



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

TEMA:

**Sistema de exoesqueleto robótico aplicado a la terapia física  
controlado mediante Bluetooth para la rehabilitación de pacientes**

AUTOR:

Ramírez Moncayo, Gerson Antonio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

M. Sc. Palacios Melendez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

28 de febrero del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Ramírez Moncayo, Gerson Antonio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

---

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 28 de febrero del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Ramírez Moncayo, Gerson Antonio**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación: “**Sistema de exoesqueleto robótico aplicado a la terapia física controlado mediante Bluetooth para la rehabilitación de pacientes**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Electrónica en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 28 de febrero del 2020

EL AUTOR

---

RAMIREZ MONCAYO, GERSON ANTONIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Ramírez Moncayo, Gerson Antonio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Sistema de exoesqueleto robótico aplicado a la terapia física controlado mediante Bluetooth para la rehabilitación de pacientes”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 28 de febrero del 2020

EL AUTOR

---

RAMIREZ MONCAYO, GERSON ANTONIO

# REPORTE DE URKUND

**URKUND** Fernando Palacios Meléndez (edwin\_pala)

<b>Documento</b>	TTGERSON.docx (D63769463)
<b>Presentado</b>	2020-02-11 19:36 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	gersonderscanf@gmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	TTGERSON RAMIREZ <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="#">TT2020.PACHECO VELEZ LILIANA.docx</a>
	<a href="#">tesis.kleber.docx</a>
	<a href="https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/5980/">https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/5980/</a>
	<a href="https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/5291/">https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/5291/</a>
	<a href="https://doi.org/10.1155/2018/5737056">https://doi.org/10.1155/2018/5737056</a>
<b>Fuentes alternativas</b>	
	<a href="#">TT2020.PACHECO VELEZ LILIANA.docx</a>

0 Advertencias    Reiniciar    Exportar    Compartir

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TEMA:

Sistema de exoesqueleto robótico aplicado a la terapia física controlado mediante Bluetooth para la rehabilitación de pacientes

AUTOR: Ramírez Moncayo, Gerson Antonio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR: Ing. Edwin Fernando Palacios Meléndez

Guayaquil, Ecuador

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

## **AGRADECIMIENTO**

Todos mis agradecimientos van para mi querida madre Nube Mariuxi Moncayo Vivar, también para mi abuelo Edizon Rogerio Moncayo Toledo y mi abuela Blanca Susana Erody Vivar San Martin, que siempre me brindaron su apoyo y que son un pilar fundamental en mi vida, confiaron en mi desde el principio de mis estudios hasta la culminación de esta.

Agradezco también a los docentes que me brindaron sus conocimientos y enseñanzas en toda mi carrera estudiantil, a mis amigos y compañeros que formaron parte de mi vida apoyándonos y sacrificándonos para alcanzar esta meta.

EL AUTOR

---

Ramírez Moncayo, Gerson Antonio

## DEDICATORIA

El proyecto de titulación que lo desarrolle simboliza la constancia y sacrificio de mi madre que a través de los años me enseñó y me dio su apoyo. Dedico la culminación de este proyecto a mi querida madre y para mi familia, confié poder alcanzar más metas en mi vida y dedicarle todo a mi madre porque siempre fue la mejor persona que estuvo siempre a mi lado.

## EL AUTOR

---

Ramírez Moncayo, Gerson Antonio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. RUILOVA AGUIRRE, MARÍA LUZMILA**  
OPONENTE



## Índice General

Capítulo 1: Aspectos Generales .....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Definición del Problema.....	3
1.3. Justificación del Problema .....	3
1.4. Delimitación.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos .....	4
1.6. Hipótesis.....	4
1.7. Metodología de Investigación .....	5
Capítulo 2: Marco Teórico.....	6
2.1. Discapacidad Motora.....	6
2.1.1. Causas de la discapacidad motora .....	6
2.1.2. Clasificación.....	8
2.1.2.1.Lesiones a nivel cerebral.....	8
2.1.2.2. De la medula espinal .....	10
2.1.2.3. Origen a nivel muscular.....	12
2.2. Biomecánica del ser humano.....	14
2.3. Topología general de los miembros superiores.....	15
2.4. Sistemas de Exoesqueleto.....	17
2.4.1. Extremidades superiores .....	17
2.5. Rehabilitación .....	18
2.5.1. Rehabilitación en el Ecuador con sistemas similares .....	19
2.6. Microcontroladores .....	20
2.6.1. Arduino .....	20
2.6.2. Shield EKG/EMG.....	22
2.7. Actuadores .....	23
2.7.1. Servomotores.....	23
Capítulo 3. Diseño e Implementación .....	25
3.1. Diseño del Prototipo .....	25
3.1.1. Diseño de Hardware .....	26
3.1.2. Diseño de Software.....	29
3.1.3. Diseño Estructural.....	35

3.2. Selección de materiales .....	38
3.2.1. Materiales .....	38
3.2.2. Función de materiales en el prototipo .....	39
3.3. Presupuesto .....	40
3.4. Implementación del sistema .....	41
3.5. Conexiones del sistema .....	41
3.6. Pruebas de implementación .....	42
Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones .....	47
4.1. Conclusiones .....	47
4.2. Recomendaciones .....	47
Referencias bibliográficas .....	48

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2. 1 Esquema Causas de Discapacidad Motriz .....	7
Figura 2. 2 Parálisis Cerebral .....	8
Figura 2. 3 Traumatismo Craneoencefálico .....	9
Figura 2. 4 Tumor Cerebral.....	9
Figura 2. 5 Lesión Medular .....	10
Figura 2. 6 Espina Bífida en recién nacido.....	11
Figura 2. 7 Miopatías .....	12
Figura 2. 8 Distrofia de Becker .....	13
Figura 2. 9 Distrofia de Duchenne .....	14
Figura 2. 10 Sistemas de coordenadas espaciales del cuerpo humano .....	15
Figura 2. 11 Regiones del miembro superior .....	16
Figura 2. 12 Sistema Exoesqueleto .....	17
Figura 2. 13 Exoesqueleto extremidad superior (brazo y mano) .....	18
Figura 2. 14 Centro de Rehabilitación HCAM.....	19
Figura 2. 15 Microcontroladores ATMEL .....	21
Figura 2. 16 Partes de la placa Arduino .....	21
Figura 2. 17 Shield EKG / EMG .....	22
Figura 2. 18 Servomotor.....	24

### Capítulo 3

Figura 3. 1 Diagrama 1, Diseño del Sistema .....	25
Figura 3. 2 Diagrama diseño del Hardware .....	26
Figura 3. 3 Diagrama de Shield EMG .....	27
Figura 3. 4 Conexión para Shield EMG .....	27
Figura 3. 5 Conversión de módulo Bluetooth esclavo a maestro mediante convertidor serial.....	28
Figura 3. 6 Forma de recepción de datos (directa) .....	28
Figura 3. 7 Software para configuración esclavo-maestro .....	29

Figura 3. 8 Conexión para la configuración esclavo-maestro desde Arduino .....	29
Figura 3. 9 Diagrama Diseño del Software .....	30
Figura 3. 10 Librerías .....	31
Figura 3. 11 Declaración de variables (maestro) .....	31
Figura 3. 12 Configuración (maestro) .....	31
Figura 3. 13 Configuración y calibración de la Shield EMG .....	33
Figura 3. 14 Configuración a modo maestro de modulo Bluetooth HC-05 ....	33
Figura 3. 15 Definición de variables (esclavo) .....	34
Figura 3. 16 Configuración (esclavo) .....	34
Figura 3. 17 Configuración Shield Servomotores (esclavo) .....	34
Figura 3. 18 Circunferencia brazo .....	35
Figura 3. 19 Circunferencia antebrazo .....	36
Figura 3. 20 Placa brazo .....	36
Figura 3. 21 Placa antebrazo .....	36
Figura 3. 22 Vista de piezas ensambladas .....	37
Figura 3. 23 Piezas impresas .....	37
Figura 3. 24 Piezas de estructura ensambladas .....	38
Figura 3. 25 Materiales .....	39
Figura 3. 26 Circuito transmisión de datos .....	41
Figura 3. 27 Circuito de recepción de datos .....	42
Figura 3. 28 Electrodo conectados al brazo .....	43
Figura 3. 29 Prototipo montado en brazo de paciente .....	43
Figura 3. 30 Grafica de la tensión del musculo en reposo (onda verde).....	44
Figura 3. 31 Sistema en brazo del paciente (reposo) .....	44
Figura 3. 32 Grafica de media tensión del musculo (onda verde).....	45
Figura 3. 33 Sistema en reacción a la media tensión del musculo .....	45
Figura 3. 34 Grafica de alta tensión del musculo (onda verde) .....	46
Figura 3. 35 Sistema en reacción a la alta tensión del musculo .....	46

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1 Presupuesto de inversión .....	40
---	----

## Resumen

Los exoesqueletos robóticos, son dispositivos o sistemas de suma importancia en el área de la terapia física, puesto que ayudan a la realización de terapias de movilidad en pacientes con parálisis total o parcial. Actualmente estos sistemas son vendidos a altos valores económicos, y aunque sean muy buenos sistemas, por su precio no todas las personas están al alcance de realizarse terapias aprovechándolos: como opción más viable, se ha diseñado un prototipo de exoesqueleto para rehabilitación en extremidades superiores, que sea capaz de ofrecer beneficios muy similares a los grandes sistemas de rehabilitación pero con un costo mucho más bajo, materiales confiables y amigables con el medio ambiente y un uso sencillo. El equipo funciona con un exoesqueleto en el brazo basado en un sistema maestro -esclavo, el sistema maestro cuenta con una Shield EMG la cual obtiene señales a través de pulsos electro musculares y por medio de un módulo bluetooth se envían los datos al sistema esclavo el cual los recibe por medio de otro modulo bluetooth y acciona los servomotores para que la extremidad del paciente se mueva según la tensión de que determine el terapeuta o la persona que controle el sistema

Palabras claves: EXOESQUELETO, ROBÓTICA, MAESTRO -  
ESCLAVO, TERAPIA FISICA, SHIELD EMG, REHABILITACION

## **Abstract**

Robotic exoskeletons are devices or systems of the utmost importance in the area of physical therapy, since they help to carry out mobility therapies in patients with total or partial paralysis. Currently these systems are sold at high economic values, and although they are very good systems, for their price not all people are able to perform therapies taking advantage of them: as a more viable option, a prototype exoskeleton has been designed for rehabilitation in upper limbs, that is able to offer benefits very similar to the large rehabilitation systems but with a much lower cost, reliable and environmentally friendly materials and a simple use. The equipment works with an exoskeleton on the arm based on a master-slave system, the master system has an EMG Shield which obtains signals through electro muscular pulses and through a Bluetooth module the data is sent to the slave system which receives them through another Bluetooth module and activates the servomotors so that the patient's limb moves according to the tension determined by the therapist or the person who controls the system

Keywords: EXOSKELET, ROBOTIC, MASTER - SLAVE, PHYSICAL THERAPY, SHIELD EMG, REHABILITATION

## **Capítulo 1: Aspectos Generales**

### **1.1. Introducción**

Esta investigación se refiere al tema de la rehabilitación física de movilidad por medio de sistemas exoesqueletos como solución a problemas en el ámbito de la terapia física de extremidades, ya que hay sistemas existentes a los que no todas las personas tienen acceso por diferentes factores, pero el más común es el factor económico. Los centros médicos que ofrecen rehabilitación con acceso a todo público son muy escasos. El objetivo de este estudio es diseñar un sistema exoesqueleto a bajo costo que permita brindar rehabilitación a las extremidades superiores controlado por otra persona o un fisioterapeuta por medio de pulsos musculares con una configuración del sistema esclavo – maestro.

La investigación de este trabajo se realizó con el interés de brindar la rehabilitación de calidad a todo el público que requiera de la misma, sin necesidad de pagar costos exorbitantes, hace a este un sistema confiable y accesible al público en general. En el capítulo 1, se detalla el planteamiento del problema de investigación, objetivos propuestos y metodología de investigación que será usada dentro del trabajo de titulación. Luego en el capítulo 2 donde se encuentra plasmada la investigación como tal, la cual fue resultado de una exhaustiva búsqueda de artículos científicos usados para fundamentar las ideas desarrolladas y una descripción de los dispositivos utilizados posteriormente en el proceso de implementación.

Acto seguido, en el capítulo 3, se plasman los diseños necesarios para la implementación del sistema, se enlistan los materiales y adicionalmente se describe la función de cada uno de ellos en el sistema; se inicia el proceso de montaje e implementación del sistema y al final se precisan las pruebas de funcionamiento del sistema y los resultados obtenidos. Finalmente, en el capítulo 4 se detallan las conclusiones obtenidas en el proceso de investigación y de igual manera las recomendaciones que se aportan a la misma y a la operatividad del sistema.



## **1.2. Definición del Problema.**

Un sistema de exoesqueleto es una herramienta de gran utilidad para problemas destinados al área terapéutica; ya sea en rehabilitaciones, así como también en personas con parálisis totales o parciales situadas en las extremidades. En el país, existen muchísimas personas que, por temas de rehabilitación y carencia de los equipos necesarios, tienen que vivir usando muletas, sillas de ruedas, férulas, cabestrillos, entre otros.

Con el desarrollo constante de tecnología y el impacto que la misma tiene en áreas de medicina, en diferentes países se han desarrollado dispositivos similares capaces de ayudar a personas con limitaciones de movilidad. En relación al Ecuador, son muy escasos los centros médicos que cuentan con tecnología de este tipo, particularmente por factores económicos, o por la falta de información y actualización del contenido acerca de equipos tecnológicos.

La idea de implementación de un exoesqueleto va acompañada de una propuesta económica mucho más baja con relación a los equipos existentes en el mercado, para que así los centros médicos tengan la posibilidad de adquirirlos y brindar las terapias necesarias para cada paciente. Esto convierte al exoesqueleto en un proyecto eficiente y asequible destinado a ser usado en diferentes aplicaciones.

## **1.3. Justificación del Problema**

Es un hecho a nivel general, que las lesiones o traumatismos causados en las extremidades del cuerpo, deben ser tratados en la mayor parte del tiempo con terapias para que no exista la pérdida de movilidad permanente. A pesar de esto, es lamentable saber que en centros terapéuticos hospitalarios aún no cuentan con tecnología necesaria o en diversos casos, la tecnología existente es obsoleta.

Este proyecto se realiza como solución a problemas terapéuticos, para que así sean atendidos de manera pertinente, y adicionalmente con más dominio sobre los pacientes: puesto que es un sistema que consiste en que

la persona que realiza la terapia pueda controlar de forma remota, mediante contracciones musculares, los movimientos y grados de libertad del exoesqueleto implantado en el paciente para realizar terapias de movilidad, dependiendo sus necesidades.

#### **1.4. Delimitación.**

La carrera de electrónica en control y automatismo es vital en el desarrollo de este proyecto; el cual será implementado, para así realizar la validación del sistema y pruebas reales; con el objetivo principal de que el exoesqueleto sea de utilidad en terapias en las extremidades, bien sean brazos o piernas. De esta manera se espera dar un aporte tecnológico un tanto diferente en el país; con la ventaja de que este es un sistema confiable, con costos más bajos.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Diseñar un prototipo de exoesqueleto, controlado inalámbricamente mediante bluetooth, que permita realizar terapias de manera remota controladas por el fisioterapeuta de manera directa.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Analizar los estados del arte, con temas de interés al trabajo de titulación, para así tener fundamentos fuertes en el desarrollo del marco teórico y posterior proceso de implementación del sistema.
- Implementar el sistema con dispositivos que sean de valores económicos bajos, pero aun así confiables, para que el sistema pueda ser asequible a todo tipo de personas que lo requiera.
- Exponer los resultados obtenidos, mediante gráficas y pruebas respectivas.

#### **1.6. Hipótesis**

Por medio de la implementación de un exoesqueleto se pretende lograr la aplicación de este para la realización de terapias físicas de movilidad en las extremidades superiores del cuerpo, siendo estas controladas directamente

por el terapeuta; además se pretende escalar hacia un siguiente nivel con respecto al avance tecnológico en equipos terapéuticos existentes en el Ecuador.

La idea de desarrollo de este proyecto va acompañada del uso de materiales alternativos a los convencionales que resultan mucho más económicos, pero de muy buena calidad y asequibilidad.

### **1.7. Metodología de Investigación**

El diseño e implementación de un exoesqueleto destinado al área fisioterapéutica precisa un método de investigación analítico, basado a la información y datos tanto técnicos como médicos que deben ser examinados de manera meticulosa. Además, será necesario aplicar el método experimental basándonos en las pruebas que deben realizarse a lo largo de la implementación y la validación del equipo.

## **Capítulo 2: Marco Teórico**

### **2.1. Discapacidad Motora**

La discapacidad motora o también conocida como deterioro motor, es la pérdida de forma total o parcial de las funciones de una parte del cuerpo, esto generalmente en una extremidad o extremidades; la discapacidad motora provoca debilidad y falta de control muscular, además de poca resistencia, o en casos más extremos, parálisis total. Esto a menudo es muy evidente encontrar en afecciones neurológicas tales como: esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, parálisis cerebral o accidente cerebrovascular. (Henderson, 2012)

Existe el síndrome bloqueado, el cual es considerado como una forma extrema de discapacidad motriz, en el cual se pierde el control voluntario de casi todos los músculos, y en algunos casos incluido los ojos, en un individuo que conserva función cognitiva; este síndrome es causado por daños en ciertos lugares de la parte inferior del cerebro y tronco encefálico, por un derrame cerebral u otro daño.

La tetraplejía o también conocida como paraplejía, es la pérdida del uso de brazos, piernas y torso, causado generalmente por una lesión en la médula espinal, específicamente en el área situada en las vértebras quinta y séptima; este nivel de parálisis también se asocia con la pérdida de sensibilidad desde el cuello hacia abajo. (Henderson, 2012)

#### **2.1.1. Causas de la discapacidad motora**

La discapacidad motora es causada por una variedad de condiciones y enfermedades que incluyen: golpes, lesión de médula espinal, esclerosis múltiple, daño cerebral, enfermedades neuromusculares, lesión ortopédica mayor, enfermedad de Parkinson, fragilidad asociada con la vejez y parálisis cerebral. El deterioro motor también puede ser el resultado de una enfermedad cardíaca, respiratoria y endocrina importante. (NeuRA, 2016)

En las diferentes discapacidades se presentan en diferentes condiciones. Por ejemplo, la debilidad es una característica de la lesión de la médula espinal, la fatiga es prominente en la esclerosis múltiple, la alteración de la sensación y el movimiento ocurre comúnmente después del accidente cerebrovascular, el equilibrio se desarrolla en la enfermedad de Parkinson y la parálisis cerebral a menudo se acompaña de contractura. A menudo, varios impedimentos coexisten en una sola persona y la prevalencia de todos estos impedimentos aumenta con la edad avanzada. (NeuRA, 2016)

Ampliamente, el deterioro motor es causado por:

1. Problemas periféricos que afectan los músculos.
2. Problemas sensoriales que afectan los músculos, el equilibrio y el movimiento.
3. Problemas en el sistema nervioso central que afectan la salida de los músculos. (Ver Figura 2.1)

Mientras que las intervenciones para algunos impedimentos tales como el ejercicio para el equilibrio deteriorado en los ancianos frágiles, están respaldados por ensayos controlados aleatorios de alta calidad; las intervenciones para otros impedimentos motores como el entrenamiento de fuerza para músculos paralizados incompletamente carecen incluso de comprensión básica de los mecanismos neurofisiológicos. Debido a que la deficiencia motora se presenta en diversas condiciones de salud, así como al envejecimiento, y porque no es un diagnóstico discreto, no ha sido el foco de los programas de investigación específicos. (Sherrington et al., 2008)

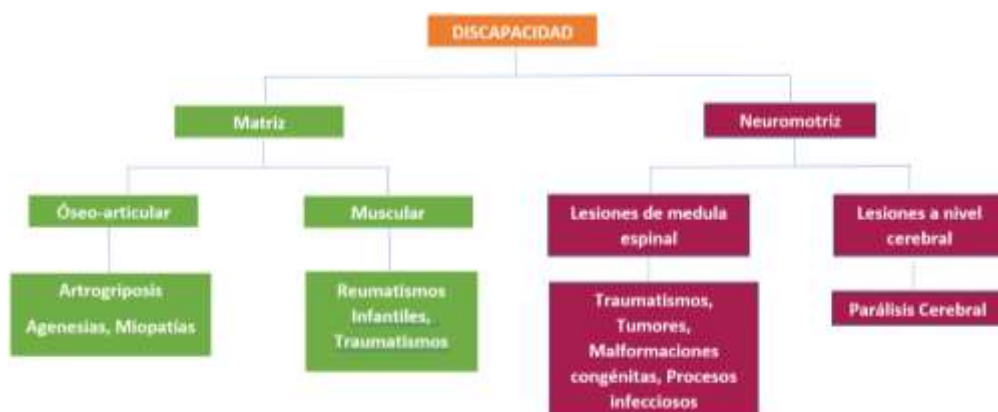


Figura 2. 1 Esquema Causas de Discapacidad Motriz  
Fuente: (Santana & Olvera, 2012)

## 2.1.2. Clasificación

### 2.1.2.1. Lesiones a nivel cerebral

- Parálisis Cerebral

La parálisis cerebral se fundamenta en un grupo de perturbaciones que afectan la capacidad de las personas al mantener el equilibrio, la postura y la movilidad; esta es denominada la discapacidad motora que se puede presentar de manera común en la infancia de las personas. (Ver Figura 2.2) (CDC, 2018)

Es causada principalmente por un progreso anormal o perjuicio al cerebro que altera la capacidad de la persona para tener el control de sus músculos. Los síntomas de este tipo de lesión, varía según el organismo de las personas; una persona con parálisis cerebral grave se ve en la necesidad de depender del uso de un equipo especial para poder caminar, o ya no podría caminar y requeriría atención de manera permanente. Por otro lado, una persona que posea parálisis cerebral leve tiene la posibilidad de caminar de manera torpe, y así mismo, es posible que no sea necesaria la ayuda médica especial. (CDC, 2018)



Figura 2. 2 Parálisis Cerebral  
Fuente: (Reeve & Reeve, 2017)

- Traumatismos Craneoencefálicos

Los traumatismos craneoencefálicos son y han sido un problema muy grande de salud pública. Entre el 75% – 80% de los pacientes con estos problemas cuentan con lesiones denominadas leves en la cabeza, el

porcentaje restante, se divide entre lesiones severas y moderadas en partes iguales. (Ver Figura 2.3) (Ainsworth, 2019)

Casi la totalidad de las personas con traumatismo craneoencefálico denominado grave, y hasta 2/3 de las personas con traumatismo craneoencefálico moderado quedan con discapacidad de forma definitiva y por lo general, no vuelven a su nivel de función premórbido. (Ainsworth, 2019)

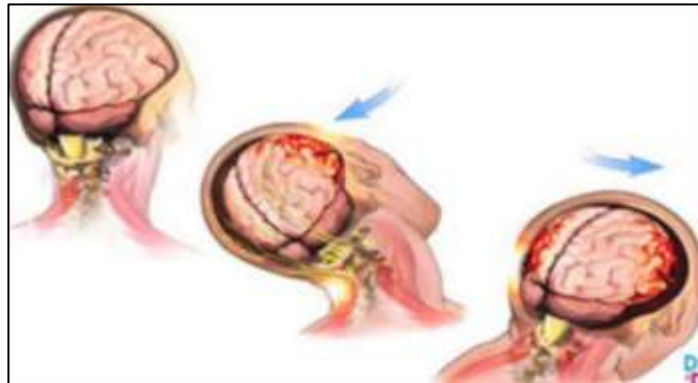


Figura 2. 3 Traumatismo Craneoencefálico

Fuente: (Izurieta, s. f.)

- Tumores Cerebrales

Un tumor cerebral es una masa o colección de células extrañas en el cerebro. El cráneo, que envuelve al cerebro, es rígido; cualquier crecimiento dentro de un espacio tan duro y restringido, tiende a causar problemas. Los tumores a nivel cerebral, pueden ser malignos o benignos; al momento de crecer este tipo de tumores, existe la posibilidad del aumento de la presión dentro del cráneo, causando daño a nivel cerebral con consecuencias que pueden ser mortales. (Ver Figura 2.4) (Seunggu, 2017)

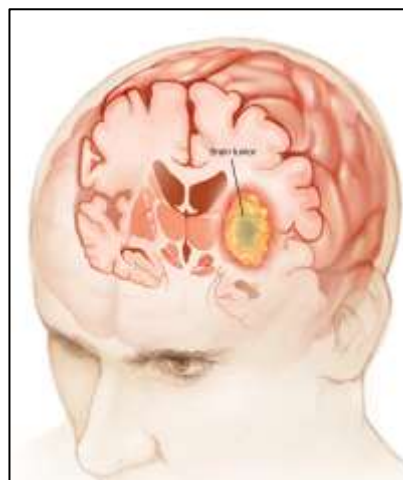


Figura 2. 4 Tumor Cerebral

Fuente: (Clínica Mayo, 2019)

Los tumores a nivel cerebral se clasifican en primarios o secundarios, los primarios se originan en el cerebro; en su mayoría son benignos. Los tumores secundarios, o conocidos también como tumor metastásico, ocurre cuando las células cancerosas se propagan desde otro órgano como por ejemplo pulmón, seno o algún otro órgano en particular al cerebro. Esto puede causar daño cerebral y puede ser mortal. (Seunggu, 2017)

### 2.1.2.2. De la médula espinal

- Lesión Medular

Una lesión de la médula espinal se basa en el daño a cualquier parte de la médula espinal o los nervios al final del canal espinal, a menudo causa cambios permanentes en la fuerza, la sensación y otras funciones corporales debajo del sitio de la lesión. (Ver Figura 2.5) (Clínica Mayo, 2019)



Figura 2. 5 Lesión Medular  
Fuente: (De Can Ruti, 2014)

Muchos científicos son optimistas de que los avances en la investigación algún día harán posible la reparación de las lesiones de la médula espinal. Los estudios de investigación están en curso en todo el mundo. Mientras tanto, los tratamientos y la rehabilitación permiten a muchas personas con lesiones de la médula espinal llevar vidas productivas e independientes. La capacidad para controlar sus extremidades después de una lesión de la médula espinal depende de dos factores: el lugar de la lesión a lo largo de su médula espinal y la gravedad de la lesión en la médula espinal. Los estudios de investigación



están en curso en todo el mundo; mientras tanto, los tratamientos y la rehabilitación permiten a muchas personas con lesiones de la médula espinal llevar vidas productivas e independientes. (Clínica Mayo, 2019)

- Espina Bífida

La espina bífida afecta a la columna vertebral y por lo general suele ser evidente en el nacimiento; este es un tipo de defecto del tubo neural. La espina bífida puede aparecer a lo largo de la columna vertebral en cualquier tramo, si el tubo neural no se cierra por completo. (Ver Figura 2.6) (CDC, 2016)

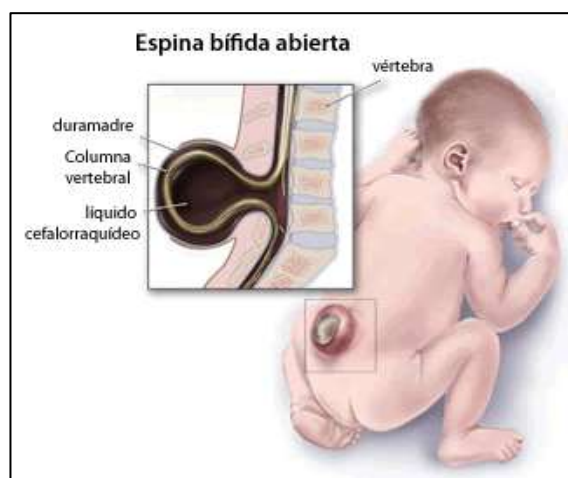


Figura 2. 6 Espina Bífida en recién nacido  
Fuente: (CDC, 2016)

La médula espinal es protegida por la columna vertebral y esta no se forma y no se cierra como debería a causa de esta complicación, por consiguiente, se suelen producir daños en los nervios y en la médula espinal. (CDC, 2016)

Una discapacidad de este tipo tiene la capacidad de provocar problemas tanto físicos como intelectuales, que pueden variar entre niveles graves y leves. La gravedad de esta lesión puede depender de:

- Si parte de la médula espinal y los nervios, están afectados.
- El tamaño y la localización de la abertura de la columna. (CDC, 2016)
- Existen tres tipos más comunes de espina bífida los cuales son:
  - Mielomeningocele,
  - Meningocele

### 2.1.2.3. Origen a nivel muscular

- Miopatías

Una miopatía es una enfermedad muscular no relacionada con ningún trastorno de inervación o unión neuromuscular. Estas afecciones tienen etiologías muy variadas, que incluyen congénitas o hereditarias, idiopáticas, infecciosas, metabólicas, inflamatorias, endocrinas e inducidas por fármacos o tóxicas. (Ver Figura 2.7) (A Bethel, 2017)

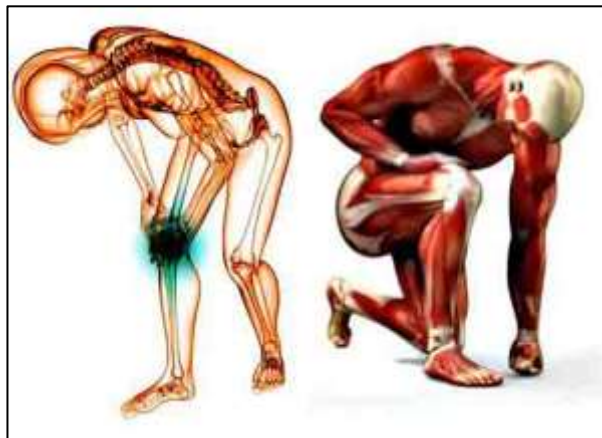


Figura 2. 7 Miopatías  
Fuente: (Ceballos, 2016)

- Distrofia de Becker

La distrofia muscular de Becker es una condición heredada que causa debilidad progresiva y desgaste de los músculos esqueléticos y cardíacos. Afecta principalmente a los hombres. La debilidad muscular generalmente se hace evidente entre las edades de 5 y 15 años; en algunos casos, la afectación cardíaca o cardiomiopatía, es el primer signo. (Ver Figura 2.8) (Department of Health & Human Services, 2016)

La Distrofia de Becker es muy similar a la distrofia muscular de Duchenne, excepto que, en la primera, los síntomas comienzan más tarde y progresan a un ritmo más lento. No existe una cura para esta afección, pero hay investigaciones en curso que muestran una promesa significativa en el tratamiento de la enfermedad. El tratamiento actualmente tiene como objetivo aliviar los síntomas y mejorar la calidad de vida. Las personas con este tipo

de distrofia pueden sobrevivir hasta los 40 años o más. (Department of Health & Human Services, 2016)

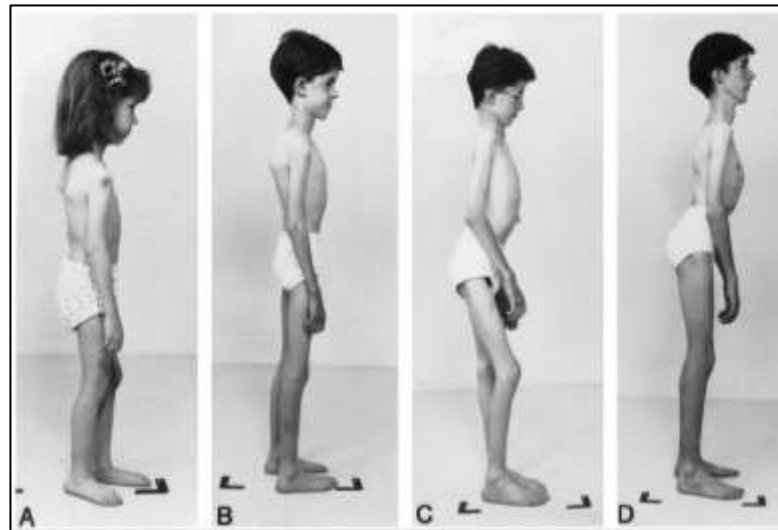


Figura 2. 8 Distrofia de Becker  
Fuente: (Fernández, 2017)

- Distrofia de Duchenne

La distrofia muscular de Duchenne también denominada DMD, es una forma progresiva de distrofia muscular que ocurre principalmente en hombres, en casos raros puede afectar a las mujeres. La DMD causa debilidad y pérdida progresivas de los músculos esqueléticos y cardíacos. (Ver Figura 2.9) (Department of Health & Human Services, 2017)

Los primeros signos de DMD pueden incluir la capacidad tardía para sentarse, pararse o caminar y dificultades para aprender a hablar; la debilidad muscular generalmente se nota a los 3 o 4 años y comienza en las caderas, área pélvica, parte superior de las piernas y hombros.

Los niños con Distrofia de Duchenne pueden tener una caminata inusual y dificultad para correr, subir escaleras y levantarse del piso, esta también puede afectar el aprendizaje y la memoria, así como la comunicación y ciertas habilidades sociales y emocionales. La debilidad muscular empeora con la edad y progresa a los brazos, las piernas y el tronco. La mayoría de los niños con DMD usan una silla de ruedas a tiempo completo antes de los 13 años. Los problemas cardíacos y musculares respiratorios comienzan en la

adolescencia y conducen a complicaciones graves y potencialmente mortales. (Department of Health & Human Services, 2017)



Figura 2. 9 Distrofia de Duchenne  
Fuente: (Mas, 2019)

## 2.2. Biomecánica del ser humano

“La biomecánica del movimiento humano, puede definirse como la interdisciplina que describe, analiza y evalúa el movimiento humano. Una amplia variedad de los movimientos físicos está involucrada, desde el paso de los discapacitados físicos, hasta el levantamiento de una carga por parte de un obrero de la fábrica, hasta el desempeño de un atleta superior. Los principios físicos y biológicos que se aplican son los mismos en todos los casos, lo que cambia de caso a caso es el movimiento específico, tareas y la complejidad de cada movimiento”. (Winter, 2009)

En la literatura anatómica, se establece una convención definida, para así mantener un orden en la descripción del movimiento y se puede describir completamente un movimiento utilizando términos como proximal, flexión y anterior. Estos términos son relativos, describiéndose cada una en relación a otra, sin embargo, no dan un lugar en el espacio. Por lo tanto, para analizar movimientos en una dirección específica, existe la referencia espacial como se muestra en la figura 2.10. (Cutipa & Williams, 2017)

La referencia de forma espacial consta de tres planos que se interceptan:

- Plano Frontal: es aquel que se encarga de dividir el cuerpo humano de manera vertical en zona anterior y posterior.

- Plano Transversal o axial: es aquel que divide el cuerpo humano de manera horizontal, dividiendo al cuerpo humano en superior e inferior.
- Plano Sagital: consiste en un plano vertical, ubicado de forma perpendicular al plano frontal, de encarga de dividir al cuerpo en la zona lateral izquierda y derecha. (Winter, 2009)

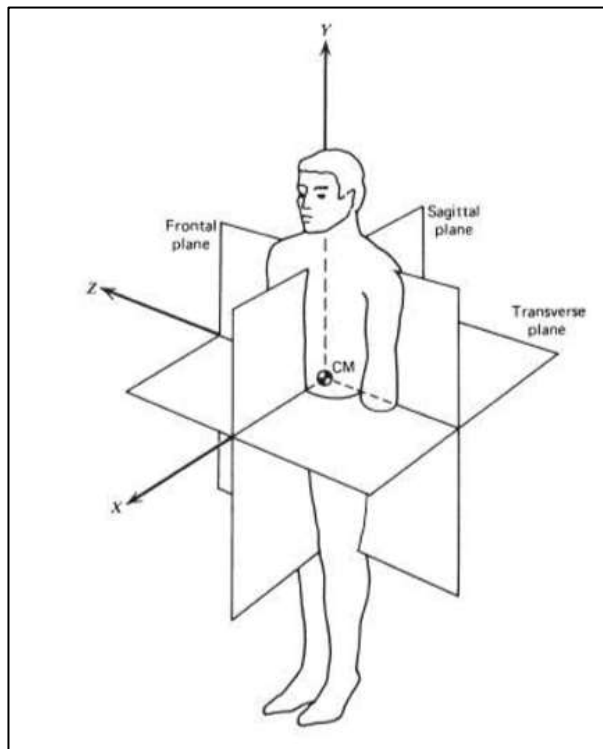


Figura 2. 10 Sistemas de coordenadas espaciales del cuerpo humano  
Fuente: (Winter, 2009)

### 2.3. Topología general de los miembros superiores.

De manera topológica, el miembro superior comienza en la región superior-lateral del tórax, teniendo una forma cilindroide con final aplanado a la altura del muslo. La parte o miembro superior, se encuentra dividida en seis segmentos, los cuales son: mano, carpo, antebrazo, codo, brazo y hombro. (Ver Figura 2.11)

- **Mano:** la mano se encuentra ubicada luego del carpo y termina en el extremo de los dedos. (Noguera, 2016)
- **Carpo:** el carpo o muñeca, corresponden a las partes blandas, por las cuales es rodeado y a la articulación radiocarpiana (Noguera, 2016). Su límite superior se encuentra representado por una línea circular que pasa por la parte superior del cubito, y su límite inferior es una

línea circular que pasa por el lado inferior del tubérculo del hueso al escafoides y al extremo del hueso pisiforme. (Noguera, 2016)



Figura 2. 11 Regiones del miembro superior  
Fuente: (Villalba Sarmiento, 2015)

- **Antebrazo:** el antebrazo es la parte que liga el carpo en su parte inferior, con el codo en su parte superior. Se divide en región anterobraquial anterior que va desde el borde posterior del cubito, al borde posterior del radio y región anterobraquial posterior, que abarca los mismos límites que la región anterior. (Noguera, 2016)
- **Codo:** el codo se encuentra en la parte del miembro superior, da movilidad al antebrazo. Consta de dos regiones que son la posterior y la anterior, que colinda con antebrazo y brazo, mediante 2 líneas circulares a 5cm respectivamente. (Noguera, 2016)
- **Brazo:** llamada así, a la parte del miembro superior comprendida entre el hombro y el codo. Está limitado en su parte superior por una línea circular horizontal que pasa inferiormente a los tendones de los músculos pectoral mayor y dorsal ancho, y en su parte inferior por una línea circular horizontal que pasa a 5 cm por encima de la fosa del codo". (Noguera, 2016)
- **Hombro:** el hombro se encarga de unir el tórax y la extremidad superior, esta enlazado en la parte superior con la clavícula y el borde superior de la escápula; por la parte inferior al pectoral mayor; en la parte posterior, con la espina de la escápula y, anterior y medialmente, por la región mamaria. (Noguera, 2016)

## 2.4. Sistemas de Exoesqueleto.

Los exoesqueletos portátiles son sistemas electromecánicos diseñados para ayudar, aumentar o mejorar el movimiento y la movilidad en una variedad de aplicaciones y escenarios de movimiento humano. Las aplicaciones cubren una amplia gama de dominios, como dispositivos médicos para la capacitación de rehabilitación de pacientes que se recuperan de traumas, ayudas de movimiento para personas discapacitadas, robots de cuidado personal para proporcionar asistencia para la vida diaria y reducir la carga física en aplicaciones industriales y militares. (Bai et al., 2018)

El desarrollo de exoesqueletos portátiles efectivos y asequibles plantea varios desafíos de diseño, control y modelado para investigadores y fabricantes. Por lo tanto, se están desarrollando nuevas tecnologías en controladores de movimiento adaptativos, control de interacción humano-robot, sensores y actuadores biológicos, materiales y estructuras, etc. (Ver Figura 2.12) (Bai et al., 2018)



Figura 2. 12 Sistema Exoesqueleto  
Fuente: (Paz, 2017)

### 2.4.1. Extremidades superiores

Con el desarrollo de la tecnología de robots, la aplicación de robots en rehabilitación ha despertado una gran preocupación en la comunidad internacional. Una serie de robots inteligentes de rehabilitación que incluyen prótesis artificiales y un sistema auxiliar mecánico externo se han desarrollado con éxito para ayudar a los pacientes a lograr la recuperación funcional o la

compensación por la pérdida de la función motora. (Ver Figura 2.13) (Zhang et al., 2018)

Existen dos tipos de robots de rehabilitación para la extremidad superior: uno es un robot de rehabilitación de la extremidad superior efector final, otro es un robot de rehabilitación de exoesqueleto; estos robots pueden proporcionar tareas de entrenamiento de rehabilitación utilizadas para guiar a los pacientes a completar el entrenamiento de rehabilitación dirigida. Al mismo tiempo, el suministro de terapia física repetitiva e intensiva reduce en gran medida la carga de los terapeutas físicos.(Zhang et al., 2018)



Figura 2. 13 Exoesqueleto extremidad superior (brazo y mano)  
Fuente: (Sekiz, 2014)

## 2.5. Rehabilitación

La recuperación y rehabilitación del brazo y la mano después de una lesión, enfermedad o enfermedad neurológica a menudo es lenta y difícil. El brazo y la mano están diseñados para realizar movimientos muy hábiles que nos permiten realizar actividades cotidianas. Estos pueden incluir, utilizar teléfonos y tabletas, recoger objetos, abrir frascos, pasar páginas, clasificar monedas, comer alimentos, la lista continúa. Para permitirnos realizar todas estas tareas complejas, el cerebro está conectado a la mano para mayor



velocidad y precisión. Esto lo hace muy vulnerable a las lesiones y, en consecuencia, la rehabilitación puede ser lenta.(Anonimo, 2017)

### **2.5.1. Rehabilitación en el Ecuador con sistemas similares**

En el Ecuador, según (Guerrero, 2018); en el Centro de Rehabilitación Física del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM), existen robots que ayudan a pacientes a recobrar movilidad en las extremidades.

Un equipo médico completo reciben pacientes derivados del HCAM, dicho equipo cuenta con 7 médicos fisiatras, 36 terapistas físicos, 3 médicos ocupacionales y 2 de lenguaje; a pesar de contar con un equipo médico sumamente capacitado, también cuentan con la ayuda de los robots llamados Lokomat y Armeo Spring, ambos colaboran en terapias de diversas personas que por algún motivo perdieron la movilidad. (Ver Figura 2.12) (Guerrero, 2018)

Uno de los robots, es una especie de brazo mecánico, conectado a un monitor y basa su movilidad al ritmo de un videojuego. El otro robot es tipo caminadora, puesto que está destinado al uso de personas con problemas de movilidad en las piernas.



Figura 2. 14 Centro de Rehabilitación HCAM  
Fuente: (Guerrero, 2018)

El uso de estos equipos de alta tecnología, son de uso exclusivo para pacientes con problemas de alta complejidad, como se muestra en la figura 2.14, según explico el Sr. Paul Cadena, jefe de servicio de Fisiatría y Rehabilitación. El centro médico de rehabilitación tuvo una inversión requerida de \$654 582, es precisamente la neuro robótica para rehabilitación de extremidades superiores e inferiores. En adición, el centro cuenta con área de hidroterapia, de rehabilitación cardio metabólica, entre otras. (Guerrero, 2018)

## **2.6. Microcontroladores**

### **2.6.1. Arduino**

Arduino es denominada una plataforma electrónica de fácil manejo, la cual se basa en software, hardware y un código abierto. Este sistema consta de placas, que tienen la capacidad de leer entradas tales como pulso de un botón, luz de un sensor o recibir mensajes y convertirlos en salidas, que pueden ser: activación de motor, escritura en una pantalla LCD, encendido de un led, etc. Pueden ser enviadas instrucciones a la tarjeta a través de comandos los cuales recibía el microcontrolador que posee la tarjeta. El lenguaje de programación de Arduino, para el envío de comandos, se basa en Wiring y el software Arduino (IDE), es basado en procesamiento. («Arduino», 2019)

- **Partes Principales de la placa**

La placa o tarjeta de Arduino está fabricada con bases en un microcontrolador denominado AVR, la famosa empresa ATMEL es la encargada de fabricar este tipo de dispositivos; se habla de la versión reducida de un microprocesador programable, cuenta con los elementos que resultan ser esenciales de una computadora, pero exceptuando los periféricos. El microcontrolador se convierte en el elemento central de la placa, convirtiéndola en un elemento versátil. (Ver Figura 2.15) (Céspedes Machicao, 2017)

A parte del microcontrolador, entre las partes principales de la placa Arduino se encuentran: puertos USB, terminales digitales, resets, leds

indicadores, entradas analógicas, modulación por ancho de pulsos y adicionalmente. (Schmidt, 2015)

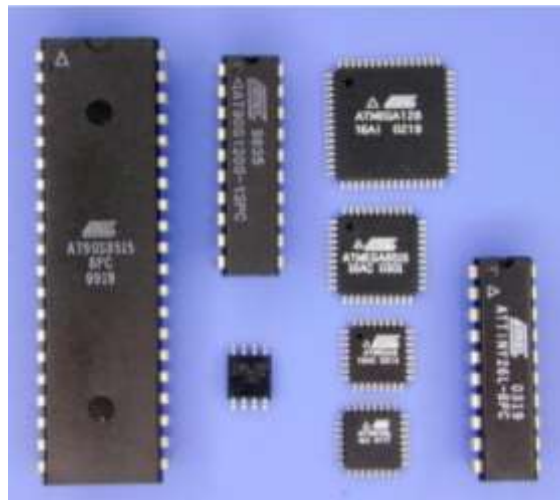


Figura 2. 15 Microcontroladores ATMEL  
Fuente: (Akbari, 2014)

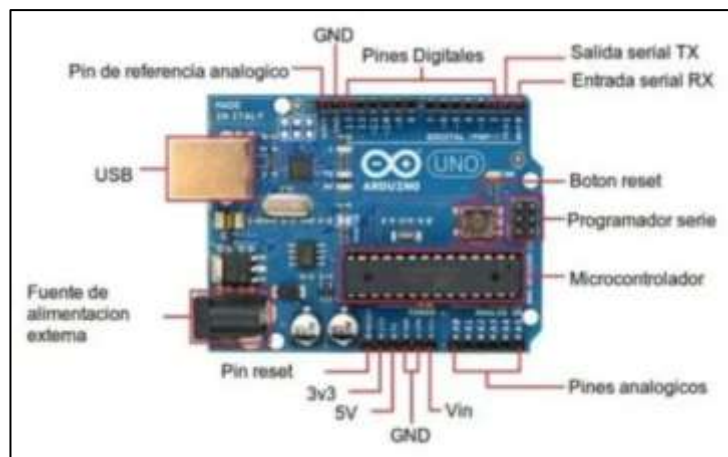


Figura 2. 16 Partes de la placa Arduino  
Fuente: (Mecafenix, 2017)

### • Características Generales de placa Arduino

Las placas de Arduino en general cuentan con características fijas, que son presentadas a continuación:

- Microprocesador ATmega328
- 32 kbytes de memoria Flash
- 1 kbyte de memoria RAM
- 16 MHz
- 13 pines de I/O digitales (programables)
- 5 pines para entradas (I) analógicas
- 6 pines para salidas (O) analógicas (salidas PWM)

- Sistema autónomo (Una vez programado no necesita estar conectado a la PC)
- Microcontrolador ATmega328
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada (recomendado de 7V a 12V)
- Voltaje de entrada limite (6V a 20V)
- DC corriente I/O Pin 40 mA
- DC corriente 3.3V Pin50mA
- Memoria flash 32 KB (2 KB para el bootloader)
- EEPROM 512 byte
- Velocidad del reloj 16 MHz. (Mecafenix, 2017)

A parte de las características mencionadas anteriormente, Arduino posee múltiples beneficios que hacen que sea un sistema accesible entre los cuales constan: costos bajos, multiplataforma, código abierto, entorno de programación simple y claro, software y hardware extensible, entre otras. (Mecafenix, 2017)

### 2.6.2. Shield EKG/EMG

Esta es una placa EKG / EMG que permite a las placas tipo Arduino capturar señales de electrocardiografía y electromiografía (Ver Figura 2.17). Esta shield tiene la capacidad de monitorear pulsos y latidos del corazón para seguidamente registrarlos, además puede reconocer gestos y analizar actividad muscular. (Olimex, 2018)

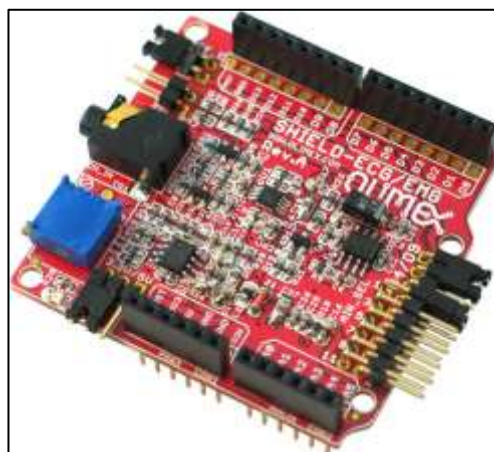


Figura 2. 17 Shield EKG / EMG  
Fuente: (Olimex, 2018)

Este tipo de dispositivos convierte la señal diferencial analógica, es decir los potenciales biológicos ECG / EMG generados por los músculos, en una sola secuencia de datos como salida. La señal de salida es revelada en forma analógica y debe discretizarse aún más con el objetivo de ofrecer la opción de procesamiento digital. (Olimex, 2018)

- Conectores apilables, esto significa que se pueden apilar y cablear hasta 6 canales a las entradas analógicas A0-A6.
- Generación de señal de calibración por salida digital D4 / D9.
- Potenciómetro de corte preciso para la calibración.
- Conector de entrada para electrodos estándar o activos.
- Funciona con placas Arduino de 3.3V y 5V. (Olimex, 2018)

## **2.7. Actuadores**

Los actuadores o también llamados músculos de los sistemas mecatrónicos son utilizados para facilitar el control de los sistemas. Los motores en corriente continua se prefieren en sistemas móviles, ya que la tecnología que tienen las baterías actuales solo puede almacenar energía en corriente continua; mientras que los motores en corriente alterna son los preferidos en otros tipos de sistemas, puesto que son económicos y muy fáciles de usar con energía de la red eléctrica. (Kececi, 2019)

### **2.7.1. Servomotores**

Son actuadores giratorios o lineales que permiten un control de alta precisión y respuesta de la velocidad, posición y la aceleración lineal o angular; puede ser usado para una variedad de equipos, son empleados en aplicaciones como robótica, maquinaria CNC o fabricación automatizada y generalmente como una alternativa de alto rendimiento para los motores de paso. (Farnell, 2015)

Los sistemas de servomotores combinan un motor servo de alto rendimiento con un amplificador servo (controlador) para lograr una posición, un control o una velocidad de par motor extremadamente precisos; los servomotores tienen engranajes integrados y un eje que se puede controlar de forma precisa. Los circuitos servo se construyen dentro de la unión del

motor y tienen un eje posicionable que generalmente incluye un engranaje. El motor lo controla una señal eléctrica que determina la cantidad de movimiento del eje. (Farnell, 2015)



Figura 2. 18 Servomotor  
Fuente: (González, 2016)

### Capítulo 3. Diseño e Implementación

En este capítulo se detallará el estudio y observación preliminar al diseño de un sistema de exoesqueleto para extremidades superiores, diseñado para la rehabilitación en situaciones de parálisis o complicaciones de movilidad; en adición, se precisarán datos acerca de la implementación y pruebas del mismo. Este sistema es ideal para centros de terapias, o uso personal ya que no es un sistema de valores económicos elevados. El proyecto consta de etapas necesarias, que se irán detallando de manera secuencial y aportan a la construcción y funcionamiento del mismo.

#### 3.1. Diseño del Prototipo

La sección de diseño toma en cuenta como está constituido el proyecto, basado en el diseño del hardware, software e incluso el diseño estructural del sistema. Al momento de diseñar un sistema de este tipo, deben ser detalladas conexiones y las guías a seguir basadas en un esquema, enumerando elementos que serán incluidos en el equipo, adjuntando el software y actuadores. Las partes integradas en el sistema tienen una misión específica que dan ganancia al producto final. En el diagrama a continuación se precisa el diseño del sistema. (Ver Figura 3.1)

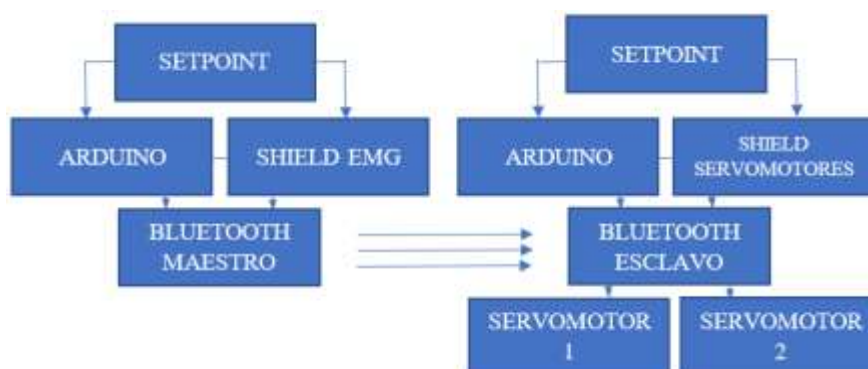


Figura 3. 1 Diagrama 1, Diseño del Sistema  
Elaborado por: Autor.

Referente a lo figurado en el diagrama anterior (figura 3.1), el proyecto se acciona mediante un setpoint o programación. La parte del control del sistema será ejecutada por una placa Arduino, donde serán ingresados los datos mediante la codificación requerida para operatividad de los elementos actuadores; el sistema cuenta con una Shield EKG/EMG la cual estará

conectada al Bluetooth, y mediante movimientos realizados en el brazo del terapeuta, se activarán los actuadores y ejecutarán los movimientos en el brazo del paciente.

### 3.1.1. Diseño de Hardware

El diseño del hardware se basa en la parte física del prototipo, elementos y conexiones que lo conforman, además del diseño del control. (Véase figura 3.2)

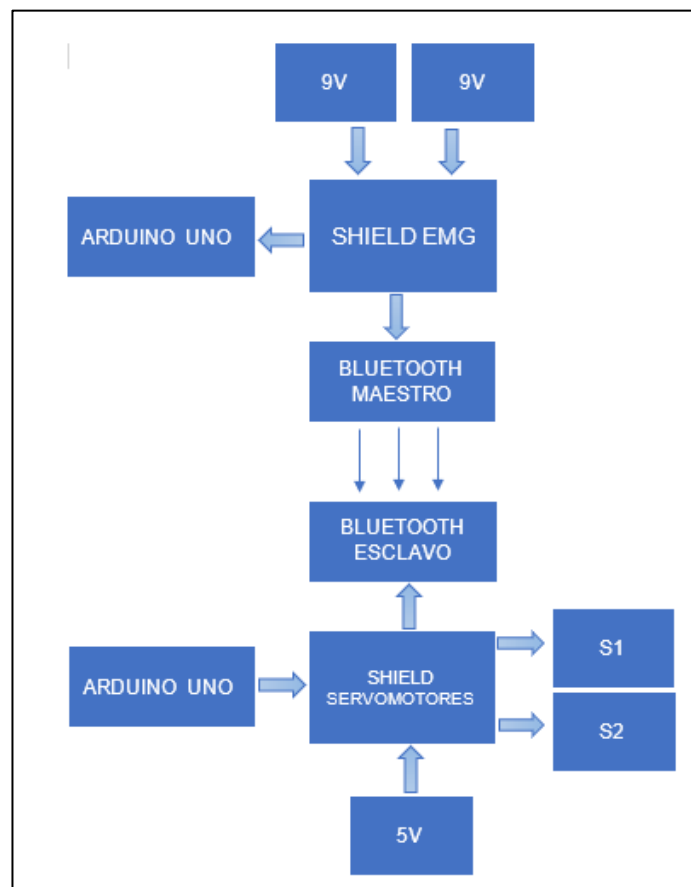


Figura 3. 2 Diagrama diseño del Hardware  
Elaborado por: Autor.

Según la imagen anterior (Figura 3.2), el sistema consta de 2 partes y ambas parten de una fuente de poder, en este caso las baterías, dos de 9V para el sistema transmisor y una de 5 V para el sistema receptor de datos. Los datos son transmitidos y receptados por medio de módulos Bluetooth HC05 configurados modo maestro – esclavo, además los datos son proporcionados por pulsos musculares y posteriormente transformados en señal por una Shield EMG para luego accionar un par de servomotores.



La placa EMG la cual tiene la tarea de transformar los pulsos obtenidos desde el brazo del fisioterapeuta en señales que son enviadas a los servomotores para su accionamiento, cuenta con la estructura mostrada en la figura 3.3 a continuación.

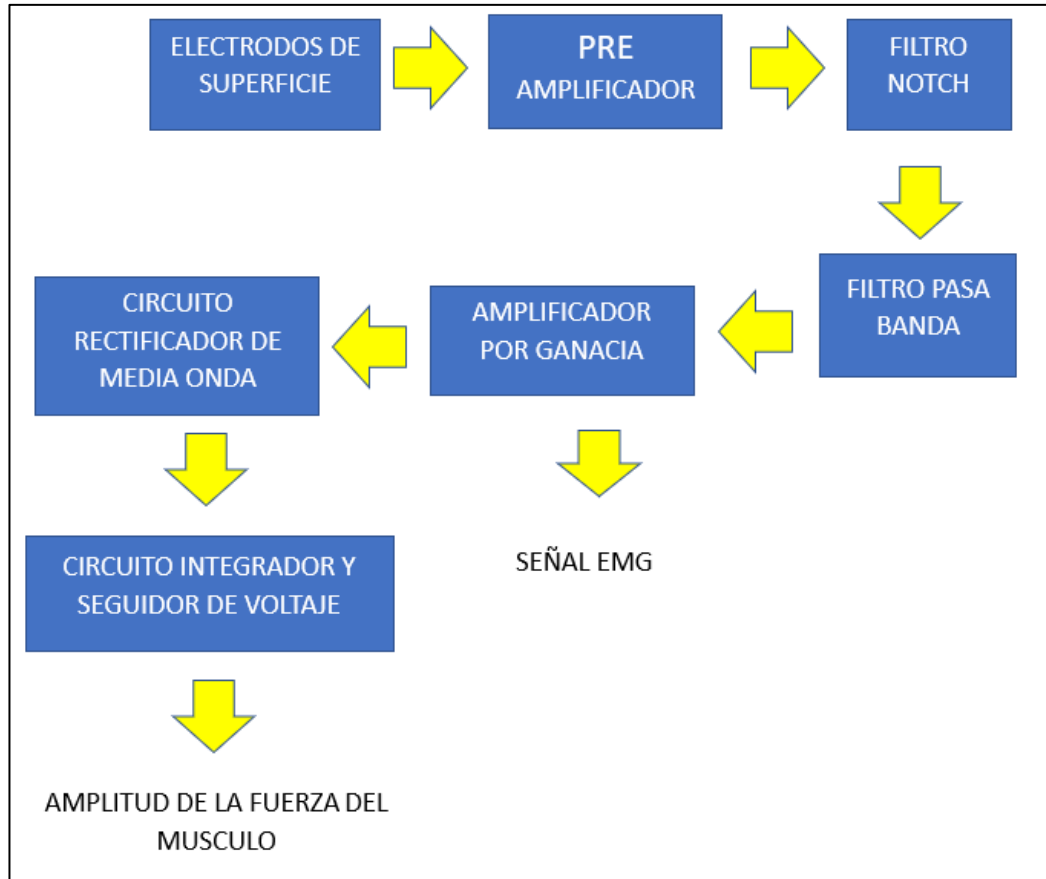


Figura 3. 3 Diagrama de Shield EMG  
Elaborado por: Autor.

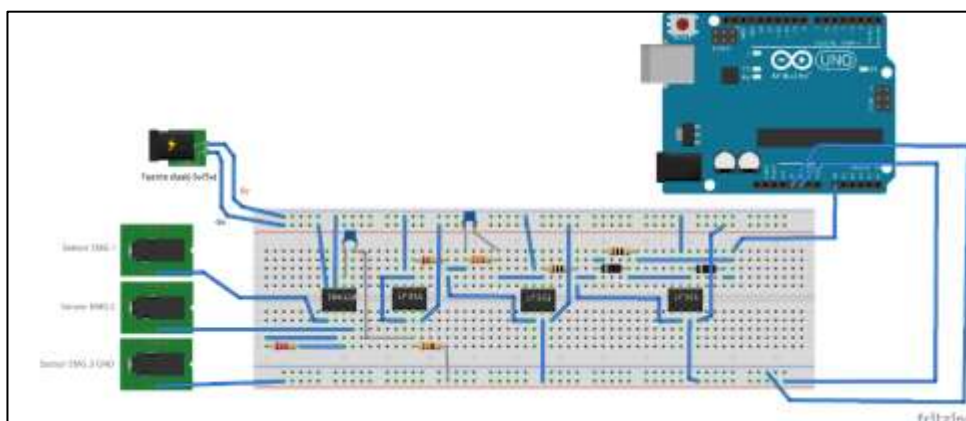


Figura 3. 4 Conexión para Shield EMG  
Elaborado por: Autor.

Para configurar los módulos bluetooth esclavo y maestro hay que considerar que los módulos HC – 05 de fabrica vienen ya configurados como

esclavos, pero para el presente proyecto se necesita que uno de los dos módulos se encuentra de forma maestro el cual manda la señal hacia el esclavo y hace que este ejecute las órdenes.

Existen dos formas de configurar, a través de un conversor serial USB o mediante un Arduino. En la figura 3.5 se observa el conversor serial USB que es la forma directa de configurar:

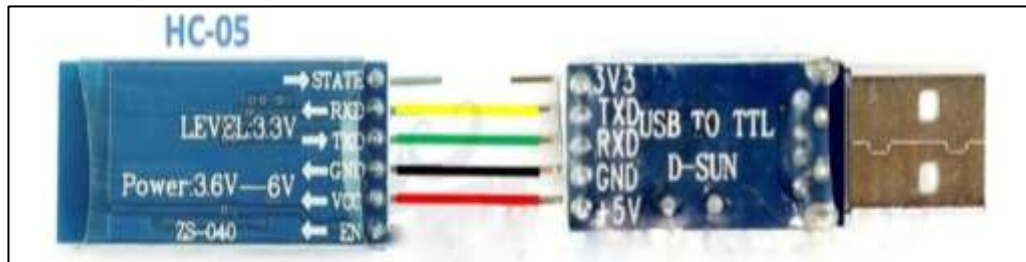


Figura 3. 5 Conversión de modulo Bluetooth esclavo a maestro mediante conversor serial.  
Elaborado por: Autor.

Los datos almacenados llegan de forma directa a la PC mediante el módulo USB, se puede utilizar el modelo de conversor ya sea el CP2102 o el PL2303, como dato adicional también se podría utilizar el módulo MAX232 solo si se tiene un puerto serial físico en nuestra PC. (Ver Figura 3.6)

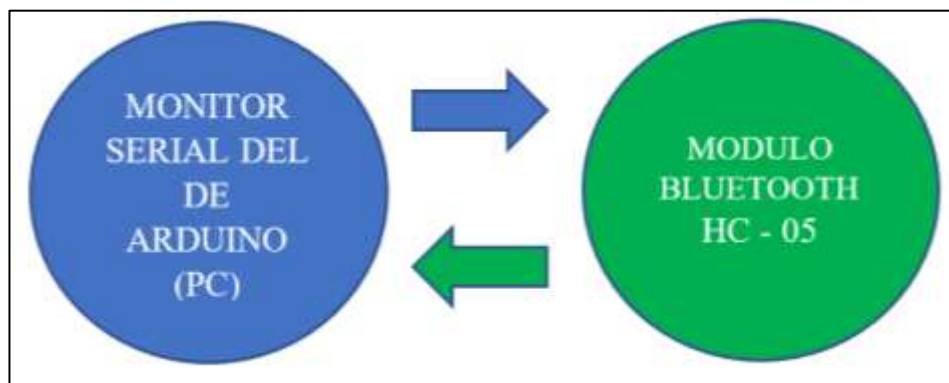


Figura 3. 6 Forma de recepción de datos (directa)  
Elaborado por: Autor.

El software llamado Terminal v 1.9b sirve para configurar los parámetros de AT para los módulos HC - 05, describirlos como esclavo y maestro. (Ver Figura 3.7)

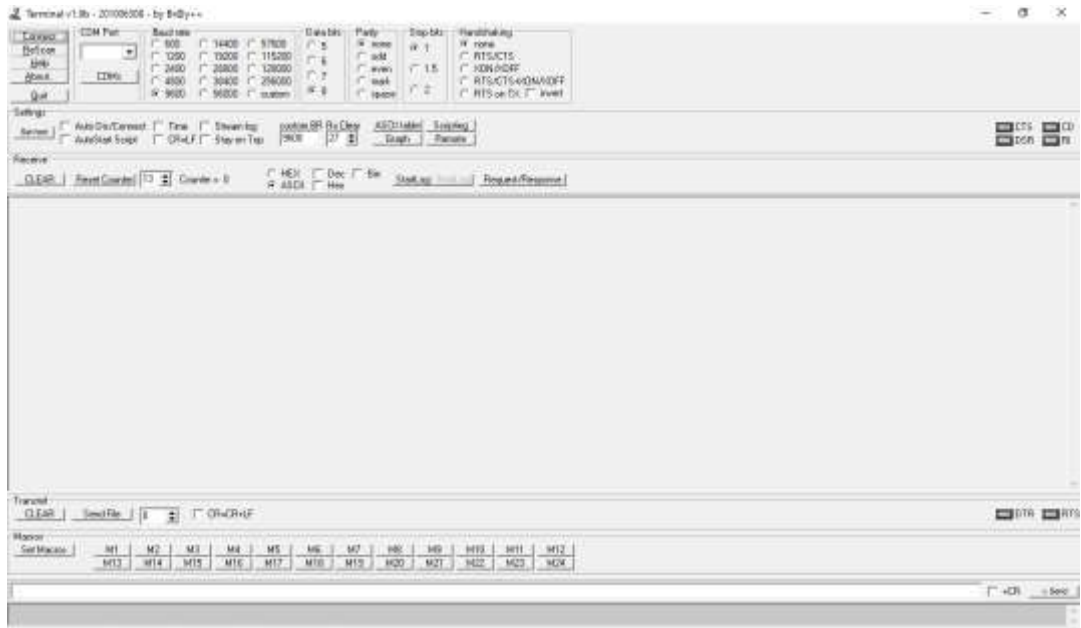


Figura 3. 7 Software para configuración esclavo-maestro  
Elaborado por: Autor.

Por otro lado, la configuración indirecta se da a través de Arduino como se muestra en la figura 3.8.

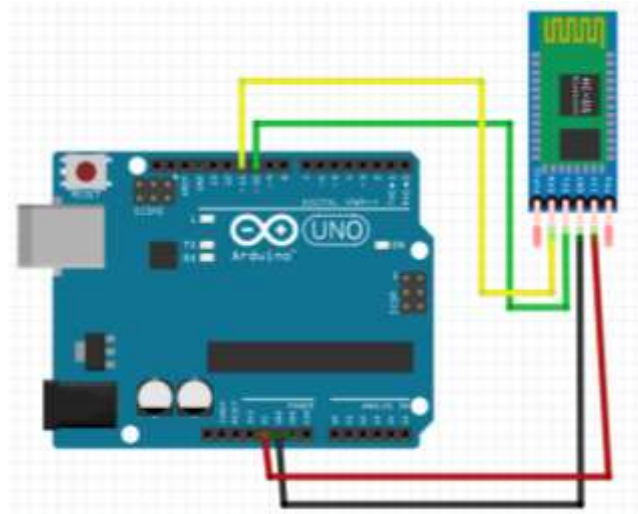


Figura 3. 8 Conexión para la configuración esclavo-maestro desde Arduino  
Elaborado por: Autor.

Se tiene la conexión de los pines 11 a RXD, el pin 10 al TXD y la polarización de estos 5v y GND hacia el módulo con sus pines VCC y GND.

### 3.1.2. Diseño de Software

El diseño de software documenta todo lo que comprende el área de programación necesaria para el funcionamiento óptimo del sistema. El código

se desarrolla en el software Arduino y por medio de él, se espera el desarrollo de un sistema con un mínimo margen de error.

Como el proyecto cuenta de dos partes diferentes y que se programan por separado, se realiza un esquema que comprenda la estructura de las dos partes que intervienen en el prototipo, las cuales son denominadas maestro y esclavo. El sistema maestro envía los datos obtenidos al sistema esclavo para realizar el accionamiento del exoesqueleto. El diagrama del diseño del software se desarrolla de la siguiente manera. (Figura 3.9)



Figura 3. 9 Diagrama Diseño del Software  
Elaborado por: Autor.

El inicio de la programación se encuentra compuesto por las librerías usadas para facilitar la programación, ya que estas brindan interconexión entre módulos, sensores, actuadores, entre otros.

El software Arduino tiene una gran cantidad de librerías incluidas y las que no, pueden ser creadas o descargadas. Las librerías usadas para la configuración del prototipo se dividen en dos. (Ver Figura 3.10)

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <Servo.h> //libreria
```

Figura 3. 10 Librerías  
Elaborado por: Autor.

Así mismo el software se expondrá por parte las cuales serán: sistema maestro y sistema esclavo. Por el lado del maestro luego de la declaración de librerías (Figura 3.11), prosigue la declaración de las variables que serán usadas dentro del código de programa, las variables proporcionan la facilidad de guardar especificaciones o datos de parámetros previamente configurados a los ajustes del proyecto.

```
SoftwareSerial mySerial(12, 13); // TX, RX

int EMG = A0;
int lecturaEMG = 0;
int EMG2 = A1;
int lecturaEMG2 = 0;
int EMG3 = A2;
int lecturaEMG3 = 0;

//***** PROMEDIO *****/

const int numReading = 10; // NUMERO DE MUESTRAS PARA PROMEDIO
int reading [numReading]; // LECTURAS DE LA ENTRADA ANALOGICA
int index = 0; // EL INDICE DE LA LECTURA ACTUAL
int total = 0; // TOTAL
float averageX = 90; // PROMEDIO

///// FRECUENCIMETRO ///

long rango = 5; // RANGO QUE DISPARARA; SALIDA 2 Y PASA A ESTADO LOGICO 1
long ultimamedicion; // CONTIENE EL VALOR 1 DE LA ULTIMA MEDICION QUE DISPARA A LOGI
int ciclo = 0; // 1 = ALTO *** 0 = BAJO
int cambiodeciclo = 0;
int picodetension;
int valledetension = 1023;
long contadorciclo;
```

Figura 3. 11 Declaración de variables (maestro)  
Elaborado por: Autor.

Seguido a la declaración de variables, se presenta la configuración básica de la placa Arduino, esto se realiza en el área de void setup de la ventana de programación; en esta área se determina el modo de trabajo de la placa. (Ver Figura 3.12)

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);

  //***** PROMEDIO *****/
  for (int thisReading = 0; thisReading < numReading; thisReading++)
    reading[thisReading] = 0;
```

Figura 3. 12 Configuración (maestro)  
Elaborado por: Autor.

Luego se realiza la configuración y calibración de la Shield EMG (Figura 3.13), para que pueda recibir los pulsos brindados por el musculo del terapeuta y transformarlos en la señal que se necesita para ser transmitida por el módulo bluetooth y así accionar los servomotores. En esta parte de la programación se debe incluir todas las combinaciones y formulas correspondientes para que la placa EMG tenga un óptimo rendimiento.

```

void loop()
{
  lecturaEMG = analogRead(EMG);
  Serial.print(lecturaEMG);
  Serial.print(",");
  lecturaEMG2 = analogRead(EMG2);
  Serial.print(lecturaEMG2);
  Serial.print(",");
  lecturaEMG3 = analogRead(EMG3);

  //***** FILTRO EJE EMG MAV *****
  // RESTAMOS LA ULTIMA LECTURA:
  total = total - reading[index];
  // LEEMOS DEL SENSOR:
  reading[index] = lecturaEMG3;
  //AÑADIMOS LA LECTURA TOTAL:

  total = total + reading[index];
  // AVANZAMOS A LA PROXIMA POSICION DEL ARRAY
  index = index + 1;

  // SI ESTAMOS EN EL FINAL DEL ARRAY...
  if (index >= numReading)
  // ... VOLVEMOS AL INICIO:
  index = 0;

  //CALCULAMOS EL PROMEDIO:
  averageX = total / numReading; // ENVOLVENTE
  // LO MANDAMOS A LA PC COMO UN VALOR ASCII

  //////////// DETECTOR DE PICOS ////////////
  lecturaEMG3 = averageX;
  Serial.println(lecturaEMG3);

  if (lecturaEMG3 >= ( ultimamedicion + 60) ) //
  {
    ultimamedicion = lecturaEMG3;           //
    ciclo = 1;
    if (lecturaEMG3 > picodetension)        //
    {
      picodetension = lecturaEMG3;         //
    }
  }
}

```

```

if (lecturaEMG3 <= (ultimamedicion - 15)) //
{
    ultimamedicion = lecturaEMG3; //
    ciclo = 0; //
    if (lecturaEMG3 < valledetension) //

    valledetension = lecturaEMG3; //
}

////////// EJECUCION DE EMG - EXO //////////
if (ciclo == 0)
{
    mySerial.write('1');
    delay(1);
}
else // CIERRA
{
    mySerial.write('2');
    delay(50);
}

```

Figura 3. 13 Configuración y calibración de la Shield EMG  
Elaborado por: Autor.

Acto seguido, se configura el módulo bluetooth como maestro por medio de un módulo serial y la programación mostrada en la figura 3.14.

```

#include <SoftwareSerial.h> // Incluimos la librería SoftwareSerial
SoftwareSerial BT(10,11); // Definimos los pines RX y TX del Arduino conectados al Bluetooth

void setup()
{
    BT.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie BT (Para Modo AT 2)
    Serial.begin(9600); // Inicializamos el puerto serie
}

void loop()
{
    if(BT.available()) // Si llega un dato por el puerto BT se envía al monitor serial
    {
        Serial.write(BT.read());
    }

    if(Serial.available()) // Si llega un dato por el monitor serial se envía al puerto BT
    {
        BT.write(Serial.read());
    }
}

```

Figura 3. 14 Configuración a modo maestro de modulo Bluetooth HC-05  
Elaborado por: Autor.

A partir de aquí se envían al sistema esclavo, los datos proporcionados por los pulsos recibidos del brazo del terapeuta. Por otro lado, en la configuración del diseño del software del sistema esclavo se declaran las variables visualizadas a continuación. (Ver Figura 3.15)

```
Servo myservo;      //objeto servo
Servo myservo2;     //objeto servo

int DATOS = 0;
```

Figura 3. 15 Definición de variables (esclavo)  
Elaborado por: Autor.

Luego (Figura 3.16) se cuenta con la configuración básica de la placa y los pines a usarse en la misma, para definir la manera de trabajo del Arduino.

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    myservo.attach(3);
    myservo2.attach(5);
}
```

Figura 3. 16 Configuración (esclavo)  
Elaborado por: Autor.

Seguido a lo anterior, el módulo bluetooth configurado como esclavo, recibe los datos enviados por el sistema maestro para posteriormente accionar los servomotores. Antes del accionamiento de los actuadores se procede a la calibración de la placa de los servomotores con el programa mostrado a continuación. (Ver Figura 3.17)

```
void loop()
{
    /***/
    if (Serial.available() > 0)
    { DATOS = Serial.read();
      delay(5);
    }

    if (DATOS == '1') //ABRE MANO
    {
        myservo.write(30);           // ESCRIBE LA POSICION ANGULAR
        myservo2.write(30);         // ESCRIBE LA POSICION ANGULAR
        delay(1);
    }

    if (DATOS == '2') //CIERRA MANO
    {
        myservo.write(170);         // ESCRIBE LA POSICION ANGULAR
        myservo2.write(170);        // ESCRIBE LA POSICION ANGULAR
        delay(10);
    }
}
```

Figura 3. 17 Configuración Shield Servomotores (esclavo)  
Elaborado por: Autor.

Una vez realizada la configuración de los servomotores, se acciona el sistema esclavo para recibir los datos transmitidos por el maestro y poner en funcionamiento los servomotores.



### 3.1.3. Diseño Estructural

El diseño estructural se basa en cuatro circunferencias, dos de ellas rodean el antebrazo y las otras dos rodean el brazo; cuatro placas delgadas que las sostienen y ejecutan los movimientos de los servomotores, todas realizadas mediante impresión 3D con un material denominado PLA o Acido Poliláctico.

El llamado PLA es un material de muy buenas características para trabajos de este tipo, además de ser biodegradable y creado con recursos renovables. La estructura del proyecto se apodera del control parcial del brazo, consta de espacios donde van montados los servomotores, para que tengan una operatividad adecuada; los servomotores estarán unidos a una de las circunferencias mediante hilos que ayudaran al movimiento del brazo, sin esfuerzo máximo del paciente.

El diseño de la estructura del sistema se realiza en un software de diseño para impresión 3D llamado CURA. Las imágenes del diseño a continuación se obtuvieron del software antes mencionado. (Figura 3.18 – 3.19 – 3.20 – 3.21)

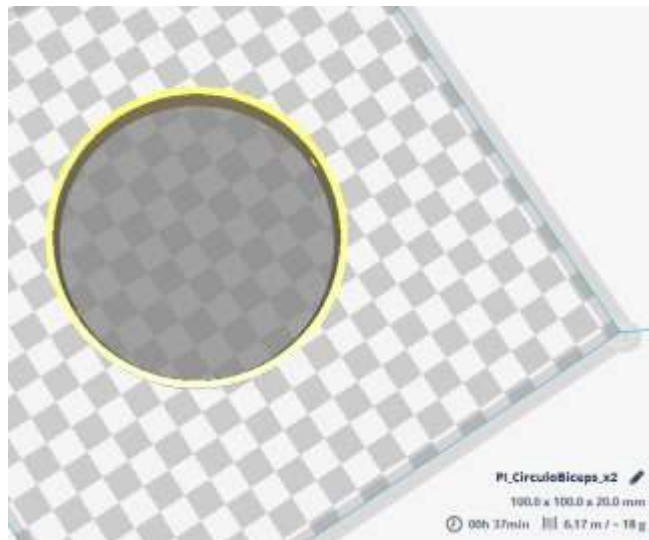


Figura 3. 18 Circunferencia brazo  
Elaborado por: Autor.

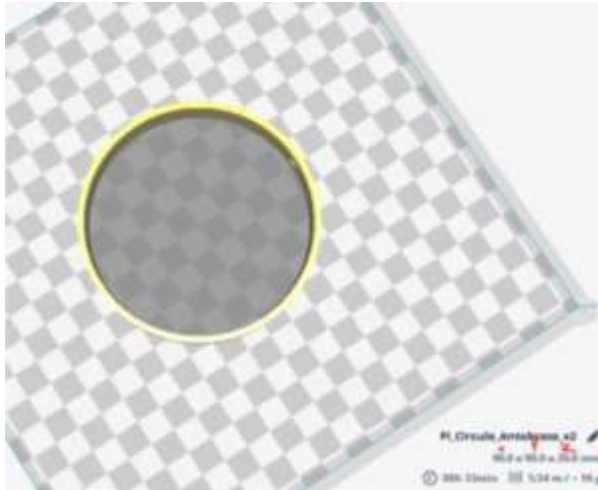


Figura 3. 19 Circunferencia antebrazo  
Elaborado por: Autor.

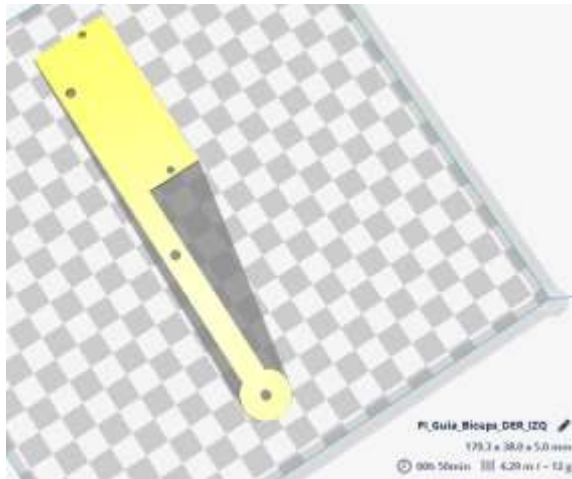


Figura 3. 20 Placa brazo  
Elaborado por: Autor.

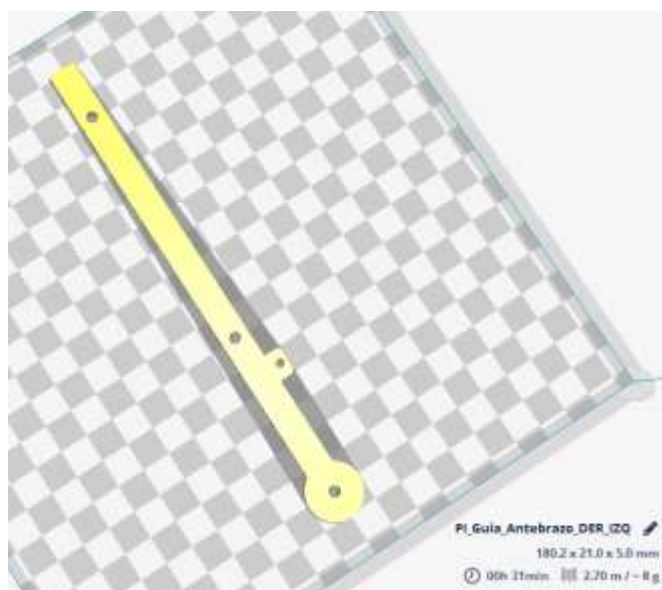


Figura 3. 21 Placa antebrazo  
Elaborado por: Autor.

El diseño completo de la estructura con las piezas ensambladas se visualiza de la siguiente manera. (Ver Figura 3.22)

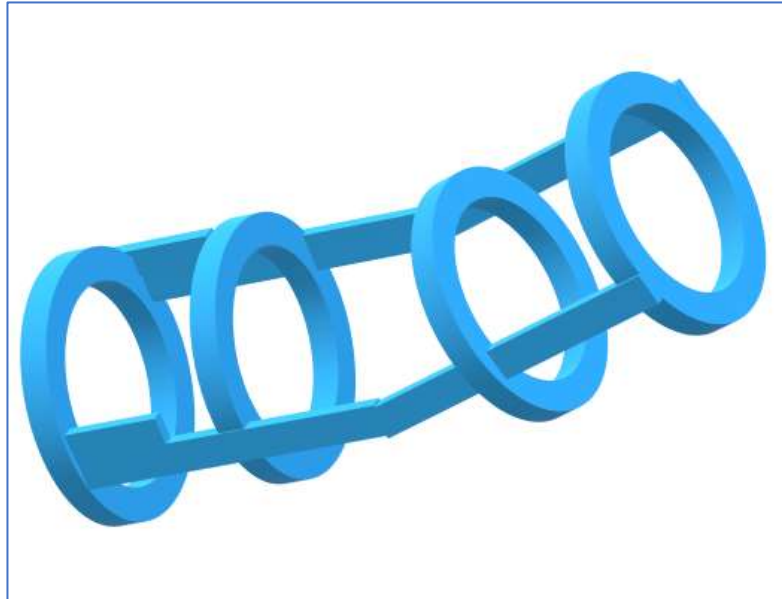


Figura 3. 22 Vista de piezas ensambladas  
Elaborado por: Autor.

Luego de la visualización del prototipo se procede a la impresión de las piezas (Ver Figura 3.23) y posterior ensamble de manera física (Ver Figura 3.24), para luego unirlo al hardware.



Figura 3. 23 Piezas impresas  
Elaborado por: Autor.



Figura 3. 24 Piezas de estructura ensambladas  
Elaborado por: Autor.

### 3.2. Selección de materiales

En esta etapa se enumeran los materiales a utilizar para la realización del prototipo, así como también detallar las funciones de cada elemento en el sistema.

#### 3.2.1. Materiales

Los materiales necesarios para la construcción del prototipo son los siguientes: (Ver Figura 3.25)

- Shield Servomotores
- Shield EMG
- Arduino
- Modulo Bluetooth HC05
- Ácido Poliláctico (PLA)
- Servomotores
- Cuerdas delgadas o hilo
- Cables “lagarto”
- Electrodo
- Baterías
- Tuercas y tornillos



Figura 3. 25 Materiales  
Elaborado por: Autor.

### 3.2.2. Función de materiales en el prototipo

Dentro del sistema, cada elemento cumple una función fundamental para el funcionamiento del prototipo, la cual será descrita a continuación:

- Arduino: es la placa de control principal en conjunto con la Shield EMG y la Shield de control de los servomotores, además por medio del software de Arduino se realiza toda la programación necesaria para el funcionamiento del sistema.
- Shield EMG: detecta las señales electro musculares; el terapeuta realiza movimientos de fuerza en la mano, según la intensidad de estos movimientos y a través del Bluetooth, se transmiten datos al Arduino y se activan los servomotores para realizar la terapia del brazo.
- Shield de control de servomotores: esta placa es usada para operar los servomotores en conjunto desde un punto de control común.
- Módulos Bluetooth: los módulos Bluetooth son usados para la transmisión y recepción de datos en cada uno de los sistemas, siendo usados bajo la modalidad maestro – esclavo.
- Servomotores: son actuadores usados para el movimiento de flexión del brazo por medio del exoesqueleto a un ángulo 30°.

- Baterías 9V: usadas para energizar la Shield EMG, se usan dos baterías de 9V cada una de ellas.
- Batería 5V: usada para energizar la Shield de control de los servomotores.
- Electrodo y cables lagarto: ambos elementos en conjunto van conectados al musculo del terapeuta y a partir de esto contribuyen al envío de señal a la Shield EMG.
- Ácido Poliláctico: el PLA mediante una impresora 3D es usado para crear la estructura del sistema.

### 3.3. Presupuesto

En este apartado, se detallan los valores económicos de cada dispositivo para posteriormente sacar un presupuesto general del sistema.

Tabla 2. 1 Presupuesto de inversión

<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>PRECIO</b>
2	Arduino UNO	\$24.00
1	Shield Servomotores	\$12.00
1	Shield EMG	\$27.00
2	Servomotores	\$20.00
2	Modulo Bluetooth HC05	\$17.00
3	Baterías	\$15.00
1	Cables Lagartos	\$1.00
1	Rollo de PLA	\$28.00
2m	Cuerdas o hilos	\$2.00
20	Cables o Jumpers	\$1.00
20	Tornillos y tuercas	\$3.00
3	Electrodos	\$12.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$162.00</b>

Elaborado por: Autor.

### 3.4. Implementación del sistema

La implementación del sistema se basa en la unión de los dispositivos presentados anteriormente, y así formar el prototipo final. Estos componentes van ensamblados a una estructura que rodea el brazo para poder tener control sobre el mismo. En este sistema se realizaron conexiones específicas que se detallan a continuación.

### 3.5. Conexiones del sistema

El sistema consta de dos partes, una de ellas se representa por el circuito de transmisión y otra por el circuito de recepción. El control de la transmisión se lleva a cabo por una placa Arduino y una placa EMG conectadas en simultaneo (una sobre otra); a partir de aquí se conectan los electrodos que se encuentran conectados al cuerpo humano y así enviar las señales por medio del módulo bluetooth de txd al módulo de rxd.

Para la transmisión de datos se realizan las conexiones como se presentan en la figura 3.26.

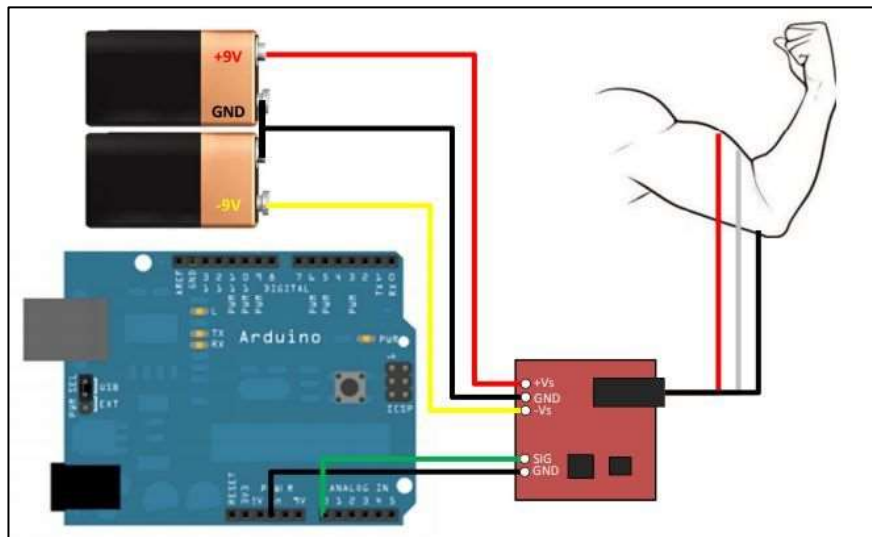


Figura 3. 26 Circuito transmisión de datos

Elaborado por: Autor.

Los pines usados en la placa de Arduino son los pines GND y la entrada analógica "0" conectados a GND y a la señal "SIG" de la Shield EMG respectivamente. La Shield se encuentra energizada mediante dos baterías de 9 voltios, donde +Vs se conecta al positivo de la batería 1, GND de la Shield se conecta al negativo de ambas baterías y -Vs se conecta al positivo de la batería 2.



EL control de la recepción se lleva a cabo mediante otra placa Arduino y una placa creada para el control especial de los servomotores (una sobre la otra), desde esto se conectan los actuadores, es decir los servomotores, y por medio de un nuevo módulo bluetooth se recibirán los datos que accionarán el sistema según los pulsos de la persona que realiza la terapia. Para la recepción de datos se realizan las conexiones como se ven a continuación en la figura 3.27.

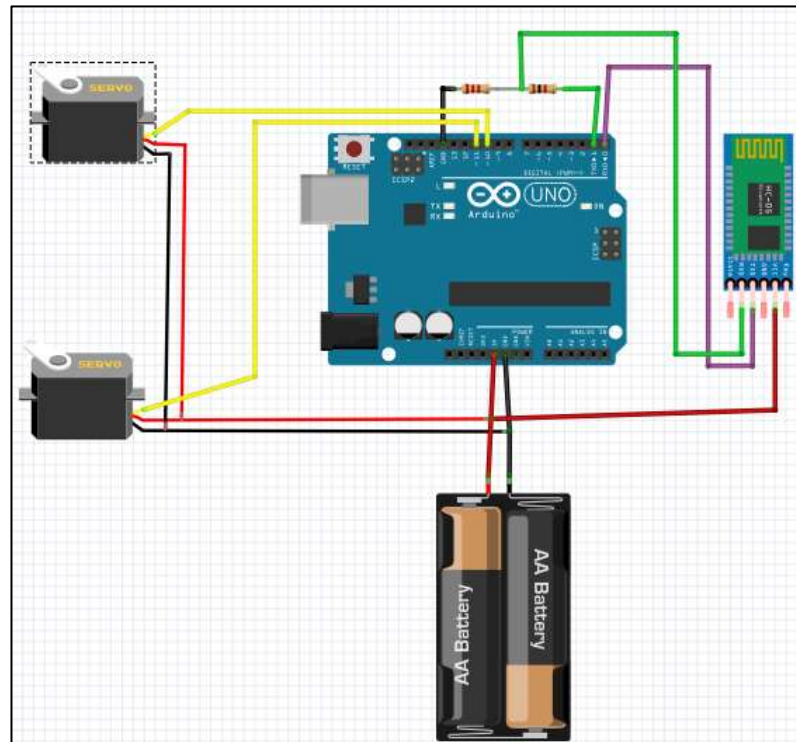


Figura 3. 27 Circuito de recepción de datos  
Elaborado por: Autor.

En este circuito se usan los pines 10 y 11 del Arduino que se encuentran conectados a la señal de cada servomotor, además del positivo y negativo del servo, que van conectados a 5V y GND del Arduino, a partir de los 5V se conecta a Vcc del módulo Bluetooth y además los pines de TXD y RXD del módulo, se conectan a los pines TDX y RXD de la placa Arduino. Las baterías, se conectan directamente a los 5V y GND de la placa para energizarla.

### 3.6. Pruebas de implementación

Para el área de las pruebas de implementación se procede a conectar los electrodos en el brazo, en este caso del fisioterapeuta, como se ve en la



figura 3.28, y el prototipo final en el brazo del paciente, como se visualiza en la figura 3.29.

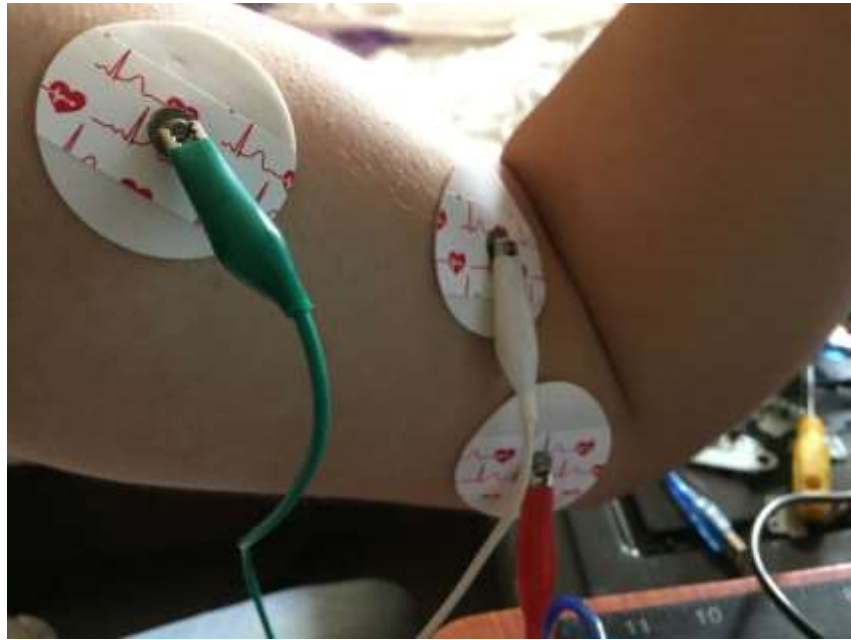


Figura 3. 28 Electrodo conectado al brazo  
Elaborado por: Autor.

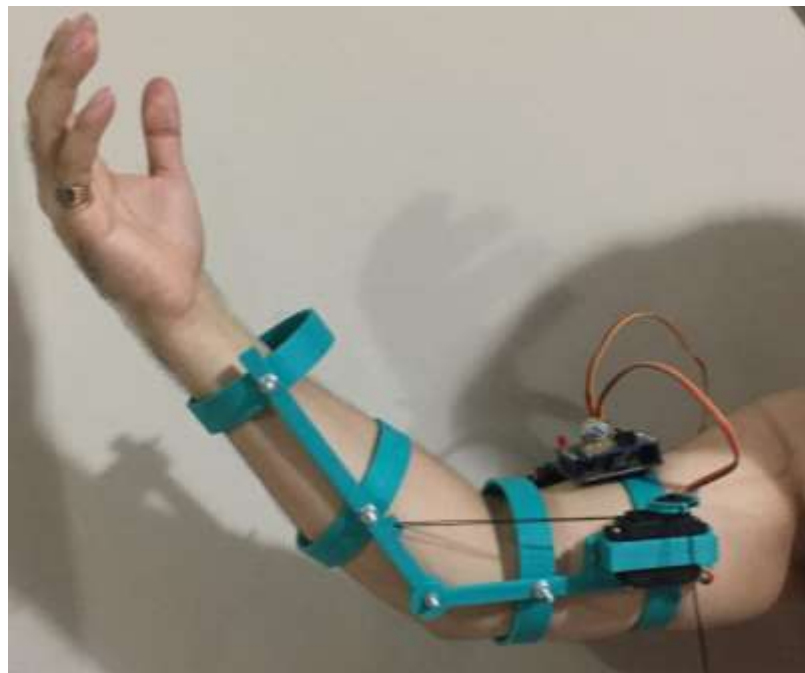


Figura 3. 29 Prototipo montado en brazo de paciente  
Elaborado por: Autor.

Una vez hechas las conexiones y montaje del prototipo en el brazo del paciente, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento según la fuerza o tensión en el músculo accionada por el fisioterapeuta.

## Prueba 1: Reposo

Para las pruebas en reposo se necesita que el fisioterapeuta no ejerza ningún tipo de tensión en el musculo y mantenga su brazo en una posición de descanso o reposo; mientras no se ejerza fuerza, el sistema en el brazo del paciente no se va a accionar. En la figura 3.30 se muestra la gráfica de reposo según la tensión del musculo, la cual es representada por la onda color verde. Los picos de tensión se muestran en niveles muy bajos.

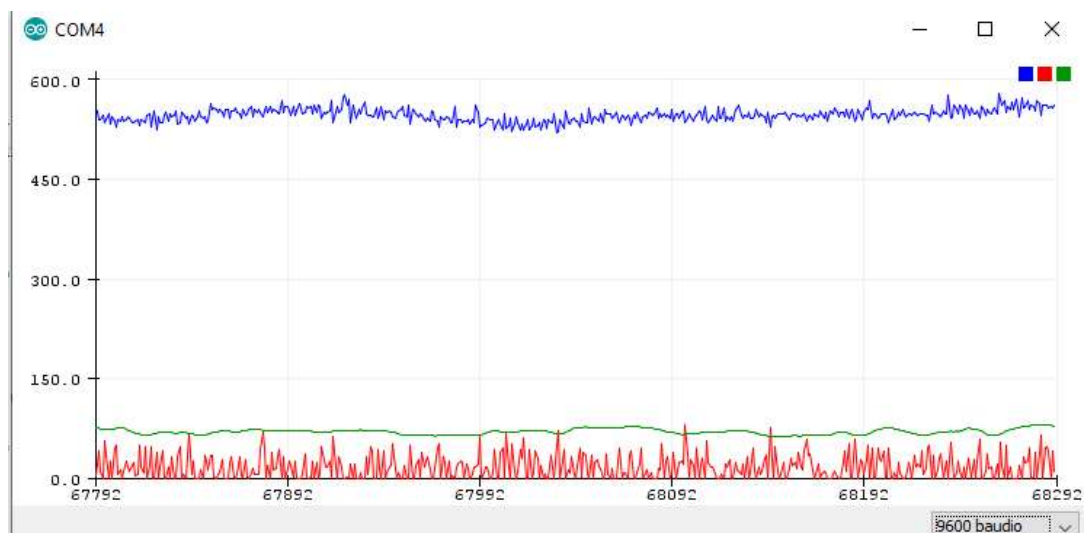


Figura 3. 30 Grafica de la tensión del musculo en reposo (onda verde)  
Elaborado por: Autor.

Así mismo se muestra en la figura 3.31 la fotografía del sistema en reposo de manera física con el sistema en el brazo del paciente.

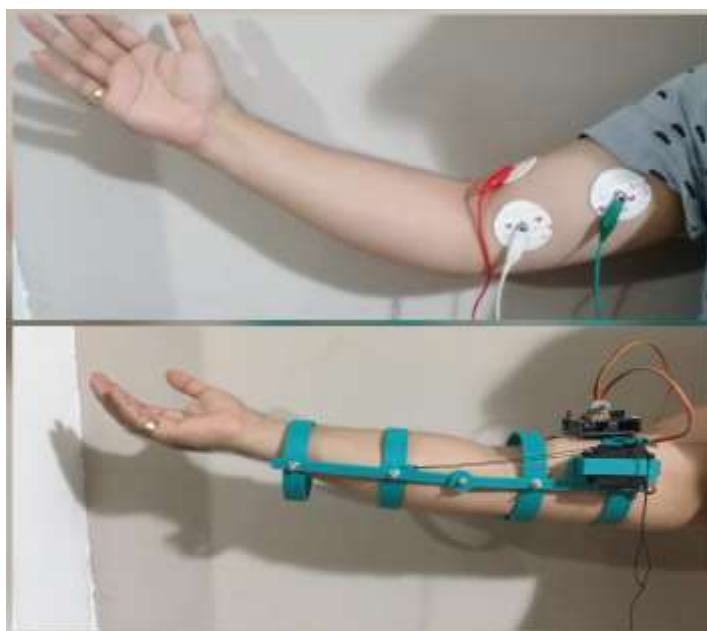


Figura 3. 31 Sistema en brazo del paciente (reposo)  
Elaborado por: Autor.

## Prueba 2: Media tensión muscular

Para las pruebas de media tensión, se requiere que el fisioterapeuta aprete su puño ligeramente fuerte para así proporcionar tensión necesaria que se precisa para accionar un movimiento en el monitor de pulsos, más sin embargo el sistema en el brazo del paciente no se accionara. En la siguiente figura, se puede ver la cantidad de tensión ejercida, para llegar a la media tensión, representada por la onda verde (Figura 3.31). Los picos de tensión se muestran en un nivel medio de tensión entre 0 y 100.

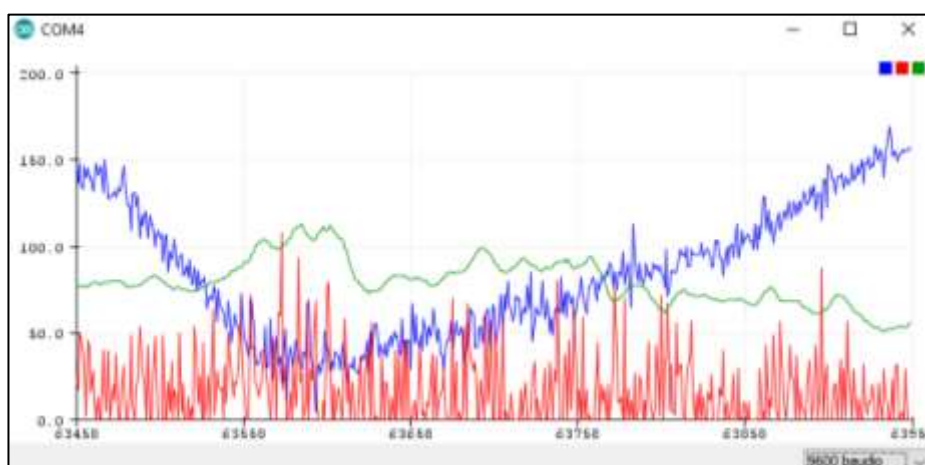


Figura 3. 32 Grafica de media tensión del musculo (onda verde)  
Elaborado por: Autor.

De la misma manera en la figura 3.33 se muestra la acción del sistema en el brazo del paciente, al ser ejercida la media tensión muscular por parte del terapeuta. Se debe recalcar que el sistema detecta la media tensión del musculo, pero no existe ninguna reacción por parte del mismo, es por esto que este sistema se basa solo en señales altas o bajas para su accionamiento.

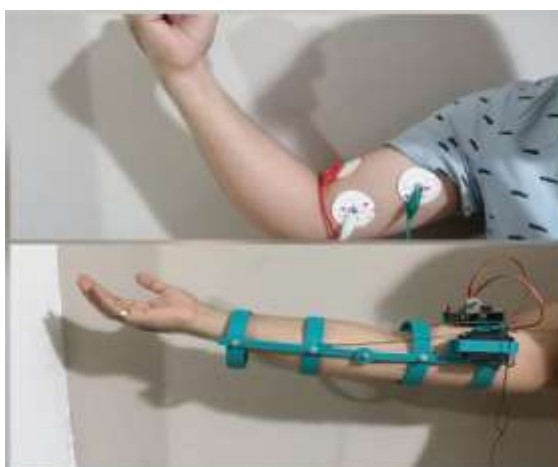


Figura 3. 33 Sistema en reacción a la media tensión del musculo  
Elaborado por: Autor.

### Prueba 3: Alta tensión muscular

Para la prueba de alta tensión muscular es necesario que el terapeuta ejecute una fuerte tensión en su musculo para así accionar de manera firme y completa el sistema colocado en el paciente. En la figura 3.34 mostrada a continuación se logra ver una tensión mucho más alta que las visualizadas anteriormente. Los picos de tensión se muestran en un nivel de tensión entre 0 y 500

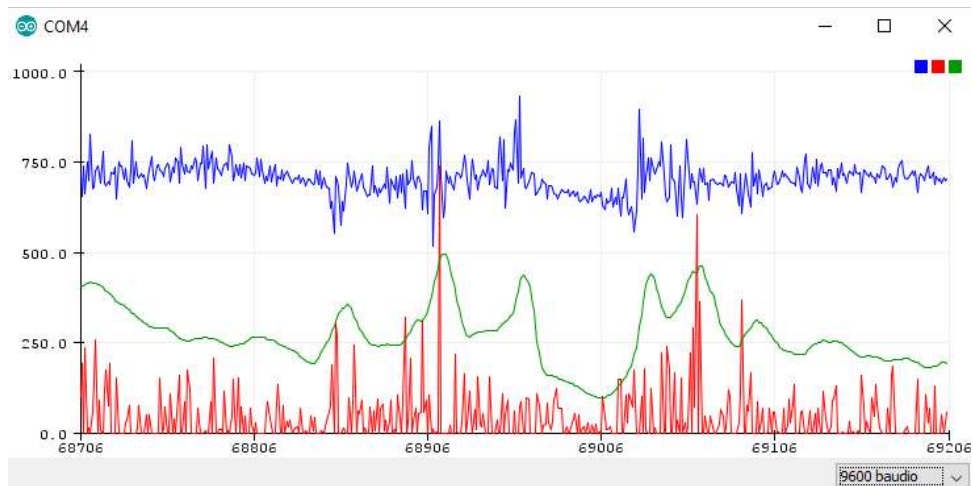


Figura 3. 34 Grafica de alta tensión del musculo (onda verde)

Elaborado por: Autor.

En la figura 3.35 se muestra de manera física la reacción del sistema y la posición del brazo una vez ejercida la alta tensión muscular.

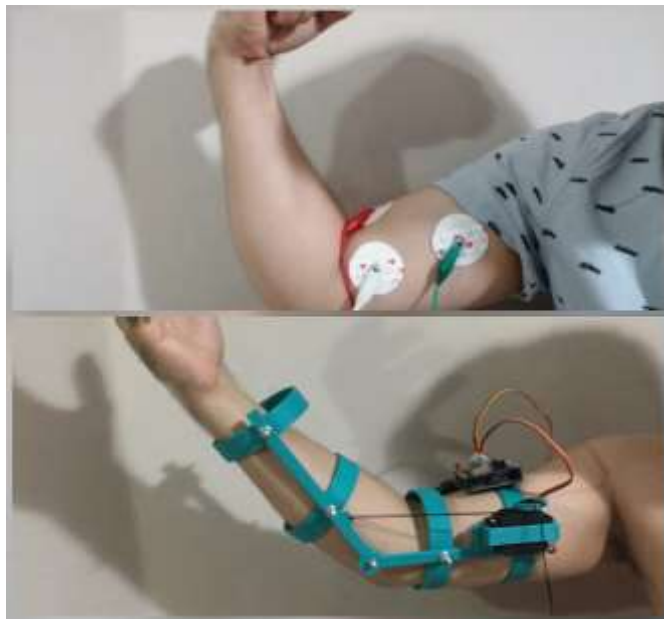


Figura 3. 35 Sistema en reacción a la alta tensión del musculo

Fuente: Autor

## **Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.1. Conclusiones**

- Para usar el sistema se debe tener conocimiento previo acerca de su accionamiento, además es importante saber qué tipo de rehabilitación es la que necesita realizar el paciente, intensidad y tiempos destacará un óptimo uso y buenos resultados.
- En el análisis del estado del arte se denota que el tema de los exoesqueletos para la rehabilitación en el área de movilidad, es una de las mejores opciones existentes puesto que trabajan directa y conjuntamente con los músculos afectados.
- A partir de la implementación y posteriores pruebas, se confirma el funcionamiento óptimo del prototipo, brindando una solución factible para el desarrollo de terapias físicas en las extremidades superiores del cuerpo humano.

### **4.2. Recomendaciones**

- El sistema puede ser implementado según el peso del paciente, es decir, si se trata de un paciente con mayor masa corporal, se deben usar servomotores acordes al peso del paciente y los aros de la estructura acorde al diámetro de los brazos del mismo, de igual manera con una persona de menor masa corporal y menor diámetro en sus brazos.
- Para motivos estéticos, se puede desarrollar el prototipo en otro tipo de material que cumpla con las necesidades básicas del proyecto.
- Un interfaz para tener un mayor control sobre el sistema sería recomendable puesto que así se posibilitaría el cambio de valores según las características específicas del paciente (peso, diámetro del brazo, magnitud del daño, etc.)

## Referências bibliográficas

- A Bethel, C. (2017). *Myopathies: Practice Essentials, Background, Pathophysiology*. <https://emedicine.medscape.com/article/759487-overview>
- Ainsworth, C. R. (2019). *Head Trauma: Background, Epidemiology, Etiology*. <https://emedicine.medscape.com/article/433855-overview>
- Akbari, F. (2014, septiembre 6). What AVR microcontroller? 98. <https://electronics98.com/-avr-what-avr-microcontroller/>
- Anonimo. (2017). *Upper Limb Rehabilitation*. PhysioFunction. <https://www.physiofunction.co.uk/rehabilitation-technology/upper-limb-rehabilitation>
- Bai, S., Virk, G. S., & Sugar, T. G. (Eds.). (2018). *Wearable exoskeleton systems: Design, control and applications*. The Institution of Engineering and Technology.
- CDC. (2016, mayo 11). *Datos sobre espina bífida | CDC*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/spinabifida/facts.html>
- CDC. (2018, abril 18). *What is Cerebral Palsy?* Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/ncbddd/cp/facts.html>
- Ceballos, A. (2016, marzo 10). *Enfermedades de los músculos en adultos: Miopatías* -. Salud física, mental y espiritual. <https://www.saludfisicamentalyespiritual.com/2016/10/enfermedades-musculos-adultos-miopatias.html>
- Céspedes Machicao, M. (2017). Características De Las Placas Arduino. *Universidad Autónoma Juan Misael Saracho*, 2, 6.

- Clinica Mayo. (2019a, abril 27). *Tumor cerebral—Síntomas y causas*. Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/brain-tumor/symptoms-causes/syc-20350084>
- Clinica Mayo. (2019b, septiembre 17). *Spinal cord injury—Symptoms and causes*. Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>
- Cutipa, G., & Williams, F. (2017). Diseño, implementación y control de un exoesqueleto para rehabilitación de extremidades superiores. *Universidad de Piura*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3058>
- Dan, R. (2016). *Configuración del módulo bluetooth HC-05 usando comandos AT*. [https://naylorlampmechatronics.com/blog/24\\_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html](https://naylorlampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html)
- De Can Ruti, C. (2014, diciembre 1). *Lesión medular*. Institut Guttmann. <https://www.guttmann.com/es/treatment/lesion-medular>
- Department of Health & Human Services. (2016, marzo 9). *Becker muscular dystrophy*. Genetic and Rare Diseases Information Center (GARD) – an NCATS Program. <https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/5900/becker-muscular-dystrophy>
- Department of Health & Human Services. (2017, septiembre 28). *Duchenne muscular dystrophy*. Genetic and Rare Diseases Information Center (GARD) – an NCATS Program. <https://rarediseases.info.nih.gov/diseases/6291/duchenne-muscular-dystrophy>
- Farnell, J. (2015). *Motor Control Servo Motors*. Farnell an Avnet Company. <https://es.farnell.com/motor-control-servo-motors-technology>
- Fernandez, S. (2017, febrero 23). Cusevi Y Pemaco: ¿Qué es la distrofia muscular de Becker? *CUSEVI Y PEMACO*.

<http://fisicaquimicabioblog.blogspot.com/2017/02/que-es-la-distrofia-muscular-de-becker.html>

González, A. G. (2016, diciembre 2). ¿Qué es y cómo funciona un servomotor? *Panama Hitek*. <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

Guerrero, A. (2018, septiembre 20). *Robots apoyan en terapias*. El Comercio. <https://www.ultimasnoticias.ec/las-ultimas/robots-terapias-hcam-servicio-quito.html>

Henderson, J. (2012, abril 2). *Motor Impairment*. International Neuromodulation Society. <https://www.neuromodulation.com/motor-impairment>

Izurieta, M. (s. f.). Trauma Craneal | Dr. Mario Izurieta Ulloa. *Dr. Mario Izurieta Ulloa Neurología y Neurocirugía*. Recuperado 4 de diciembre de 2019, de <https://marioizurieta.com/procedimientos/trauma-craneal/>

Kececi, E. F. (2019). Actuators. En E. F. Kececi (Ed.), *Mechatronic Components* (pp. 145-154). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814126-7.00011-6>

Mas, M. (2019, octubre 7). Distrofia muscular de Duchenne. *neuronas en crecimiento*. <https://neuropediatra.org/2019/10/07/distrofia-muscular-de-duchenne/>

Mecafenix, F. (2017, abril 25). Arduino ¿Que es, como funciona? Y sus partes. *Ingeniería Mecafenix*. <https://www.ingmecafenix.com/electronica/arduino/>

NeuRA. (2016). About. *Motor Impairment*. <https://motorimpairment.neura.edu.au/about/>

Noguera, M. (2016). *Bases de Anatomía Topográfica*. DOCPLAYER. <https://docplayer.es/26330970-Bases-de-anatomia-topografica-dr-miguel-noguera.html>



- Olimex. (2018). *SHIELD-EKG-EMG - Open Source Hardware Board*. Olimex. <https://www.olimex.com/Products/Duino/Shields/SHIELD-EKG-EMG/open-source-hardware>
- Paz, M. (2017, julio 15). *Exoesqueleto: La revolución de la movilidad humana*. Ruiz-Healy Times. <https://www.ruizhealytimes.com/ciencia-y-tecnologia/exoesqueleto-la-revolucion-de-la-movilidad-humana>
- Reeve, C., & Reeve, D. (2017). *Parálisis cerebral—International*. Reeve Foundation. <https://www.christopherreeve.org/es/international/top-paralysis-topics-in-spanish/cerebral-palsy>
- Santana, E., & Olvera, A. (2012). *Educación pertinente e inclusiva. La discapacidad en educación indígena*.
- Schmidt, M. (2015). *Arduino: A quick-start guide* (Second edition). The Pragmatic Bookshelf.
- Sekiz, M. (2014, diciembre 27). *A.R.M. | Flickr*. <https://www.flickr.com/photos/128819970@N06/sets/72157649901766076/>
- Seunggu, H. (2017, abril 21). *Brain Tumor: Types, Risk Factors, and Symptoms*. Healthline. <https://www.healthline.com/health/brain-tumor>
- Sherrington, C., Whitney, J. C., Lord, S. R., Herbert, R. D., Cumming, R. G., & Close, J. C. T. (2008). Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(12), 2234-2243. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.02014.x>
- Villalba Sarmiento, L. (2015, septiembre 7). *Extremidad Superior [Ciencias]*. <https://es.slideshare.net/polifemo30/extremidad-superior-52482457>
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed). Wiley.

Zhang, K., Chen, X., Liu, F., Tang, H., Wang, J., & Wen, W. (2018). System Framework of Robotics in Upper Limb Rehabilitation on Poststroke Motor Recovery. *Behavioural Neurology*, 2018, 6737056. <https://doi.org/10.1155/2018/6737056>



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Ramírez Moncayo, Gerson Antonio** con C.C: # 092943793-7 autor del Trabajo de Titulación: Sistema de exoesqueleto robótico aplicado a la terapia física controlado mediante Bluetooth para la rehabilitación de pacientes previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 28 de febrero del 2020

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Ramírez Moncayo, Gerson Antonio

C.C: 092943793-7



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Sistema de exoesqueleto robótico aplicado a la terapia física controlado mediante Bluetooth para la rehabilitación de pacientes.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Ramírez Moncayo, Gerson Antonio		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	28 de febrero del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	52
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas Microcontroladores, Diseño Electrónico		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	EXOESQUELETO, ROBÓTICA, MAESTRO - ESCLAVO, TERAPIA FÍSICA, SHIELD EMG, REHABILITACIÓN		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>Los exoesqueletos robóticos, son dispositivos o sistemas de suma importancia en el área de la terapia física, puesto que ayudan a la realización de terapias de movilidad en pacientes con parálisis total o parcial. Actualmente estos sistemas son vendidos a altos valores económicos, y aunque sean muy buenos sistemas, por su precio no todas las personas están al alcance de realizarse terapias aprovechándolos: como opción más viable, se ha diseñado un prototipo de exoesqueleto para rehabilitación en extremidades superiores, que sea capaz de ofrecer beneficios muy similares a los grandes sistemas de rehabilitación pero con un costo mucho más bajo, materiales confiables y amigables con el medio ambiente y un uso sencillo. El equipo funciona con un exoesqueleto en el brazo basado en un sistema maestro -esclavo, el sistema maestro cuenta con una Shield EMG la cual obtiene señales a través de pulsos electro musculares y por medio de un módulo bluetooth se envían los datos al sistema esclavo el cual los recibe por medio de otro modulo bluetooth y acciona los servomotores para que la extremidad del paciente se mueva según la tensión de que determine el terapeuta o la persona que controle el sistema.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593996647893	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:gersonderscanf@gmail.com">gersonderscanf@gmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-85086815		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec">eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			