



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA
MONITOREAR LA REHABILITACIÓN DEL
HOMBRO DE NADADOR”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A

ESTEBAN RUÍZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS

Dr. OCTAVIO DÍAZ HERNÁNDEZ



**Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México.
Febrero de 2019.**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

El presente trabajo esta dedicado a mi madre Margarita García García, por jamás dejar de apoyarme y por confiar en mí hasta el final. Mil gracias por todos tus consejos, paciencia, cariño, dedicación, cuidados, amor, por siempre creer en mí, por enseñarme a nunca rendirme, a hacer las cosas de la mejor forma posible y siempre tratar de ser mejor persona. Sin ti esto no hubiera sido posible, gracias por nunca rendirte, lo logramos.

A mi hermana Angélica Ruíz García, quien durante todos estos años no solo me brindo su hogar, sino también todo el apoyo necesario para iniciar y concluir mis estudios universitarios, fueron noches en vela haciendo tareas, días de madrugar para llegar a tiempo e infinidad de cosas más y siempre estuviste ahí. Gracias.

A mi padre Ignacio Ruíz, a mis hermanos, Librado, Angélica, Norma, Roció, Karla y Rolando, que en todo momento de mi vida me han apoyado de una u otra manera, brindándome su cariño y motivándome a ser mejor persona día tras día.

Al Dr. Octavio Díaz Hernández, por la confianza, paciencia, apoyo y guía que me brindo en todo momento, no solo como profesor, sino también de forma personal y al cual considero un amigo.

A todos y cada uno de mis profesores, ya que de ellos me llevo grandes enseñanzas tanto académicas como de vida, en especial a los profesores; José Manuel Ramírez Mora, Pablo Prócoro Luna Escorza, Ismael Díaz Rangel y José Mariano Santana Colín.

A la familia Gonzáles Betancourt quien me abrió las puertas de su hogar, me acogió como un hijo más y me brindó su apoyo en todo momento.

A mis amigos; Marco Isaac Brena Samaniego, Luis Enrique García Sánchez, Marco Polo Infante López, Midian Mizzan Castro Covarrubias, Enrique Francisco Tirado Cardón y Nora Abigail Gonzales Betancourt, por las anécdotas, risas, llantos y todos esos momentos que compartimos juntos, siempre los llevare en mi memoria y corazón.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por inculcarme, los valores y principios para desempeñar mi profesión con rectitud y por hacerme amar mi carrera cada día más.

Gracias a todos por su apoyo y por formar parte de mi vida.

Índice

Agradecimientos	1
Introducción	4
Objetivos.....	5
I. Antecedentes.....	6
I.i Anatomía del Hombro.	6
I.i.i Huesos.	6
I.i.ii Articulaciones.....	7
I.i.iii Músculos.	7
I.i.iv Ligamentos.	8
I.i.v Cartílago Articular.	9
I.i.vi Bursas o Bolsas Sinoviales.	9
I.ii Lesiones de Hombro.	10
I.ii.i Artrosis.....	11
I.ii.ii Bursitis de Hombro.....	12
I.ii.iii Capsulitis Adhesiva o Periartritis del Hombro (Hombro congelado).	12
I.ii.iv Luxación o Dislocación de Hombro.	13
I.ii.v Tendinitis del Manguito Rotador.....	14
I.ii.vi Pinzamiento Subacromial.....	14
I.ii.vii Hombro de Nadador o Síndrome de Hombro Doloroso.	15
I.iii Rehabilitación.	16
I.iii.i Agentes Físicos.....	16
I.iii.ii Rehabilitación Psicológica.	17
I.iii.iii Ortesis.	18
I.iii.iv Prótesis.	18
I.iii.v Ejercicios Terapéuticos.	18
I.iii.vi Rehabilitación de Hombro de Nadador.....	19
II. Sistema Electrónico para Monitorear la Rehabilitación del Hombro de Nadador.....	21
II.i Dispositivos comerciales para rehabilitación de hombro.	21
II.ii Movimientos posibles de detectar con el dispositivo.....	25
II.iii Dispositivo Propuesto.	28
II.iii.i Arquitectura Lógica del Dispositivo Propuesto.....	28
II.iii.ii Componentes e interfaces de Programación.....	28
II.iv Implementación del Dispositivo.	31
II.iv.i Teoría de Vectores 2 y 3 dimensiones.	31

II.iv.ii Lógica de funcionamiento.....	33
II.iv.iii Diagramas de flujo.....	35
II.iv.iv Diseño de Hardware.....	47
II.iv.v Caracterización del dispositivo.	49
III. Resultados.....	54
IV. Conclusiones.	72
IV.i Trabajo a Futuro.	73
Anexos	75
1. Código en Arduino.....	75
2. Programación de bloques en MIT App Inventor 2.....	78
3. Pantallas del funcionamiento de la aplicación.....	84
4. Diseño de Prototipo en Eagle.	88
4.1 Diseño esquemático.	88
4.2 Diseño para fabricación de PCB.....	89
5. Diseño de prototipo en CAD.	90
Referencias.	95

Introducción.

El presente trabajo está enfocado en la implementación de un dispositivo que permita monitorear la rehabilitación de pacientes que han sufrido de una lesión bastante frecuente en México, esta lesión es el hombro de nadador o síndrome de hombro doloroso (nombre con que se le conoce en México).

La anatomía del hombro, desde los huesos que lo conforman, músculos, tendones, los tipos de lesiones más comunes que afectan a este miembro y las terapias usadas para rehabilitar estas lesiones. Se abordaran en el capítulo I Antecedentes.

En el capítulo II **Dispositivo para monitorear la rehabilitación del hombro de nadador**, se mencionan algunos dispositivos que se encuentran de forma comercial para tratar la rehabilitación del hombro de nadador, en este capítulo también se planteara nuestro dispositivo a detalle, los movimientos que puede detectar, las interfaces necesarias para programarlo, los diagramas de flujo utilizados, así como los sensores y demás componentes utilizados en su diseño.

En el capítulo III Resultados, se muestra el recopilado de los datos obtenidos para poder analizarlos de forma individual y posteriormente compararlos entre sí, de igual forma se muestran las gráficas de cada movimiento realizado y una comparación entre ambos pacientes.

Conclusiones, en este punto se analizara si el dispositivo cumple o no con el objetivo del trabajo propuesto, también se plantea trabajo a futuro donde se aborda la posibilidad de mejoras para el dispositivo actual y posibles ramificaciones en otros dispositivos.

Objetivos.

Diseñar un dispositivo electrónico que ayude a monitorear, incentivar y mejorar la rehabilitación de pacientes que han sufrido algún tipo de lesión en el hombro, haciendo más fácil su seguimiento y la detección de lesiones por parte de los médicos.

Objetivos Particulares.

1. Diseñar un dispositivo que pueda utilizarse desde casa sin necesidad de un terapeuta.
2. A través del dispositivo obtener datos que nos ayuden a graficar el movimiento del brazo.
3. Con ayuda del Dispositivo llevar un registro periódico de los días y la hora en que el paciente hace su terapia.
4. El dispositivo nos ayudara a llevar un registro de las veces que el paciente realiza sus movimientos para su rehabilitación.
5. Motivar al paciente para hacer su rehabilitación de forma regular, para seguir mejorando en la manera de realizarla y al mismo tiempo para que no abandone su terapia.

I. Antecedentes.

I.i Anatomía del Hombro.

El hombro es la articulación con mayor movilidad de todo el cuerpo, gracias a ello es posible realizar movimientos diversos y complejos, que van desde cargar y mover objetos hasta actividades deportivas como pueden ser: levantamiento de pesas, baloncesto, béisbol, natación, entre otras. Su gran movilidad se debe a su constitución física la cual consta de Huesos, Articulaciones, Músculos, Ligamentos, Tendones, Cartílagos y Bursas. [1]

I.i.i Huesos.

Los huesos que conforman el hombro son (ver imagen 1):

1. Húmero. Es un hueso largo que se localiza proximal del miembro superior y forma parte esencial del brazo.
2. Escapula (Omóplato). Hueso plano y de forma triangular localizado en la parte posterior del hombro, es el encargado de dar movimiento y estabilizar el brazo en el hombro, en el Omóplato podemos encontrar diferentes estructuras anatómicas, por ejemplo. [2, 3]
 - i. Acromion. Forma el punto más alto del hombro y se articula con la clavícula, también es el punto de inserción de músculos como el trapecio y el deltoides. [4]
 - ii. Proceso o Apófisis Coracoides. Es una estructura que se asemeja a un gancho, proporciona estabilidad a la región del hombro. [5]

3. Clavícula. Es el hueso base del miembro superior que se articula con el manubrio del esternón y el acromion de la clavícula.



Imagen: 1 Complejo Óseo del Hombro, tomada de [6].

I.i.ii Articulaciones.

La unión de estos huesos se conoce como Articulaciones, el hombro se compone de tres articulaciones verdaderas, la Esternoclavicular (1), Acromioclavicular (2), Escapulohumeral (3) y de dos articulaciones falsas, la Escapulotorácica (4) y la Subacromial o Subdeltoidea (5). Se les denomina falsas articulaciones debido a que a diferencia de las verdaderas, en las falsas no hay conexión entre dos superficies óseas, sino que una superficie será ósea y otra de tejido blando. [7]

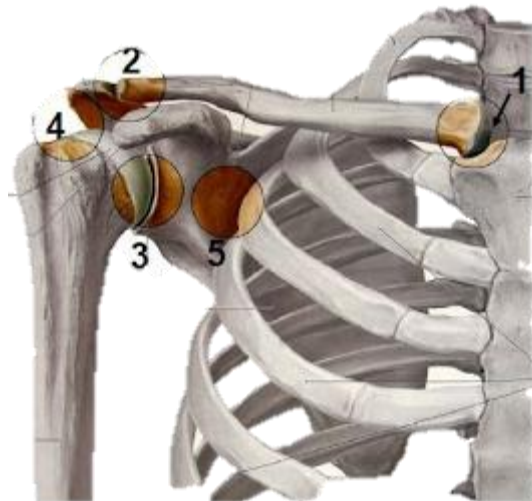


Imagen: 2 Complejo Articular del Hombro, tomada y modificada de [7].

I.i.iii Músculos.

Entre los Músculos más importantes del hombro encontramos los siguientes.

1. Redondo menor Teres. Se encarga de rotar el brazo hacia afuera.

2. Infra espinoso. Se encarga de rotar el brazo hacia afuera.
3. Supra espinoso. Su función es elevar el brazo.
4. Sub escapular. Su función es rotar el brazo hacia adentro.

Estos 4 músculos conforman al manguito de los rotadores.

5. Deltoides. Es el musculo más grande del hombro el cual le da su forma, se compone de tres partes fundamentales encargadas de funciones específicas:
 - i. Fibras anteriores. Flexión, aducción horizontal, rotación interna del hombro y retención.
 - ii. Fibras medias. Abducción.
 - iii. Fibras posteriores. Abducción, aducción, extensión y asistencia con la rotación externa del hombro.

El Hombro cuenta con grupos musculares que se dividen en:

1. Axio – Escapular.
 - i. Serrato anterior, Trapecio, Romboides, Elevador de la Escápula y Pectoral Menor.
2. Escapulo – Humeral.
 - i. Supraespinoso, Infraespinoso, Redondo Menor, Subescapular, Redondo Mayor y Deltoides.
3. Axio – Humeral.
 - i. Pectoral Mayor y Dorsal Ancho. [8, 9]

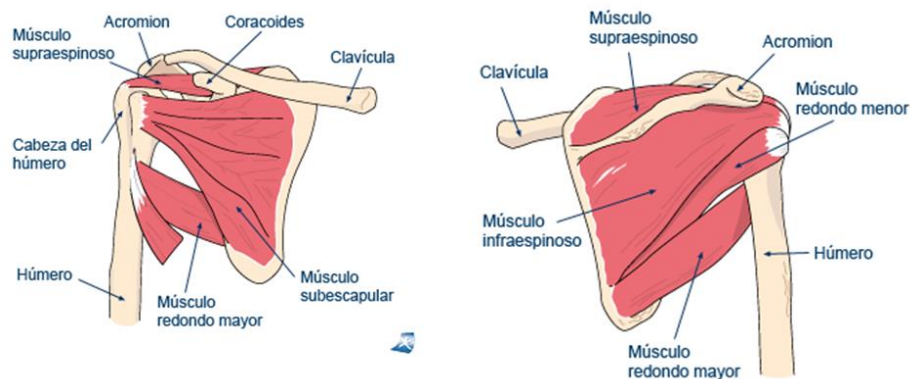


Imagen: 3 Complejo Muscular del Hombro, tomada de [10].

I.i.iv Ligamentos.

Son tejido que conecta huesos adyacentes entre si y sirve para darle estabilidad a las articulaciones.

Los Ligamentos que podemos encontrar en el hombro son: Glenohumeral superior, Glenohumeral medio, Glenohumeral Inferior, Humeral Transverso, Acromioclavicular, Coracoclavicular y Coracoacromial. [11]

Tendones. Son tejidos que conectan los huesos con los músculos. Los tendones que se encuentran en el hombro son, el Proximal del tendón del bíceps, Tendón del tríceps Proximal y cuatro tendones del manguito de los rotadores que conectan sus músculos con el humero. [8]

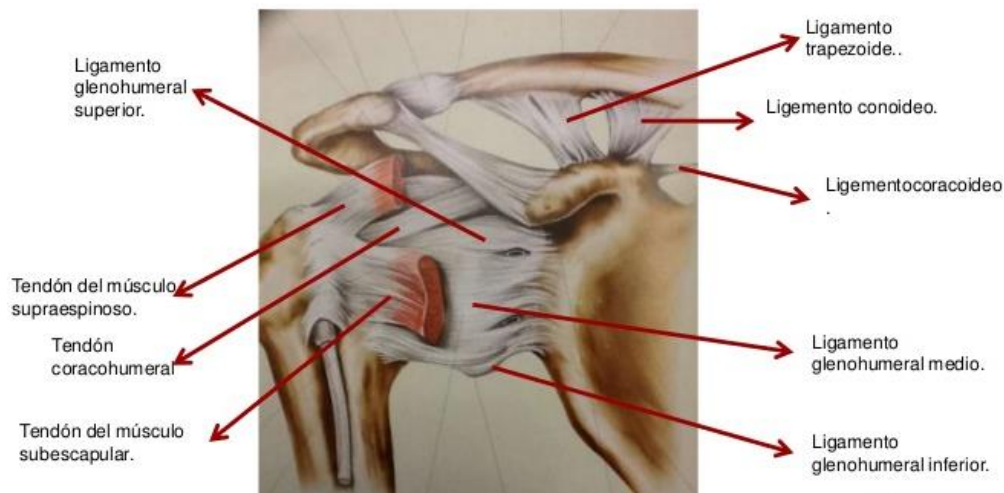


Imagen: 4 Ejemplo de Algunos Tendones y Ligamentos del Hombro, tomada y modificada de [12].

I.i.v Cartílago Articular.

Es una capa formada por condrocitos y fibras de colágeno, no tiene terminales nerviosas ni vasos sanguíneos y mide entre 2 y 4 mm de espesor, cubre la superficie de las articulaciones, su función es amortiguar y disminuir la fricción que se produce al mover los miembros, un cartílago especial es el Labrum o Rodete Glenoideo. [11, 13]

I.i.vi Bursas o Bolsas Sinoviales.

Son pequeños sacos de líquido sinovial y su función es reducir la fricción entre las partes móviles de las articulaciones, algunas de las bursas más importantes del hombro son: Bursa Subacromial, Bursa Subdeltoidea, Bursa Subescapular y Bursa Subcaracoid. [8, 14]

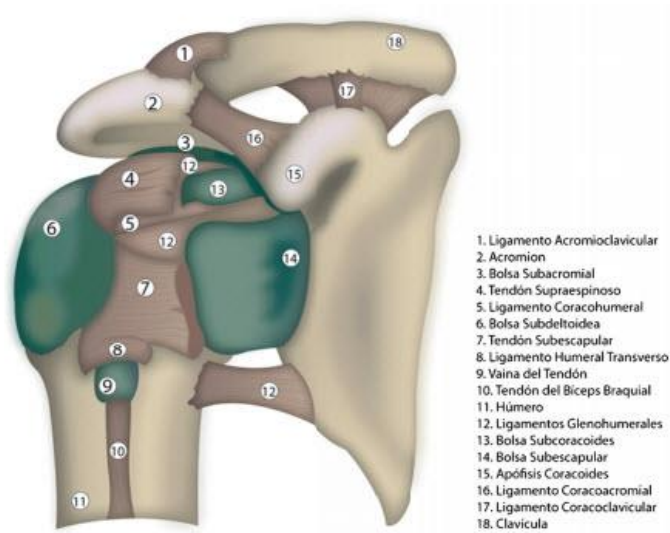


Imagen: 5 Bursas y otras partes del hombro, tomada y modificada de [15].

I.ii Lesiones de Hombro.

Gracias a su constitución física el hombro es el miembro del cuerpo con mayor rango de movilidad permitiéndole moverse en casi cualquier dirección y en un amplio rango de acción (ver imagen 6), pero esto tiene un gran costo ya que al poder moverse tan ampliamente, tiene cierto grado de inestabilidad ocasionando diversos tipos de lesiones.

Existen diferentes tipos de lesiones de hombro entre las cuales podemos encontrar las siguientes:

1. Artrosis.
2. Bursitis de Hombro.
3. Capsulitis adhesiva o periartritis del hombro (Hombro congelado).
4. Luxación o dislocación de Hombro.
5. Tendinitis del Manguito Rotador.
6. Pinzamiento Subacromial.
7. Hombro de nadador o síndrome de hombro doloroso.


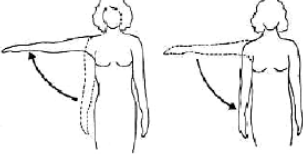


Hombro	Rotación Interna / Externa		θ_1 ~180°	
	Aducción: Descenso del brazo. Abducción Elevación del brazo.		θ_2 ~90°	
	Flexión anterior	Elevación del hombro en el plano sagital	θ_3 ~90°	
	Extensión posterior	Movimiento del hombro en el plano sagital	θ_3 ~45°	

Imagen: 6 Rango y tipos de movimiento del Hombro, tomada y modificada de [16].

I.ii.i Artrosis.

Ocurre cuando el cartílago que se encuentra entre las articulaciones se desgasta, causa inflamación, dolor y en algunos casos osteofitos (comúnmente llamados espolones), son pequeñas protuberancias redondas de hueso que suelen crecer alrededor y dentro de las articulaciones. [17, 18]

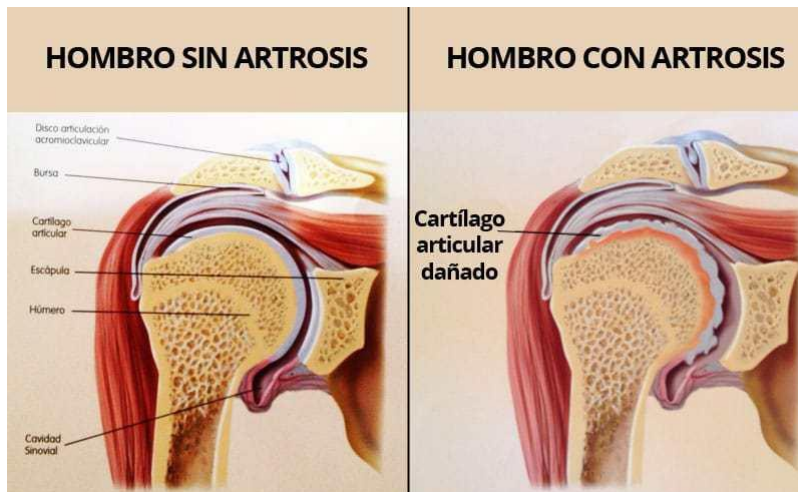


Imagen: 7 Comparación entre un cartilago sano y uno dañado, tomada de [19].

I.ii.ii Bursitis de Hombro.

Es la inflamación de las bursas que se encuentran en las articulaciones del hombro, causan inflamación, dolor, enrojecimiento de la piel y dificultad para mover la articulación, suele ser común entre las personas que realizan movimientos repetidos, aunque también puede ser provocada por un golpe directo. [20]

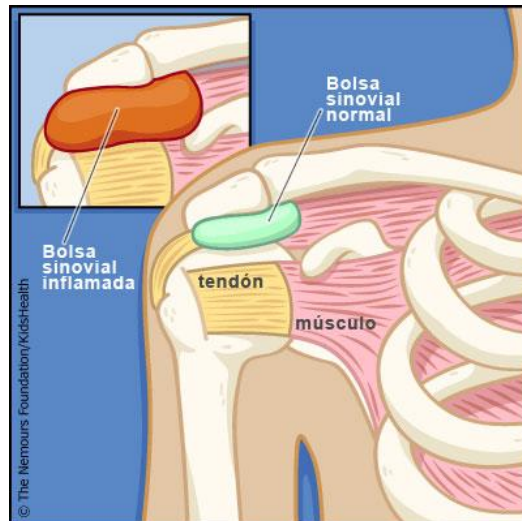


Imagen: 8 Bursitis de Hombro, tomada y modificada de [20].

I.ii.iii Capsulitis Adhesiva o Periartritis del Hombro (Hombro congelado).

Provoca dolor, rigidez y disminución de la movilidad del brazo que suele agravarse conforme avanza el padecimiento consta de tres fases, **Congelamiento o etapa dolorosa** disminuye el rango de movimiento y aumenta el dolor, dura entre 6 y 9 semanas, **Congelado o fase adhesiva** disminuye el dolor, pero aumenta la rigidez suele durar entre 4 y 6 meses, tercera fase de **recuperación o descongelado** la rigidez disminuye gradualmente, la recuperación tanto de la fuerza como de la movilidad puede tardar desde 6 meses hasta los 2 años. Algunos factores de riesgo para este padecimiento son: Edad (principalmente en mujeres de 40 a 60 años), Diabetes, problemas de tiroides, cambios hormonales, problemas cardiacos, Enfermedades de discos cervicales de cuello, lesiones y cirugía de hombro. [21, 22]

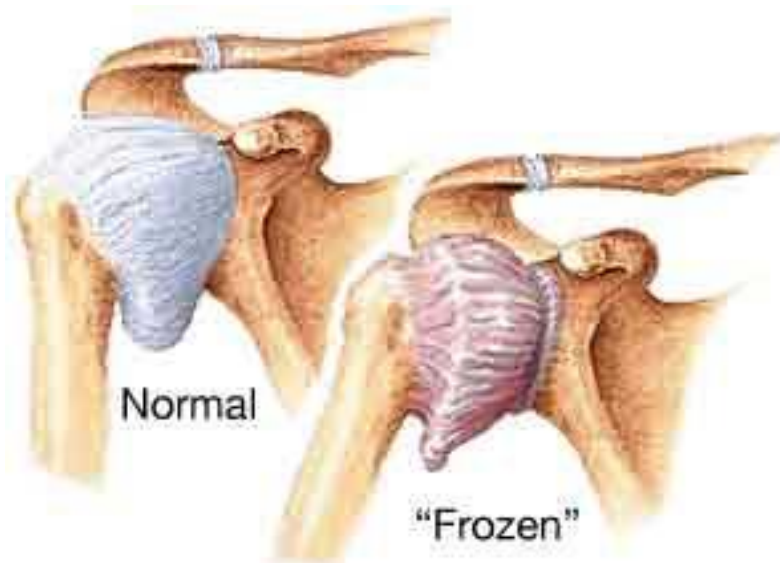


Imagen: 9 Comparación de un hombro normal y uno congelado, tomado de [23].

I.ii.iv Luxación o Dislocación de Hombro.

Ocurre cuando la cabeza del humero se desplaza fuera de su posición anatómica natural (ver imagen 10), puede originarlo una fuerte caída o golpe, ya sea contra otra persona o algún objeto, siendo frecuentes en accidentes de coche, los síntomas que presentan quienes sufren de esta lesión son: Hematomas, dolor intenso en el hombro, hombro deformado o fuera de lugar, hinchazón, incapacidad para mover el brazo, también suele presentar entumecimiento o debilidad en las zona afectada y espasmos en los músculos del hombro, lo que puede agravar el dolor. [24]

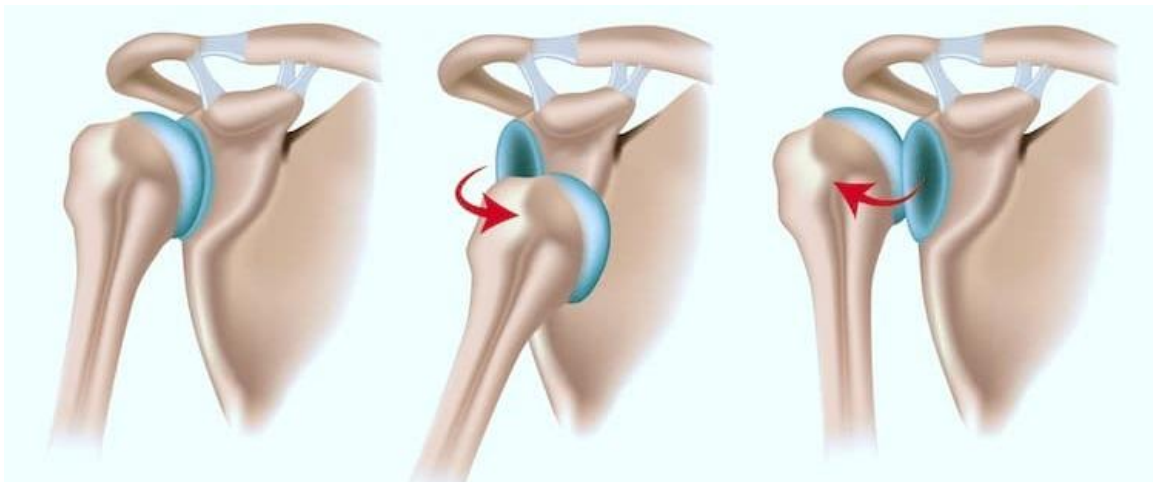


Imagen: 10 Ejemplo de dislocación anterior y posterior de hombro, tomada y modificada de [24].

I.ii.v Tendinitis del Manguito Rotador.

Es la irritación de los tendones y la inflamación de la Bursa, las causas de este padecimiento pueden ser: mantener el brazo en la misma posición por periodos prolongados de tiempo, por ejemplo trabajos que requieran el uso de computadoras, personas que se dedican a arreglar el cabello, trabajos que requieran tener el brazo por encima de la cabeza, (pintores o carpinteros). dormir recurrentemente sobre el mismo brazo, deportes que requieran hacer movimientos repetitivos por encima de la cabeza como puede ser el tenis, béisbol, natación, levantamiento de pesas, una mala postura durante años, el envejecimiento y el desgarro en el manguito de los rotadores. Al principio el dolor suele ser leve y ocurre solo cuando se realiza alguna actividad que requiera elevar el brazo por encima de la cabeza, con el tiempo puede haber dolor por las noches o con el brazo en reposo, además se puede dificultar colocar el brazo por detrás de la espalda. [25]

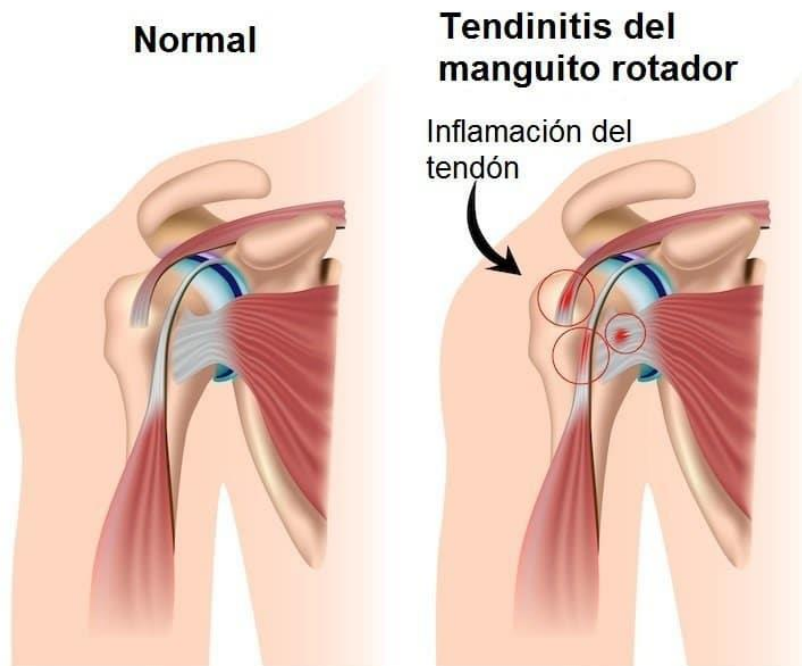


Imagen: 11 tomada de [26].

I.ii.vi Pinzamiento Subacromial.

Es la compresión de los tendones del manguito de los rotadores, consta de tres fases denominadas estadios de Neer. Estadio 1 consiste en un edema e inflamación del tendón supraespinoso, comúnmente afecta a personas menores de 25 años, Estadio 2 consiste en fibrosis y engrosamiento de los tendones y la Bursa, suele

presentarse en personas con edades de entre 25 a 40 años y el Estadio 3 rotura del manguito de los rotadores comúnmente afecta a personas mayores de 40 años. Algunos síntomas son, dolor bajo el acromion, dolor en elevación lateral y anterior al cargar peso y apoyarse sobre el lado afectado, además de dolor nocturno. Esta afección es común en deportes como el tenis, natación, jabalina, por sufrir un golpe directo sobre el hombro y en general cualquier tipo de actividad repetitiva que involucre el movimiento del brazo por encima de la cabeza. [27 – 30]

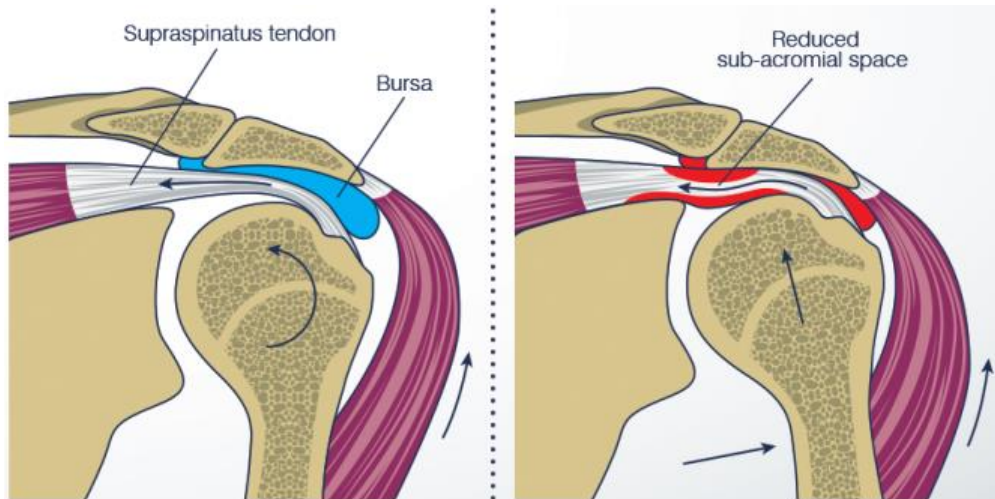


Imagen: 12 comparación entre un Hombro sano y uno con pinzamiento Subacromial, tomada y modificada de [29].

I.ii.vii Hombro de Nadador o Síndrome de Hombro Doloroso.

Estos son términos pocos específicos ya que en realidad engloban una serie de lesiones que afectan al hombro causando dolor, entre estos encontramos la tendinitis del manguito de los rotadores, la bursitis de hombro, el pinzamiento subacromial, entre otros. El termino Hombro de nadador fue descrito por vez primera en 1974 por Kennedy & Hawkins para referirse a un padecimiento que afecta principalmente a nadadores, si bien su nombre se debe a eso, esto no quiere decir que sea exclusivo de este sector de la población, ya que las afecciones que están asociadas a este síndrome pueden afectar como ya se mencionó, tanto a deportistas que practiquen tenis, béisbol, natación, levantamiento de pesas, así como también a pintores, carpinteros, personas que requieren mantener el brazo en la misma posición por periodos prolongados de tiempo y en general a cualquier persona cuyo trabajo o actividad requiera un sobre esfuerzo de su brazo por encima de la cabeza de forma repetitiva y por periodos prolongados de tiempo. Debido a

esto es una condición que afecta a un gran sector de la población. Es la tercera causa más frecuente de dolor musculoesquelético, estimándose que cerca de un 40% de la población padecerá de este síndrome en algún momento de su vida (IMSS). Existen además otros factores que influyen en la aparición de este padecimiento como pueden ser, la edad, lesiones anteriores de hombro, y ser del género femenino ya que a nivel general el hombro doloroso es más frecuente en este género. Si no se atiende oportunamente puede llegar a sufrir ruptura completa del manguito de los rotadores. [31 - 38]

I.iii Rehabilitación.

“La Rehabilitación es un proceso global y continuo de duración limitada” [39] Después de sufrir alguna lesión física es común que el paciente se vea reducido en sus capacidades físicas, en comparación al estado óptimo que tenía antes de sufrir dicha lesión, para que el paciente pueda recuperar estas capacidades después de la lesión es necesario llevar un proceso de rehabilitación adecuado.

“La rehabilitación y la habilitación son procesos destinados a permitir que las personas con discapacidad alcancen y mantengan un nivel óptimo de desempeño físico, sensorial, intelectual, psicológico y/o social. La rehabilitación abarca un amplio abanico de actividades, como atención médica de rehabilitación, fisioterapia, psicoterapia, terapia del lenguaje, terapia ocupacional y servicios de apoyo.” (OMS) [40]

Para lograr este objetivo se cuenta con la ayuda de diferentes tipos de rehabilitación entre las que encontramos las siguientes: Agentes Físicos, Rehabilitación Psicológica, Prótesis, Ortesis y Ejercicios Terapéuticos.

I.iii.i Agentes Físicos.

Entre los agentes físicos encontramos los siguientes: Termoterapia es el uso de calor con fines terapéuticos la aplicación varía de 10 a 30 minutos, los efectos de este tratamiento son, Vasodilatación es decir que aumenta el flujo de sangre a la zona de aplicación, sirve para reducir la inflamación, disminuye la presión arterial y favorece la relajación muscular.

Crioterapia es la aplicación de frío en una zona puntual del cuerpo, la aplicación varía de 5 a 20 minutos ya que existen diversas formas de aplicación, como son las

bolsas de hielo, compresas frías, inmersión en agua helada, algunos de los efectos de la Crioterapia son, disminución de flujo sanguíneo, inflamación y edema, analgesia por acción directa.

Hidroterapia o terapia acuática, es la implementación de agua con diferentes modalidades como pueden ser, lavados, compresas, baños, baños de remolino y masaje subacuático, algunos beneficios que aporta la hidroterapia son: Favorece la respiración y circulación sanguínea, relajación muscular y mental, efecto analgésico, disminución de contracturas musculares, aumenta la fuerza muscular, reduce el impacto en los movimientos articulares, facilita y permite alcanzar mayor rango de movilidad en los movimientos.

En la Fototerapia comúnmente se ocupan rayos infrarrojos o ultravioleta. La aplicación de rayos infrarrojos varía de 15 a 30 minutos, algunos de sus efectos son, antiinflamatorio, anticontracturante, antiespasmódico y alivio de dolor. Los rayos ultravioleta se ocupan por tener grandes beneficios sobre las células y estructuras celulares, por su acción biológica y bactericida, además de tener otros efectos como la desnaturalización proteica, estimulación de la queratogenesis y pigmentación de la piel.

La Masoterapia o masaje terapéutico. Existen diferentes tipos de masajes como son, el clásico terapéutico, de Dicke, del periostio, deportivo, de drenaje linfático y drenaje Venoso. La Masoterapia tiene diferentes beneficios entre los que encontramos los siguientes; para la piel, aumenta la temperatura, estimula la reabsorción de fluidos, exfoliación cutánea, activa las glándulas sudoríparas y sebáceas. En los músculos, mejora la oxigenación e irrigación, elimina catabolitos y facilita la salida de sustancias de desecho. Mejora la circulación, aumenta los niveles de oxígeno en la sangre, facilita el retorno venoso, libera histamina y acetilcolina, elimina o disminuye el dolor y excita las terminales ganglionares. [41 – 51]

I.iii.ii Rehabilitación Psicológica.

Este tipo de rehabilitación facilita el desarrollo de las habilidades de cada individuo para conseguir un estado óptimo tanto mental como emocional, que les permita reintegrarse a su vida diaria, entre los beneficios que nos proporciona destacan los siguientes: mejora el bienestar, ayuda a sentirse mejor, ayuda a cambiar las

creencias limitantes, aporta herramientas para manejar los conflictos de mejor manera, permite vivir en armonía, empodera frente a la vida y ayuda a conocerse mejor. Para lograr esto existen diferentes tipos de terapia que son; Terapia Psicoanalítica, Terapia Psicodinámica, Terapia Cognitivo-Conductual, Terapia Humanista, Pirámide de Maslow y la autorrealización del ser humano, Terapia centrada en la persona, Terapia Gestalt, Terapia sistémica y la Terapia Mindfulness. [52, 53]

I.iii.iii Ortesis.

Es un aparato externo que sirve como ayuda o soporte, su objetivo es cambiar algunos aspectos estructurales o funcionales que tienen que ver con el sistema musculoesquelético, existen cuatro tipos fundaméntales; la ortesis estabilizadora, mantiene la parte del cuerpo a tratar inmovilizada. La ortesis funcional, permite el movimiento de las partes y miembros del cuerpo tratado, al incorporar una banda elástica. La ortesis correctora, se utiliza para corregir deformidades esqueléticas. La ortesis protectora facilita la alineación de alguna parte del cuerpo lesionada. [54, 55]

I.iii.iv Prótesis.

A diferencia de las Ortesis las Prótesis se emplean para reemplazar algún miembro faltante del cuerpo, ya sea por estética, funcionalidad o ambas. Existen diferentes tipos de prótesis, los cuales son:

Prótesis Mecánica, constan de dispositivos de apertura y cierre mediante cables y cintas de sujeción, su funcionamiento requiere de la energía del usuario para realizar los movimientos, aunque son funcionales esto conlleva a una limitación de los movimientos.

Las Prótesis Mioeléctricas se desarrollaron basadas en la biónica, cibernética, robótica y mecatrónica, a través de sensores toman las señales musculares del paciente y las envían a un sistema electrónico para controlar los movimientos de la prótesis.

Las Prótesis Cosméticas o Estéticas, su función puede ser tanto estética como funcional, cuando son meramente estéticas su fin es mejorar o completar la imagen corporal de una persona, sin tener en cuenta la funcionalidad, entre estas se encuentran las prótesis oculares y los implantes mamarios, si bien no cumplen alguna función motriz, contribuyen a la rehabilitación psicológica de la persona. En las prótesis estéticas se debe tomar en cuenta las características físicas de cada paciente, para que esta sea lo más parecida posible al miembro que se necesita reemplazar. [55, 56]

I.iii.v Ejercicios Terapéuticos.

Sirven para estimular el funcionamiento de los músculos, nervios, huesos, articulaciones, aparato cardiovascular y respiratorio, los objetivos de estos ejercicios son restablecer el movimiento normal de algún miembro afectado, fortalecer

músculos y estimular el funcionamiento de diversos sistemas y órganos corporales. Los ejercicios terapéuticos pueden dividirse en Activos y Pasivos.

Ejercicios Activos. Son realizados por el paciente con su propia fuerza ya sea de forma voluntaria o auto refleja, el fisioterapeuta debe instruir al paciente para realizarlos y en su caso corregir al paciente si su ejecución es incorrecta. Existen dos tipos de ejercicios que son: isométricos, produce aumento en la tensión muscular e isotónicos, se modifica la longitud del músculo. A su vez los Ejercicios Activos se subdividen en:

1. Activos Asistidos. En estos tipos de ejercicios el fisioterapeuta suele apoyar al paciente, pues el paciente aún no tiene la fuerza necesaria para realizar los ejercicios por su cuenta.
2. Activos Libres o Gravitacionales. El paciente realiza los ejercicios sin intervención del fisioterapeuta, con estos ejercicios el paciente solo tiene en contra la fuerza ejercida por la gravedad.
3. Activos resistivos. Existen dos formas de realizar estos tipos de ejercicios, en la primera es el fisioterapeuta quien opone una fuerza de resistencia al movimiento del paciente, la segunda manera es usando diversos sistemas como pueden ser peso, muelles, resortes o poleas para generar la fuerza resistiva al movimiento del paciente.

Estos ejercicios son útiles para recuperar la tonificación muscular, evitar atrofas musculares, incrementar la potencia y resistencia muscular, reforzar los movimientos articulares, evitar la rigidez articular, mejor la destreza y velocidad al efectuar los movimientos, entre otros más.

Ejercicios Pasivos. El paciente no efectúa ningún movimiento voluntario, el paciente tampoco debe presentar resistencia o ayuda al momento de hacer los ejercicios, es decir que necesita de alguna persona o aparato que lo ayude a realizar los ejercicios.

Los ejercicios pasivos sirven para prevenir la aparición de deformidades, evitar rigidez, mejorar la nutrición muscular, favorecer la circulación linfática y sanguínea, preparar al musculo para un mejor trabajo, mantener o restablecer la movilidad en las articulaciones. [57, 58]

I.iii.vi Rehabilitación de Hombro de Nadador.

Como se mencionó anteriormente el hombro es la articulación del cuerpo con mayor rango de movilidad haciéndola susceptible a diferentes tipos de lesiones, siendo una de ellas el hombro de nadador o síndrome de hombro doloroso, este es un padecimiento ocasionado por diferentes tipos de lesiones, entre las lesiones más frecuentes que lo ocasionan encontramos la bursitis de hombro, la tendinitis del manguito de los rotadores y el pinzamiento subacromial. Es una lesión bastante

frecuente sobre todo en deportes como la natación, béisbol, tenis levantamiento de pesa, en trabajos y actividades que exigen un uso repetitivo de movimientos del brazo por encima de la cabeza.

Dependiendo el grado de la lesión el medico junto con el fisioterapeuta puede recomendar diferentes tipos de tratamientos, estos pueden ir desde el reposo de las actividades que ocasionan el dolor, hasta la cirugía para corregir problemas mayores, sobre todo cuando el manguito de los rotadores sufre una ruptura.

Cualquiera que sea el caso es necesario el tratamiento farmacológico para disminuir la inflamación y el dolor, adicional a esto es recomendable seguir una rehabilitación con ejercicios terapéuticos, que dependiendo el grado de la lesión sirven para no perder o recuperar fuerza, movilidad y elasticidad del miembro afectado, en nuestro caso el hombro. [37, 38]

Existen diversos y variados tipos de ejercicios terapéuticos, para tratar el hombro de nadador o síndrome de hombro doloroso, estos ejercicios pueden ser pasivos, activos o activos resistidos y son una mezcla de diferentes tipos de movimientos, entre los cuales podemos encontramos los siguientes movimientos: [15, 37, 59 - 62]

Movimientos.

1. Rotación Externa.
2. Rotación interna.
3. Caminado por Pared de dedos o escalerilla de dedos.
4. Abducción y Aducción del Hombro.
5. Flexión y Extensión del Hombro.

II. Sistema Electrónico para Monitorear la Rehabilitación del Hombro de Nadador.

Una vez detectada la lesión de hombro de nadador u hombro doloroso, se debe tener un tratamiento y seguimiento de la misma. En muchas ocasiones no se le da el seguimiento adecuado por diversos motivos, ya sea por falta de motivación del paciente para realizar sus ejercicios de rehabilitación, largos tiempos de traslado a la clínica para el monitoreo de su lesión, largos periodos de tiempo entre una consulta y otra, falta de disponibilidad de las mismas o un mal manejo de los ejercicios, teniendo como consecuencia una mala rehabilitación, agravamiento del problema, mayor tiempo de recuperación y posible reincidencia de la lesión.

II.i Dispositivos comerciales para rehabilitación de hombro.

Para apoyar al paciente a tratar las lesiones de hombro y efectuar su rehabilitación existe equipo de fisioterapia especializado, entre este equipo encontramos; La Rueda o Timón para Hombro, la Escalera o Barra Sueca y la Escalera de Dedos, que se distribuyen desde hace décadas, existen diversos fabricantes y distribuidores algunos de estos son Fisiolab, Médica Store, Grupo Vaell Medical, Vida Plena, algunas características generales de estos aparatos son:

1. Rueda o Timón para Hombro.

Resistencia variable, rango de movimiento de 20.5 cm a 99cm

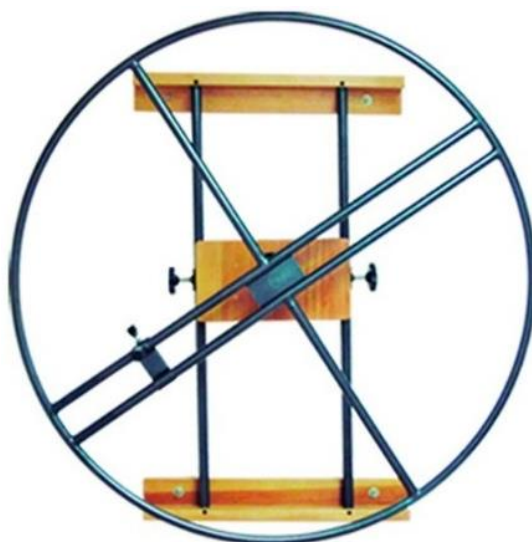


Imagen: 13 Timón para hombro, tomada de [64].

2. Escalera o Barra Sueca.

91cm de Ancho y 240cm de alto, el número de escalones varía dependiendo del fabricante.



Imagen: 14 Barra sueca, tomada de [65].

3. Escalera de Dedos.

La altura y número de escalones de esta última varía dependiendo el fabricante.



Imagen: 15 Escalera de dedos, tomada de [66].

Estos dispositivos tienen la intención de ayudar al paciente en su rehabilitación, sin embargo tanto el paciente como el medico no tienen una idea real de cual ha sido el avance o de si los ejercicios se han realizado de manera correcta, pues los dispositivos están enfocados en facilitar y apoyar la recuperación del movimiento del hombro, pero no cuentan con una parte electrónica para poder medir y contabilizar los ejercicios realizados de manera correcta por él paciente, haciendo difícil evaluar el avance real en la rehabilitación.

También encontramos dispositivos que implementan la electrónica para facilitar la rehabilitación, seguimiento y tratamiento de las lesiones de hombro. En esta categoría se encuentran los siguientes ejemplos:

1. Rueda de hombro Digital.

Cuenta con una pantalla LCD para indicar el tiempo de ejercicio, recuento de ejercicios, entre otras funciones, permite la rotación en ambos sentidos (bidireccional) y la resistencia que ejerce es magnética.



Imagen: 16 Rueda de hombro digital para rehabilitación de hombro. Tomada de [67].

2. Fisiotek LT.

Dedicado a la rehabilitación pasiva, a través de los movimientos de elevación y rotación. Se pueden realizar movimientos de rotación interna y externa de 90° a 0° y de 0° a 90° , Elevación con intervalo de flexión entre 0° y 180° . Se puede regular el movimiento a través de un mando a distancia.



Imagen: 17 Equipo para rehabilitación pasiva de hombro Fisiotek LT. Tomada de [68].

3. Fisiotek HP2.

Dispositivo enfocado en la rehabilitación pasiva de hombro, muñeca y codo, los movimientos permitidos para el hombro son, Elevación de 5° a 180°, Aducción-abducción 35° a 150° y rotación tanto interna como externa de 90° a 0° y de 0° a 90°, con funciones programables en intervalos de movimiento, velocidad en ambos sentidos de marcha, tiempo de trabajo, aumento automático de la amplitud del movimiento en ambos límites, pausa en ambos límites del movimiento y ciclos de trabajo.



Imagen: 18 Equipo para rehabilitación pasiva de hombro Fisiotek HP2. Tomada de [69].

A pesar de que estos dispositivos si cuentan con una parte electrónica y otras funciones tienen el inconveniente hasta el momento de no ser portátiles, debido a su tamaño y en algunos casos su costo.

Al hablar de equipo especializado es normal que el costo llegue a ser elevado, por lo cual estos equipos en muchas ocasiones solo se encuentran en las clínicas de rehabilitación y casi siempre solo los encontramos en clínicas con una alta especialización en rehabilitación.

La rehabilitación es un proceso de duración limitada, por este motivo y tomando en cuenta el costo de los dispositivos, es poco usual que algún paciente adquiera uno o varios de los mismos para uso personal.

Por lo tanto es normal que la rehabilitación se efectúe directamente en la clínica, donde se cuenta con este equipo y con un fisioterapeuta el cual apoya al paciente para realizar su rehabilitación, pero por lo ya expuesto anteriormente, es común que entre una y otra sesión presencial transcurra un tiempo considerable, que puede ir

desde unos días, hasta semanas o meses, por esta razón en las primeras sesiones presenciales al paciente se le instruye en la forma de realizar sus ejercicios de rehabilitación desde casa, haciendo de esta manera que no necesite estar en presencia de un fisioterapeuta para poder continuar con su proceso de rehabilitación, esto puede tener algunos inconvenientes como pueden ser:

- El paciente no es experto en el tema, toda la experiencia para realizar los ejercicios en su casa, es la que obtuvo del fisioterapeuta en las sesiones presenciales, debido a que cada paciente es diferente, estas instrucciones se pueden interpretar y realizar de maneras diversas, no siempre haciéndolo de la forma correcta.
- Al no estar en directa vigilancia el paciente podría dejar de hacer sus ejercicios debido a la falta de tiempo, motivación o dolor para realizarlos.
- Al no ser sesiones presenciales, no se lleva un registro de la frecuencia con la cual se realizan los ejercicios de rehabilitación.

El fisioterapeuta al no tener un registro de la terapia realizada en casa, no tiene forma de saber el motivo real por el cual el paciente no ha recuperado la movilidad del miembro afectado.

II.ii Movimientos posibles de detectar con el dispositivo.

Por lo mencionado anteriormente se propone un sistema que sea capaz de monitorear la rehabilitación con la mínima intervención del médico, el cual podrá registrar los días y horas en que el paciente realiza algunos movimientos que integran sus ejercicios de rehabilitación, así mismo el dispositivo será capaz de medir y guardar los rangos de movilidad de estos movimientos, para cotejarlos con los rangos de movilidad óptimos, indicándonos de esta manera si se están realizando de forma correcta, si el paciente realmente está teniendo un avance en su recuperación, posteriormente con estos datos el médico podrá utilizarlos para realizar gráficas y evaluaciones.

Nuestro dispositivo será capaz de medir los ángulos de ciertos movimientos que se utilizan para realizar los ejercicios de rehabilitación, estos movimientos son:

- Caminado por Pared de dedos o escalerilla de dedos.

El paciente se sitúa de pie con el hombro doloroso a una distancia de entre 60 - 90 centímetros de la pared, extendiendo el brazo y colocando la yema de los dedos sobre la pared. Posteriormente el paciente debe subir los dedos por la pared hasta lograr mantener extendido el brazo (o lo más alto que le sea posible), manteniendo esta posición por unos segundos, después debe bajar los dedos por la pared y repetir de 5 a 10 veces, tiempo estimado de realización 3 minutos. [37]

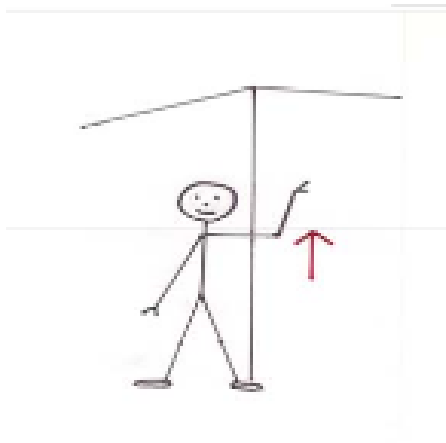


Imagen: 19 Escalerilla de Dedos tomado de [37].

- Abducción y Aducción de hombro.

Se comienza con el brazo plegado al cuerpo en posición de reposo, posteriormente se comienza a subir lentamente el brazo en posición horizontal respecto al cuerpo hasta quedar a la altura del hombro, de ser posible debe subir hasta que el brazo quede por encima de la cabeza (Movimiento de Abducción), posteriormente el brazo debe descender lentamente hasta llegar a la posición original, (Movimiento de Aducción). Repetir de 5 a 10 veces, en lapsos de 5 minutos, al menos 3 veces por semana.



Imagen: 20 Movimiento de Abducción y Aducción tomado de [70].

- Flexión y Extensión de hombro.

Se comienza con el brazo en posición de reposo plegado al cuerpo, después se debe ir elevando lentamente hacia el frente del cuerpo hasta quedar lo más recto posible, el brazo debe regresar a su posición original de forma lenta, a continuación se inicia el movimiento hacia la parte posterior del cuerpo como se muestra en la imagen 21, finalmente se debe regresar el brazo a la posición original. Igual que el movimiento anterior se debe repetir de 5 a 10 veces en lapsos de 5 minutos de 3 a 5 veces por semana.

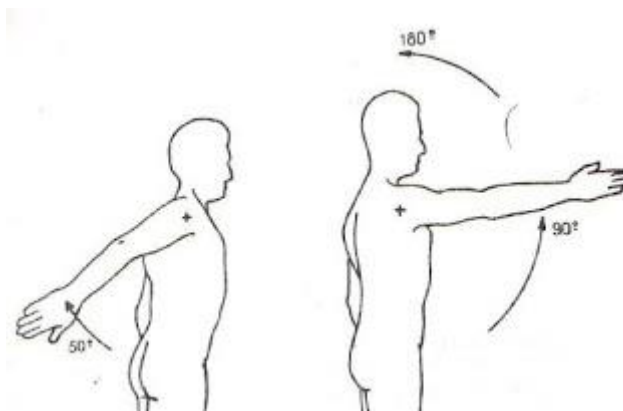


Imagen: 21 Movimiento de Flexión y Extensión Tomado de [71].

II.iii Dispositivo Propuesto.

II.iii.i Arquitectura Lógica del Dispositivo Propuesto.

El sistema propuesto consta de 3 bloques fundamentales, que son:



- Monitoreo. En esta parte se tomara la señal física a través de transductores (acelerómetros, giroscopios y/o magnetómetros).
- Procesamiento de datos. Los datos se procesaran a través de microcontroladores en este caso arduino y el teléfono móvil.
- Comunicación. Servirá para enviar los datos procesados a la APP, la cual se encargara de almacenarlos para su posterior envió, la comunicación se realizara a través de un dispositivo bluetooth.

II.iii.ii Componentes e interfaces de Programación.

- Sensor MPU6050. Este sensor cuenta con un giroscopio y un acelerómetro cada uno con 3 grados de libertad, lo cual nos brinda un total de 6 grados de libertad y cuenta con comunicación I2C.

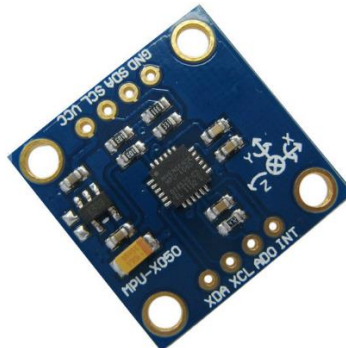


Imagen: 22 Sensor MPU6050.

- Arduino nano. Tarjeta de desarrollo basada en un microcontrolador de la familia AVR, ATmega328P. Esta tarjeta cuenta con comunicación serial e I2C, 8 pines analógicos y 14 pines digitales de los cuales 6 pueden configurarse como salidas PWM.

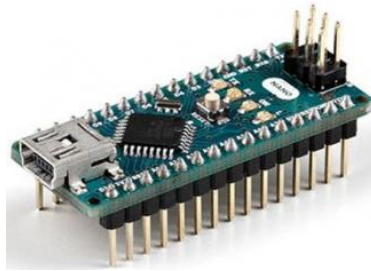


Imagen: 23 Arduino NANO.

- Bluetooth hc-05. Puede ser configurado como maestro o esclavo, lo cual nos permite enviar y recibir información hacia y desde otros dispositivos que cuenten con tecnología bluetooth.



Imagen: 24 Bluetooth HC-05.

- Dispositivo con sistema operativo (S.O) Android, ya sea Celular o Tablet, para poder cargar la Aplicación (App).
- MIT APP Inventor 2. Esta plataforma se encuentra de forma gratuita en internet, en ella se pueden realizar aplicaciones para sistemas operativos Android, es muy intuitiva ya que su forma de programar es a través de bloques que se interconectan para realizar la tarea deseada.

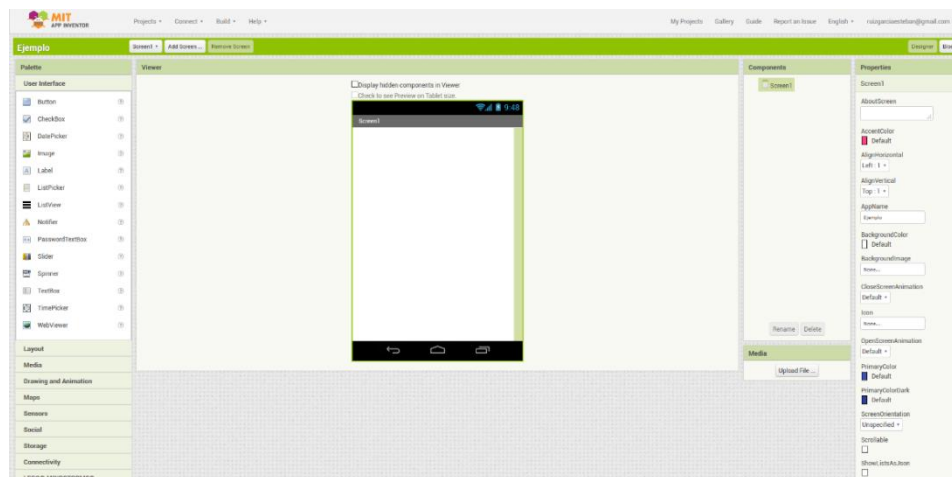
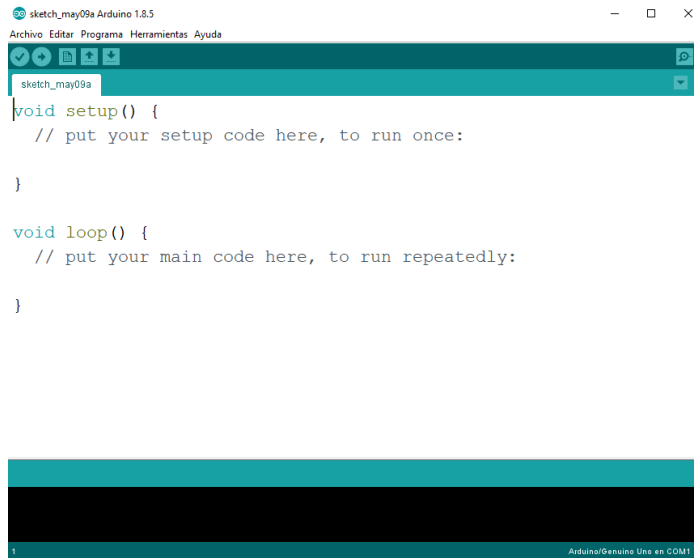


Imagen: 25 Interfaz de editor MIT APP Inventor.

- Arduino IDE. Plataforma distribuida de forma gratuita por arduino, se puede descargar en el siguiente Link, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, esta plataforma nos permite programar las diferentes tarjetas existentes de arduino, así como también descargar actualizaciones y librerías para ciertos tipos de tarjetas de propósito específico (SHIELDS), el lenguaje de programación en el que está basado es similar a C.



```
sketch_may09a Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_may09a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
Arduino/Genuino Uno en COM1
```

Imagen: 26 Entorno de programación Arduino.

II.iv Implementación del Dispositivo.

II.iv.i Teoría de Vectores 2 y 3 dimensiones.

El sensor que se manejara consta de dos partes, que son un acelerómetro y un giroscopio:

- El acelerómetro como su nombre lo dice nos entrega magnitudes físicas de aceleración en sus tres planos, debido a esto es necesario aplicar ciertas ecuaciones para poder obtener los ángulos.
- El giroscopio por su parte nos entrega en ángulo de movimiento en un instante de tiempo, por lo cual solo debemos leer la magnitud sin aplicar ninguna ecuación.

Ecuaciones para la obtención de los ángulos del acelerómetro.

Dado un plano en dos dimensiones sabemos que si se aplica una aceleración en X y en Y nos dará una resultante con cierto ángulo.

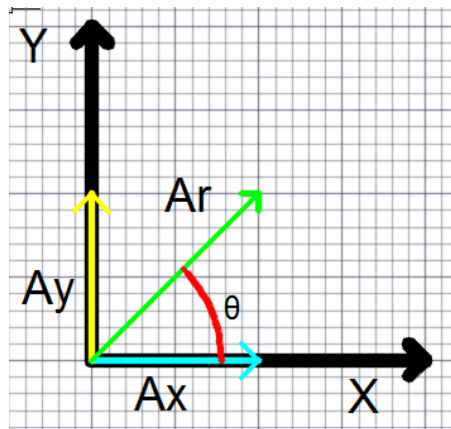


Imagen: 27 Vectores y Resultante en dos dimensiones.

La resultante viene dada por la ecuación:

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 1}$$

Mientras que el ángulo se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 2}$$

Sin embargo los movimientos serán en tres dimensiones, por lo cual para obtener el ángulo en cada plano de movimiento nos apoyaremos en los cosenos directores.

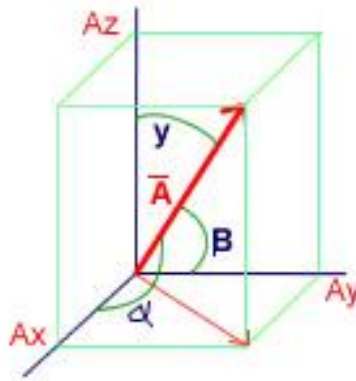


Imagen: 28 Vectores y Resultante en 3 dimensiones, tomado de [72].

Estos cosenos sirven para determinar el ángulo de la resultante en tres dimensiones con respecto a cada una de sus componentes en sus respectivos planos, (componente en X, Y, Z).

La forma de calcularlos es similar a la vista en dos dimensiones. Primeramente se procede a calcular la resultante, a partir de las componentes vectoriales de los tres ángulos. Ejemplo para calcular la resultante A_r .

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 3}$$

Para obtener los ángulos α , β , γ , se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{A_x}{A_r} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 4}$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{A_y}{A_r} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 5}$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{A_z}{A_r} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 6}$$

Para poder tener una medición más exacta de los ángulos existen diferentes tipos de filtros, siendo uno de los más precisos y conocidos el filtro de Kalman, pero tiene el inconveniente de ser demasiado robusto, haciendo impráctico usarlo en nuestro microcontrolador, por tal motivo se usara el filtro complementario el cual es más

ligero de implementar en nuestro microcontrolador, pero con una precisión y exactitud bastante aceptable.

Este filtro consiste en la unión de un filtro pasa bajas para el Acelerómetro y un filtro pasa altas para el giroscopio, aplicado de la siguiente manera.

$$\text{Ángulo} = 0.98 * (\text{Ángulo} + (AG * \Delta t)) + 0.02 * AA \quad \dots \text{ecuación 7}$$

Donde:

- Ángulo = Ángulo Filtrado.
- AG = Ángulo Obtenido del Giroscopio.
- AA = Ángulo Obtenido del Acelerómetro.
- Δt = Tiempo transcurrido (en ms) desde la última vez de la aplicación del filtro, recomendado 10 ms.

II.iv.ii Lógica de funcionamiento.

El dispositivo funcionará en conjunto con una aplicación para dispositivo móvil, en esta aplicación se podrá seleccionar si se es un usuario (paciente) o el medico a cargo.

Funcionamiento del dispositivo para el paciente.

El dispositivo móvil iniciara pidiendo que se conecte vía bluetooth, una vez conectado, el paciente deberá seleccionar su usuario de una base de datos, si no se encuentra registrado deberá escribir sus datos, Nombre, Edad, Sexo, cuando termine de ingresarlos deberá guardarlos, una vez hecho el registro podrá seleccionar uno de los tres movimientos posibles de realizar, una vez seleccionado el movimiento, el dispositivo móvil mostrara una descripción e imágenes del movimiento, cuando el paciente esté listo para comenzar, la aplicación enviara una señal a nuestro microcontrolador (arduino) y comenzara el monitoreo.

El Sensor detectará los ángulos en los que se mueve el brazo, los transferirá al microcontrolador (arduino), este los guardará para poder aplicar el filtro complementario y obtener los ángulos en las tres dimensiones (x, y, z), una vez obtenidos los ángulos resultantes, se transmiten vía serial hacia el bluetooth, quien a su vez los transmitirá a la aplicación, esto lo repetirá hasta que el tiempo del

movimiento termine, cuando esto suceda se enviará una señal de termino, para que la aplicación móvil guarde el archivo con los datos del usuario.

Cada que el dispositivo móvil reciba un dato lo almacenará, una vez reciba la señal de termino procederá a guardar el conjunto de datos recibidos en un documento con el nombre, edad, sexo del paciente, tipo de movimiento realizado, fecha y hora, además emitirá una alerta para notificar al paciente que termino de realizar el movimiento, posterior a esto volverá a la pantalla dos de la aplicación, donde se tendrá la opción de repetir el proceso con un nuevo movimiento y paciente o donde se dará por terminada la sesión.

En caso de ser el medico a cargo se podrá borrar la base de datos de todos los pacientes ingresando el usuario y contraseña definidos para este fin.

Los diagramas de flujo para llevar a cabo dichas funciones se muestran a continuación.

II.iv.iii Diagramas de flujo.

Diagramas de flujo para la aplicación

Pantalla de inicio (Pantalla 1) aquí se iniciara la comunicación, en esta pantalla también se registraran los nuevos usuarios o se seleccionara un usuario de la base de datos de usuarios previamente registrados (imagen 29).

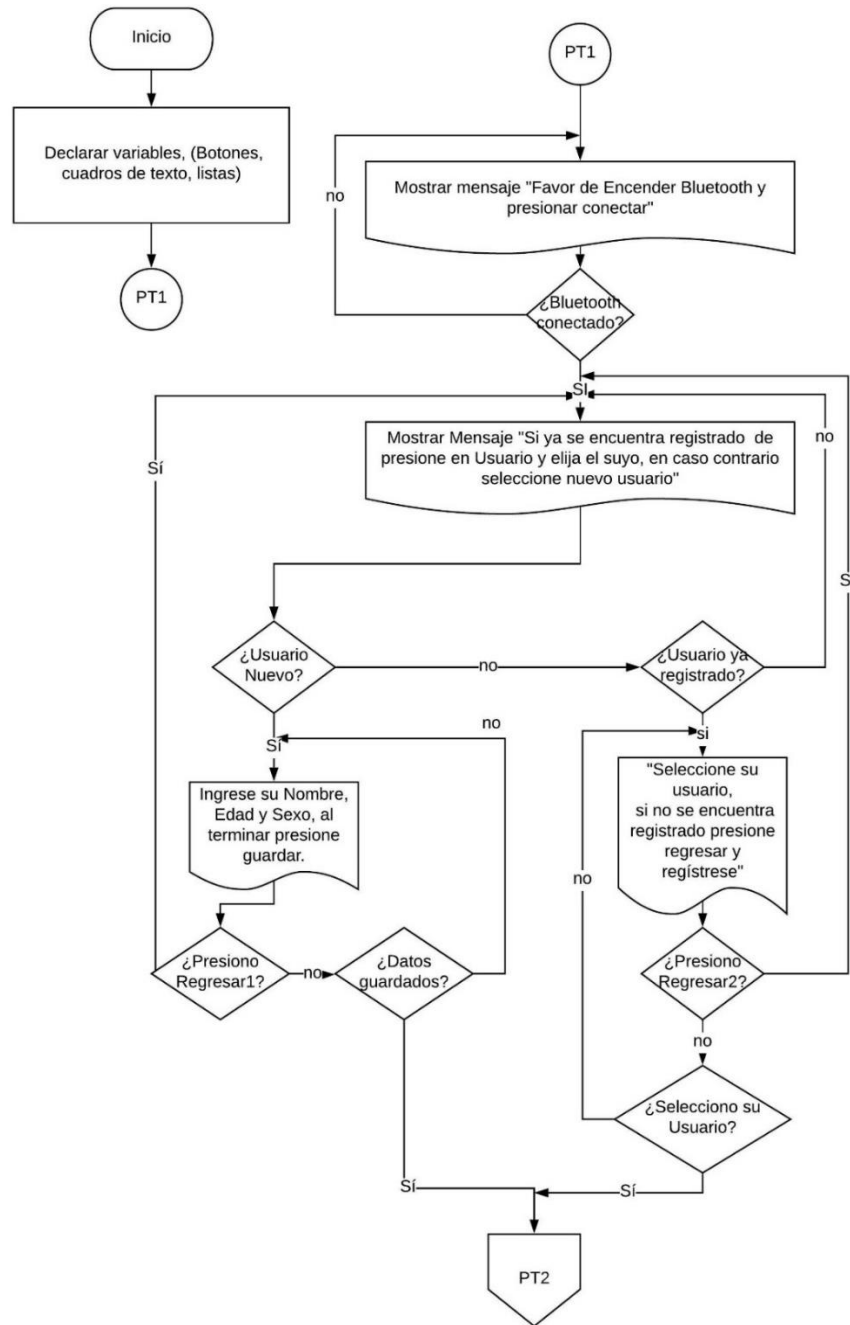


Imagen: 29 Diagrama para pantalla principal de la APP.

En esta pantalla (Pantalla 2) se podrá elegir si desea iniciar y así pasar a la siguiente pantalla para poder seleccionar alguno de los movimientos disponibles, o si se cometió un error al seleccionar el usuario, podrá optar por regresar a la pantalla anterior y seleccionar su usuario de forma correcta (imagen 30).

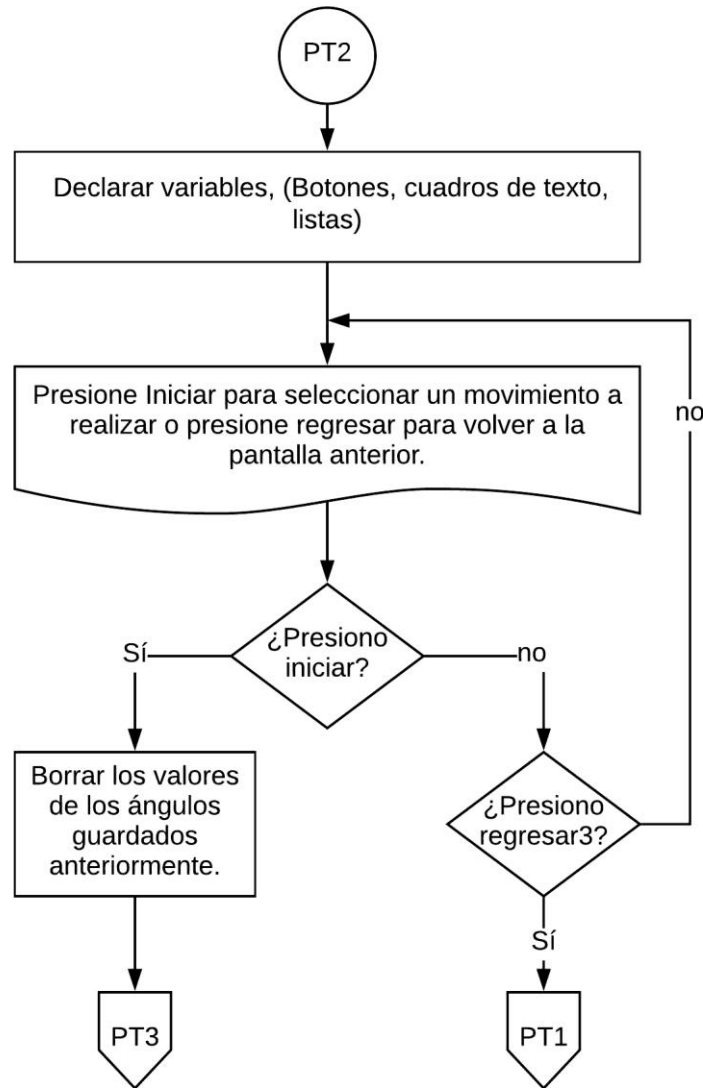


Imagen: 30 Diagrama de la pantalla dos, para iniciar con los movimientos preestablecidos.

La siguiente pantalla (Pantalla 3) nos muestra tres opciones con los movimientos posibles a realizar, Caminado por pared de dedos, Flexión – Extensión, Abducción – Aducción, una vez seleccionado alguno nos direccionará a una nueva pantalla, si por el contrario se cometió un error al momento de seleccionar el usuario, se tendrá la opción de regresar a la pantalla anterior para corregirlo (imagen 31).

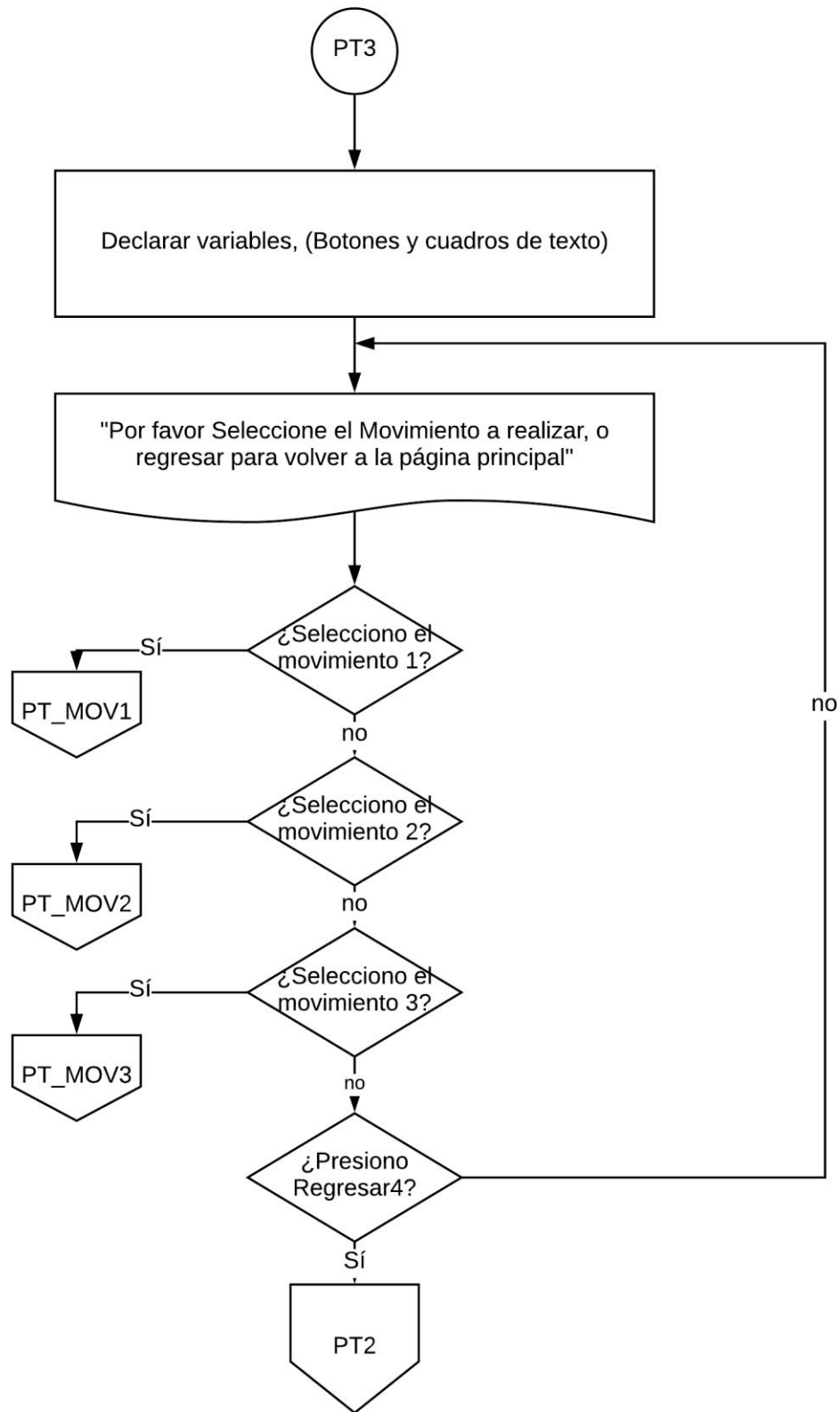


Imagen: 31 Diagrama para pantalla tres, selección de movimiento.

En la pantalla “Caminado por Pared de dedos” (Pantalla 4), se muestran tres botones, uno para ver la imagen de muestra acerca del movimiento a realizar, un botón para iniciar el ejercicio, el cual al presionarse enviará una señal de inicio vía buetooth hacia nuestro microcontrolador (Arduino), con esto la aplicación comenzará a recibir los datos y almacenarlos, el último botón nos regresará a la página previa en caso de querer seleccionar otro movimiento (Imagen 32).

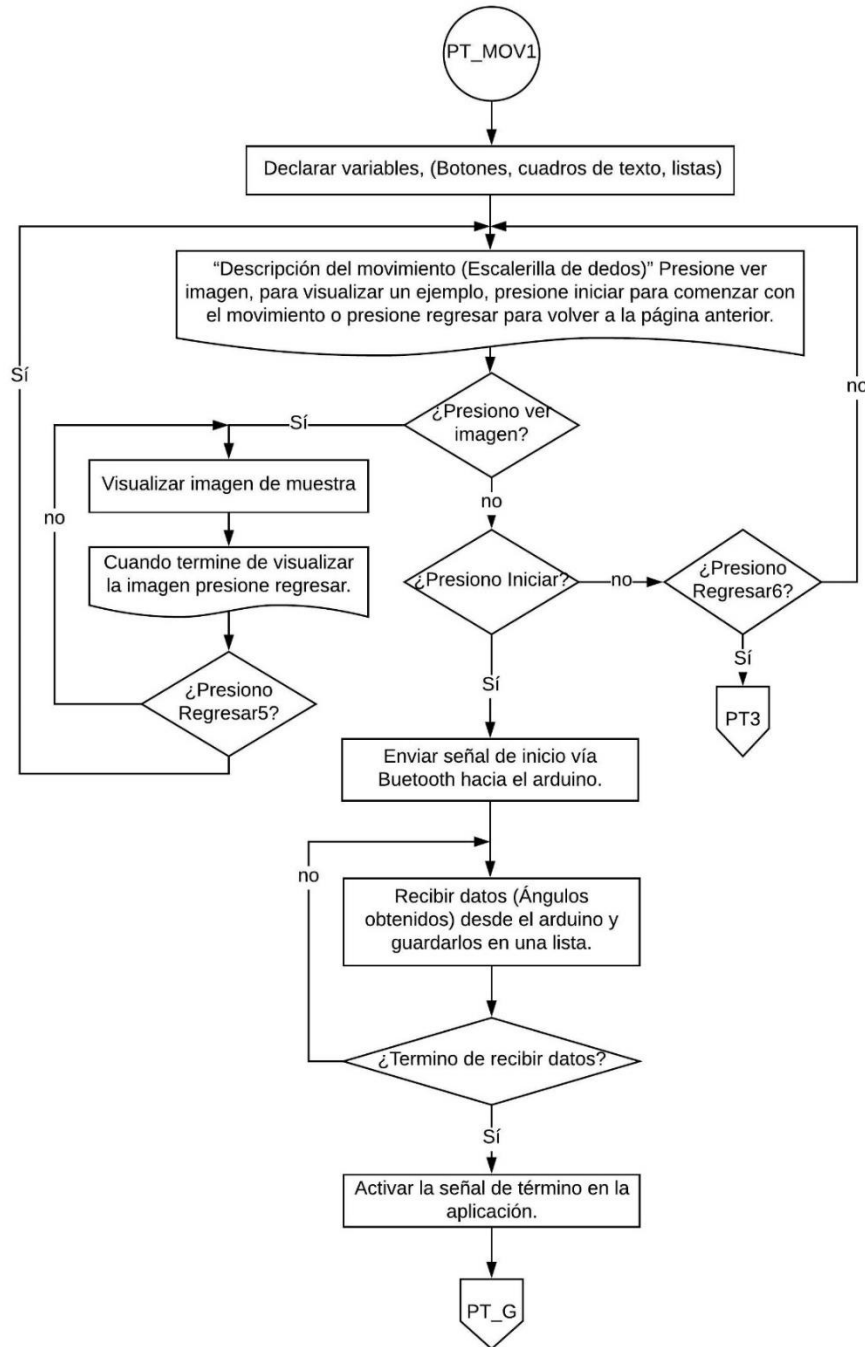


Imagen: 32 Diagrama para el movimiento “Caminado por pared de dedos”.

En la pantalla “Abducción – Aducción” (Pantalla 5), se muestran tres botones, uno para ver la imagen de muestra acerca del movimiento a realizar, un botón para iniciar el ejercicio, el cual al presionarse enviará una señal de inicio vía buetooth hacia nuestro microcontrolador (Arduino), con esto la aplicación comenzará a recibir los datos y almacenarlos, el último botón nos regresará a la página previa en caso de querer seleccionar otro movimiento (Imagen 33).

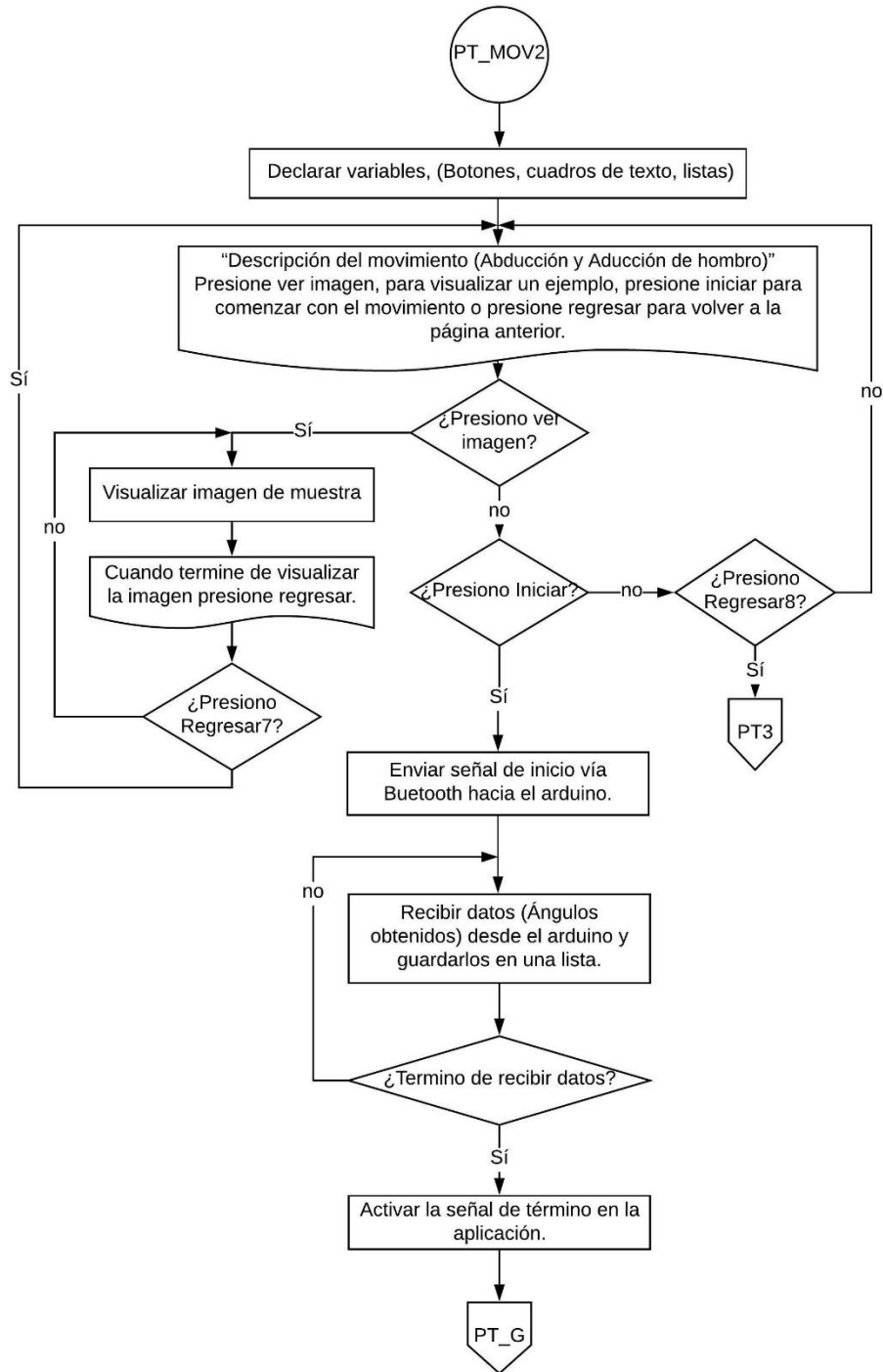


Imagen: 33 Diagrama para el movimiento “Abducción – Aducción”.

En la pantalla “Flexión – Extensión” (Pantalla 6), se muestran tres botones, uno para ver la imagen de muestra acerca del movimiento a realizar, un botón para iniciar el ejercicio, el cual al presionarse enviará una señal de inicio vía buetooth hacia nuestro microcontrolador (Arduino), con esto la aplicación comenzará a recibir los datos y almacenarlos, el último botón nos regresará a la página previa en caso de querer seleccionar otro movimiento (Imagen 34).

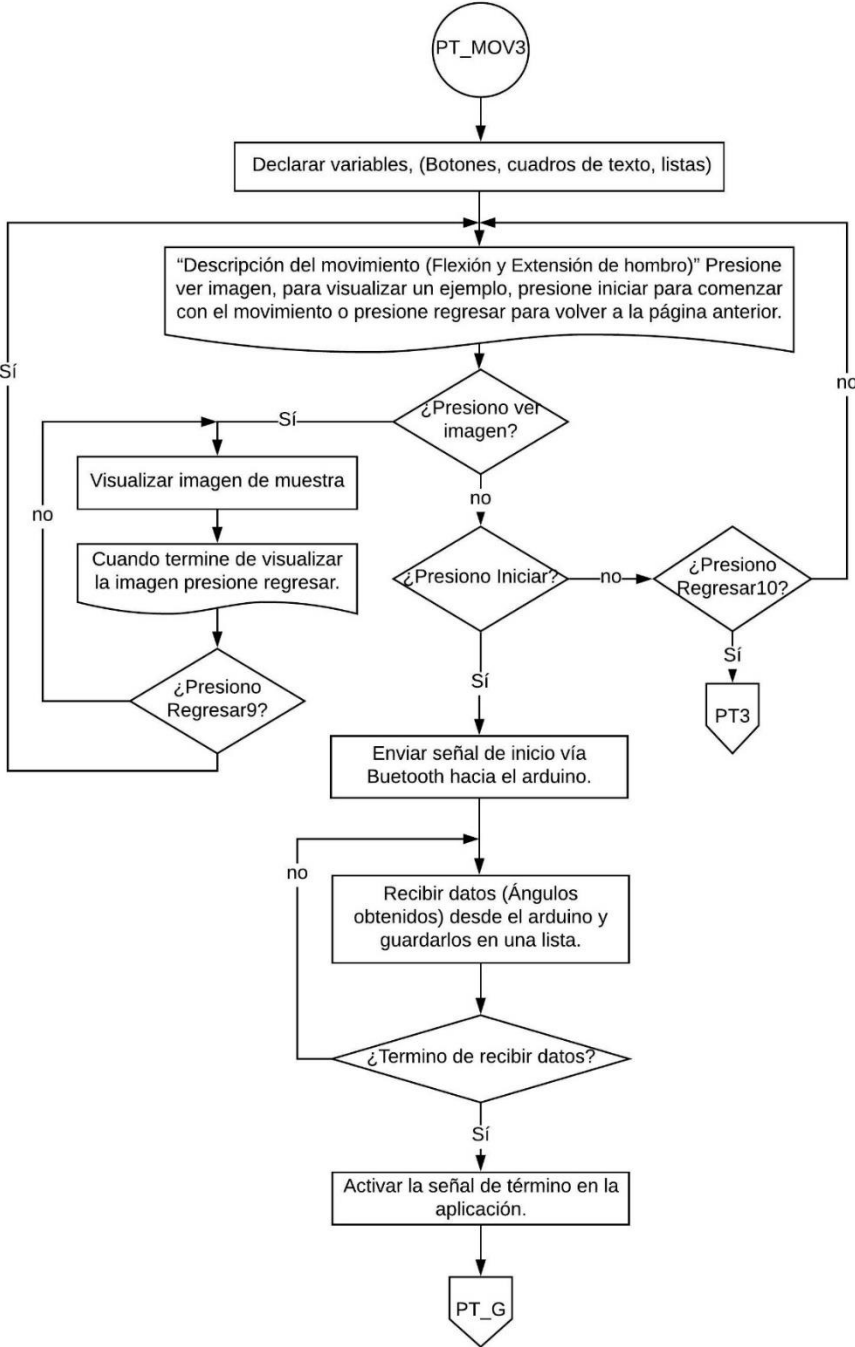


Imagen: 34 Diagrama para el movimiento “Flexión – Extensión”.

Esta pantalla es invisible para el usuario, pues el procedimiento que se realiza en ella es automático, una vez que la Aplicación y Arduino terminen de intercambiar datos estos se agregaran a un archivo TXT, el nombre del archivo contendrá los datos del usuario que se seleccionó en la pantalla inicial, además se agregara la fecha y hora en que fueron realizadas las mediciones, una vez terminado este proceso la aplicación regresara automáticamente a la pantalla 2.

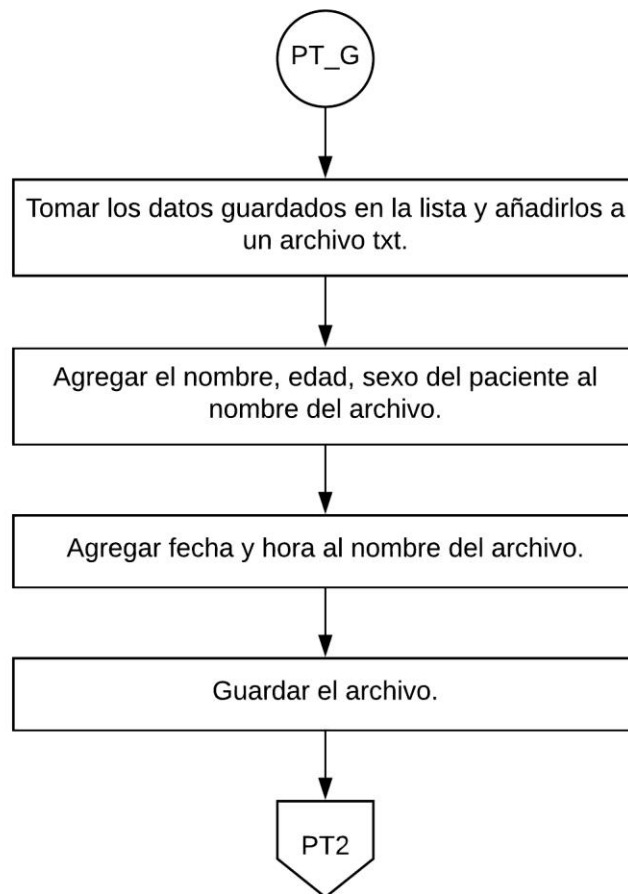


Imagen: 35 diagrama del Procedimiento de Guardado de datos.

Diagramas de flujo para Arduino.

La programación de Arduino consta de dos partes fundamentales que son configuración y ejecución, en la primera parte se declararan las variables a utilizar así como la configuración inicial de los sensores, comunicación I2C y comunicación Serial. Después de configurar esta parte el programa pasara a modo espera, hasta recibir un dato para poder iniciar la parte de ejecución. El modo ejecución nos direccionara a una de las tres rutinas de los movimientos programados.

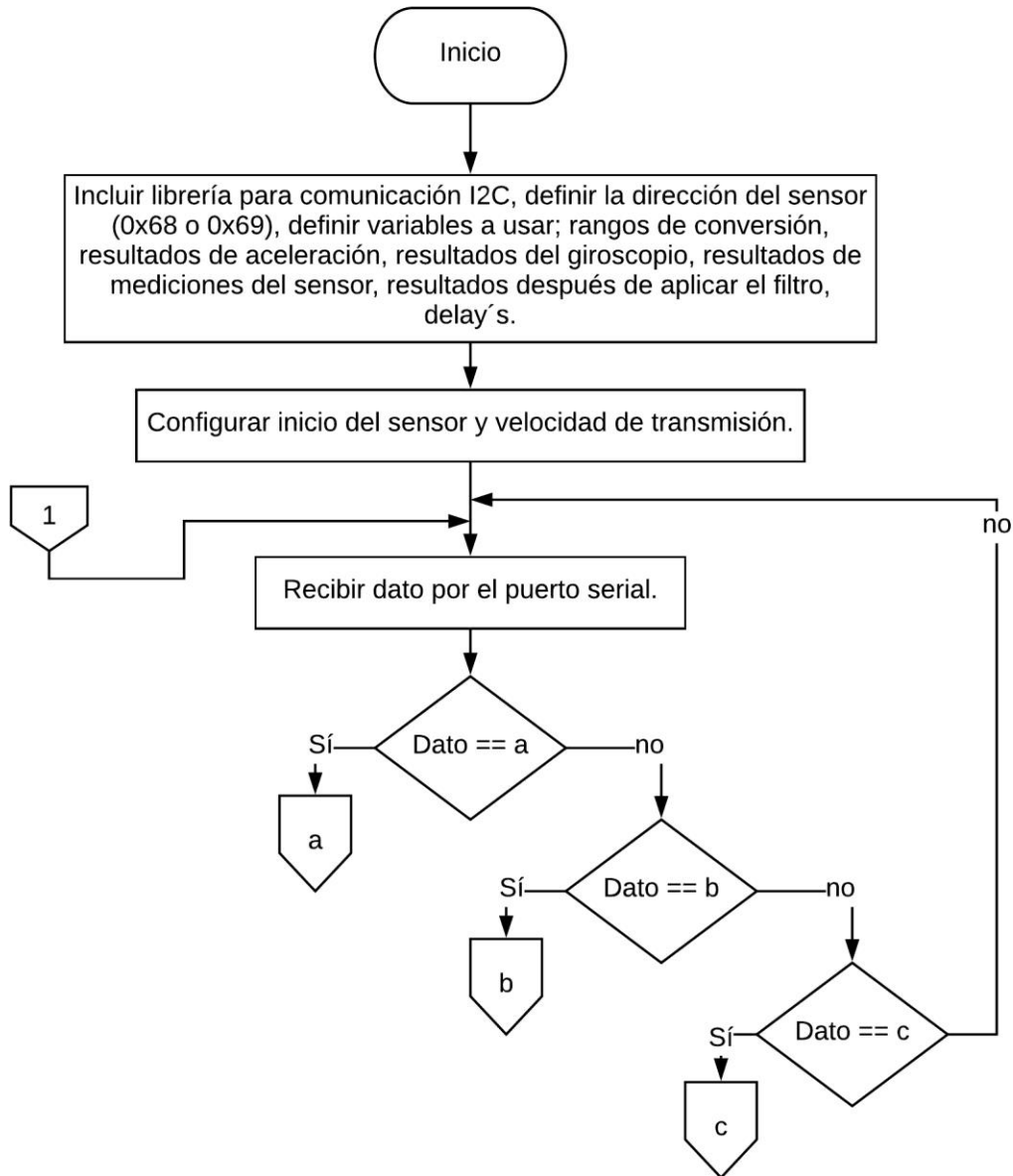


Imagen: 36 Diagrama para la configuración Inicial del Dispositivo.

En la parte de ejecución, dependiendo de la señal de inicio recibida, el programa pasara a una de las tres subrutinas; “Caminado por pared de dedos”, “Abducción – Aducción” o “Flexión – Extensión” las tres subrutinas son sumamente parecidas, estas funcionan de la siguiente manera. Se inicia la comunicación I2C entre el sensor y arduino para configurar los registros a utilizar del sensor, una vez configurada e iniciada la comunicación se procede a leer los valores entregados por el acelerómetro y el giroscopio, estos valores se procesan para obtener los ángulos respectivos de cada uno, con los ángulos obtenidos se aplica el filtro complementario para tener una lectura prácticamente sin ruido y de esta forma más fidedigna, una vez que se tengan estos datos procesados, se procede con su envío vía bluetooth en intervalos de 100 mili segundos, es decir que entre cada muestra se esperará un tiempo de 100 mili segundos para tomar la siguiente lectura, esto con el fin de dar tiempo a la aplicación de procesar los datos, el proceso continuará hasta que se terminen las iteraciones necesarias para el tiempo que tarda en realizarse cada movimiento. Por ejemplo si un movimiento tarda 2 minutos, la cantidad de iteraciones aproximadas serán 1,200, teniendo en cuenta la siguiente ecuación.

$$T = \frac{i*100ms}{60} \quad \dots\dots\dots\text{ecuación 8}$$

T = Tiempo en segundos.

i = Numero de Iteraciones.

Despajando i de la ecuación 8, podemos saber el número de iteraciones necesarias para cualquier tiempo deseado.

$$i = \frac{T*60}{100ms} \quad \dots\dots\dots\text{ecuación 9}$$

Las tres subrutinas solo se diferencian en el tiempo que tardan en ejecución, sin embargo se decidió hacer de esta forma, para que en caso de querer modificar el tiempo que tarda en realizarse una de las tres subrutinas, no afecte la ejecución de las demás.

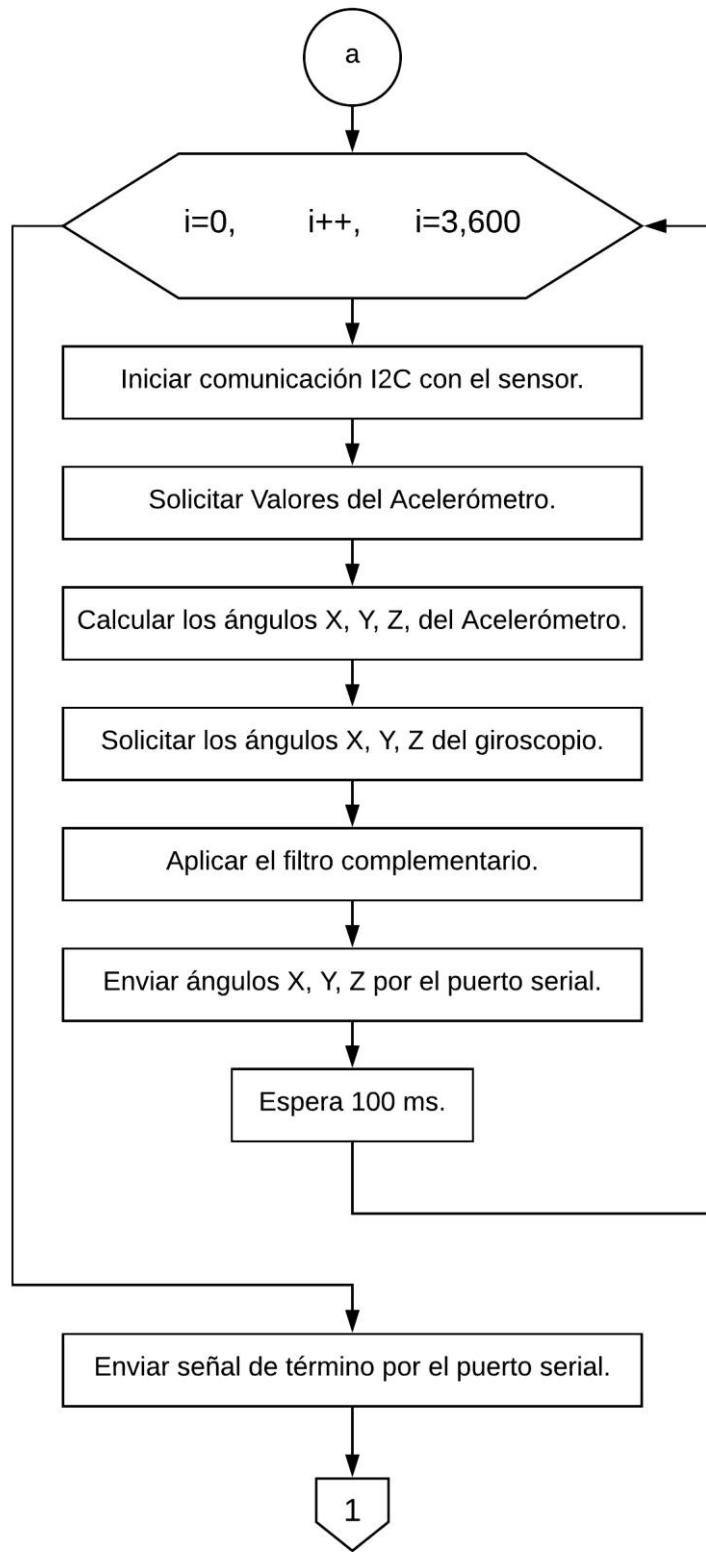


Imagen: 37 Diagrama para la subrutina "Caminado por pared de dedos".

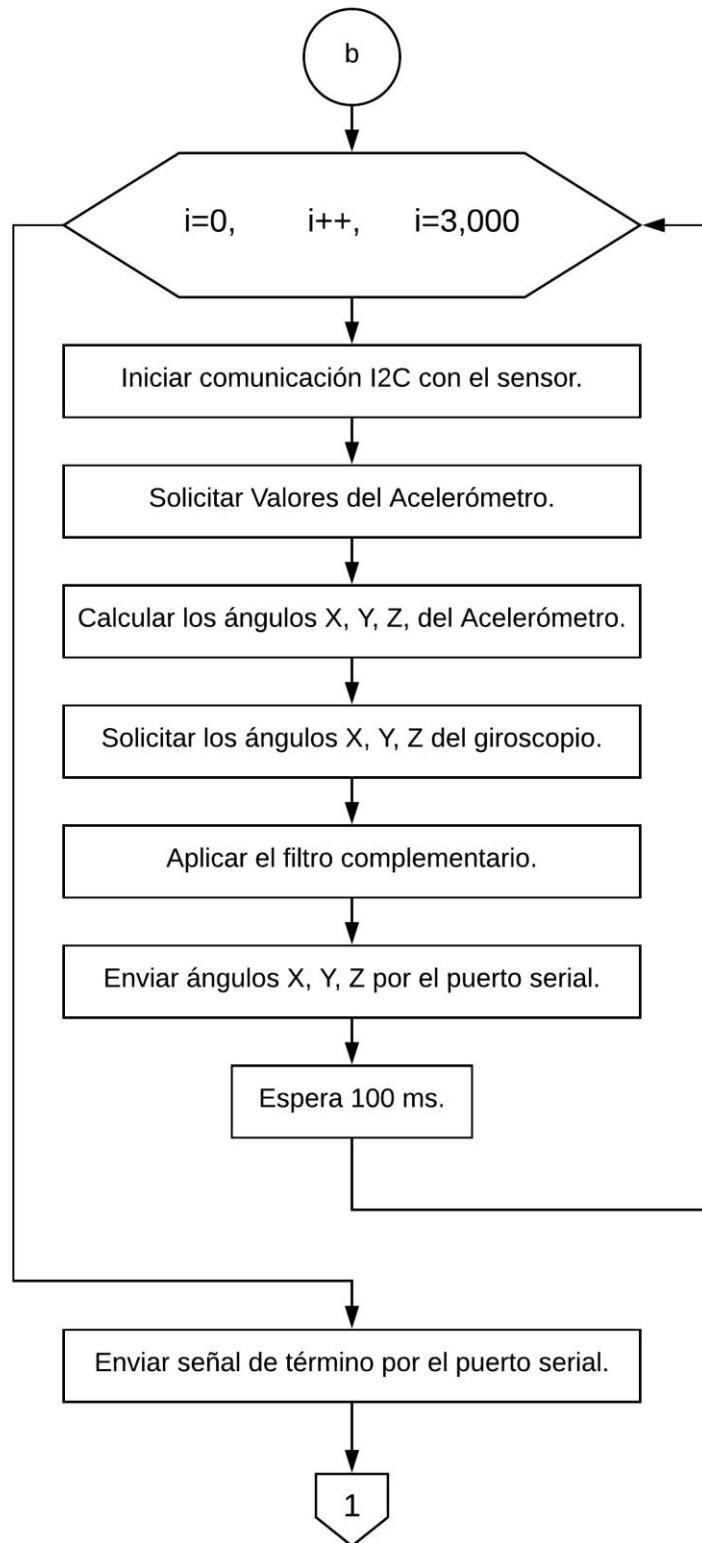


Imagen: 38 Diagrama para la subrutina "Abducción - Aducción".

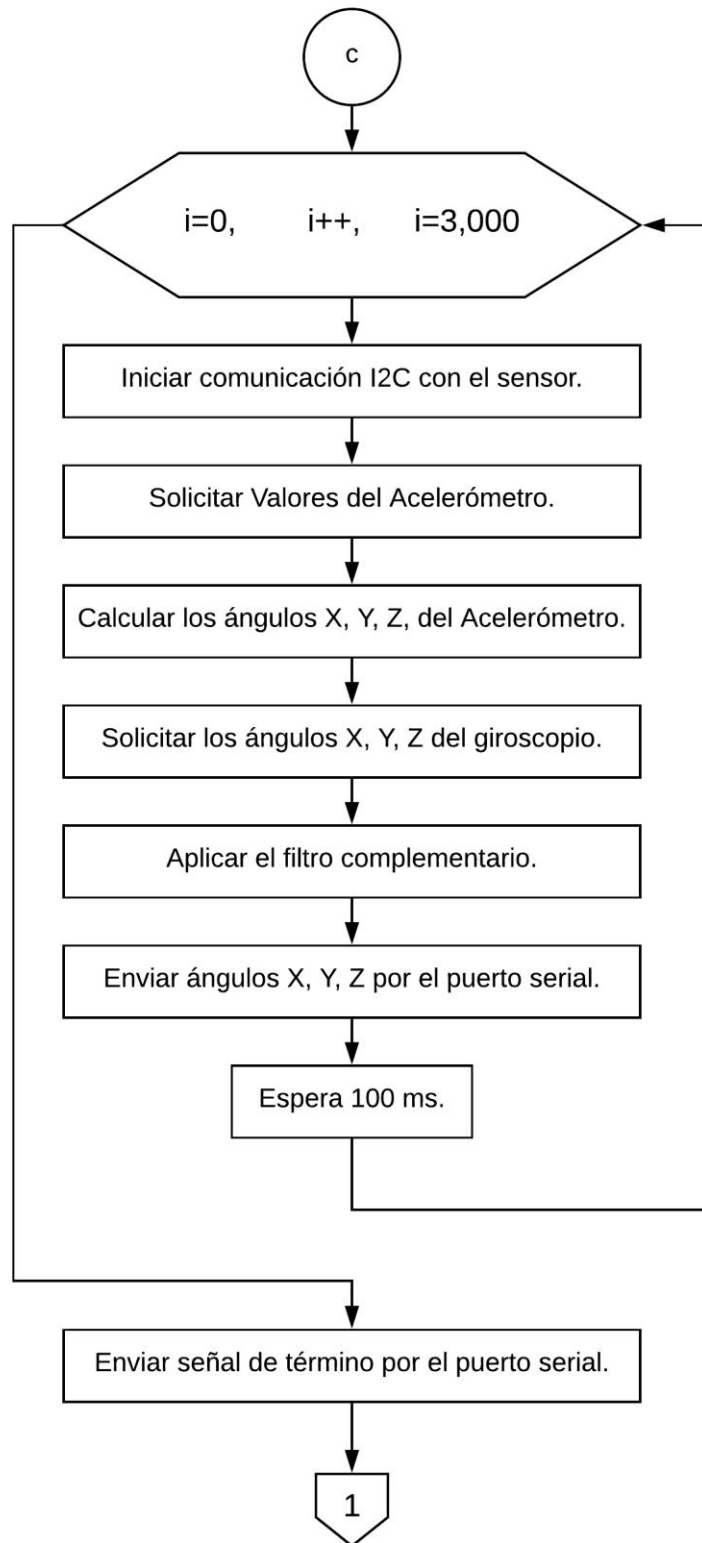


Imagen: 39 Diagrama para la subrutina "Flexión - Extensión".

II.iv.iv Diseño de Hardware.

El diseño del dispositivo será de tipo sujeción con banda elástica y velcro, para poder colocarse alrededor del brazo sin lastimarlo, por su parte toda la circuitería necesaria (Arduino, sensores, PCB, etc.) se colocará dentro de una caja de acrílico fabricada a la medida para poder protegerlo.

La comunicación del microcontrolador con el sensor se realizara mediante el puerto I2C, el cual soporta 128 dispositivos y es ideal para distancias cortas. Mientras que la comunicación con el bluetooth se realizara por el puerto Serial, todo el circuito será alimentado con una pila de 9 Volts, suficiente para tener una autonomía de funcionamiento continuo cercana a 30 horas.

Para poder hacer las conexiones se realizara una tarjeta PCB también llamado circuito impreso, que cumpla con las necesidades del diseño.

Material a utilizar para el diseño de la PCB:

- 1 Tarjeta PCB de 5x5 cm.
- 1 TRT de dos terminales.
- 46 terminales Pin header hembra.
- 2 resistores de 4.7k Ω .
- 1 resistor de 1k Ω .
- 1 Botón de dos posiciones.
- Broche para pila de 9 Volts.

El broche de la pila se conectara al TRT para suministrar corriente a todo el circuito, la pista positiva se conectara en serie con el botón, esto para poder encender y apagar el dispositivo en el momento deseado, evitando consumo innecesario de energía, las conexiones del microcontrolador serán de la siguiente manera:

- Pines SCL, SDA.

Estas conexiones son del puerto I2C por lo cual deben llevar unos resistores de 4.7k Ω conectadas en paralelo hacia voltaje (conexión pull up), esto por seguridad para mantener un nivel lógico alto cuando la línea no este transmitiendo y así asegurar el correcto funcionamiento de la comunicación.

Estos pines se conectaran al sensor de la siguiente forma, el pin SCL de

arduino (pin A5), este se conectara al pin SCL del Sensor, Mientras que el pin SDA (pin A4) de arduino se conectara al pin SDA del Sensor.

- Pines Tx, Rx.

Estas conexiones son del puerto serial, las cuales van conectadas al bluetooth de forma cruzada es decir, el pin TX de arduino se conecta al pin RX del Bluetooth y el pin RX de arduino se conecta al pin TX del bluetooth, se debe tener sumo cuidado con estas conexiones pues de conectarse mal se pueden dañar ambos dispositivos, (arduino y bluetooth).

El diagrama de conexión y de pistas se encuentra en el anexo 4.

Material para el diseño del dispositivo en acrílico:

- Lamina de Acrílico de 3 mm de grosor.
- Tira de velcro de 5 cm.
- Tira de gancho de 5 cm.
- Tira de elástico de 5 cm.
- Sujetador de 10 cm.
- Hule espuma.
- Pegamento.

Con el diseño previamente creado en algún software de CAD (SolidWorks, AutoCAD, Inventor, etc.) se procederá a cortar las piezas, una vez que se tengan listas se unirán para formar una caja, las tiras de velcro, gancho y elástico se unirán al sujetador para formar la correa que sostendrá el dispositivo, esta correa estará situada entre dos capas de hule espuma, en la parte superior de una capa de hule espuma se colocara la caja de acrílico previamente armada.



Imagen: 40 Sistema completo ensamblado.

II.iv.v Caracterización del dispositivo.

Con el prototipo ensamblado se procede a realizar una serie de pruebas para determinar si es posible medir la cantidad de grados que se desplaza el dispositivo en cada movimiento con un error mínimo, para este fin se diseñaron pirámides con diferentes ángulos de inclinación, así como un prisma rectangular para poder tomar las lecturas a diferentes grados y determinar la viabilidad de nuestro dispositivo. La primera lectura se realizó en un plano aparentemente sin inclinación, obteniendo lecturas de $X=87.91^\circ$, $Y=90.93^\circ$, $Z=0.40^\circ$ (imágenes 41 y 42), X y Y están cerca de los 90° debido a que el sensor permanece en posición Horizontal, mientras que el plano Z es perpendicular a ellos por tal motivo en esta posición permanece cercano a 0° , las lecturas esperadas son $X=90^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=0^\circ$ teniendo un error de, 2.09° , 0.93° , 0.40° para X, Y, Z respectivamente.

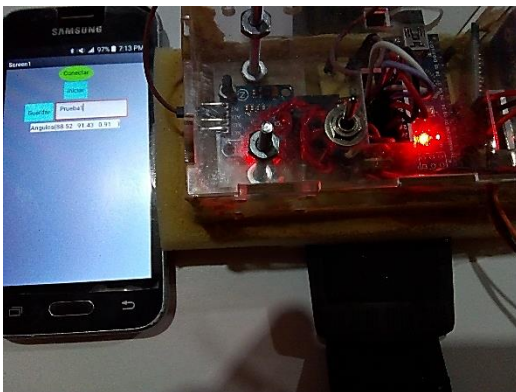


Imagen: 41 Dispositivo en un plano sin inclinación.



Imagen: 42 Resultados de lectura en plano sin inclinación.

La segunda lectura se realizó con una inclinación de aproximadamente 5° , arrojando las siguientes lecturas, ángulo en X, 83.31° , ángulo en Y, 92.39° , ángulo en Z, 5.09° (imágenes 43 y 44), las lecturas esperadas son $X=85^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=5^\circ$ teniendo un margen de error para esta lectura de 1.69° para X, 2.39° para Y, 0.09° para Z.

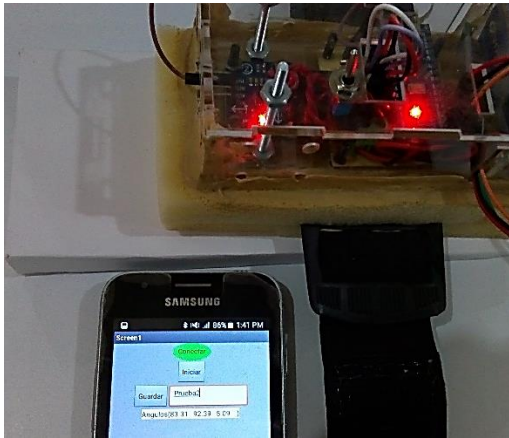


Imagen: 43 Plano de inclinación 5°.

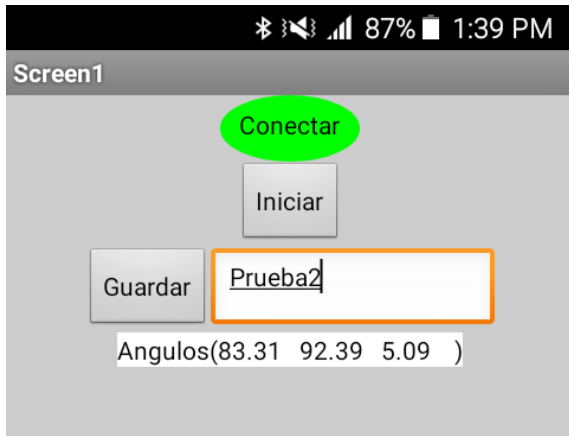


Imagen: 44 Resulta de la segunda lectura.

La tercera lectura fue tomada aproximadamente a 15°, de la cual se obtuvieron los siguientes resultados ángulos en $X=73.04^\circ$, $Y=92.85^\circ$, $Z=15.13^\circ$ (imagen 45), los resultados esperados son $X=75^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=15^\circ$, teniendo un error de 1.96° , 2.85° 0.13° para X, Y, Z respectivamente.

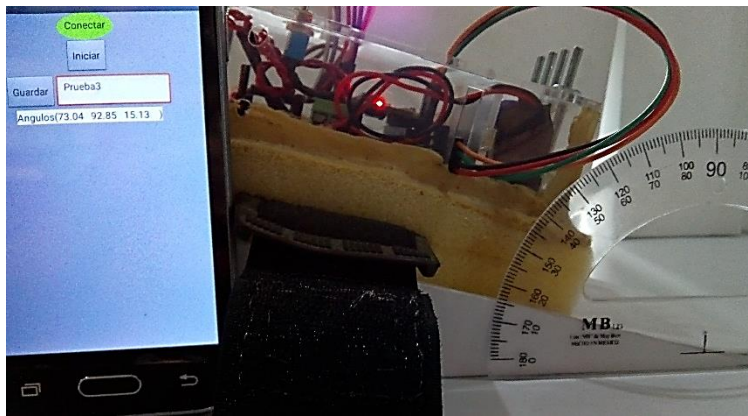


Imagen: 45 Dispositivo en un plano de inclinación a 15°.

La cuarta lectura fue tomada aproximadamente a 25°, obteniendo los siguientes datos, ángulos en $X=62.77^\circ$, $Y=91.95^\circ$, $Z=25.26^\circ$ (imagen 46), los resultados esperados para esta medición son, $X=65^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=25^\circ$, teniendo un error de 2.23° , 1.95° , 0.26° , para X, Y, Z respectivamente.

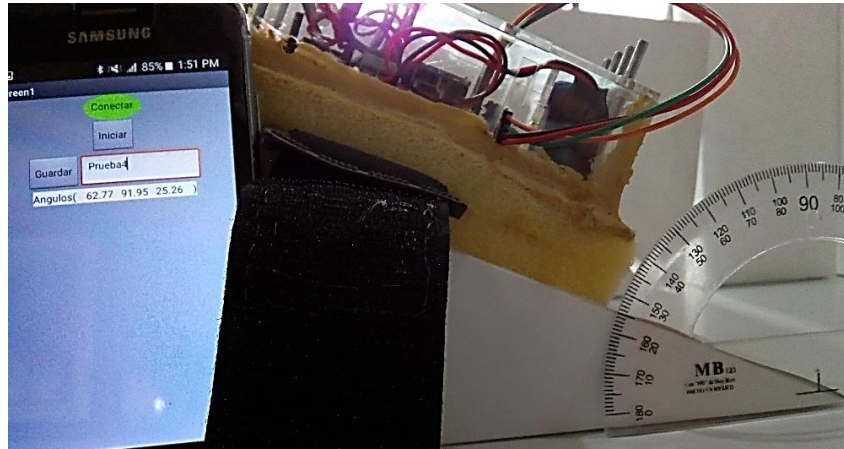


Imagen: 46 Dispositivo en un plano de inclinación a 25°.

La quinta lectura fue tomada aproximadamente a 35°, obteniendo los siguientes datos, ángulos en $X=53.15^\circ$, $Y=91.13^\circ$, $Z=34.81^\circ$ (imagen 47), los resultados esperados para esta medición son, $X=55^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=35^\circ$, teniendo un error de 1.85° , 1.13° , 0.19° , para X, Y, Z respectivamente.

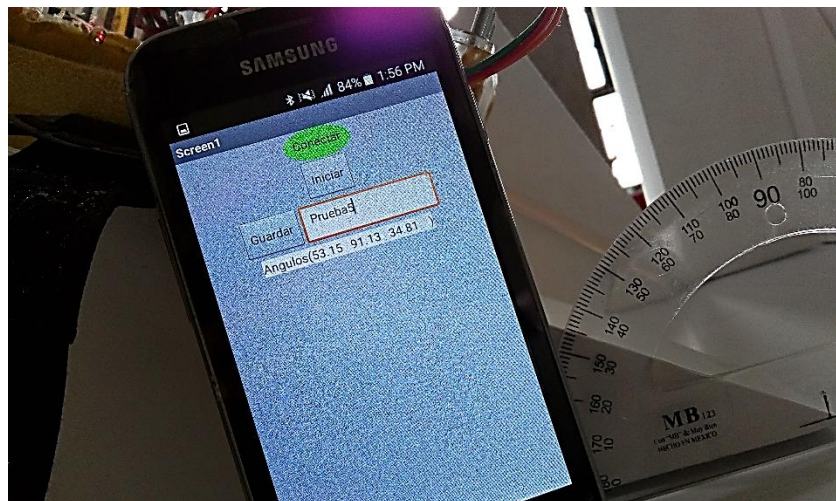


Imagen: 47 Dispositivo en un plano de inclinación a 35°.

La sexta lectura fue tomada aproximadamente a 45°, obteniendo los siguientes datos, ángulos en $X=41.83^\circ$, $Y=91.23^\circ$, $Z=46.17^\circ$ (imagen 48), los resultados esperados para esta medición son, $X=45^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=45^\circ$, teniendo un error de 3.17° , 1.23° , 1.17° , para X, Y, Z respectivamente.

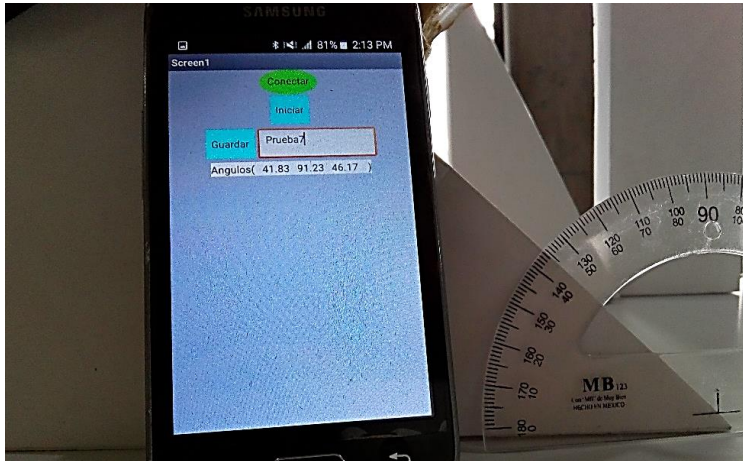


Imagen: 48 Dispositivo en un plano de inclinación a 45°.

La última lectura fue tomada en posición vertical aproximadamente a 90°, sin embargo debido al peso del dispositivo y el peso menor de la superficie a la que estaba sujeto se tuvo una pequeña inclinación, por lo cual se obtuvieron los siguientes datos, ángulos en $X=0.65^\circ$, $Y=90.64^\circ$, $Z=87.29^\circ$ (imagen 49), los resultados esperados para esta medición son, $X=0^\circ$, $Y=90^\circ$, $Z=90^\circ$, teniendo un error de 0.65° , 0.64° , 2.71° , para X, Y, Z respectivamente.

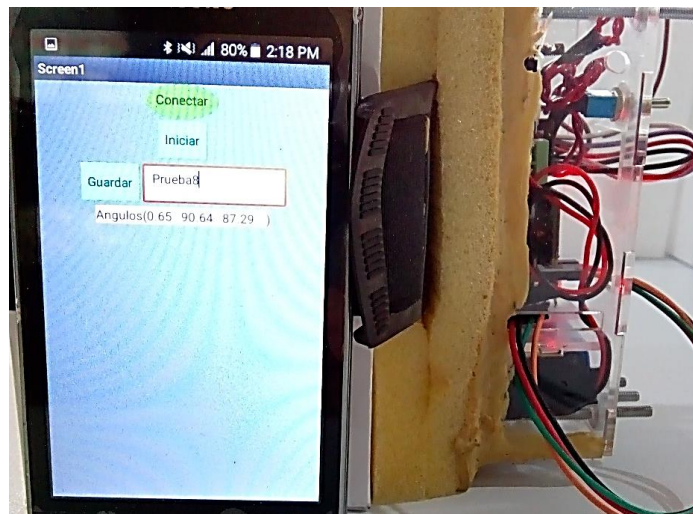


Imagen: 49 Dispositivo en posición vertical (90°).

Algunos factores que pudieron influir en las mediciones son los siguientes:

- Las pirámides están fabricadas de cartulina y de forma manual por tal motivo se puede tener un error en cada una de ellas, además es un material que tiende a deformarse ligeramente cuando se coloca, peso encima del mismo.
- El dispositivo fue ensamblado manualmente por lo cual puede tener una pequeña elevación que afecta las lecturas.

Sin embargo dichos factores no afectan el funcionamiento del dispositivo pudiendo corroborarse que en efecto al ir variando la inclinación, los ángulos van cambiando acorde al movimiento, también se observa que la inclinación con respecto al ángulo “Y” es prácticamente nula, esto es debido a la forma en que se colocó el dispositivo y la forma en la que se mueve, provocando que los cambios solo sean en el plano “X”, “Z”, a continuación se muestran las tablas con los resultados obtenidos.

Resultados del ángulo X			
Numero de prueba	Medición esperada en grados	Medición obtenida en grados	Rango de error absoluto en grados
1	90	97.91	2.09
2	85	83.31	1.69
3	75	73.04	1.96
4	65	62.77	2.23
5	55	53.15	1.85
6	45	41.83	3.17
7	0	0.65	0.65

Tabla 1 Resultados de las mediciones de calibración para el ángulo X.

Resultados del ángulo Y			
Numero de prueba	Medición esperada en grados	Medición obtenida en grados	Rango de error absoluto en grados
1	90	90.93	0.93
2	90	92.39	2.39
3	90	92.85	2.85
4	90	91.95	1.95
5	90	91.13	1.13
6	90	91.23	1.23
7	90	90.64	0.64

Tabla 2 Resultados de las mediciones de calibración para el ángulo Y.

Resultados del ángulo Z			
Numero de prueba	Medición esperada en grados	Medición obtenida en grados	Rango de error absoluto en grados
1	0	0.40	0.40
2	5	5.09	0.09
3	15	15.13	0.13
4	25	25.26	0.26
5	35	34.81	0.19
6	45	46.17	1.17
7	90	87.29	2.71

Tabla 3 Resultados de las mediciones de calibración para el ángulo Z.

Ecuación para calcular el promedio de error en cada ángulo.

$$p = \frac{\sum x_i}{N} \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 10}$$

Dónde: p=promedio; N=número de elementos; $\sum x_i$ =Sumatoria de los resultados.

Promedio de error en grados para X	Promedio de error en grados para Y	Promedio de error en grados para Z
1.9485	1.5885	0.7071

Tabla 4 Promedios de error para las lecturas en X, Y, Z.

III. Resultados.

Con el dispositivo terminado y teniendo la seguridad de su funcionamiento se procedió a realizar las mediciones reales, es decir que las personas realizaron los movimientos mencionados en los apartados anteriores, se realizaron diferentes lecturas tanto del brazo derecho como del izquierdo, pero se seleccionaron solo los dos más relevantes para plasmar su análisis en este trabajo.

La primera persona es un Hombre de 28 años (de ahora en adelante paciente 1) sin lesión de ningún tipo en el brazo, se le pidió realizar primeramente el movimiento de escalerilla de dedos, obteniendo los siguientes datos.

Tiempo en intervalos de 100 milisegundos.	X	Y	Z
1	13.18	16.11	4.85
2	24.20	27.64	8.81
3	31.93	38.50	11.45
4	39.38	46.93	15.05
5	45.16	55.77	17.18
6	50.64	62.51	16.15
7	56.10	66.38	15.09
8	62.94	68.92	15.41
9	66.40	72.45	13.88
10	69.97	71.82	16.04
11	71.24	73.91	15.47
12	74.11	73.17	16.06
13	75.92	74.63	14.74
14	78.68	74.60	16.34
15	81.88	73.93	17.09
16	83.34	74.30	15.55
17	86.20	71.62	18.10
18	86.30	73.56	16.27
19	90.88	73.20	17.07
20	92.71	72.66	17.58
21	93.31	72.22	17.70
22	95.74	70.64	20.32
23	95.72	71.16	20.49
24	99.67	71.13	23.05
25	99.02	71.80	21.70
26	101.21	70.12	22.45
27	105.12	68.55	25.21
28	105.61	69.18	26.55
29	109.33	70.35	28.87
30	110.34	69.02	29.15
31	111.72	67.53	31.08
32	112.52	66.22	33.96
33	112.65	65.35	35.48

34	116.27	66.23	36.24
35	118.71	65.78	36.26
36	120.27	64.21	36.45
37	120.48	62.29	38.47
38	120.41	62.41	40.14
39	122.11	63.66	40.75
40	123.75	65.21	41.18
41	124.13	64.71	40.96
42	125.54	63.34	42.75
43	126.46	62.23	44.98
44	126.03	63.03	46.38
45	127.62	64.55	47.21
46	128.41	63.91	47.60
47	130.03	63.47	47.87
48	129.66	62.82	49.36
49	131.18	62.92	50.29
50	132.30	64.19	50.51

Tabla 5 extracto de lecturas del movimiento escalerilla de dedos del paciente 1.

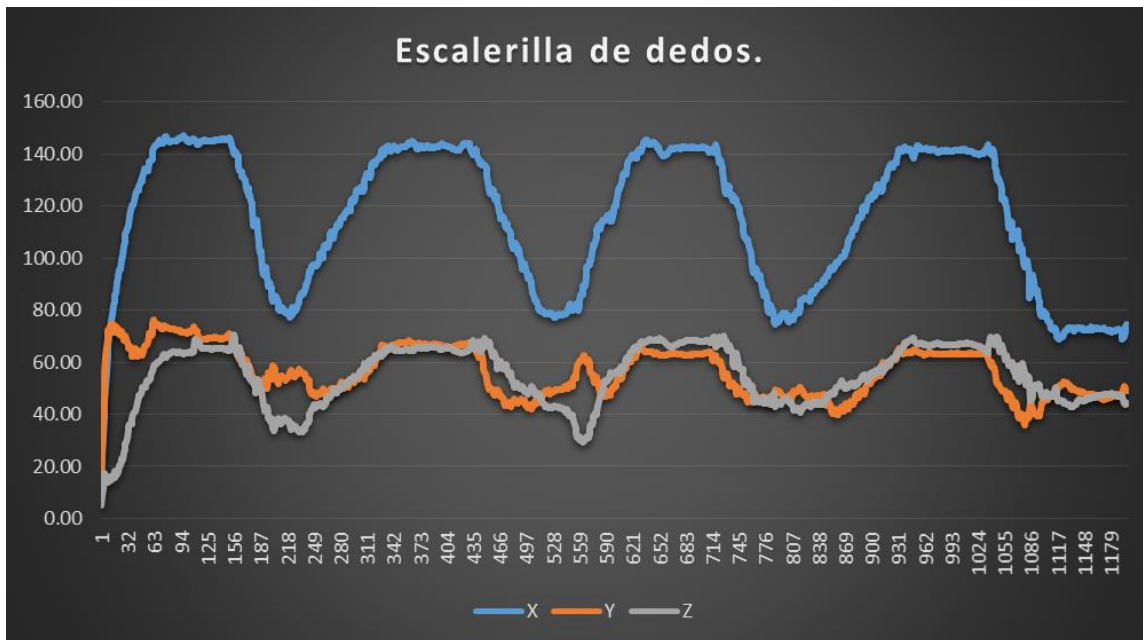
X	Y	Z
147.16	76.11	70.65
146.71	75.19	70.20
146.51	74.63	69.75
146.50	74.63	69.72
146.41	74.60	69.71

Tabla 6 Rango máximo de movilidad Escalerilla de dedos paciente 1.

X	Y	Z
13.18	16.11	4.85
24.20	27.64	8.81
31.93	35.66	11.45
39.38	36.95	13.88
45.16	38.17	14.74

Tabla 7 Rango mínimo de movilidad Escalerilla de dedos paciente 1.

Terminado el movimiento se procedió a obtener su gráfica la cual se muestra a continuación. Los intervalos de tiempo para todas las gráficas se muestran en el eje horizontal y son de 100 milisegundos cada uno, mientras que el eje vertical muestra el rango de movilidad en grados para los tres ejes (X, Y, Z).



Gráfica 1 Resultados del movimiento escalerilla de dedos para el brazo izquierdo del paciente 1.

La gráfica nos muestra el recorrido que realizó el brazo izquierdo del paciente, se puede notar intervalos repetitivos en ascenso y descenso de forma paulatina con un rango máximo de movilidad de $X=147.16^\circ$, $Y=76.11^\circ$, $Z=70.65^\circ$, esto quiere decir que el brazo se encuentra en una posición por encima de la cabeza lo que a su vez nos indica que el ejercicio se está realizando de manera correcta.

El segundo movimiento realizado por el paciente 1 fue Abducción – Aducción del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tiempo en intervalos de 100 milisegundos	X	Y	Z
1.00	-0.27	15.63	18.32
2.00	-1.61	28.61	32.04
3.00	-4.59	39.99	44.02
4.00	-0.05	46.92	51.97
5.00	2.75	53.18	57.55
6.00	5.65	57.96	65.78
7.00	3.92	60.88	71.67
8.00	2.76	65.76	75.09
9.00	4.81	69.18	78.12
10.00	5.08	71.68	80.56
11.00	4.73	73.81	82.29
12.00	4.74	75.44	83.55
13.00	1.98	77.31	84.06
14.00	-2.36	80.41	83.86
15.00	-2.41	81.51	84.06
16.00	-1.03	82.92	83.60
17.00	-0.94	82.95	83.21
18.00	2.25	84.73	82.65
19.00	7.38	87.11	81.35
20.00	8.67	89.69	79.87

21.00	11.90	91.91	77.63
22.00	16.02	93.20	74.68
23.00	20.17	94.08	71.28
24.00	23.03	94.97	67.91
25.00	27.72	94.93	64.57
26.00	31.95	94.38	60.52
27.00	36.19	92.73	56.97
28.00	39.72	90.83	54.22
29.00	42.89	89.49	51.40
30.00	45.57	87.76	48.75
31.00	48.63	85.23	46.50
32.00	51.81	83.66	43.58
33.00	54.54	81.95	40.85
34.00	57.66	79.68	38.38
35.00	60.01	77.91	36.51
36.00	63.83	76.01	34.74
37.00	66.42	74.00	33.05
38.00	70.22	71.14	32.10
39.00	72.59	68.51	31.87
40.00	75.21	66.81	31.11
41.00	77.91	65.41	30.56
42.00	82.95	63.56	30.58
43.00	86.17	61.65	31.63
44.00	89.45	59.37	33.01
45.00	91.62	56.43	34.85
46.00	93.93	54.09	36.63
47.00	95.76	52.42	38.24
48.00	98.51	50.99	40.23
49.00	100.22	50.07	41.93
50.00	102.00	48.91	43.17

Tabla 8 extracto de lecturas del movimiento Abducción – Aducción del paciente 1.

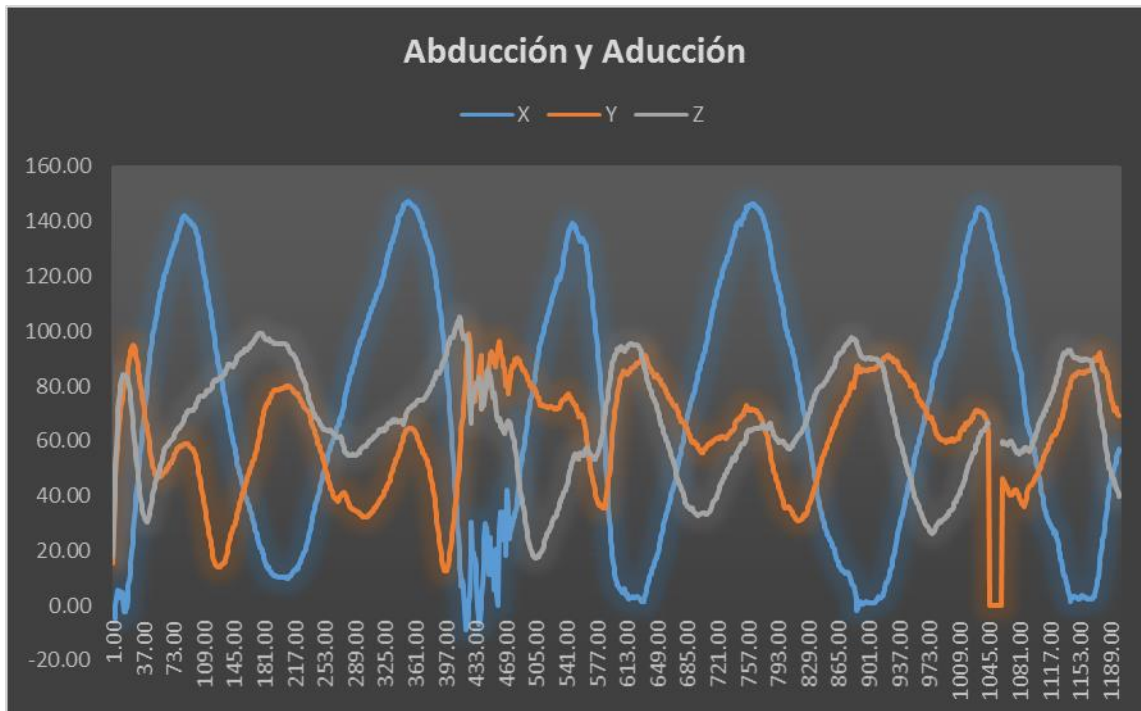
X	Y	Z
-8.65	12.46	17.09
-8.31	12.53	17.21
-7.52	12.71	17.24
-6.77	13.20	17.30
-5.07	13.32	17.73

Tabla 9 Rango mínimo de movilidad Abducción – Aducción paciente 1.

X	Y	Z
147.35	98.99	105.04
146.99	96.37	104.58
146.79	96.32	103.90
146.77	96.15	103.76
146.76	94.97	102.95

Tabla 10 Rango máximo de movilidad Abducción – Aducción paciente 1.

Una vez terminado el movimiento se procedió a obtener su grafica correspondiente.



Gráfica 2 Resultados del movimiento Abducción – Aducción para el brazo izquierdo del paciente 1.

En esta grafica se observa como el movimiento en X genera una señal parecida a una senoide, esto debido a que va desde el reposo plegado al cuerpo hasta por encima de la cabeza, los demás ángulos siguen trayectorias similares debido a que el brazo tiene un desplazamiento menor en esos planos. También podemos observar variaciones bruscas entre los 397 y 505 mili segundos, pues en ese intervalo se le pidió al paciente que moviera el brazo de forma más rápida con el fin de captar este tipo de movimiento y determinar si el dispositivo responde a cambios bruscos de posición.

El último movimiento que se realizó por parte del paciente 1 fue el de Flexión – Extensión del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tiempo en intervalos de 100 milisegundos	X	Y	Z
1.00	2.85	15.13	13.96
2.00	6.75	28.79	26.05
3.00	8.14	37.78	37.57
4.00	9.48	46.52	44.22
5.00	2.96	54.37	54.21
6.00	3.82	64.00	62.26
7.00	6.84	74.17	67.76
8.00	9.15	79.97	67.77
9.00	10.09	82.59	65.81
10.00	9.22	84.67	64.17
11.00	10.41	87.36	63.71
12.00	12.06	88.36	62.25
13.00	13.43	88.40	61.93
14.00	11.68	87.63	62.26

15.00	7.07	87.41	63.40
16.00	2.22	86.69	66.10
17.00	-1.68	87.17	67.49
18.00	-2.65	84.93	67.80
19.00	-5.83	82.74	69.87
20.00	-6.02	82.20	71.75
21.00	-4.09	82.13	72.75
22.00	0.73	81.55	72.37
23.00	5.29	78.42	71.58
24.00	9.33	75.70	70.66
25.00	15.06	71.23	70.61
26.00	20.83	65.73	70.95
27.00	25.18	61.19	71.62
28.00	29.05	57.00	72.54
29.00	33.69	52.33	73.32
30.00	38.41	47.58	74.35
31.00	42.44	42.95	75.59
32.00	47.41	38.80	76.50
33.00	51.48	34.70	76.88
34.00	56.23	30.97	77.37
35.00	60.72	26.84	77.21
36.00	64.81	22.86	76.99
37.00	68.89	19.67	76.64
38.00	74.06	18.07	75.99
39.00	77.66	18.27	75.26
40.00	83.08	18.75	75.00
41.00	87.63	19.89	75.05
42.00	92.45	21.95	74.93
43.00	96.89	25.27	74.89
44.00	101.54	28.34	75.06
45.00	105.47	31.89	75.67
46.00	109.66	35.23	76.34
47.00	113.19	38.33	76.52
48.00	117.31	42.83	78.63
49.00	122.12	46.00	80.99
50.00	125.66	47.30	83.78

Tabla 11 extracto de lecturas del movimiento Flexión – Extensión del paciente 1.

X	Y	Z
-22.17	3.53	13.96
-18.42	3.55	26.05
-18.41	3.82	37.57
-10.20	4.08	41.62
-7.70	4.38	41.74

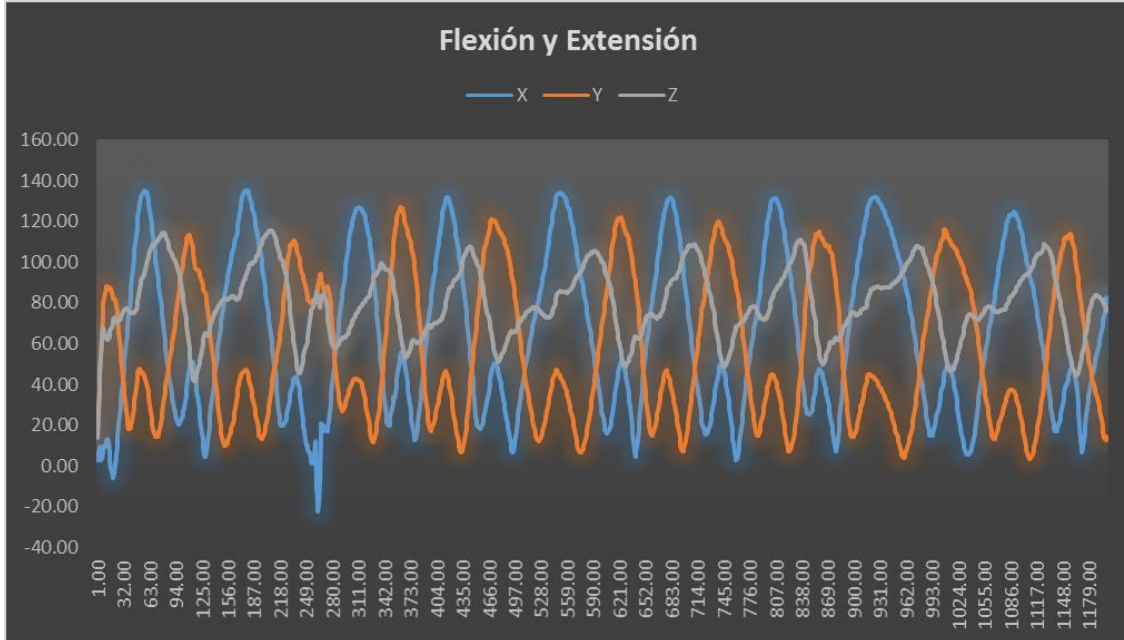
Tabla 12 Rango mínimo de movilidad Flexión – Extensión paciente 1.

X	Y	Z
135.48	127.32	115.71
135.18	127.22	115.66
135.16	126.51	115.56
134.89	126.42	115.49

134.78	125.06	115.38
--------	--------	--------

Tabla 13 Rango máximo de movilidad Flexión – Extensión paciente 1.

Con los datos obtenidos se procedió a graficar el último movimiento realizado por el paciente 1.



Gráfica 3 Resultados del movimiento Flexión – Extensión para el brazo izquierdo del paciente 1.

La última grafica del paciente 1 nos muestra inclusive valores negativos los cuales se deben a que el brazo pasa por la parte posterior del cuerpo haciendo que el movimiento en X exceda los 180 grados, de ahí estos datos.

El segundo paciente una mujer de 41 años de edad (de ahora en adelante paciente 2) diagnosticada con pinzamiento subacromial y tendinitis, realizo los mismos ejercicios obteniendo los siguientes datos para el primer ejercicio, Escalerilla de dedos.

Tiempo en intervalos de 100 milisegundos	X	Y	Z
1.00	10.04	11.41	10.91
2.00	18.21	20.50	19.78
3.00	24.62	27.73	26.75
4.00	29.95	33.60	32.37
5.00	33.96	38.23	36.74
6.00	37.73	42.23	39.91
7.00	40.92	45.87	41.89
8.00	43.63	48.35	43.64
9.00	45.81	49.94	44.78
10.00	47.89	50.80	46.34
11.00	49.30	51.53	47.60
12.00	50.62	52.03	48.57
13.00	51.64	52.34	48.83

14.00	52.84	52.99	49.42
15.00	53.42	53.59	49.83
16.00	54.18	54.03	49.87
17.00	54.99	54.48	49.97
18.00	55.81	54.66	49.91
19.00	56.83	54.78	49.73
20.00	57.56	54.62	49.52
21.00	58.01	54.21	49.34
22.00	58.43	54.02	49.13
23.00	58.99	54.05	49.01
24.00	59.57	53.87	48.78
25.00	60.36	53.69	48.41
26.00	60.86	53.21	48.33
27.00	61.43	52.62	48.38
28.00	62.05	52.50	48.62
29.00	62.90	52.49	48.61
30.00	63.05	52.98	48.28
31.00	63.48	52.52	48.04
32.00	63.92	52.42	47.57
33.00	64.69	52.30	46.98
34.00	65.13	52.19	46.42
35.00	65.99	51.78	46.14
36.00	66.55	51.78	46.05
37.00	67.07	51.73	45.79
38.00	67.83	51.73	45.37
39.00	68.26	51.97	44.70
40.00	68.66	52.14	44.45
41.00	69.54	52.34	43.98
42.00	70.30	52.38	43.52
43.00	71.13	52.03	43.47
44.00	71.47	52.06	43.35
45.00	71.41	52.51	42.86
46.00	72.02	52.79	42.10
47.00	72.80	52.99	41.29
48.00	73.56	52.78	41.47
49.00	74.31	53.11	40.77
50.00	74.99	53.15	40.39

Tabla 14 extracto de lecturas del movimiento Escalerilla de dedos del paciente 2.

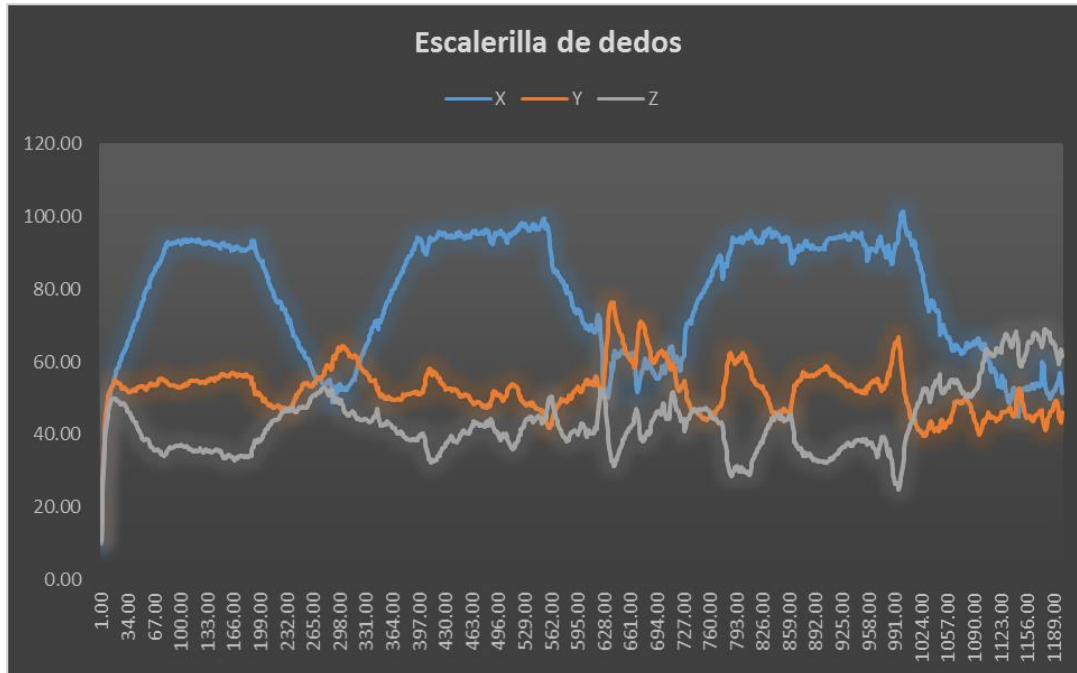
X	Y	Z
10.04	11.41	10.91
18.21	20.50	19.78
24.62	27.73	24.87
29.95	33.60	25.67
33.96	38.23	25.76

Tabla 15 Rango mínimo de movilidad Escalerilla de dedos paciente 2.

X	Y	Z
101.30	76.46	69.10
101.05	76.30	68.91
100.46	76.14	68.56
99.75	75.73	68.37

99.42	75.51	68.20
-------	-------	-------

Tabla 16 Rango máximo de movilidad Escalerilla de dedos paciente 2



Gráfica 4 Resultados del movimiento escalerilla de dedos para el brazo izquierdo del paciente 2.

En el caso del paciente 2 para este movimiento los rangos de movilidad máximos son; $X=101.30^\circ$, $Y=76.46^\circ$, $Z=69.10^\circ$, lo que indica que el brazo no logro alcanzar una altura sobre la cabeza, por lo cual el movimiento del brazo no es óptimo.

Terminado este ejercicio el paciente 2 procedió a realizar el siguiente movimiento Abducción – Aducción, del cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tiempo en intervalos de 100 milisegundos	X	Y	Z
1.00	79.65	48.15	58.67
2.00	61.87	54.92	64.97
3.00	51.65	60.80	68.74
4.00	42.17	64.51	72.67
5.00	34.77	67.68	75.61
6.00	31.12	71.24	78.52
7.00	30.48	75.26	79.87
8.00	29.19	78.30	81.09
9.00	27.31	80.62	79.22
10.00	27.17	85.39	76.86
11.00	28.98	86.23	74.26
12.00	29.51	83.22	72.20
13.00	27.43	77.35	72.88
14.00	24.95	73.65	74.59
15.00	22.33	73.52	74.95
16.00	22.18	76.47	74.55
17.00	22.51	79.30	73.65
18.00	23.68	80.89	72.04

19.00	24.77	81.29	70.47
20.00	26.07	81.63	68.04
21.00	28.74	80.88	65.40
22.00	29.99	80.36	63.25
23.00	33.12	78.88	61.88
24.00	33.69	78.15	60.35
25.00	36.43	76.34	59.48
26.00	37.54	74.54	58.93
27.00	38.54	73.68	58.43
28.00	39.31	73.00	57.36
29.00	40.32	71.78	56.70
30.00	41.02	70.98	56.02
31.00	41.41	69.30	56.11
32.00	41.84	63.39	58.44
33.00	38.34	56.71	61.63
34.00	33.96	54.56	65.64
35.00	29.01	55.58	67.72
36.00	28.11	57.81	71.34
37.00	25.59	61.56	74.05
38.00	17.92	64.88	76.67
39.00	17.10	66.35	78.81
40.00	14.18	68.88	80.35
41.00	12.34	72.88	81.28
42.00	13.08	79.25	79.78
43.00	15.36	81.93	77.92
44.00	16.79	83.01	76.86
45.00	17.75	82.05	75.89
46.00	18.71	81.71	74.36
47.00	20.01	81.35	72.67
48.00	21.25	81.25	71.13
49.00	22.96	80.72	69.66
50.00	24.76	80.34	68.17

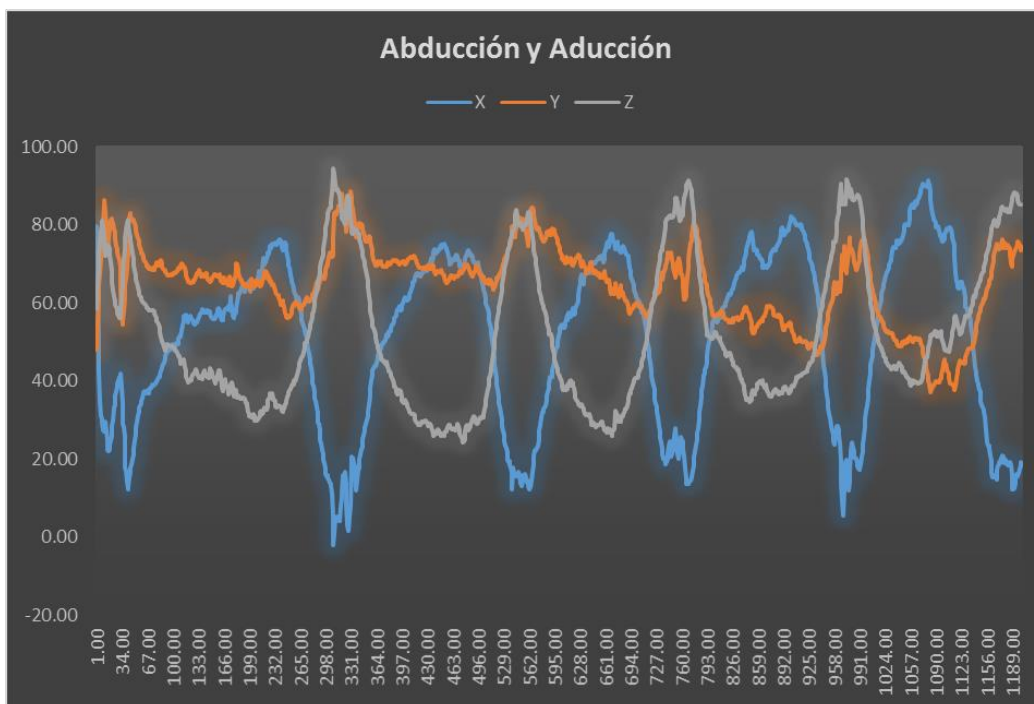
Tabla 17 extracto de lecturas del movimiento Abducción – Aducción del paciente 2.

X	Y	Z
-1.91	37.15	24.23
0.81	37.39	24.24
1.54	37.83	24.47
3.11	37.94	25.12
4.19	38.19	25.79

Tabla 18 Rango mínimo de movilidad Abducción – Aducción paciente 2.

X	Y	Z
91.34	88.52	94.54
90.47	87.99	93.20
90.42	86.87	93.15
90.40	86.23	91.68
90.32	86.13	91.42

Tabla 19 Rango máximo de movilidad Abducción – Aducción paciente 2.



Gráfica 5 Resultados del movimiento Abducción – Aducción para el brazo izquierdo del paciente 2.

En el caso de este movimiento se observa que el movimiento en todos los ángulos rara vez excede los 90°, esto nos indica que el brazo no puede sobrepasar el nivel del hombro del paciente, quedando siempre por debajo de los 90°.

El último movimiento realizado por el paciente 2 fue Flexión – Extensión, del cual se obtuvieron los siguientes datos.

Tiempo en intervalos de 100 milisegundos	X	Y	Z
1.00	68.74	57.87	50.54
2.00	57.83	61.97	57.66
3.00	47.78	66.21	63.24
4.00	37.02	70.26	68.82
5.00	29.63	73.41	72.18
6.00	23.59	76.29	74.77
7.00	20.08	77.54	75.64
8.00	12.67	80.66	74.92
9.00	11.08	82.12	73.96
10.00	9.77	82.08	72.47
11.00	8.93	81.35	71.17
12.00	10.02	80.43	69.44
13.00	12.75	80.02	67.88
14.00	15.33	79.64	66.50
15.00	18.52	78.89	65.68
16.00	24.08	77.23	64.73
17.00	27.77	74.54	64.64
18.00	29.65	71.93	64.51
19.00	32.63	69.02	64.53
20.00	34.73	66.88	64.29

21.00	38.46	65.74	63.57
22.00	39.07	63.73	63.67
23.00	42.68	62.98	62.56
24.00	43.80	60.62	62.25
25.00	48.55	57.03	61.84
26.00	49.49	54.19	62.45
27.00	51.63	51.70	63.19
28.00	52.92	50.03	63.79
29.00	54.77	48.30	64.24
30.00	55.22	46.60	64.76
31.00	57.19	43.98	65.46
32.00	58.53	42.10	65.97
33.00	59.64	40.66	65.97
34.00	60.35	39.55	66.31
35.00	60.06	38.11	67.30
36.00	61.03	36.79	67.66
37.00	62.42	36.02	67.48
38.00	63.37	35.53	67.17
39.00	64.07	35.06	67.00
40.00	65.45	34.07	66.79
41.00	66.18	33.12	66.27
42.00	66.61	31.77	66.15
43.00	67.68	30.51	66.03
44.00	68.49	29.77	65.96
45.00	69.75	28.94	66.26
46.00	70.16	28.29	66.61
47.00	70.55	27.73	66.91
48.00	71.03	27.46	67.02
49.00	71.34	27.61	66.73
50.00	72.14	27.54	66.69

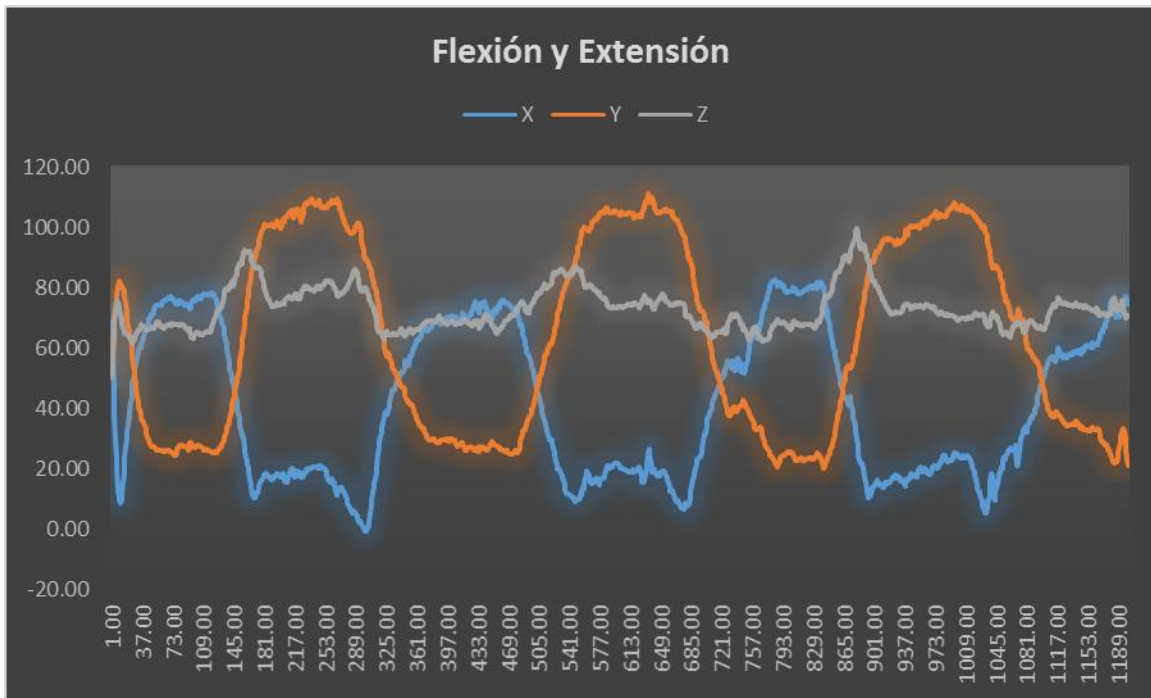
Tabla 20 extracto de lecturas del movimiento Flexión – Extensión del paciente 2.

X	Y	Z
-0.82	20.19	50.54
-0.60	20.71	57.66
-0.41	20.96	61.84
0.16	20.97	62.14
0.56	21.14	62.25

Tabla 21 Rango mínimo de movilidad Flexión – Extensión paciente 2.

X	Y	Z
82.51	110.98	99.76
82.34	109.89	98.67
82.25	109.67	98.14
82.11	109.55	96.57
82.11	109.63	96.85

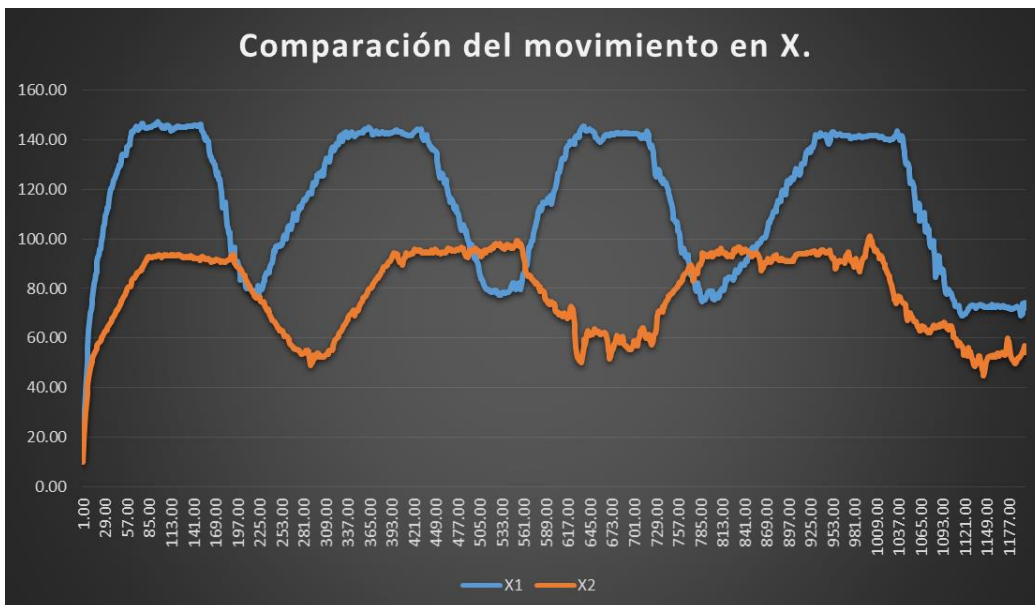
Tabla 22 Rango máximo de movilidad Flexión – Extensión paciente 2.



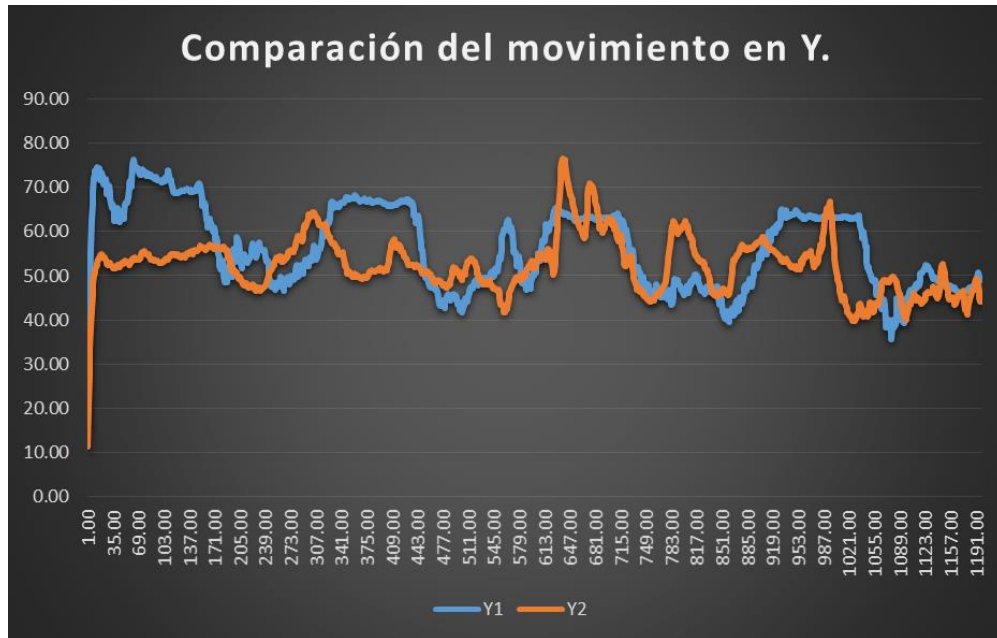
Gráfica 6 Resultados del movimiento Flexión – Extensión para el brazo izquierdo del paciente 2.

En este último movimiento el paciente no fue capaz de realizar un movimiento por detrás de su cuerpo ni por el frente más allá de su cabeza.

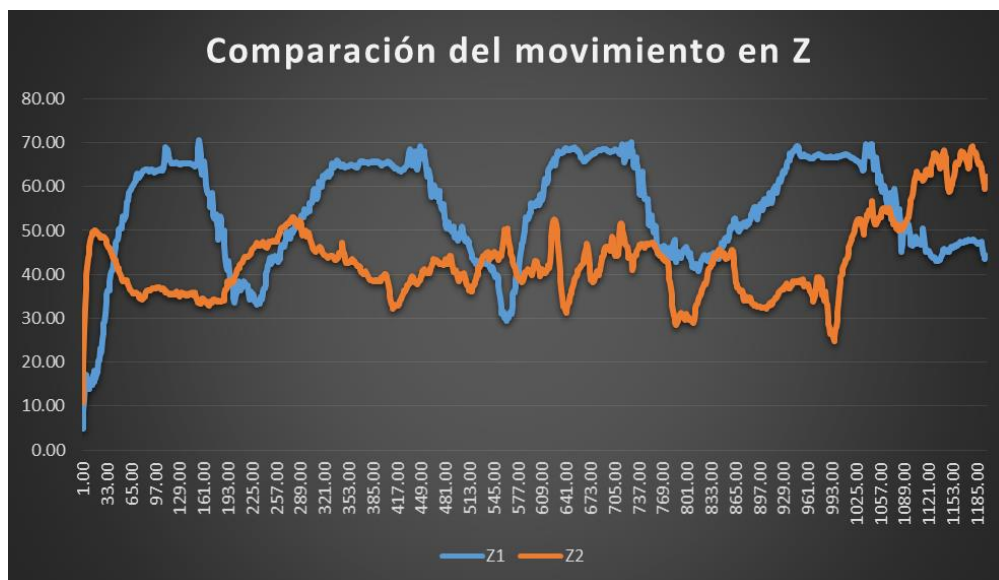
Por último se procedió a comparar los datos obtenidos de ambos pacientes, iniciando con el movimiento de escalerilla de dedos.



Gráfica 7 Comparación entre el movimiento escalerilla de dedos entre el paciente 1 y 2.



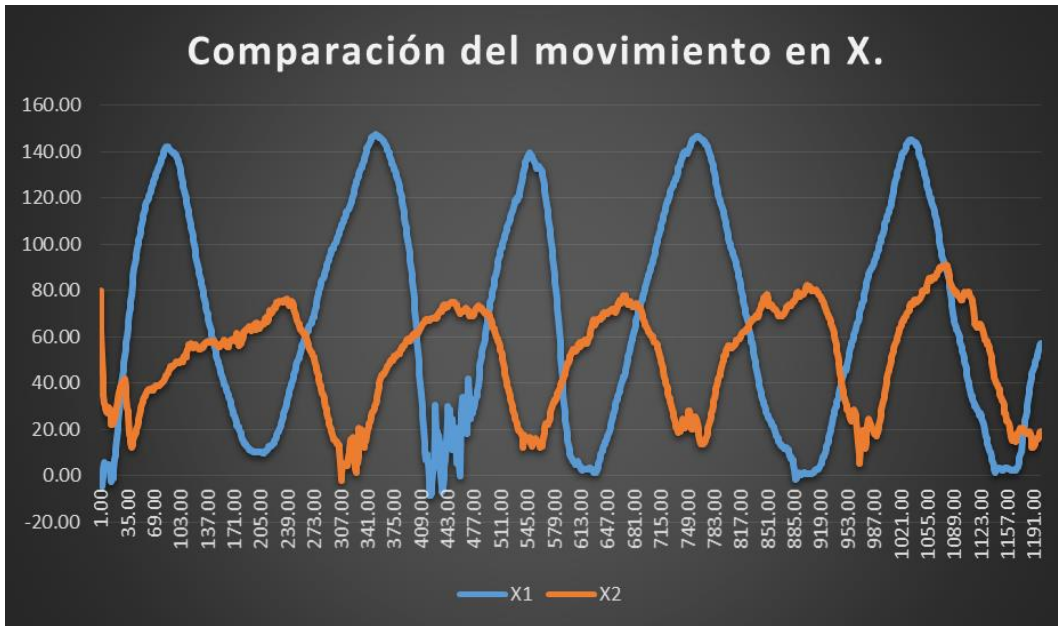
Gráfica 8 Comparación entre el movimiento escalerilla de dedos entre el paciente 1 y 2.



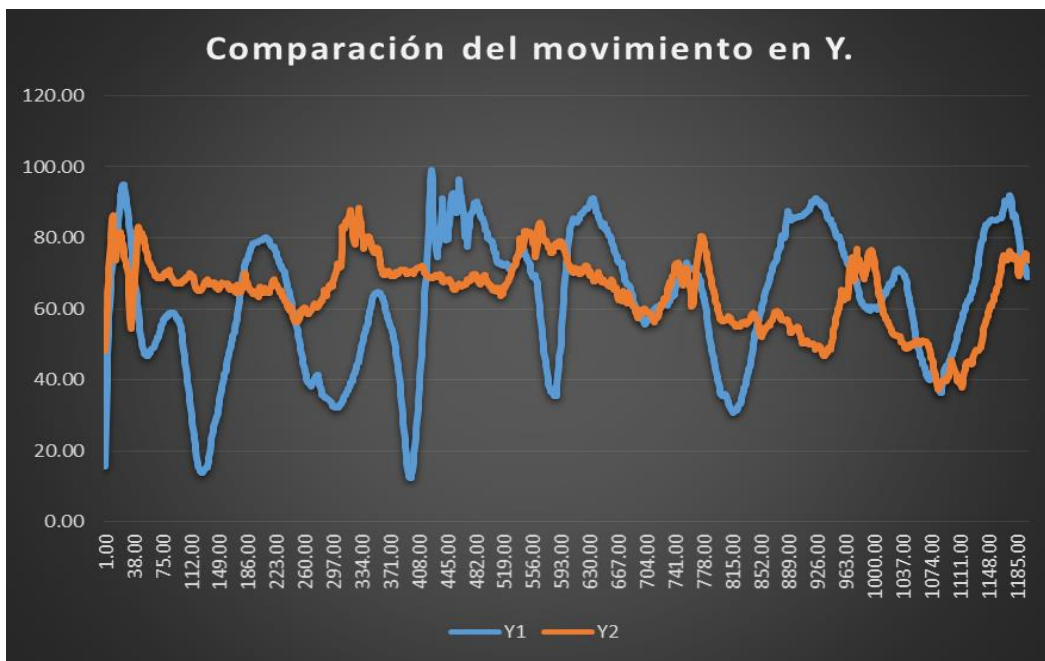
Gráfica 9 Comparación entre el movimiento escalerilla de dedos entre el paciente 1 y 2.

Al comparar los movimientos de ambos pacientes en el ángulo X (plano en el cual se está desplazando el brazo) notamos una deficiencia en el movimiento del paciente 2 en más de 40° , llegando su movilidad máxima cerca de los 100° y su movilidad mínima cerca de los 60° , también se observa un mayor tiempo de ejecución de cada movimiento, todo esto nos dice que el paciente 2 tiene una movilidad muy limitada y de cierto modo dolorosa lo cual le impide elevar su brazo de manera paulatina y constante, además del impedimento de mantenerlo a 90° por lo cual tiende a bajar su brazo para descansar entre cada repetición.

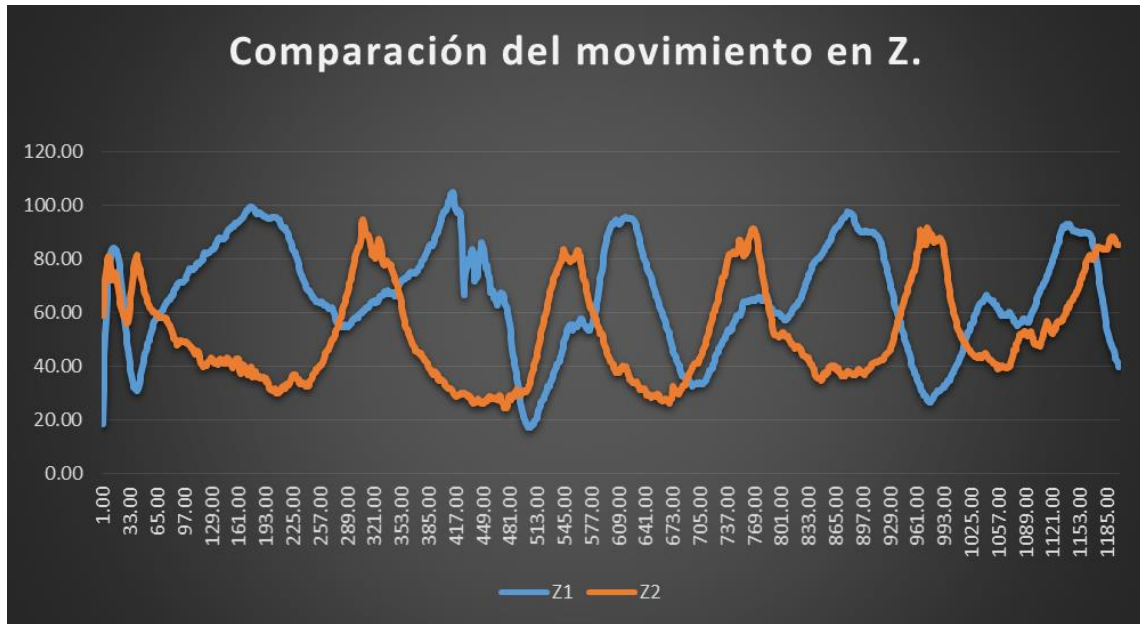
Las siguientes graficas corresponden al movimiento de Abducción – Aducción.



Gráfica 10 Comparación entre el movimiento Abducción – Aducción entre el paciente 1 y 2.



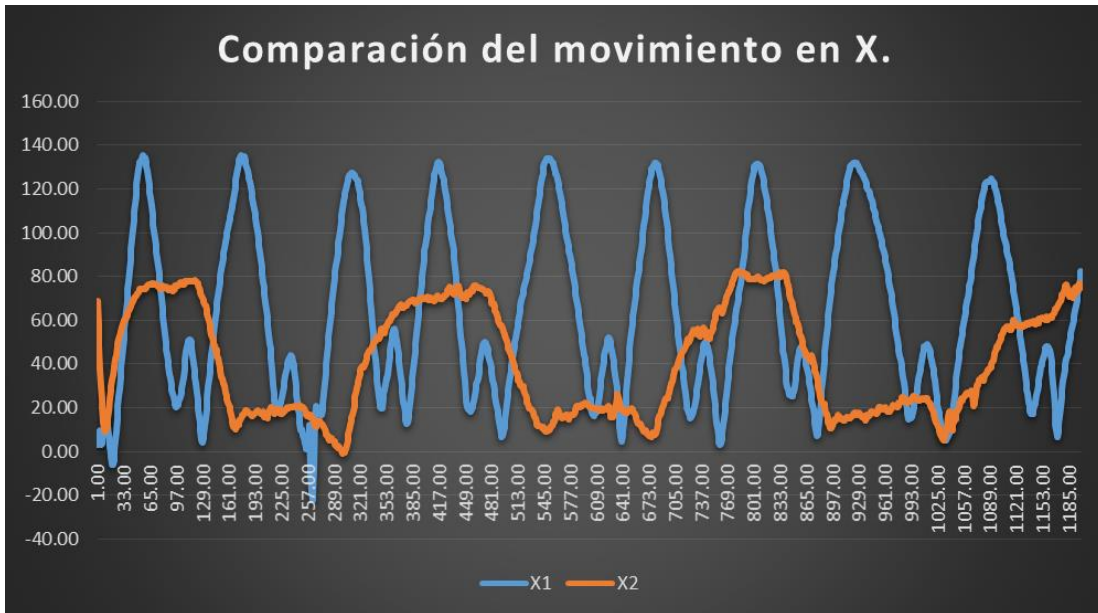
Gráfica 11 Comparación entre el movimiento Abducción – Aducción entre el paciente 1 y 2.



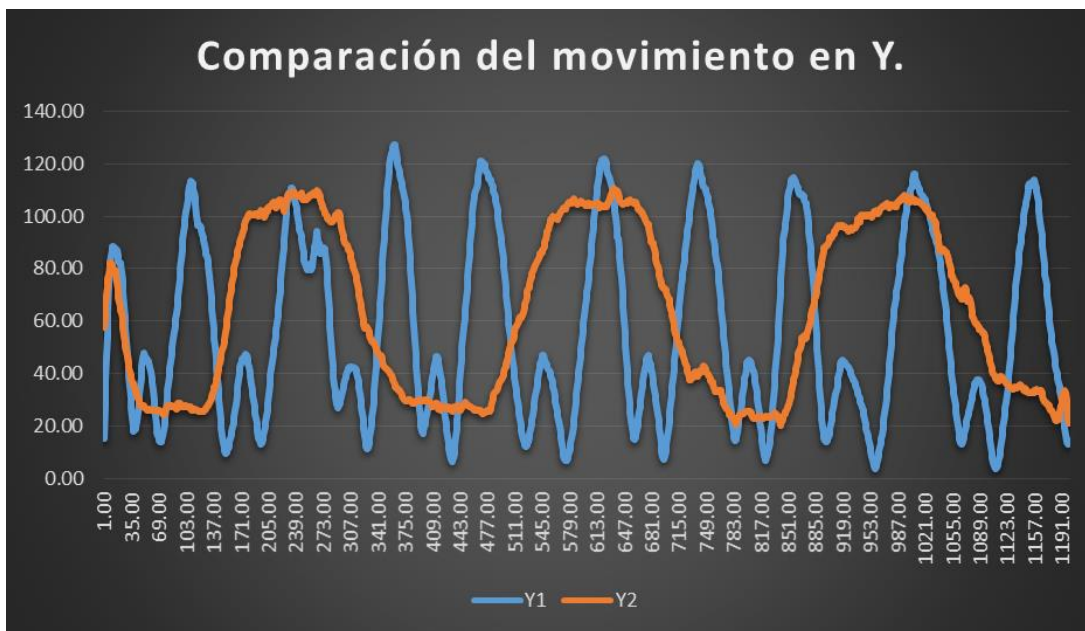
Gráfica 12 Comparación entre el movimiento Abducción – Aducción entre el paciente 1 y 2.

Por la última grafica en el eje Z se podría pensar que ambos pacientes tienen un movimiento muy similar, sin embargo recordemos que para este tipo de movimiento el brazo se desplaza en mayor medida sobre el eje X, teniendo esto en consideración se observa lo siguiente, el rango de movimiento del paciente 1 es claramente mayor por cerca de 50°, el pico en el rango de movilidad del paciente 2 es de aproximadamente 90° esto indica que el paciente 2 con dificultad llega a elevar su brazo a la altura del hombro, aunque el número de repeticiones es similar en ambos pacientes, al no alcanzar el punto más alto el paciente 2 debería haber realizado mayor número de repeticiones, sin embargo tardo el mismo tiempo en realizar cada una llegando a una altura menor, esto es debido al esfuerzo y dolor que le ocasiona la lesión (según declaraciones del paciente).

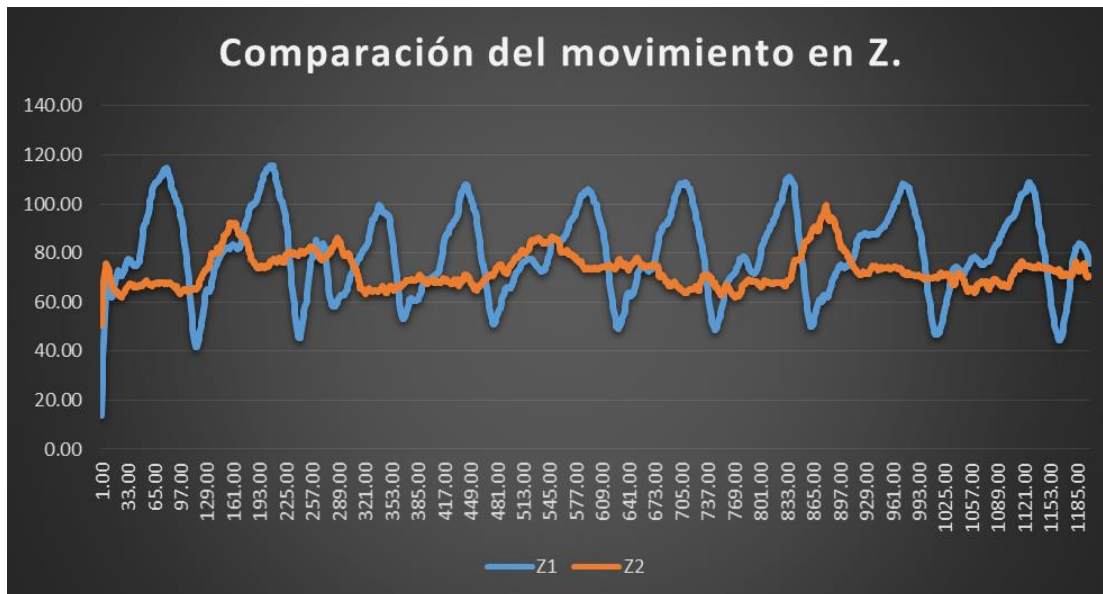
El último movimiento a comparar entre ambos pacientes fue el de Flexión – Extensión, obteniendo las siguientes gráficas.



Gráfica 13 Comparación entre el movimiento Flexión – Extensión entre el paciente 1 y 2.



Gráfica 14 Comparación entre el movimiento Flexión – Extensión entre el paciente 1 y 2.



Gráfica 15 Comparación entre el movimiento Flexión – Extensión entre el paciente 1 y 2.

En este último movimiento el brazo se desplaza con mayor libertad en las direcciones de los ángulos X, Z, al realizar la comparación entre ambos pacientes nuevamente observamos varios puntos importantes y destacables, el más notorio es el rango de desplazamiento del brazo como se observa en la gráfica 13 y 15 el paciente 2 tiene una movilidad reducida con respecto al paciente 1, en lo que respecta al movimiento en X esta reducción es de al menos 60°, en el movimiento correspondiente al eje Z, la diferencia oscila entre los 15 y 30 grados, mientras que en el eje Y las amplitudes son muy similares.

En cuanto al número de repeticiones entre ambos pacientes, notamos que el paciente 2 toma más tiempo en realizar cada repetición, aun cuando su rango de movilidad es menor, su tiempo de ejecución es mayor.

Después de efectuar la comparación entre ambos pacientes observamos que el paciente 2 no era capaz de realizar los movimientos de forma correcta, es decir no lograba el rango máximo de movilidad, también notamos que todos los tiempos de ejecución del paciente 2 son más lentos. El paciente 1 declaró que si bien le resulto un poco agotador ejecutar los movimientos, esto no le causo molestia, mientras que el paciente 2 declaró que le tomaba más tiempo y no podía concluir el ejercicio de forma correcta debido al dolor que le producía su lesión.

El dolor producido por la lesión del paciente 2, la falta de movimiento constante del brazo, falta de ejercicios de rehabilitación y la lesión misma han ocasionado que el paciente 2 no utilice su brazo de forma regular, ocasionando que pierda movilidad, al mismo tiempo que imposibilita al paciente 2 realizar su vida cotidiana de forma normal.

IV. Conclusiones.

El dispositivo propuesto cumple con su objetivo principal el cual es monitorear la rehabilitación de los pacientes que sufren o han sufrido del síndrome de hombro de nadador o síndrome de hombro doloroso, con el dispositivo es posible saber cuál es el rango de movilidad del paciente de forma precisa con datos sólidos, cual es tiempo de ejecución del ejercicio, compararlos con los rangos y tiempos de ejecución óptimos y saber cuál es la degradación en cuanto a movilidad de algún paciente.

Gracias a que el dispositivo almacena las fechas de ejecución se puede constatar si el paciente ha realizado su terapia periódicamente.

Con los datos almacenados se pueden obtener gráficas y comparar de forma visual los datos de sesiones pasadas, para determinar si el paciente está teniendo una mejora en cuanto a la movilidad o si no ha avanzado en cuanto a su recuperación.

Aunque en un inicio el dispositivo fue pensado solo para monitorear la rehabilitación del hombro de nadador, hablando con el Dr. Carlos Orlando Popoca Plutarco nos comentó que el dispositivo podría servir para mejorar la técnica actual usada por el sector de salud pública para determinar algún tipo de lesión en el hombro, ya que actualmente se utiliza un goniómetro (dispositivo analógico y manual), pero al ser operado manualmente puede haber errores por la inexperiencia del médico, sin embargo al implementar un método visual y automático como el nuestro, se determinan mejor los ángulos y el error disminuye.

También se observó que en ciertas ocasiones los tiempos de respuesta entre la aplicación y Arduino no eran exactos, aunque Arduino y la parte electrónica funcionaban a la perfección, de vez en cuando se tenían errores en la recepción de datos por parte de la aplicación, después de analizar ambas parte por separado se llegó a la siguiente conclusión. La aplicación al no estar diseñada en un lenguaje nativo de Android, limita al diseñador en varios aspectos tales como; tiempo de respuesta en recepción de múltiples datos vía inalámbrica, cantidad de interrupciones que se pueden manejar, numero de pantallas en la aplicación, calidad y tamaño de imágenes y videos que se pueden insertar, todo esto aunado a que, al no estar diseñada en un lenguaje nativo a la aplicación le toma mayor tiempo ejecutar cada instrucción, pues tiene que hacer uso de librerías y comandos que no necesariamente se están utilizando, sin embargo son necesarios para usar otros elementos de la misma, haciendo que la aplicación responda en algunos momentos de forma lenta, por lo cual se proponen varias soluciones a futuro.

IV.i Trabajo a Futuro.

Se plantean varias mejoras para el dispositivo actual entre las cuales están las siguientes:

- Como primer paso se plantea mejorar la aplicación actual haciendo una migración al lenguaje nativo de Android, esto con el fin de corregir los errores presentados en cuanto a los tiempos de respuesta entre Arduino y la aplicación.
- Eliminación de la circuitería electrónica.
Se propone eliminar la parte de la circuitería electrónica (Arduino, bluetooth y sensores) haciendo una aplicación que se encargue de todo sin necesidad de componentes extra. Una de las desventajas de este tipo de mejora es que si falla algún sensor del dispositivo donde se instala la aplicación, la misma no funcionaría de manera correcta, teniendo que cambiar de dispositivo para poder seguir usándola. Una de las ventajas de este sistema sería que no necesita ningún componente extra para funcionar.
- Eliminación de la aplicación móvil.
Se evalúa la posibilidad de implementar un visualizador LCD para mostrar las opciones que hasta el momento se muestran en la aplicación, tales como la solicitud de nombre, edad, sexo, además de mostrar los ángulos de movilidad, también se sugiere la implementación de una memoria SD para almacenar los datos del usuario, así como los valores angulares de los movimientos realizados. La principal ventaja de esta mejora sería que al ser modular si algún componente llega a fallar se puede cambiar de manera individual
- Miniaturización del sistema.
Una vez logrado el punto anterior se propone una miniaturización de un tamaño no mayor a 4x5 centímetros, integrando en este espacio acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, comunicación bluetooth, almacenamiento de datos, visualizador de datos y la batería, una vez se logre este objetivo, el dispositivo se podrá colocar en diferentes partes del cuerpo como son tobillo, muñeca, rodilla, etc. De esta manera se podría monitorear

los rangos de movilidad de muchas extremidades y partes del cuerpo, para determinar el tipo de lesión y en caso de llevar una rehabilitación, el grado de mejora de la misma.

Con esta mejora el dispositivo se podría implementar como un goniómetro siendo una gran herramienta de diagnóstico para los médicos.

- Implementación conjunta del dispositivo miniaturizado y una exo-extremidad para apoyar en la realización de los movimientos y ejercicios de rehabilitación en las primeras etapas de la rehabilitación (rehabilitación pasiva y activa asistida).

Anexos

1. Código en Arduino.

```
#include <Wire.h>
//Direccion I2C de la IMU
#define MPU 0x68
#define MPU2 0x69
//Ratios de conversion
float A_R = 16384.0;
float G_R =131.0;
//Conversion de radianes a grados 180/PI
float RAD_A_DEG = 57.29577951;
//MPU-6050 da los valores en enteros de 16 bits
//Valores sin refinar
int16_t AcX, AcY, AcZ, GyX, GyY, GyZ;
//Angulos
float Acc[3];
float Gy[3];
float Angle[3];
//Resultados
float AngulosX;
float AngulosY;
float AngulosZ;

int t=100;
int t1=100;

void setup()
{
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);
  Serial.begin(9600);
}
```

```

void loop()
{
  char rutina = Serial.read();
  if (rutina=='a')
  {
    for(int iii=0; iii<=6; iii++)
    {
      for(int ii=0; ii<=200; ii++)
      {
        rutinal();
      }
    }
    Serial.print('z');
    delay (t);
    Serial.print("");
    delay (t);
  }

  if (rutina=='b')
  {
    for(int iii=0; iii<=11; iii++)
    {
      for(int ii=0; ii<=200; ii++)
      {
        rutinal();
      }
    }
    Serial.print('z');
    delay (t);
    Serial.print("");
    delay (t);
  }

  if (rutina=='c')
  {
    for(int iii=0; iii<=11; iii++)
    {
      for(int ii=0; ii<=200; ii++)
      {
        rutinal();
      }
    }
    Serial.print('z');
    delay (t);
    Serial.print("");
    delay (t);
  }
}

```

```

void rutina1()
{
  for(int i=0; i<=10; i++)
  {
    //Leer los valores del Acelerometro
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x3B);
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(MPU,6,true);
    AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();
    AcY=Wire.read()<<8|Wire.read();
    AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read();

    //Se calculan los angulos X, Y y Z respectivamente.
    Acc[0] = acos((AcX/A_R)/sqrt(pow((AcX/A_R),2) + pow((AcY/A_R),2) + pow((AcZ/A_R),2)))*RAD_A_DEG;
    Acc[1] = acos((AcY/A_R)/sqrt(pow((AcX/A_R),2) + pow((AcY/A_R),2) + pow((AcZ/A_R),2)))*RAD_A_DEG;
    Acc[2] = acos((AcZ/A_R)/sqrt(pow((AcX/A_R),2) + pow((AcY/A_R),2) + pow((AcZ/A_R),2)))*RAD_A_DEG;

    //Leer los valores del Giroscopio
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x43);
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(MPU,6,true);
    GyX=Wire.read()<<8|Wire.read();
    GyY=Wire.read()<<8|Wire.read();
    GyZ=Wire.read()<<8|Wire.read();
    //Calculo del angulo del Giroscopio
    Gy[0] = GyX/G_R;
    Gy[1] = GyY/G_R;
    Gy[2] = GyZ/G_R;
    //Aplicar el Filtro Complementario
    Angle[0] = 0.98 *(Angle[0]+Gy[0]*0.010) + 0.02*Acc[0];
    Angle[1] = 0.98 *(Angle[1]+Gy[1]*0.010) + 0.02*Acc[1];
    Angle[2] = 0.98 *(Angle[2]+Gy[2]*0.010) + 0.02*Acc[2];

    AngulosX = Angle[0];
    AngulosY = Angle[1];
    AngulosZ = Angle[2];
  }

  Serial.println(String(AngulosX)+ String(" ") + String(AngulosY)+ String(" ") + String(AngulosZ));
  delay(t1);
}

```

2. Programación de bloques en MIT App Inventor 2.

```
Initialize global Id to 0
Initialize global Nom to ""
Initialize global Ed to ""
Initialize global Num to 0
Initialize global Se to ""
```

```
when clk_hora - Timer
do
  set hora - Text to call clk_hora - FormatDateTime
  Instant call clk_hora - Now
  pattern "dd/MM/yyyy hh:mm:ss a"
```

```
when Screen1 - Initialize
do
  set Arr_H_Bluet - Visible to true
  set Arr_H_Us1 - Visible to false
  set Arr_V_Us_N - Visible to false
  set Arr_V_US_G - Visible to false
  set Arr_V_MED - Visible to true
  set Arr_V_MED_US - Visible to false
  set Arr_V_PT2 - Visible to false
  set Arr_V_PT3 - Visible to false
  set Arr_V_Mov1 - Visible to false
  set Arr_V_Mov2 - Visible to false
  set Arr_V_Mov3 - Visible to false
  set Arr_H_Hora - Visible to false
```

```
when SL_ENC_Bluetooth - BeforePicking
do
  if ClienteBluetooth1 - Available
  then
    set SL_ENC_Bluetooth - Elements to ClienteBluetooth1 - AddressesAndNames
```

```
when SL_ENC_Bluetooth - AfterPicking
do
  evaluate but ignore result call ClienteBluetooth1 - Connect
  address SL_ENC_Bluetooth - Selection
  if ClienteBluetooth1 - isConnected
  then
    set SL_ENC_Bluetooth - Enabled to false
    set BTN_Apa_Bluet - Enabled to true
    set Arr_H_Us1 - Visible to true
```

```
when BTN_Apa_Bluet - Click
do
  set SL_ENC_Bluetooth - Enabled to true
  set BTN_Apa_Bluet - Enabled to false
  set Arr_H_Us1 - Visible to false
  call ClienteBluetooth1 - Disconnect
```

```
when BTN_US_N_N - Click
do
  set Arr_H_Us1 - Visible to false
  set Arr_H_Bluet - Visible to false
  set Arr_V_Us_N - Visible to true
  set Arr_V_US_G - Visible to false
  set Arr_V_MED_US - Visible to false
  set Arr_V_MED - Visible to true
```

```
when BTN_REG_001 - Click
do
  set Arr_H_Us1 - Visible to true
  set Arr_H_Bluet - Visible to true
  set Arr_V_Us_N - Visible to false
  set Arr_V_US_G - Visible to false
  set Arr_V_MED_US - Visible to false
  set Arr_V_MED - Visible to true
```



```

when BTN_G_Us .Click
do
  set global Id to call TinyBD4_Id .GetValue
  tag "Id"
  valueIfTagNotThere ""
  set global Id to get global Id + 1
  call TinyBD1_Nombre .StoreValue
  tag join "Nombre"
  valueToStore TB_Nom .Text
  call TinyBD2_Edad .StoreValue
  tag join "Edad"
  valueToStore TB_Edad .Text
  call TinyBD3_Sexo .StoreValue
  tag join "Sexo"
  valueToStore TB_Sex .Text
  call TinyBD4_Id .StoreValue
  tag "Id"
  valueToStore get global Id
  set global Nom to TB_Nom .Text
  set global Ed to TB_Edad .Text
  set global Se to TB_Sex .Text
  set Arr_H_Us1 .Visible to false
  set Arr_H_Bluet .Visible to false
  set Arr_V_Us_N .Visible to false
  set Arr_V_US_G .Visible to false
  set Arr_V_MED_US .Visible to false
  set Arr_V_MED .Visible to false
  set Arr_V_PT2 .Visible to true

```

```

when BTN_Reg_002 .Click
do
  set Arr_H_Us1 .Visible to true
  set Arr_H_Bluet .Visible to true
  set Arr_V_Us_N .Visible to false
  set Arr_V_US_G .Visible to false
  set Arr_V_MED_US .Visible to false
  set Arr_V_MED .Visible to true

```

```

when BTN_Aceptar .Click
do
  set global Nom to TB_Nom_G .Text
  set global Ed to TB_Edad_G .Text
  set global Se to TB_Sex_G .Text
  set Arr_H_Us1 .Visible to false
  set Arr_H_Bluet .Visible to false
  set Arr_V_Us_N .Visible to false
  set Arr_V_US_G .Visible to false
  set Arr_V_MED_US .Visible to false
  set Arr_V_MED .Visible to false
  set Arr_V_PT2 .Visible to true

```

```

when BTN_Borr1 .Click
do
  set Arr_H_Us1 .Visible to false
  set Arr_H_Bluet .Visible to false
  set Arr_V_Us_N .Visible to false
  set Arr_V_US_G .Visible to false
  set Arr_V_MED_US .Visible to true
  set Arr_V_MED .Visible to false

```

```

when BTN_US_N_Y .Click
do
  set Arr_H_Us1 .Visible to false
  set Arr_H_Bluet .Visible to false
  set Arr_V_Us_N .Visible to false
  set Arr_V_US_G .Visible to true
  set Arr_V_MED_US .Visible to false
  set Arr_V_MED .Visible to false
  set global Num to 1
  set TB_Nom_G .Text to call TinyBD1_Nombre .GetValue
  tag join "Nombre"
  valueIfTagNotThere ""
  set TB_Edad_G .Text to call TinyBD2_Edad .GetValue
  tag join "Edad"
  valueIfTagNotThere ""
  set TB_Sex_G .Text to call TinyBD3_Sexo .GetValue
  tag join "Sexo"
  valueIfTagNotThere ""

```

```

when BTN_Pos .Click
do
  set global Num to (get global Num + 1)
  set TB_Nom_G .Text to (call TinyBD1_Nombre .GetValue
    tag (join "Nombre" (get global Num))
    valueIfTagNotThere " ")
  set TB_Edad_G .Text to (call TinyBD2_Edad .GetValue
    tag (join "Edad" (get global Num))
    valueIfTagNotThere " ")
  set TB_Sex_G .Text to (call TinyBD3_Sexo .GetValue
    tag (join "Sexo" (get global Num))
    valueIfTagNotThere " ")

```

```

when BTN_An .Click
do
  set global Num to (get global Num - 1)
  set TB_Nom_G .Text to (call TinyBD1_Nombre .GetValue
    tag (join "Nombre" (get global Num))
    valueIfTagNotThere " ")
  set TB_Edad_G .Text to (call TinyBD2_Edad .GetValue
    tag (join "Edad" (get global Num))
    valueIfTagNotThere " ")
  set TB_Sex_G .Text to (call TinyBD3_Sexo .GetValue
    tag (join "Sexo" (get global Num))
    valueIfTagNotThere " ")

```

```

when BTN_Borrar .Click
do
  if (compare texts "Esteban" TB_US_MED .Text)
  then
    if (compare texts "esteban123" CC_CON_MED .Text)
    then
      call TinyBD1_Nombre .ClearAll
      call TinyBD2_Edad .ClearAll
      call TinyBD3_Sexo .ClearAll
      call TinyBD4_d .ClearAll
      set global Id to 0
      call TinyBD4_d .StoreValue
        tag "0"
        valueToStore 0
      set Arr_H_Us1 .Visible to true
      set Arr_H_Bluet .Visible to true
      set Arr_V_Us_N .Visible to false
      set Arr_V_US_G .Visible to false
      set Arr_V_MED_US .Visible to false
      set Arr_V_MED .Visible to true
      call Screen1 .HideKeyboard
      set CC_CON_MED .Text to " "
      set TB_US_MED .Text to " "
    
```

```

when BTN_Mov1 .Click
do
  set Arr_V_Mov1 .Visible to true
  set Arr_V_PT3 .Visible to false
  set global Mov to "Caminado por pared de dedos"

```

```

when BTN_Mov2 .Click
do
  set Arr_V_Mov2 .Visible to true
  set Arr_V_PT3 .Visible to false
  set global Mov to "Flexión y Extensión de hombro"

```

```

when BTN_Mov3 .Click
do
  set Arr_V_Mov3 .Visible to true
  set Arr_V_PT3 .Visible to false
  set global Mov to "Abducción y Aducción de hombro"

```

```

when BTN_Reg_005 .Click
do
  set Arr_V_PT2 .Visible to true
  set Arr_V_PT3 .Visible to false

```

```

initialize global Mov to ""

```

```

initialize global Angulos to create empty list

```

```

when BTN_Ver_IMG_MOV1 .Click
do
  set Arr_V_MV1_1 .Visible to false
  set Arr_V_MV1_2 .Visible to true

```

```

when BTN_Reg_080 .Click
do
  set Arr_V_Mov1 .Visible to false
  set Arr_V_PT3 .Visible to true

```

```

when BTN_Reg_081 .Click
do
  set Arr_V_MV1_1 .Visible to true
  set Arr_V_MV1_2 .Visible to false

```

```

when BTN_INI_Mov1 .Click
do
  if ClienteBluetooth1 .IsConnected
  then
    call TinyBD1_Angu .ClearTag
    tag get global Angulos
    call ClienteBluetooth1 .SendText
    text "a"

```

```
when BTN_Ver_IMG_MOV2 .Click
do
  set Arr_V_MV2_1 .Visible to false
  set Arr_V_MV2_2 .Visible to true

when BTN_Reg_070 .Click
do
  set Arr_V_Mov2 .Visible to false
  set Arr_V_PT3 .Visible to true

when BTN_Reg_071 .Click
do
  set Arr_V_MV2_1 .Visible to true
  set Arr_V_MV2_2 .Visible to false

when BTN_INI_Mov2 .Click
do
  if ClienteBluetooth1 .IsConnected
  then
    call TinyBD1_Angu .ClearTag
    tag get global Angulos
    call ClienteBluetooth1 .SendText
    text "b"

when BTN_Ver_IMG_MOV3 .Click
do
  set Arr_V_MV3_1 .Visible to false
  set Arr_V_MV3_2 .Visible to true

when BTN_Reg_080 .Click
do
  set Arr_V_Mov3 .Visible to false
  set Arr_V_PT3 .Visible to true

when BTN_Reg_081 .Click
do
  set Arr_V_MV3_1 .Visible to true
  set Arr_V_MV3_2 .Visible to false

when BTN_INI_Mov3 .Click
do
  if ClienteBluetooth1 .IsConnected
  then
    call TinyBD1_Angu .ClearTag
    tag get global Angulos
    call ClienteBluetooth1 .SendText
    text "c"
```

```

when clk_Temp_BT.Timer
do
  if ClienteBluetooth1.IsConnected
  then
    if call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive > 0
    then
      if compare texts "z" "="
      then
        call ClienteBluetooth1.ReceiveText
        numberOfBytes call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive
        then
          call Tx_Datos.SaveFile
          text get global Angulos
          fileName join "/Download/"
            get global Nom
            get global Ed
            get global Se
            get global Mov
            call clk_hora.FormatDateTime
            instant call clk_hora.Now
            pattern "ddMMyyyy hh:mm:ss"
            ".txt"
          set Arr_V_PT2.Visible to true
          set Arr_V_Mov1.Visible to false
          set Arr_V_Mov2.Visible to false
          set Arr_V_Mov3.Visible to false
          call Sonido1.Play
          call Sonido1.Vibrate
          milliseconds 10000
        end
      end
    end
  end

```

```

else
  add items to list list get global Angulos
  item split text call ClienteBluetooth1.ReceiveText
    numberOfBytes call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive
    at "\n"
  call TinBD1_Angu.StoreValue
  tag split text call ClienteBluetooth1.ReceiveText
    numberOfBytes call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive
    at "\n"
  valueToStore "Angulos"
  set TB_Res_M1.Text to split text call ClienteBluetooth1.ReceiveText
    numberOfBytes call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive
    at "\n"
  set TB_Res_M2.Text to split text call ClienteBluetooth1.ReceiveText
    numberOfBytes call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive
    at "\n"
  set TB_Res_M3.Text to split text call ClienteBluetooth1.ReceiveText
    numberOfBytes call ClienteBluetooth1.BytesAvailableToReceive
    at "\n"
end

```

3. Pantallas del funcionamiento de la aplicación.

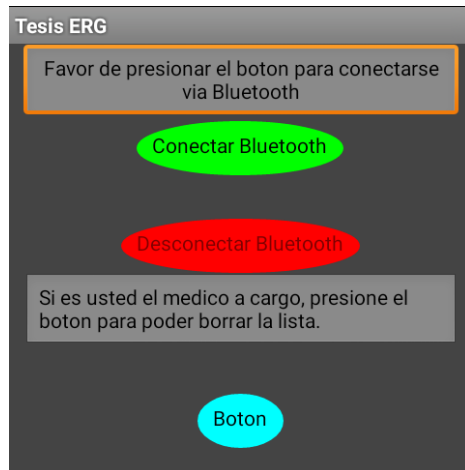


Imagen: 50 Pantalla inicial de la aplicación.

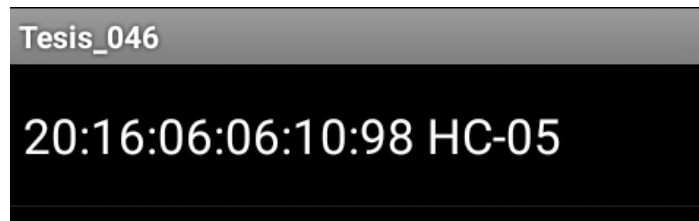


Imagen: 51 pantalla de selección del dispositivo bluetooth.

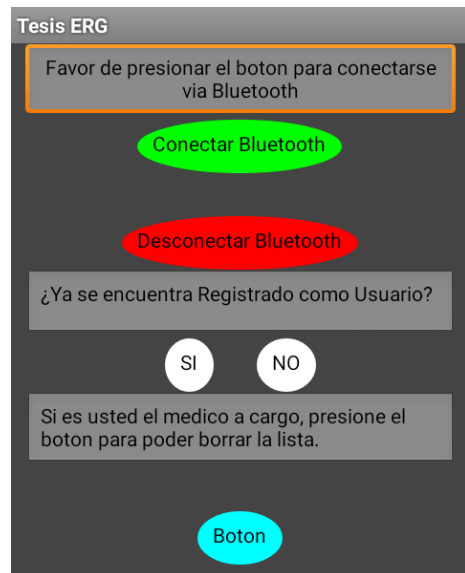


Imagen: 52 pantalla inicial tras conectarse vía bluetooth.

Tesis ERG

Ingrese sus Datos y cuando termine presione guardar.

E

28

M

Guardar Regresar

Imagen: 53 Pantalla para registrar un usuario nuevo.

Tesis ERG

Presione siguiente o anterior hasta visualizar su usuario, cuando lo encuentre presione aceptar, si lo se encuentra registrado presione regresar.

E

28

M

Anterior Siguiente

Aceptar Regresar

Imagen: 54 pantalla para seleccionar un usuario previamente registrado.

Tesis ERG

Presione iniciar para poder seleccionar un movimiento a realizar o presione regresar para volver a la pagina anterior.

Inicio

Regresar

Imagen: 55 pantalla tras seleccionar un usuario.

Tesis ERG

Para seleccionar un tipo de movimiento a realizar solo presione el botón ubicado a la derecha del texto o presione regresar para volver a la pantalla anterior.

Caminado por pared de dedos

Abducción y Aducción de hombro.

Flexión y Extensión de hombro.

Regresar

Imagen: 56 pantalla de selección de movimiento.

Tesis ERG

Colóquese a 60 o 90 centímetros de la pared, extienda el brazo y coloque las yemas de los dedos sobre la pared, posteriormente empiece a subir con las yemas de los dedos por la pared hasta que su brazo este extendido (o lo más alto que le sea posible), mantenga esa posición unos segundos, posteriormente baje por la pared y repita de 5 a 10 veces. Duración 3 minutos.

Ver imagen

Iniciar

Regresar

Imagen: 57 pantalla del movimiento escalerilla de dedos.

Tesis ERG

Inicie con su brazo pegado al cuerpo, después empiece a subir lentamente de manera horizontal, hasta llegar lo más alto que pueda, mantenga esta posición unos segundos y regrese lentamente a la posición inicial. Repita de 5 a 10 veces. Duración 3 minutos.

Ver imagen

Iniciar

Regresar

Imagen: 58 pantalla del movimiento Abducción – Aducción.

Tesis ERG

Inicie con su brazo pegado al cuerpo, después empiece a subir lentamente de manera frontal, hasta llegar lo más alto que pueda, mantenga esta posición unos segundos y empiece a mover el brazo hacia atrás hasta donde le sea posible. Repita de 5 a 10 veces. Duración 3 minutos.

Ver imagen

Iniciar

Regresar

Imagen: 59 pantalla del movimiento Flexión – Extensión.

4. Diseño de Prototipo en Eagle.

4.1 Diseño esquemático.

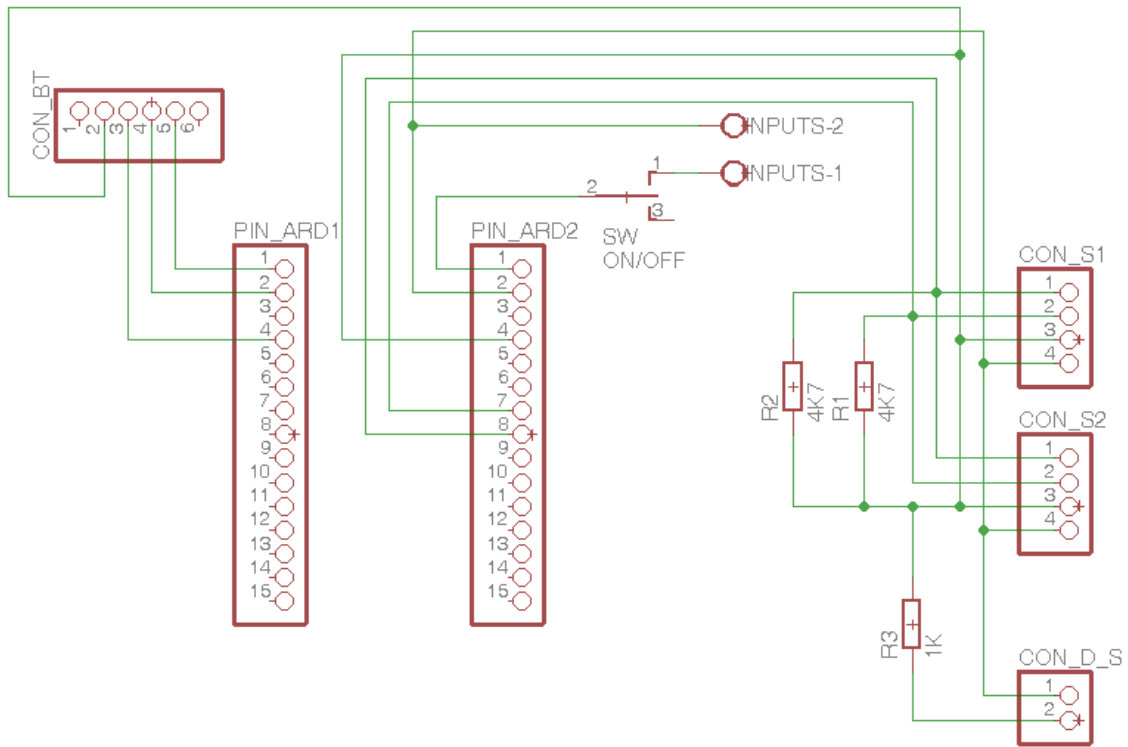


Imagen: 60 Diagrama de conexiones del dispositivo para su diseño.

4.2 Diseño para fabricación de PCB.

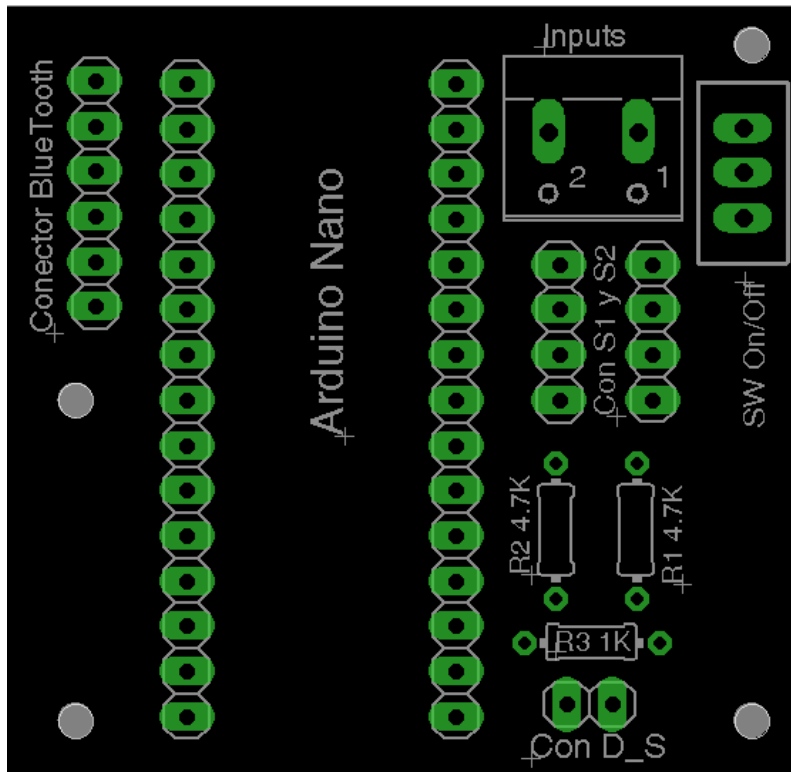


Imagen: 61 Diagrama para circuito impreso, vista de componentes.

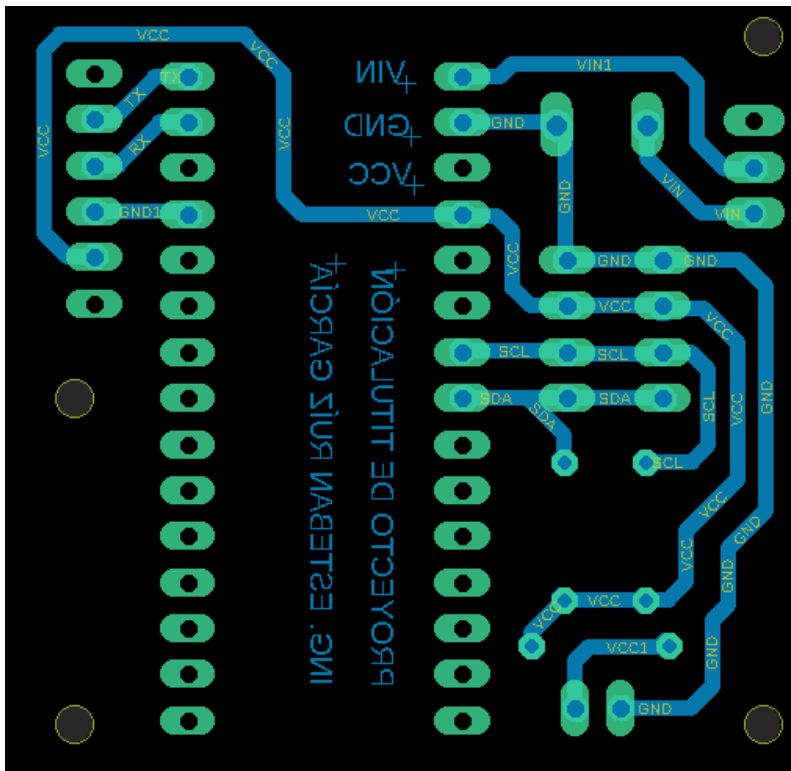


Imagen: 62 Diagrama para fabricación de circuito impreso, vista inferior.

5. Diseño de prototipo en CAD.

Todas las mediciones están escritas en unidades de milímetros.

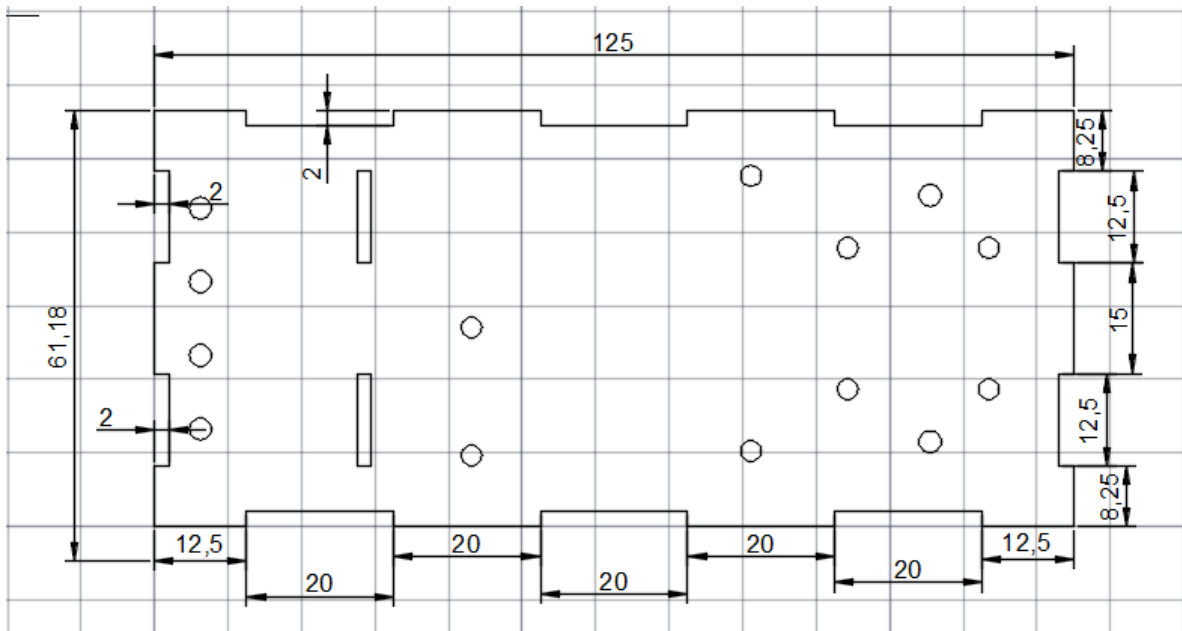


Imagen: 63 pieza base del dispositivo, cotas externas.

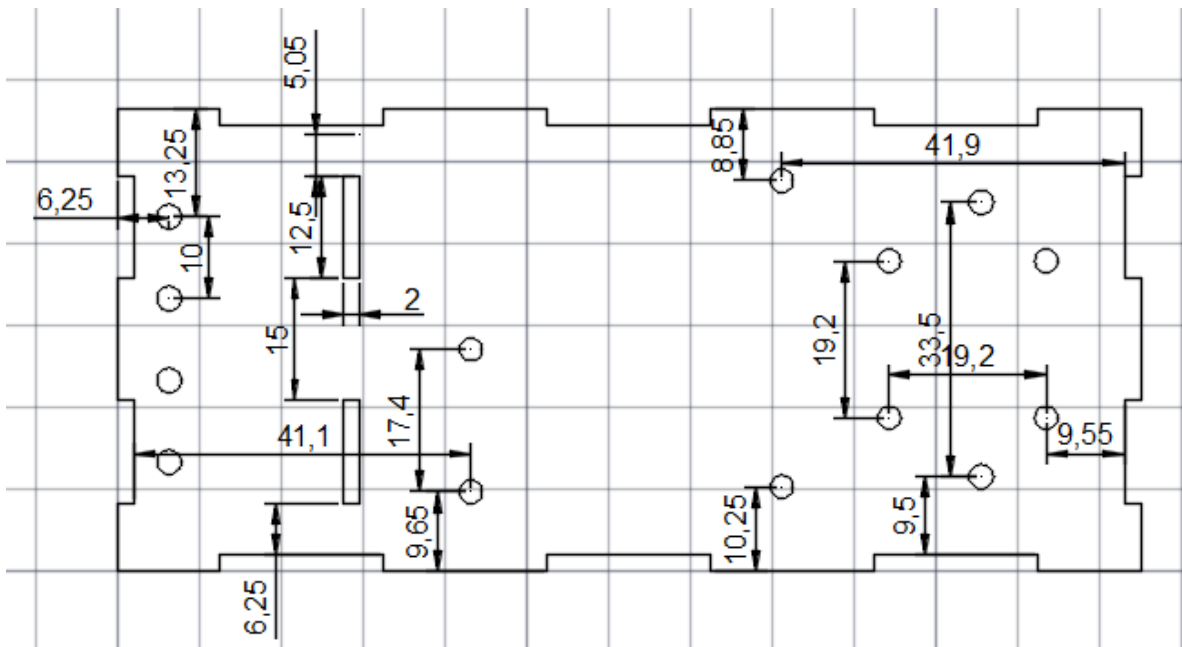


Imagen: 64 pieza base del dispositivo, cotas internas.

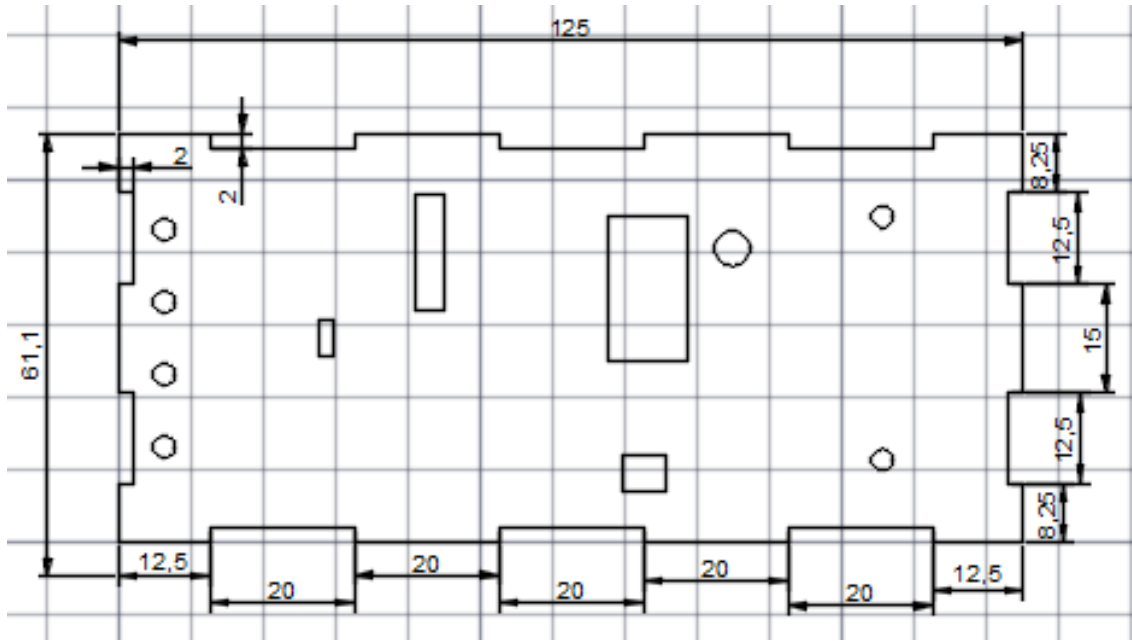


Imagen: 65 pieza base superior, cotas externas.

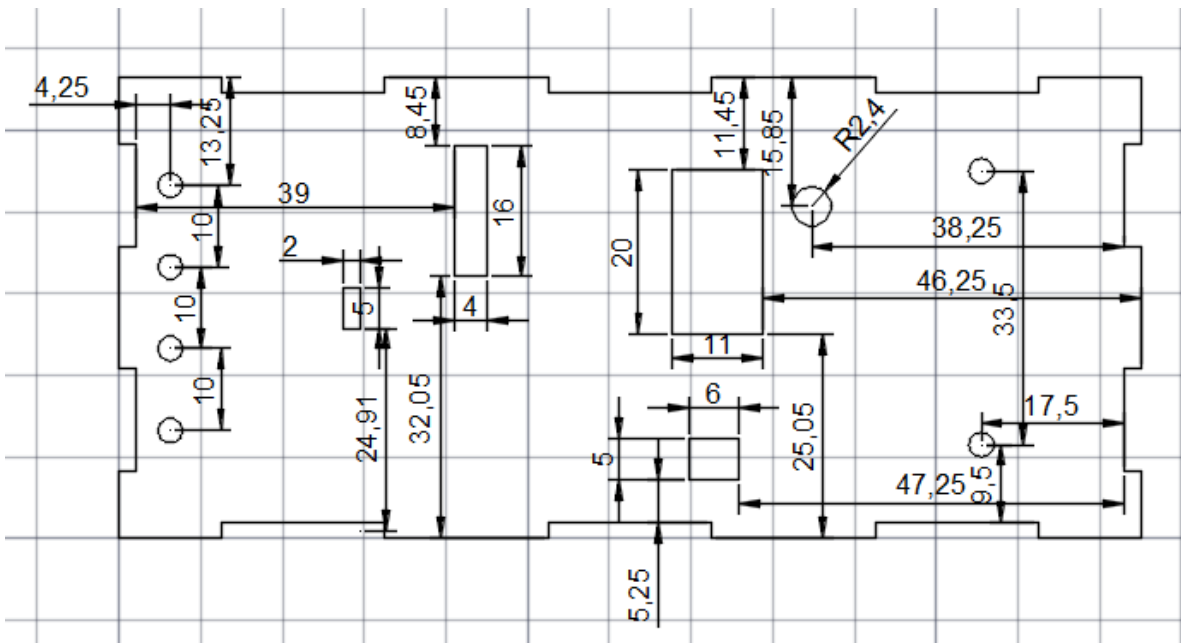


Imagen: 66 pieza base superior, cotas internas.

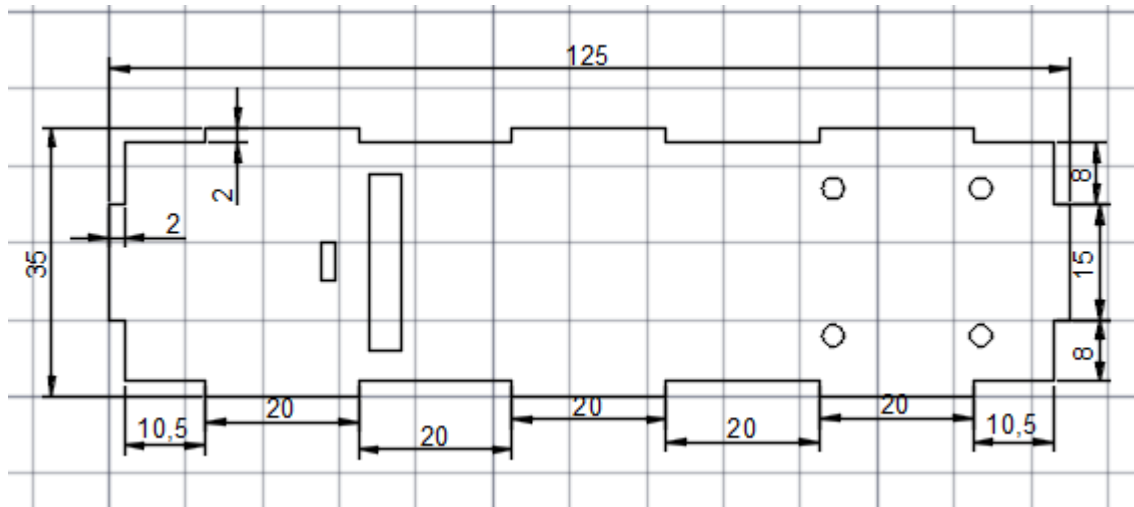


Imagen: 67 pieza lateral derecha e izquierda, cotas externas.

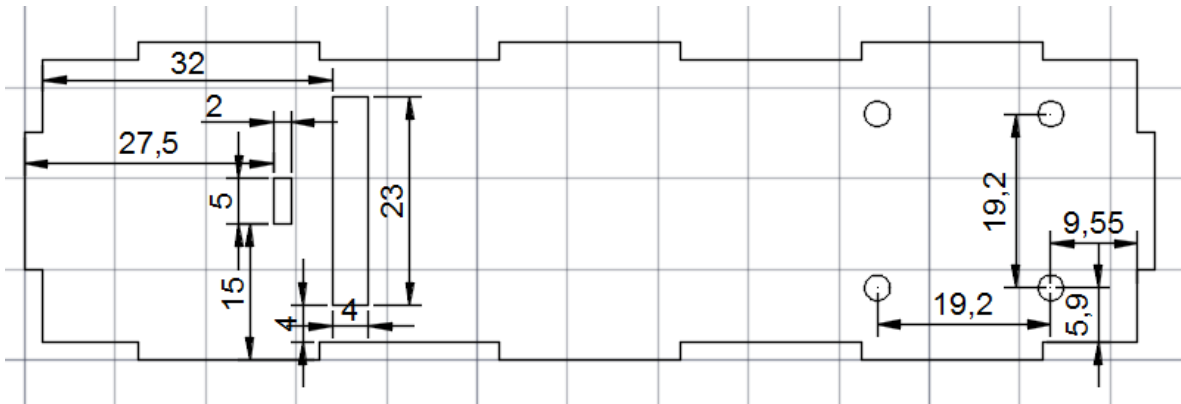


Imagen: 68 pieza lateral derecha e izquierda, cotas internas.

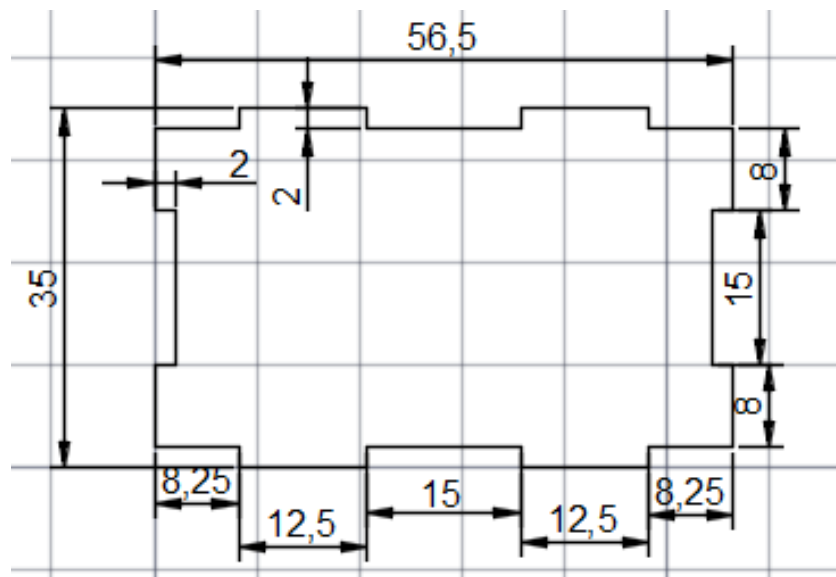


Imagen: 69 pieza posterior, cotas externas.

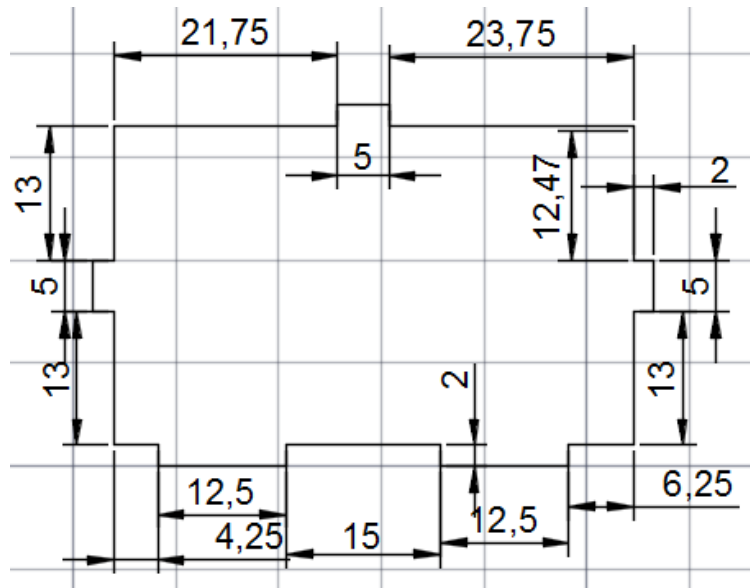


Imagen: 70 pieza intermedia, cotas externas.

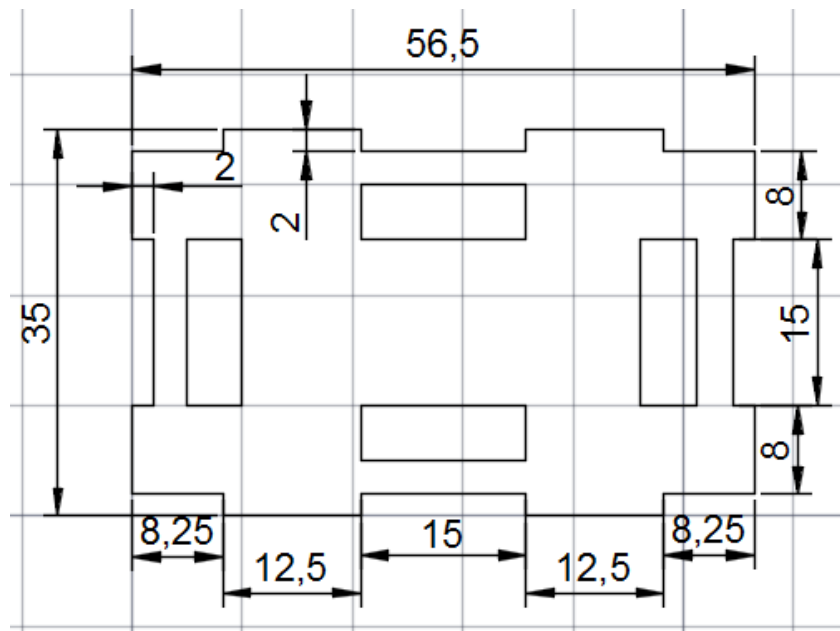


Imagen: 71 pieza frontal, cotas externas.

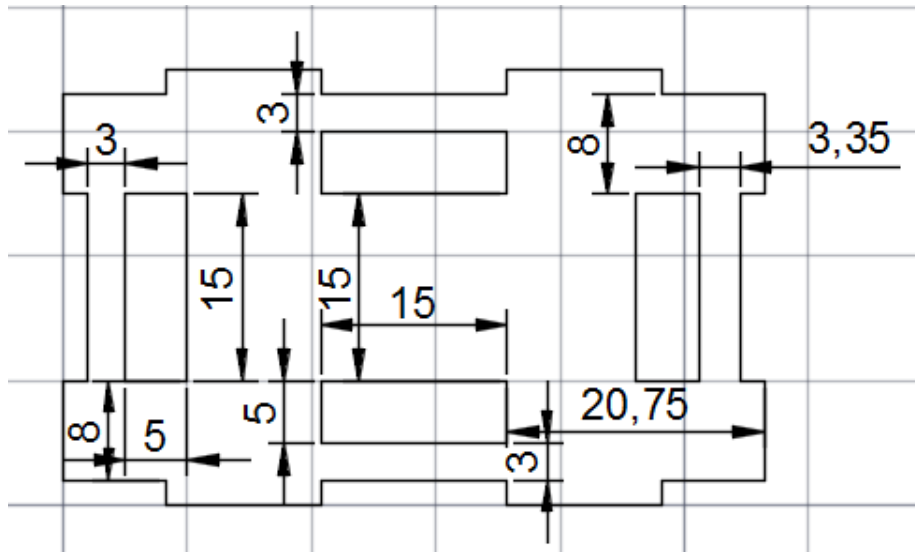


Imagen: 72 pieza frontal, cotas internas.

Referencias.

- [1]. Kapandji, A. (2006). Fisiología Articular. España: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- [2]. Pia. (Enero 9. 2017). Anatomía de la escápula. Febrero 19, 2018, de Neetescuela Sitio web: <https://neetescuela.org/anatomia-de-la-escapula/>
- [3]. Escápula. (s.f). Febrero 19, 2018, de Periodico de Salud Sitio web: <https://periodicosalud.com/escapula/>
- [4]. Acromion – Que es, definición, anatomía, tipos. (s.f). Febrero 20, 2018, de Periodico de Salud Sitio web: <https://periodicosalud.com/acromion-definicion-anatomia-tipos/>
- [5]. Apófisis coracoides. (Julio 30, 2012). Febrero 20, 2018, de Salud y Bienestar Sitio web: <https://lasaludi.info/apofisis-coracoides.html>
- [6]. Trujillo, L. (Mayo 21, 2015). ARTICULACIÓN DEL HOMBRO. Marzo 01, 2018, de Blogger Sitio web: <http://anatolau.blogspot.mx/2015/05/articulacion-del-hombro.html>
- [7]. Cristina. (s.f). Complejo articular del hombro. Febrero 22, 2018, de Fisisio Actividad Sitio web: <http://fisisioactividad.blogspot.mx/2013/01/complejo-articular-del-hombro.html>
- [8]. Entrenamiento anatomía del hombro. (s.f). Febrero 19, 2018, de Silverti Medical Group Sitio web: http://www.silverti.com.ec/manuales/medshape/hombro/shoulder_anatomy_training_morphix_exosha_pe_teno_hombro_pag_1_17_esp.pdf
- [9]. Fierro, G. (s.f). ANATOMIA DEL HOMBRO. Febrero 21, 2018, Sitio web: <http://guidofierro.com/diagnostico-y-tratamiento/hombro/anatomia-del-hombro/>
- [10]. Músculos del hombro, todo lo que debes de saber sobre ellos. (s.f). Marzo 01, 2018, de Ejercicios360 Sitio web: <http://ejercicios360.com/musculos-del-hombro/>
- [11]. Joseph A. Abboud, Matthew L. Ramsey & Gerald R. Williams. (s.f). Anatomía del hombro y del codo. Febrero 22, 2018, Sitio web: http://media.axon.es/pdf/85021_1.pdf
- [12]. Alemán, O. F. (Agosto 19, 2012). Hombro y rodilla. Marzo 03, 2018, de SlideShare Sitio web: <https://es.slideshare.net/falemano/hombro-y-rodilla>
- [13]. Alborno, J. C. (2014). Cartílago articular. Febrero 23, 2018, de tuttraumatologo.com Sitio web: <http://www.tutraumatologo.com/cartilago.html>
- [14]. Organización MAYO CLINIC. (Agosto 12, 2017). Bursitis. Febrero 23, 2018, de MAYO CLINIC Sitio web: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/bursitis/multimedia/bursitis-of-the-shoulder/img-20006772>
- [15]. Suárez Sanabria N, Osorio Patiño AM. Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman. Rev CES Med. 2013; 27(2):205-217 Sitio web: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-87052013000200008
- [16]. Nordin, M.F., Biomécanica básica del sistema musculoesquelético. Ed. 3 ed. 2001, España: McGraw Hill - Interamericana.
- [17]. Dr. Pérez, A. (s.f). Artrosis de hombro. Marzo 06, 2018, de Dr. Alejandro Pérez Aguilar Trumatologo y ortopediasta Artroscofia y Medicina del Deporte Sitio web: <http://drperezaguilar.com/artrosis-de-hombro/>
- [18]. Osteofitos, Todo Sobre Sintomas, Causas y Tratamientos. (Enero 06, 2013). Marzo 06, 2018, de Artrosisaldia.com Artrosis Sintomas Causas Tratamiento Sitio web: <http://artrosisaldia.com/osteofitos-causas-diagnostico-tratamineto/>

- [19]. Organización Clínica Martín Gómez. (Octubre 17, 2018). Tu traumatólogo en Granada para la artrosis de hombro. Marzo 06, 2018, de Clínica Martín Gómez TRAUMATÓLOGOS Sitio web: <https://clinicamartingomez.es/traumatologo-granada-artrosis-de-hombro/>
- [20]. Organización TeensHealth from Nemours. (s.f). Bursitis. Marzo 06, 2018, de TeensHealth from Nemours Sitio web: <http://kidshealth.org/es/teens/bursitis-esp.html?WT.ac=pairedLink>
- [21]. Pérez, Y. (s.f). Hombro congelado. Qué es, causas, síntomas y tratamiento en fisioterapia. Marzo 06, 2018, de fisioterapiaonline Todo sobre fisioterapia Sitio web: <https://www.fisioterapiaonline.com/articulos/hombro-congelado-que-es-causas-sintomas-y-tratamiento-en-fisioterapia>
- [22]. C. Benjamin Ma. (Noviembre 27, 2016). Hombro congelado. Marzo 06, 2018, de MedlinePlus Información de salud para usted Sitio web: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000455.htm>
- [23]. Martínez, E. M. (Agosto 25, 2012). Hombro congelado (capsulitis adhesiva). Marzo 06, 2018, de Unidad de Electrodiagnóstico y Rehabilitación Dr. Edwin Martínez Bermúdez Sitio web: <http://www.rehabilitacionelsalvador.com/in-the-news/hombrocongeladocapsulitisadhesiva>
- [24]. Luxación de hombro. (s.f). Marzo 06, 2018, de Fisioterapia para todos La medicina nunca fue tan fácil Sitio web: <http://www.fisioterapiaparatodos.com/dolor-de-hombro/luxacion-de-hombro/>
- [25]. C. Benjamin Ma. (Julio 13, 2015). Problemas con el manguito de los rotadores. Marzo 06, 2018, de MedlinePlus Información de salud para usted Sitio web: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000438.htm>
- [26]. Tendinitis del hombro. (s.f). sin. Marzo 06, 2018, de Fisioterapia para todos La medicina nunca fue tan fácil Sitio web: <http://www.fisioterapiaparatodos.com/salud/tendones/tendinitis-del-hombro/>
- [27]. Dajbura, C. (Octubre 27, 2016). Pinzamiento Subacromial (Manguito Rotador). Marzo 12, 2018, de RAQUIS CLINICAS QUIROPRACTICAS Sitio web: <http://raquischile.cl/pinzamiento-subacromial-manguito-rotador-2/>
- [28]. Guerrero, A. (s.f). DOLOR DE HOMBRO. SÍNDROME SUBACROMIAL – IMPINGEMENT. Marzo 12, 2018, de premiummadrid GLOBAL HEALTH CARE Sitio web: <https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/alvaro-guerrero/dolor-de-hombro-sindrome-subacromial-impingement/>
- [29]. Juan Antonio, L.C. (Octubre 01, 2017). Pinzamiento subacromial o impingement. Marzo 12, 2018, de MUNDO ENTRENAMIENTO EL DEPORTE BAJO EVIDENCIA CIENTIFICA Sitio web: https://mundoentrenamiento.com/pinzamiento-subacromial/#Tipos_de_lesiones_en_el_hombro_el_pinzamiento_subacromial_o_impingement_com_o_una_de_las_lesiones_principales
- [30]. Dr. Mahiques, A. (s.f). Síndrome subacromial (impingement). Marzo 12, 2018, de CTO - AM Sitio web: <http://www.cto-am.com/subacromial.htm>
- [31]. Chaparro, M. (Diciembre 21, 2016). HOMBRO DEL NADADOR u “HOMBRO DOLOROSO”. Marzo 09, 2018, de LESIONES DEPORTIVAS Sitio web: <https://chaparrolacionesdeportivas.com/hombro-del-nadador-u-hombro-doloroso/>
- [32]. Dr. Sastre, S. (julio 12, 2016). Lesión de hombro de nadador: Qué es, porqué es tan habitual y su tratamiento. Marzo 08, 2018, de barnaclinic+ GROUP HOSPITAL CLÍNIC Sitio web: <https://www.barnaclinic.com/blog/traumatologia-deportiva/2016/07/12/lesion-hombro-de-nadador/>

- [33]. El hombro doloroso es la lesión más típica en natación. (Julio 27, 2017). Marzo 13, 2018, de vithas internacional Medical Center Sitio web: <http://www.vithasinternacional.com/noticias-seccion/hombro-doloroso-lesion-natacion/>
- [34]. Molestias en deportes acuáticos: el hombro de nadador. (s.f). Marzo 13, 2018, de FISIOMA Clínica de fisioterapia y osteopatía Sitio web: <http://www.fisioma.com/articulos-fisioterapia-osteopatia/molestias-en-deportes-acuaticos-el-hombro-de-nadador>
- [35]. Dra. Álvarez, R. (s.f). El hombro del nadador. Marzo 13, 2018, de i - Natación Sitio web: <http://www.i-natacion.com/articulos/patologia/hombro.html>
- [36]. Recomendaciones y pautas de trabajo para nadadores. (Noviembre 18, 2015). Marzo 13, 2018, de MARNATON Sitio web: <http://marnaton.blogspot.mx/2015/11/recomendaciones-y-pautas-de-trabajo.html>
- [37]. Acosta, M., Almendárez, M., Domínguez M., Romero, P. & Vázquez, M. (Marzo 03, 2016). Diagnóstico y tratamiento del síndrome de hombro doloroso en primer nivel de atención. Septiembre 14, 2017, de Instituto Mexicano del Seguro Social Sitio web: <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/085GER.pdf>
- [38]. Lesiones más frecuentes de hombro. (s.f). Marzo 14, 2018, de STAR GRUPO ORTOPEDICO Sitio web: <http://stargrupootopedico.com/89-1-Hombro-de+nadador.html>
- [39]. Dra. Hernández S. (s.f.). Conceptos básicos en rehabilitación. Febrero 06, 2018, de InfoMED RED DE SALUD DE CUBA Sitio web: <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion/temas.php?idv=615>
- [40]. Atención médica y rehabilitación. (s.f). sin. Marzo 13, 2018, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <http://www.who.int/disabilities/care/es/#>
- [41]. Organización Terapiafísica. (s.f). Agentes Físicos. Marzo 15, 2018, de terapiaFISICA.com Sitio web: <http://www.terapia-fisica.com/agentes-fisicos/>
- [42]. López, M. (Febrero 19, 2012). Termoterapia: el calor como tratamiento. Marzo 20, 2018, de vitónica Sitio web: <https://www.vitonica.com/lesiones/termoterapia-el-calor-como-tratamiento>
- [43]. Editor. (Julio 07, 2014). Termoterapia, aplicación del calor con fines terapéuticos. Marzo 20, 2018, de LACASADELFISIO.COM Sitio web: <http://www.lacasadelfisio.com/blog/termoterapia-aplicacion-del-calor-con-fines-terapeuticos/>
- [44]. Organización TERAPIAFISICA. (s.f). Crioterapia. Marzo 20, 2018, de terapiaFISICA.com Sitio web: <http://www.terapia-fisica.com/crioterapia/>
- [45]. Iñigo, J. (s.f). Tratamiento con hielo o crioterapia en lesiones agudas, inflamaciones, dolor y edemas. Marzo 20, 2018, de fisioterapiaonline Todo sobre fisioterapia Sitio web: <https://www.fisioterapia-online.com/videos/tratamiento-con-hielo-o-crioterapia-en-lesiones-agudas-inflamaciones-dolor-y-edemas>
- [46]. Sanchez, A. (s.f). ¿Qué es la Hidroterapia y qué nos puede aportar? Marzo 20, 2018, de fisioterapiaonline Todo sobre fisioterapia Sitio web: <https://www.fisioterapia-online.com/articulos/que-es-la-hidroterapia-y-que-nos-puede-aportar>
- [47]. Organización TERAPIAFISICA. (s.f). Hidroterapia. Marzo 20, 2018, de terapiaFISICA.com Sitio web: <http://www.terapia-fisica.com/hidroterapia/>
- [48]. Organización TERAPIAFISICA. (s.f). Infrarrojos. Marzo 27, 2018, de terapiaFISICA.com Sitio web: <http://www.terapia-fisica.com/infrarrojos/>

- [49]. Organización TERAPIAFISICA. (s.f). Rayos Ultravioleta. Marzo 27, 2018, de terapiaFISICA.com Sitio web: <http://www.terapia-fisica.com/rayos-ultravioleta/>
- [50]. Organización TERAPIAFISICA. (s.f). Masaje Terapéutico. Marzo 29, 2018, de terapiaFisica.com Sitio web: <http://www.terapia-fisica.com/masaje-terapeutico/>
- [51]. Masoterapia. (Junio 27, 2015). Marzo 29, 2018, de EcuRed Conocimiento con todos y para todos Sitio web: <https://www.ecured.cu/Masoterapia>
- [52]. Organización Clínica zeso. (Enero 04, 2013). Rehabilitación Psicológica. Marzo 29, 2018, de ZESO CLÍNICA Sitio web: <http://www.clinicazeso.com/rehabilitacion-psicologica/>
- [53]. García, J. 2016. Tipos de terapias psicológicas. Marzo 29, 2018, de psicología y Mente Sitio web: <https://psicologiymente.net/clinica/tipos-terapias-psicologicas>
- [54]. Ortesis. (s.f). Marzo 29, 2018, de Ortopedia1 Información sobre ortopedia y traumatología Sitio web: <https://ortopedia1.com/ortesis>
- [55]. Blogger. (Mayo 09, 2017). Órtesis y prótesis: características comunes y diferencias. Marzo 29, 2018, de HEDASAPROSALUD CEAT Centro Especializado en Ayudas Técnicas Sitio web: <https://ortopedia1.com/ortesis>
- [56]. Tobar, B. (Noviembre 04, 2010). Clases de Protosis. Marzo 29, 2018, de blogspot.mx Protosis Sitio web: <http://protosis-38.blogspot.mx/p/clases-de-protosis.html>
- [57]. Dr. Semino, L. (s.f). Ejercicio terapéutico. Generalidades. Marzo 31, 2018, de infoMED ESPECIALIDADES Medicina DE REHABILITACIÓN Sitio web: <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion/temas.php?idv=1029>
- [58]. De La Cruz, C. (s.f). MODALIDADES TERAPÉUTICAS. Marzo 31, 2018, de www.terapiayrehabilitacionfisica.com Sitio web: <http://www.terapiayrehabilitacionfisica.com/modalidades.html>
- [59]. Ejercicios después de cirugía de hombro. (s.f). Abril 16, 2018, de STAR GRUPO ORTOPEDICO Sitio web: <http://stargrupootopedico.com/57-1-Ejercicios%2Bdespues%2Bde%2Bcirugia%2Bde%2Bhombro.html>
- [60]. Martín, C. (Marzo 31, 2018). Diez ejercicios para rehabilitar una tendinitis en el hombro. Abril 16, 2018, de CuidatePlus Sitio web: <http://www.cuidateplus.com/ejercicio-fisico/2016/03/31/diez-ejercicios-rehabilitar-tendinitis-hombro-112207.html>
- [61]. Ejercicio después de cirugía del hombro (Shoulder Surgery Exercises). (Julio, 2009). sin. Abril 17, 2018, de OrthoInfo Sitio web: <https://orthoinfo.aaos.org/es/recovery/ejercicio-despues-de-cirugia-del-hombro-shoulder-surgery-exercises/>
- [62]. Fisioterapia, Organización EFISIOTERAPIA. (Agosto 14, 2012). GUIA PARA EL PACIENTE: TENDINITIS DEL SUPRAESPINOZO. Abril 17, 2018, de EFISIOTERAPIA Sitio web: <https://www.efisioterapia.net/articulos/guia-para-el-pacientes-tendinitis-del-supraespinozo>
- [63]. C. Benjamin Ma. (Abril 18, 2017). Ejercicios para el manguito de los rotadores. Abril 17, 2018, de MedlinePlus Información de salud para usted Sitio web: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000357.htm>
- [64]. Rueda para ejercicios de hombro. (s.f). Abril 23, 2018, de Médica Store Sitio web: <https://grupomedicastore.mx/venta-de-rueda-para-hombro-en-mexico/147-venta-de-rueda-para-ejercicios-de-hombro-para-rehabilitacion-fisica-en-mexico.html>

- [65]. Barra Sueca. (s.f). Abril 23, 2018, de Vida Plena Sitio web: <http://tens-vidaplena.com/catalogos/profesionales/mecanoterapia-y-ejercicio/barra-sueca-meca0007>
- [66]. Escalerilla De Dedos. (s.f). sin. Abril 23, 2018, de Vida Plena Sitio web: <http://tens-vidaplena.com/catalogos/profesionales/mecanoterapia-y-ejercicio/escalerilla-de-dedos-meca0032>
- [67]. Rueda de Hombro Digital. (s.f). Abril 30, 2018, de Phisio Basic Sitio web: <http://phisiobasic.com/producto/rueda-de-hombro-digital/>
- [68]. Fisiotek LT. (s.f). Mayo 02, 2018, de RIMEC Sitio web: <https://www.rimec.it/es/prodotti/fisiotek-lt/>
- [69]. Fisiotek HP2. (s.f). s. Mayo 02, 2018, de RIMEC Sitio web: <https://www.rimec.it/es/prodotti/fisiotek-hp2/>
- [70]. Tibanlombo P. (Julio 12, 2015). TIPOS DE MOVIMIENTOS DEL CUERPO HUMANO. Agosto 29, 2018, de blogspot.mx Sitio web: <http://paolatibanlomborehabilitacionf.blogspot.com/>
- [71]. Avila, A, Tapia, C & Tirado J. (Junio 24, 2011). Planos y Ejes de movimiento. Agosto 30, 2018, de blogspot.com Sitio web: <http://upperlimbbiomechanics.blogspot.com/2011/06/planos-y-ejes-de-movimiento.html>
- [72]. Guniana, E. (Diciembre 16,2011). Definicion de Vector, suma, cosenos directores. Agosto 5, 2018, de blogspot.com Sitio web: <http://xyzcalc.blogspot.com/2011/10/definicion-de-vector-suma-cosenos.html>