO315
317	AO316	AO316
318	AO317	AO317
319	AO318	AO318
320	AO319	AO319
321	AO320	AO320
322	AO321	AO321
323	AO322	AO322
324	AO323	AO323
325	AO324	AO324
326	AO325	AO325
327	AO326	AO326
328	AO327	AO327
329	AO328	AO328
330	AO329	AO329
331	AO330	AO330
332	AO331	AO331
333	AO332	AO332
334	AO333	AO333
335	AO334	AO334
336	AO335	AO335
337	AO336	AO336
338	AO337	AO337
339	AO338	AO338
340	AO339	AO339
341	AO340	AO340
342	AO341	AO341
343	AO342	AO342
344	AO343	AO343
345	AO344	AO344
346	AO345	AO345
347	AO346	AO346
348	AO347	AO347
349	AO348	AO348
350	AO349	AO349
351	AO350	AO350
352	AO351	AO351
353	AO352	AO352
354	AO353	AO353
355	AO354	AO354
356	AO355	AO355
357	AO356	AO356
358	AO357	AO357
359	AO358	AO358
360	AO359	AO359
361	AO360	AO360
362	AO361	AO361
363	AO362	AO362
364	AO363	AO363
365	AO364	AO364
366	AO365	AO365
367	AO366	AO366
368	AO367	AO367
369	AO368	AO368
370	AO369	AO369
371	AO370	AO370
372	AO371	AO371
373	AO372	AO372
374	AO373	AO373
375	AO374	AO374
376	AO375	AO375
377	AO376	AO376
378	AO377	AO377
379	AO378	AO378
380	AO379	AO379
381	AO380	

10. METODOLOGÍA

La investigación que se está desarrollando es de tipo cuantitativa, pues se encamina en un tema determinado y de diseño autónomo el cual sigue una serie ordenada de fases o etapas propuestas en un cronograma de actividades ya diseñado y se encuentra sujeta a cambios durante el proceso según se requieran, en este caso se diseña con el fin de una posterior implementación, un sistema de captura de movimientos de Flexo-extensión.

Para el desarrollo del prototipo se fijan diferentes fases las cuales se irán complementando entre sí a medida del avance del proyecto.

En una primera etapa se pretende captar y visualizar el movimiento de flexo-extensión de codo en grados, se hará uso de un potenciómetro lineal para obtener dichas variaciones, en este proceso dicho instrumento tendrá que pasar por procesos de patronamiento y trazabilidad con el fin de detectar diferentes errores procedentes del mismo, esto se realizará a través de mediciones continuas (mínimo 20), y posteriormente analizando las curvas de comportamiento entregadas en cada medición, detectando los posibles fallos y puntos muertos.

Dentro del diagnóstico de lesiones relacionadas con flexo extensión es importante conocer los datos de velocidad y aceleración, para determinar el tipo y/o daño de la lesión, por este motivo en una segunda fase se pretende implementar un acelerómetro análogo con el fin de visualizar dichas variables buscando facilitar la emisión de diagnósticos médicos por parte del profesional especializado, los datos serán dirigidos al pc a través de una tarjeta de adquisición de datos y posteriormente tratados dentro del software LabView.

Analizando y verificando los datos obtenidos en la fase uno y dos, se procederá a crear un entorno gráfico de fácil acceso y visualización, en el software LabView, estos datos serán posteriormente importados al programa Microsoft Excel en el cual el profesional tendrá la oportunidad de analizarlos con mayor detalle en diferentes tiempos.

En la fase final se pretende probar la veracidad del instrumento implementado y determinar condiciones eléctricas y ambientales para su óptimo funcionamiento, estas variables serán consignadas en una hoja técnica de fácil acceso para el usuario del dispositivo.

11. DISEÑO, DESARROLLO Y RESULTADOS

11.1 INSTRUMENTACION ELECTRONICA

La instrumentación electrónica escogida tiene una directa relación con las variables que se desean obtener, las cuales están fijadas dentro de los objetivos de esta investigación; Basados en la investigación previa consignada en el marco teórico, se escoge un acelerómetro de tecnología microelectromecanica MEMS puesto que posee estándares de calidad aceptables, así también se escoge un potenciómetro lineal de $10K\Omega$ y una vuelta el cual entrega variaciones de voltajes dependientes del movimiento en cuestión.

11.1.2 ACELEROMETRO MMA 7361

En el diseño se prefiere el uso de tecnología MEMS debido a que esta presenta mayores rangos de calidad en la entrega de la señal, se trabaja con un circuito integrado montado en una oblea de silicio, el cual permite mediciones en cualquier rango de frecuencia, estos integran un sistema usual masa/resorte, la detección y la sensibilidad es dada por el fabricante del circuito, en este caso se trabaja específicamente un MMA 7361, es un acelerómetro capacitivo, Al ser de este tipo, contiene dos placas fijas ubicadas a cierta distancia una de la otra, y una placa móvil en medio de las dos anteriores. Cuando dicho dispositivo es sometido a un movimiento, la placa móvil se desplaza hacia una de las placas fijas. En ese momento el valor de la capacitancia aumenta en una dirección y análogamente disminuye en la otra, lo que provoca una variación en la señal que el dispositivo está entregando, o sea, un cambio en la tensión que entrega.

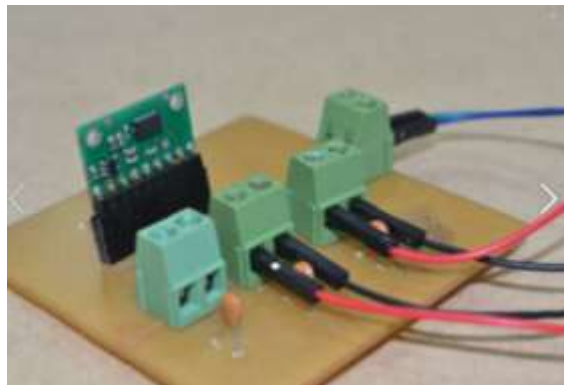


Figura 15 Esquema Acelerómetro MMA 7361

Fuente: Autores

11.1.3 POTENCIOMETRO LINEAL DE 10 K

En este caso se prefiere implementar un potenciómetro lineal debido a que este dispositivo permite observar pequeñas variaciones las cuales son de vital importancia en un sistema de medición y monitoreo de alguna clase de patología la cual limita el movimiento de flexo- extensión, este sistema es bastante usando cuando se desea medir distancia o desplazamiento, se escoge un potenciómetro lineal de 10 K Ω de una Vuelta de Referencia 3852A-282-103AL, 1336M).

Es necesario llevar a cabo un proceso de parametrización del potenciómetro, puesto que este instrumento es implementado como sensor de movimiento en el prototipo, este proceso se lleva a cabo a través del método de parametrización por simulación el cual consiste en tomar repetidas muestras del potenciómetro a usar y luego compararlas con un potenciómetro patrón, es necesario que los dos potenciómetros se muevan al tiempo para tomar los valores de resistencia del mismo como se observa en la Figura No 14, los valores obtenidos en las diferentes mediciones se pueden observar en las tablas No 6 y 7.

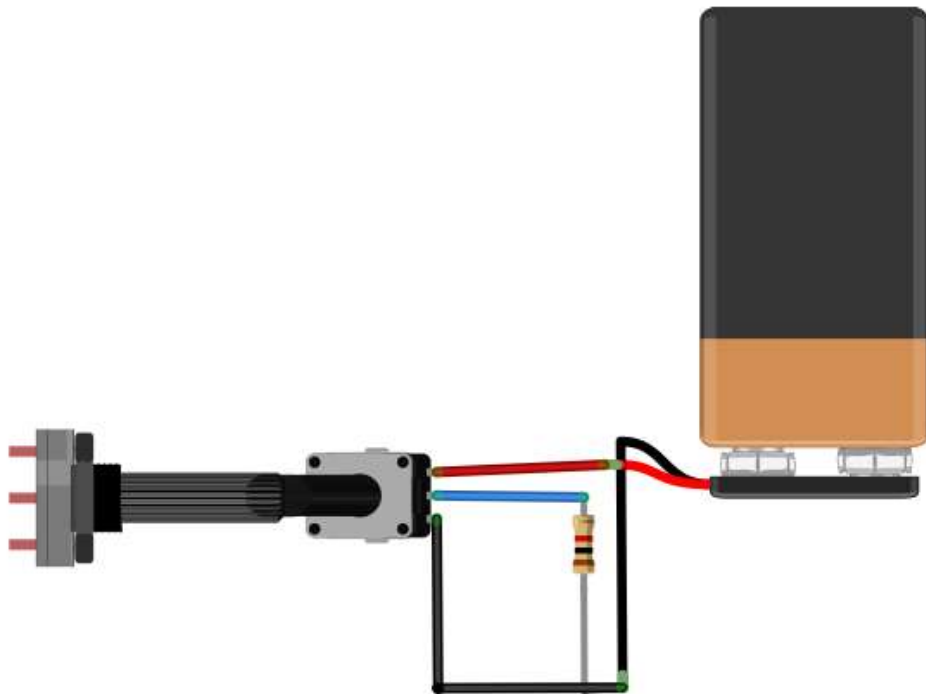


Figura 16 Parametrización del potenciómetro por el método de Simulación.

Fuente: Autores

Tabla No 6 Valores independientes de Resistencia del Potenciómetro Lineal de 10 K Ω

Grado de Movimiento	Medida de Resistencia 1	Medida de Resistencia 2	Medida de Resistencia 3
0	0	0	0
5	0	0	0
10	0	0	0
15	0	0	0
20	0	0	0
25	0	0	0
30	0	0	0
35	0	0	0
40	0	0	0
45	0	0	0
50	0	0	0
55	0	0	0
60	0	0	0
65	0	0	0
70	0	0	0
75	0	0	0
80	0,0105	0,0115	0,01
85	0,085	0,08	0,085
90	0,108	0,11	0,108
95	0,273	0,273	0,263
100	0,458	0,458	0,458
105	0,67	0,66	0,67
110	0,844	0,844	0,844
115	1,032	1,032	1,032
120	1,278	1,278	1,278
125	1,464	1,454	1,455
130	1,675	1,675	1,675
135	1,851	1,851	1,855
140	2,027	2,027	2,027
145	2,212	2,212	2,212
150	2,408	2,408	2,408
155	2,603	2,603	2,603
160	2,816	2,816	2,816
165	3	3,001	2,99
170	3,235	3,235	3,235
175	3,34	3,34	3,34
180	3,547	3,547	3,547
185	3,747	3,757	3,647
190	3,995	3,995	3,986
195	4,183	4,183	4,183
200	4,389	4,389	4,389
205	4,576	4,576	4,576

210	4,789	4,789	4,789
215	4,971	4,971	4,971
220	5,164	5,164	5,164
225	5,358	5,358	5,358
230	5,532	5,532	5,532
235	5,746	5,746	5,746
240	5,958	5,958	5,958
245	5,977	5,977	5,977
250	6,178	6,178	6,178
255	6,333	6,333	6,333
260	6,529	6,529	6,529
265	6,714	6,714	6,714
270	6,928	6,928	6,928
275	7,125	7,125	7,125
280	7,322	7,322	7,322
285	7,486	7,486	7,486
290	7,682	7,682	7,682
295	7,897	7,897	7,897
300	8,066	8,066	8,066
305	8,258	8,258	8,258
310	8,454	8,454	8,454
315	8,636	8,636	8,636
320	8,837	8,837	8,837
325	9,019	9,019	9,019
330	9,205	9,205	9,205
335	9,362	9,362	9,362
340	9,596	9,596	9,596
345	9,726	9,726	9,726
350	9,726	9,726	9,726
355	9,726	9,726	9,726
360	9,726	9,726	9,726

Tabla No 7 Valores de Voltaje y Resistencia del Potenciómetro luego de la parametrización.

	Calculo	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
%		(0-100)%	(100-0)%	(0-100)%	(100-0)%	(0-100)%
0%	R1=	R1=	R1=	R1=	R1=	R1=
	0kΩ	0kΩ	0kΩ	0kΩ	0kΩ	0kΩ
	VR2=	VR2=	VR2=	VR2=	VR2=	VR2=

	12v	11.80v	11.80v	11.80v	11.80v	11.80v
20%	R1= 20k Ω VR2= 4.5v	R1= 20k Ω VR2= 5.20	R1= 20k Ω VR2= 5.09v	R1= 20k Ω VR2= 5.11v	R1= 20k Ω VR2= 5.17v	R1= 20k Ω VR2= 5.15v
40%	R1= 40k Ω VR2= 2,4v	R1= 40k Ω VR2= 2.27v	R1= 40k Ω VR2= 2.19v	R1= 40k Ω VR2= 2.16v	R1= 40k Ω VR2= 2.17v	R1= 40k Ω VR2= 2.17v
60%	R1= 60k Ω VR2= 1.714v	R1= 60k Ω VR2= 1.40v	R1= 60k Ω VR2= 1.41v	R1= 60k Ω VR2= 1.37v	R1= 60k Ω VR2= 1.37v	R1= 60k Ω VR2= 1.37v
80%	R1= 80k Ω VR2= 1.33v	R1= 0k Ω VR2= 1.09v	R1= 0k Ω VR2= 1.09v	R1= 0k Ω VR2= 1.09v	R1= 0k Ω VR2= 1.09v	R1= 0k Ω VR2= 1.09v
100%	R1=100k Ω VR2= 1.091v	R1=0k Ω VR2= 1.08v	R1=0k Ω VR2= 1.08v	R1=0k Ω VR2= 1.08v	R1=0k Ω VR2= 1.08v	R1=0k Ω VR2= 1.08v

Fuente: Autores

Es clara la similitud de los datos en todas sus mediciones lo que nos permite concluir la linealidad del potenciómetro.

11.2 ADQUISICION DE DATOS EN LABVIEW

Luego de la correspondiente parametrización de la sensorica a implementar se hace necesario adquirir dichos datos en una plataforma de visualización con el objetivo de facilitar al fisioterapeuta el análisis de los datos obtenidos dentro del sistema, se escoge como plataforma de visualización el Software Labview, esta es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas con un lenguaje de programación visual gráfico desarrollado por la empresa National Instruments, a continuación se relata paso a paso la programación necesaria para la creación del entorno gráfico de visualización.

La tarjeta de adquisición de datos se convierte en un elemento indispensable para el desarrollo del sistema planteando debido a que permite obtener datos propios del dispositivo en tiempo real. Uno de los aspectos por los cuales se elige trabajar con este tipo específico de tarjeta es que tiene un modo de conexión USB el cual permite trabajar tanto en computadores de escritorio como en portátiles de esta manera abriendo el rango de uso para evitar costos extras.

Entre algunas de sus características encontramos que posee 8 entradas referenciadas a tierra reguladas de 0 a 5 voltios, con un rango de muestreo de 48KS/s [20]

Para el presente proyecto se usan entradas análogas que comprenden desde el pin número uno hasta el 16 dando un rango amplio de elección para las señales que se pretenden insertar en labview, se debe tener en cuenta que estas poseen una polarización que se debe respetar para que luego la programación no tenga inconvenientes.

11.2.1 Adquisición simple

Lo primero a tener en cuenta en el sistema de adquisición de datos es la tarjeta a implementar dentro del mismo, esta debe cumplir con altos estándares de calidad y respaldo puesto que se pretende diseñar un equipo médico de diagnóstico, se elige la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009 debido a la fidelidad y respaldo ofrecido por la empresa National Instruments (NI).

Cuando se requiere usar la tarjeta DAQ 6009 junto con Labview es necesario crear un ciclo while con el fin de obtener lecturas repetitivas de las entradas análogas previamente configuradas dentro del módulo de adquisición del entorno visual de programación del software, se procede a adjuntar un recuadro de DAQ Assistant, el cual permite tener acceso a los datos que están siendo enviados por los sensores implementados y recibidos por medio de la DAQ, dichos datos se pueden visualizar en el Waveform del módulo de adquisición, el ciclo while permite poder observar los datos en tiempo real, además de poseer un stop o parada de emergencia el cual permite detener la sucesión de ciclos en el momento en que se considere conveniente.

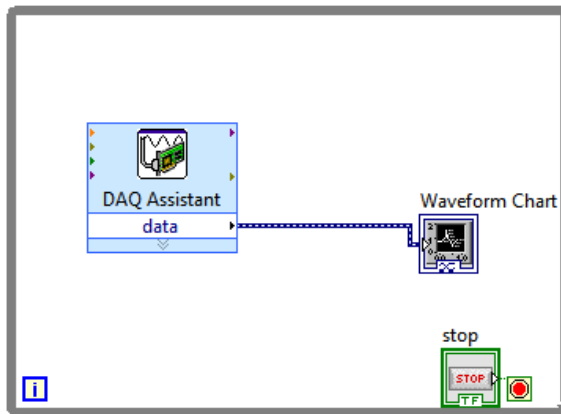


Figura 17 CONFIGURACION MODULO DE ADQUISICION DE DATOS SOFTWARE LABIEW

Fuente: Autores

Se procede a implementar una medición en grados del brazo cuando se encuentra en movimiento de flexión o extensión, esto se logra al implementar el potenciómetro lineal logrando que este gire a medida que el brazo se extiende o flexiona, estos datos son obtenidos.

La forma correcta para medir el ángulo mediante el uso del acelerómetro (teniendo en cuenta que este ángulo no es fijo pues varia con respecto a las vibraciones del cuerpo debido a su alta sensibilidad, por tanto otorga una medida no muy exacta) a través del software Labview se muestra en la figura No 15.

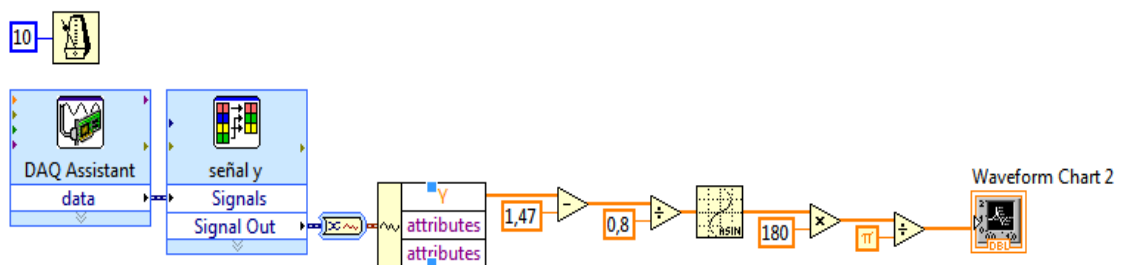


Figura 18Fórmula para hallar el AnguloAtravez de la implementación del Acelerómetro en el software Labview.

Fuente: Autores

Al implementar el acelerómetro, basados en las hojas técnicas del mismo y en los anexos a ellas, se puede observar la necesidad de usar la ecuación 5 cuando se desea conocer la aceleración de cada eje del acelerómetro por separado.

$$\alpha = \frac{(V_{out} - V_{offset})}{\left(\frac{\Delta v}{\Delta g}\right)} * 9.8 \quad (5)$$

En donde V_{out} es el voltaje en cada variación del acelerómetro, V_{off} es el voltaje mínimo que entrega cada eje del acelerómetro, $\left(\frac{\Delta v}{\Delta g}\right)$ es la sensibilidad del acelerómetro que para este caso es de 800 mV/gy 9.8 hace referencia a la gravedad de la tierra la cual es de especial importancia en el uso del acelerómetro.

Ya conociendo la ecuación se proceda conectar dos de los ejes del acelerómetro a la tarjeta de adquisición DAQ, es necesario implementar un bloque de “SelectSignal” el cual permite conocer y visualizar la señal estamos usando en cada parte del circuito, ya teniendo identificadas y separadas dichas señales se procede a aplicar la ecuación 5 al eje que se desea usar para medir la aceleración del movimiento, dentro de la práctica se observa que el eje contrario al usado para medir la aceleración posee una gráfica de comportamiento muy coincidente con la graficada en el eje opuesto luego de aplicar la fórmula de aceleración.

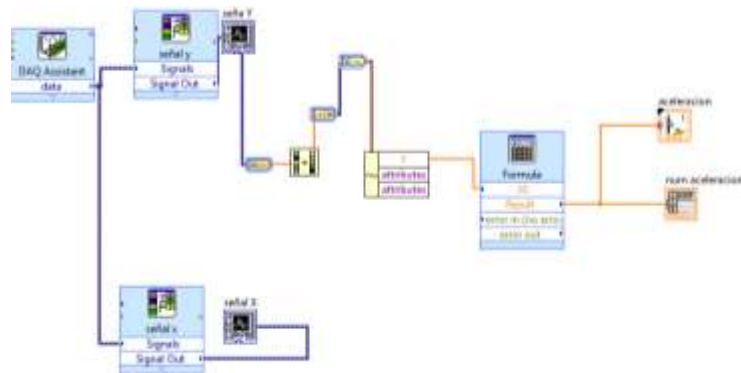


Figura 19 Lectura de señales procedentes de sensores a través del software Labview.

Fuente: Autores

Es necesario implementar comparadores de posición del potenciómetro con el fin de identificar los momentos de inicio y terminación de movimiento, además de proporcionar datos de tiempo y distancia final los cuales permitirán hallar velocidad.

Al implementar el indicador de movimiento se tuvo en cuenta que el ciclo while integra una opción que permite conocer el dato presente y varios datos anteriores, esto permite

conocer el momento en que comienza a variar la señal obtenida del potenciómetro (ver figura No 18), al ser esta una señal analógica obtenida a través de la tarjeta de adquisición DAQ, la señal que obtenida en LabView contiene un ruido mínimo incorporado, por esta razón se debe generar un rango de funcionamiento con el fin de minimizar los efectos de este sobre el programa generado como se observa en la figura No19

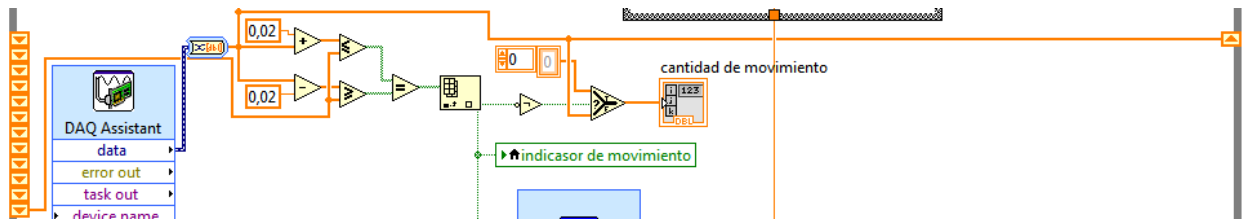


Figura 20 Bloque para guardar el dato presente y anterior en el software Labview.

Fuente: Autores

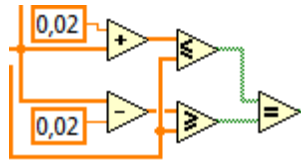


Figura 21 Rango de Funcionamiento Software Labview

Fuente: Autores

Se genera el intervalo de funcionamiento, en que el cual se adquieren los distintos datos de la señal procedente de los sensores, si la señal se encuentra en este rango no genera ningún cambio en el resto de la programación, más aun, si la señal sale de los rangos establecidos se procede a encender un led dentro del entorno grafico el cual indica que se está proporcionando un movimiento en el potenciómetro y a su vez en el brazo.

Al tener la variación por encima o por debajo de los límites establecidos se enciende el indicador de movimiento regresando a su estado de apagado en el momento exacto en el que deja de variar por fuera de los límites, visualizándose en todo momento la cantidad de movimiento que se está generando procedente del dispositivo accionado por el brazo.

Teniendo en cuenta que el indicador de movimiento solo es encendido si existe un movimiento por fuera de los limites, se integra en la programación un bloque de "Elapssed Time", el cual indica el tiempo transcurrido entre eventos, ya que se puede accionar por

medio de eventos booleanos conectamos a la salida booleana obtenida del led al auto Reset del bloque, teniendo como resultado el conteo en milisegundos (ms) del tiempo que transcurre mientras está activado el led.

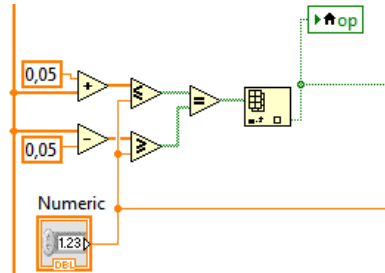


Figura 22 Activación del Bloque Elapsed Time

Fuente: Autores

Al igual en que en el indicador de movimiento, se fija un rango específico para poder comparar la señal de entrada de la DAQ con una cantidad de grados en donde el indicador le demuestra al paciente que lo está logrando de manera satisfactoria, así también le muestra al fisioterapeuta el avance continuo de su paciente.

En conjunto se tiene un indicador de movimiento, un indicador de nivel y un contador de tiempo transcurrido entre eventos, lo cual permite posteriormente aplicar la Ecuación de velocidad (6) en las cual se encuentran inmersos la cantidad de movimiento y el tiempo que transcurre mientras el mismo se lleva a cabo

$$velocidad = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{(distancia\ final - distancia\ inicial)}{(tiempo\ final - tiempo\ inicial)} \quad (6)$$

Es necesario implementar un contador, análogo a este conteo se implementa un indicador de nivel máximo es alcanzado, esto para saber la cantidad de repeticiones que realiza la persona en su rehabilitación y verificar que sean las indicadas por el especialista, dicho contador este posee un botón de inicio llamado “contador”, si no se activa ese botón la opción de conteo no se realiza, la opción reacciona cada vez que es alcanzado el límite fijado por el fisioterapeuta, posee un botón de reseteal cual reinicia el conteo ya sea por decisión del fisioterapeuta o por cambio de paciente.

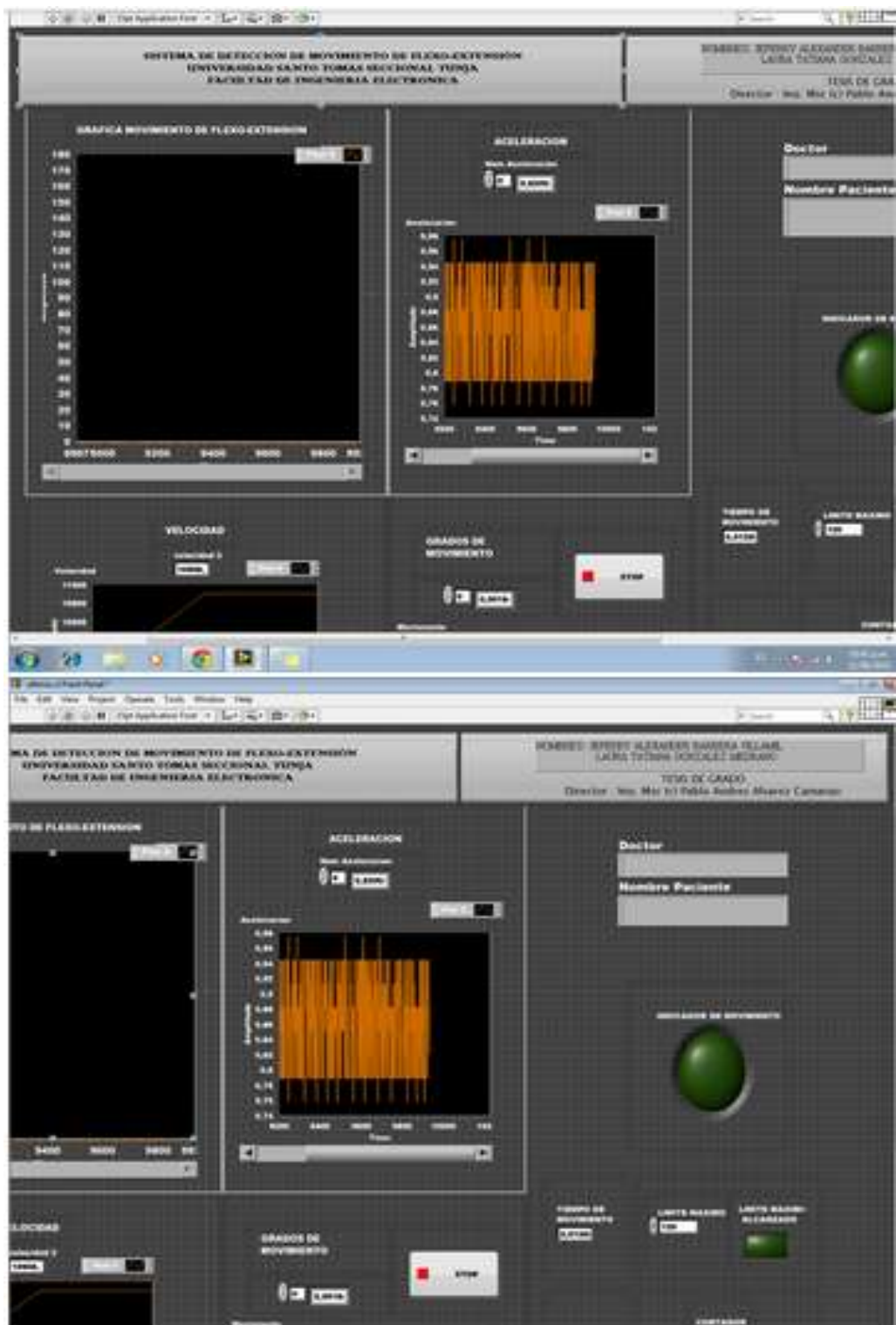


Figura 25 Interfaz Final de Usuario software Labview.

Fuente: Autores

11.2 HADWARE DEL DISPOSITIVO

Dentro del estudio realizado se determina la utilización de un Hardware de fácil acceso en el cual se implementara la sensorica anteriormente descrita, se determinan características básicas a tener en cuenta dentro de su fabricación, entre ellas:

- Debe permitir el libre movimiento del brazo en el eje Horizontal y Anteposterior, es decir permitir el movimiento de Flexión- Extensión al igual que los movimientos de Abducción y Aducción.
- Es necesario que el peso del dispositivo sea mínimo debido a que va a ser usado por pacientes que hayan sufrido algún tipo de lesión (Fractura, Luxación y/o Esguince), se determina que un peso exagerado podría contribuir al aumento de la lesión lo cual dificultaría el proceso de rehabilitación.
- El dispositivo debe tener características flexibles las cuales posibiliten su uso en diferentes pacientes sin importar sus características físicas, es decir debe adaptarse a cualquier persona.
- El Hardware debe proporcionar calidad y durabilidad debido a que los dispositivos médicos deben ser constantemente sometidos a procesos de asepsia, así también es preciso tener en cuenta que dichos instrumentos se trabajan en diferentes ambientes y temperaturas.

Se construye un dispositivo de madera y velcro mostrado en la figura No 26, dicho hardware tiene algunas características anteriormente mencionadas entre ellas su adaptabilidad, poco peso y facilidad de movimiento. Finalmente este hardware es desechado debido a que la madera no proporciona características resistentes a los diferentes procesos de asepsia y la durabilidad de la misma es mínima comparada con otros materiales



Figura 26 Hardware de Madera

Fuente: Autores

Luego de analizar los requerimientos exigidos se diseña e implementa un Hardware hecho en metal convencional con correderas deslizantes y adaptabilidad en velcro como el mostrado en la figura No 27, dicho implemento cumple con las características anteriormente mencionadas y mejora los estándares de calidad y durabilidad siendo resistente a procesos de asepsia y limpieza. Finalmente este dispositivo es desechado pues se presentan dificultades en la implementación de la sensorica necesaria debido al poco espacio en los listones metálicos (imposibles de ensanchar ya que el dispositivo ganaría mucho peso).



Figura 27 Hardware Metalico

Fuente: Autores

Se implementa la sensorica anteriormente descrita en una felula de codo con limitador de movimiento debido a que este dispositivo cumple a cabalidad con todas las características descritas (comodidad, portabilidad, bajo peso, flexibilidad y adaptabilidad etc.), además que es el instrumento utilizado para tratar las diferentes lesiones de codo.

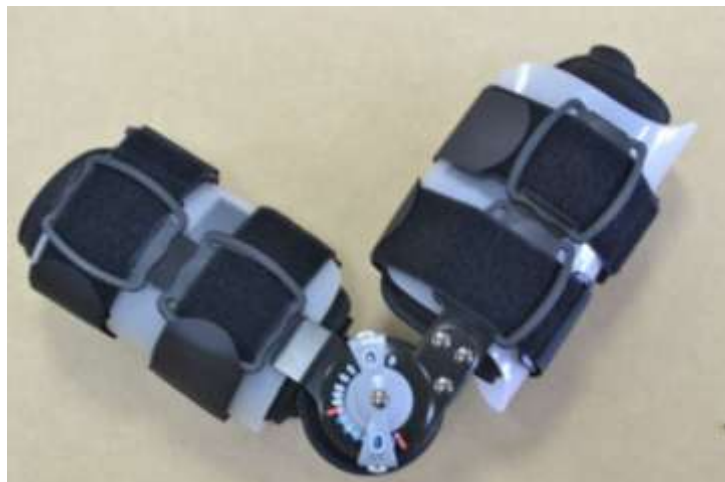


Figura 28 Felula de Codo Con Limitador de Movimiento

Fuente: Autores

Entre los parámetros de diseño para dimensionar las diferentes partes del instrumento de medición se encuentran:

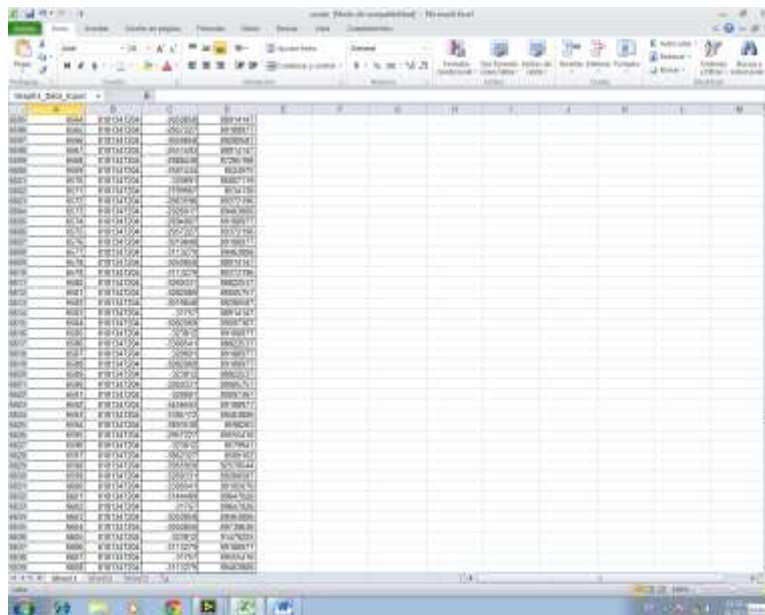
*Listones metálicos con correderas deslizantes: tanto el segmento para el brazo y el antebrazo constan de dos piezas encajadas entre si y que permiten el deslizamiento axial entre las mismas, los dos listones tienen las mismas dimensiones.

Teniendo en cuenta las dimensiones del potenciómetro se hicieron los ajustes pertinentes de tal manera que este sirva de eje de sujeción para las dos barras articuladas. En este caso es importante garantizar un buen deslizamiento entre la barra que estará anclada al potenciómetro en la base del mismo y la barra que se rotará de manera libre y que generará la variación de la resistencia para evitar fluctuaciones o vibraciones incómodas o que desajusten el mecanismo generando mediciones erróneas.

11.3 REGISTRO DE DATOS

Se hace necesaria la creación de registros de las variables mostradas en el entorno grafico del software LabView de National Instruments®, con el fin de observar la evolución del movimiento de flexo-extensión del paciente y así proceder a emitir un diagnostico y posteriormente implementar una terapia de rehabilitación adecuada.

Se decide exportar los registros producidos en labView a la aplicación de Microsoft Excel, este registro contiene en la parte superior datos del paciente y datos del profesional tratante, a continuación se muestra una corta explicación de los datos suministrados por columna los cuales hacen relación de derecha a izquierda a la cantidad de repeticiones, la velocidad, aceleración y finalmente el grado de movimiento como se puede observar en la Figura No 29.



The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet. The spreadsheet contains a table with multiple columns and rows of numerical data. The data appears to be organized into several sections, with some columns containing repetitive values or identifiers. The spreadsheet is displayed in a standard Excel window with the 'Inicio' (Home) tab selected in the ribbon. The data is organized into columns, with some columns containing repetitive values or identifiers. The data is organized into columns, with some columns containing repetitive values or identifiers.

Figura 29 Base de Datos

Fuente: Autores

Los datos suministrados podrán ser guardados en el computador del profesional tratante de la lesión y posteriormente abiertos y actualizados como este lo desee. La explicación del uso de este registro se encuentra consignada en el manual de usuario del dispositivo.

12 CONCLUSIONES

- Al realizar la parametrización del potenciómetro lineal de 10 k y una vuelta se observa en las diferentes tomas de datos (ascendente y descendente), un rango muerto de medición al comienzo y al final del dispositivo, y por tanto se elige calibrar el dispositivo a la mitad de su medición y recorrido con la ayuda de un potenciómetro de ajuste, el cual permite fijar el rango de operación deseado, en este caso se hace una fijación a noventa grados (90°), lo que nos permite tener mayor confiabilidad en los datos obtenidos.
- Luego de buscar diferentes métodos para lograr la parametrización del potenciómetro se elige un método de simulación, puesto que fue el único método aceptado para tal fin, ya que los demás métodos exigen un instrumento patrón y en este no se contaba con un patrón estandar.
- Se detectó un ruido mínimo en la adquisición de datos por medio de la tarjeta DAQ 6009 de National Instruments, el cual es necesario tener en cuenta dentro de los parámetros de diseño puesto que la investigación se encamina a la generación de un dispositivo de diagnóstico médico, el cual requiere de un porcentaje mínimo de error, por esta razón la señal se encasilla en un determinado rango de trabajo el cual elimina el ruido producido por los diferentes instrumentos.
- Al adquirir los datos por medio de la tarjeta de adquisición DAQ 6009, procedentes del acelerómetro MMA 7261, se obtiene una respuesta en ángulo es decir solo proporciona la señal de inclinación (debido a esto el acelerómetro es generalmente usado como un inclinómetro), por esta razón es necesaria la implementación de la fórmula contenida en la hoja técnica del sensor para obtener la respuesta de aceleración del sistema y posterior a esto hallar la correspondiente velocidad al accionar el dispositivo por medio del movimiento de Flexo- extensión realizado por el paciente.
- Se genera una base de datos mostrada en Excel la cual contiene variables propias del movimiento de Flexo-extensión, entre ellas: Aceleración, Velocidad y Grado de movimiento, fue necesario anotar en la parte superior el significado de cada columna, estos valores varían en el tiempo y tienen relación directa con el movimiento ejecutado por el paciente.

- Se hace necesario la creación de un manual de usuario el cual está dirigido al fisioterapeuta o profesional médico quien dirigirá los procesos de diagnóstico y posteriormente de rehabilitación, este tendrá acceso a los datos suministrados en el entorno gráfico y la base de datos.
- Se desarrolla una hoja técnica la cual contiene las características eléctricas del dispositivo y de los sensores implementados en el, así mismo contiene diagramas de conexión de la PCB implementada y rangos de operación.
- Se alcanza el objetivo general planteado al inicio del proyecto, el cual proponía el diseño y posterior implementación de un sistema de detección de movimiento de flexo- extensión con fines de diagnóstico.

13. RECOMENDACIONES

Es importante tener en cuenta que es un equipo de diagnóstico médico, el cual requiere de un mantenimiento cada determinado tiempo, así también se propone en una segunda etapa la inclusión de un sistema de rehabilitación en base a terapias generadas a partir de impulsos eléctricos controlados, tales como los de un electro estimulador o TENS conectado directamente sobre la extremidad a tratar, estos impulsos deberán ir disminuyéndose a medida que el paciente recupera totalmente su capacidad de movimiento.

Es posible extender dichas mediciones a otras extremidades del cuerpo humano en las cuales se desarrolle movimientos de flexo-extensión, como es el caso de los miembros inferiores, más específicamente en la rodilla ya que el principio de funcionamiento no varía; en tal caso se consideraría necesario adaptar el sistema a un tipo de férula especial para rodilla con limitación de movimiento, así también se recomienda hacer mediciones de fuerza puesto que se considera una variable importante dentro de los procesos de rehabilitación.

Se recomienda también la implementación de módulos de radio frecuencia para el envío de los datos captados por la sensorica implementada, esto proporcionará mayor comodidad para el paciente tratado y le permitirá hacer uso del instrumento lejos del computador, al igual que permite tener varios dispositivos conectados en un mismo ordenador.

Se propone la implementación de giróscopos con el fin de conocer distintos movimientos rotatorios producidos por las articulaciones de hombro y de muñeca con el fin de obtener estudios más especializados de movimientos diferentes a flexo-extensión, tales como abducción. Aducción, supinación, pronación entre otros.

14. REFERENCIAS

- [1] Revista Cubana Investigación Biomédica v.28 n.3 Ciudad de la Habana jul.-sep. 2009
- [2] Y.C. Fung. Biomechanics: Mechanical properties of living tissues. Ed. SpringerVerlag, 1990.
- [3] Debus, A.G. El hombre y la naturaleza en el renacimiento. Reporte FCE-CONACYT 384, México, 1985: 1-15.
- [4] John G. Webster, ed. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation (2006 edición). Wiley-Interscience. ISBN 978-0471263586.
- [5] Huthmann, S., Staszky, C., Jacob, H.-G., Rohn, K., Gasse, H. Biomechanical evaluation of the equine masticatory action: Calculation of the masticatory forces occurring on the cheek tooth battery. Journal of Biomechanics. 2009. 42(1): 67-70.
- [6] Fox, M.D., Reinbolt, J.A., Öunpuu, S., Delp, S. Mechanisms of improved knee flexion after rectus femoris transfer surgery. Journal of Biomechanics. 2009. 42
- [7] Chuong, CJ y YC Fung (1986). "El estrés residual en las arterias", Revista de Biomecánica
- [8] ANALISIS DE MOVIMIENTO En Línea <<http://www.claretaranda.net/archivos/archivos/movimiento.pdf>> Fecha de Consulta: 18/02/2014.
- [9] **BRONZINO**, Joseph D. *The Biomedical Engineering Handbook*. Ed. CRC Press, IEEE Press. 2000.
- [10] BIOMECANICA DEL CODO En Línea < <http://blogkine-udla.blogspot.com/p/biomecanica-del-codo.html>> Fecha de Consulta: 18/03/2014.
- [11] Buzdugan E. Mihailescu y M. Rades, Vibration measurement 1968, Mc Grae-Hill, Nueva York
- [12] ACELEROMETROS En Línea <http://www.utp.edu.co/~mauriciorami/libro2.pdf> Fecha de Consulta 15/04/2014
- [13] NATIONAL INSTRUMENTS En Línea <http://www.ni.com/data-acquisition/why-choose/esa/> Fecha de Consulta: 15/04/2014
- [14] **HAEFNER**, James W. *Modeling Biological Systems, Principles and Applications*. Ed. Springer. 2005.

- [15]**NORTHROP**, Robert B. *Analysis and Application of Analog Electronic Circuits to Biomedical Instrumentation*.Ed. CRC Press. 2004.
- [16]**NORTON**, Kevin. **OLDS**, Tim. *Anthropometrica*.Ed. Southwood Press. 1996.
- [17]**SCHNECK**, Daniel J. **BRONZINO**, Joseph D. *Biomechanics Principles and Applications*. Ed. CRC Press. 2003.
- [18]**SEMMLOW**, John L. *Biosignal and Biomedical Image Processing MATLAB-Based Applications*.Ed. Marcel Dekker. 2004.
- [19]**WEBSTER**, John G. *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*. Ed. Wiley-Interscience. 2006.
- [20]**Shünke**, **Schulte**, **Schumachervoll**, **wesker**. Prometheus texto y atlas de anatomíatomto I
- [21]**Netter**, Frank H. Atlas de Anatomía Humana. Quinta edición
- [22]**Ruiz liard**, Iatarjet. Anatomía Humana. Cuarta edición tomo I
- [23]**Mukhopadhyay.S.C**, **Lay-ekuakille.A**. Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems
- [24] **Data Sheet National Instruments**, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>.
- [25] **Ramon Pallas Areny**. Sensores y Acondicionadores de Señal, 4ª Edicion.
- [26] **MargaretaNordin**, Biomecánica Básica del Sistema Musculo Esquelético.

ANEXOS

- A. Artículo Historia de la Biomecánica y su relación con la Instrumentación Medica y Electrónica (Octubre 2013)”
- B. Artículo Final “ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DE FLEXO-EXTENSIÓN DEL BRAZO UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN ANALÓGICA E INTERFAZ CON VISUALIZACIÓN EN LABVIEW” (Junio 2014)
- C. Certificado de investigación Meritoria XV Encuentro Nacional y IX Internacional de semilleros de investigación. Octubre 11 de 2012
- D. Hoja Técnica sensor de Resistivo
- E. Hoja Técnica Acelerómetro MMA 6205
- F. Ficha Técnica Sistema de Detección de Flexo Extensión de brazo utilizando instrumentación analógica e interfaz con visualización en Labview
- G. Manual de Usuario
- H. Muestreo de Variables dadas por el movimiento de Flexo extensión en Registro de Datos Generada en Excel
- I. Hoja de vida de los autores
- J. Presentación ppt Ponencia

