

EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MARCHA EN INFANTES

JORGE LUIS CORNEJO PLATA

JESUS FABIAN SANTANA HERNANDEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
Facultad de Ingeniería Electrónica
Escuela de Ingeniería
Bucaramanga
2014

EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MARCHA EN INFANTES

JORGE LUIS CORNEJO PLATA

JESUS FABIAN SANTANA HERNANDEZ

Trabajo de grado para optar por el título de

Ingeniero Electrónico

Director:

MSc. SERGIO ALEXANDER SALINAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

Facultad de Ingeniería Electrónica

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2014

Hoja de Aprobación

Director _____
MSc. Sergio Alexander Salinas

Jurado _____

Jurado _____

Fecha de sustentación: Bucaramanga,

Con todo mi cariño y mi amor a mis padres que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino no tenía sendero, mi novia por ser una parte muy importante de mi vida y mi futuro, por haberme apoyado en las buenas y malas situaciones, por llenar mi vida de alegría y amor, sobre todo por su paciencia y amor incondicional y a mis hermanos. A todos ustedes por siempre mi corazón y mis agradecimientos.

Los Quiero Mucho.

Jorge Luis Cornejo Plata

Hoy me nace dedicarles este título profesional a todas aquellas personas que de buena fe me brindaron su apoyo, ánimo y compañía como lo fueron mis amigos y hermanos. Pero en especial a mis padres Jesús Emilio Santana Quintero y Carolina Hernández Hernández, quienes creen ciegamente en mí y son mi gran ejemplo a seguir.

Jesús Fabián Santana Hernández

Agradecimientos

Le agradecemos a Dios por acompañarnos y guiarnos a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en momentos difíciles y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le damos gracias a nuestros padres, por apoyarnos en todo momento, por los valores que nos han inculcado, y por habernos dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestra vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

Agradecemos especialmente, a la Facultad de Ingeniería Electrónica, la Universidad Pontificia Bolivariana, su personal administrativo y técnico por las facilidades que nos brindaron en la realización del proyecto, a los docentes que a lo largo de nuestras carreras nos brindaron sus conocimientos y experiencias.

Gracias Ingeniero Sergio Salinas por creer en nosotros, por habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo de grado, por ser nuestro director que con paciencia, colaboración y dedicación logramos sacar adelante este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 EXOESQUELETOS	3
2.2 REHABILITACIÓN DE MARCHA.....	9
2.3 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	11
3. MOVIMIENTO DE MARCHA EN NIÑOS DE 5 A 6 AÑOS	14
4. DESARROLLO DEL EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MARCHA EN INFANTES	19
4.1 SISTEMA MECÁNICO	20
4.1.1 Implementación	20
4.2 HARDWARE.....	21
4.2.1 DISEÑO	21
• Comunicación	21
4.2.2 CONTROL	24
• Micro-controlador PIC30F4013.....	24
• Lazo de Realimentación.....	24
4.2.3 Actuadores	26
4.2.4 Sistema Sensor	29
4.2.5 Tarjeta impresa	30
4.3 SOFTWARE	31
4.3.1 Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)	31
4.3.2 Protocolo de Comunicación	32
4.3.3 Algoritmos en el Micro-controlador	33
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	39
5.1 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	39
5.2 EQUIPO EXOESQUELÉTICO	41

5.3 Control	43
6. CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS	51
MANUAL DE MANTENIMIENTO	51
MANUAL DE USUARIO.....	62
TABLA RESULTADOS.....	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Desarrollo de la marcha en niños.....	10
Tabla 2.Características de la marcha inicial del niño.....	14
Tabla 3.Fases del movimiento de marcha.....	15
Tabla 4.Parámetros Servomotor TGY-1501MG.....	27
Tabla 5.Parámetros Servomotor SG 5010.....	29
Tabla 6.Error de posición de cada extremidad.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.Movimiento de marcha niño entre 5-6 años	15
Figura 2.Grafica Rodilla y Cadera Vs Tiempo	17
Figura 3.Diagrama proyecto C.S.ONE	19
Figura 4.Piezas implementadas en el exoesqueleto	20
Figura 5.Soporte implementado en el exoesqueleto	21
Figura 6.Diagrama funcionamiento comunicación Uart.....	22
Figura 7.Programador Arduino mini y pro	23
Figura 8.Conexión Programador Arduino mini y pro al computador.....	23
Figura 9.Micro-controlador 30f4013	24
Figura 10.Lazo de realimentación general	25
Figura 11.Lazo de realimentación típico.....	25
Figura 12.Servomotor TGY-1501MG	27
Figura 13.Parámetros y dimensiones Servomotor TGY-1501MG	28
Figura 14.Servomotor SG 5010	28
Figura 15.Parámetros y dimensiones Servomotor SG 5010	29
Figura 16.Sistema sensor del servomotor	30
Figura 17.Diseño Tarjeta Impresa.....	31
Figura 18.Interfaz Gráfica de Usuario	32
Figura 19.Protocolo Software	33
Figura 20.Protocolo Hardware	34
Figura 21.Inicio fase 1 protocolo Microcontrolador	34
Figura 22.Fase 2 Protocolo Microcontrolador	35
Figura 23.Fase 3 Protocolo Microcontrolador	36
Figura 24.Fase 4.1 protocolo Microcontrolador	36
Figura 25.Fase 4.2 protocolo Microcontrolador	37
Figura 26.Fase 4.3 protocolo Microcontrolador	37
Figura 27.Fase 5 Protocolo Microcontrolador	38
Figura 28.Conexión Interfaz Gráfica de usuario final	39

Figura 29.Selecciones de la Interfaz Gráfica de usuario final	40
Figura 30.Graficas de posición de la Interfaz Gráfica de usuario final	40
Figura 31.Graficas de posición de la Interfaz Gráfica de usuario final con variación de velocidad	41
Figura 32.Elementos del equipo exoesquelético	41
Figura 33.Componentes de la caja de control	42
Figura 34.Estructura exoesquelética con y sin maniquí.....	42
Figura 35.Grafica de Cadera derecha con control y sin control.....	44
Figura 36.Grafica de Cadera izquierda con control y sin control	44
Figura 37.Grafica de Rodilla derecha con control y sin control	45
Figura 38.Grafica de Rodilla izquierda con control y sin control.....	45
Figura 39.Grafica variación de la Velocidad en Cadera Derecha.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

GDL (Grados De Libertad)

GUI (Interfaz Gráfica de Usuario)

HAL (Hybrid Assisting Limb)

BLEEX (Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)

DARPA (Defense Advanced Research Project Agency)

IHMC (Instituto de la Florida para los Derechos Humanos)

IMOC (Insuficiencia motora de origen cerebral)

CTC (Control por par calculado)

MEMEX (Memory Extensión)

CAD (software de diseño gráfico pionero tipo vectorial)

UART (“Universal Asynchronous Receiver-Transmitter”)

Rx (Recepción)

Tx (Transmicion)

GND (ground o tierra)

RD (Rodilla derecha)

RI (Rodilla izquierda)

CD (Cadera derecha)

CI (Cadera izquierda)

R&CD (Rodilla y cadera derecha)

R&CI (Rodilla y cadera izquierda)

M (Movimiento de marcha)

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MARCHA EN INFANTES

AUTORES: JORGE LUIS CORNEJO PLATA, JESUS FABIAN SANTANA HERNANDEZ

FACULTAD: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: SERGIO ALEXANDER SALINAS

RESUMEN:

Este proyecto describe el diseño y la implementación de un exoesqueleto con motores controlados a través de un microcontrolador, para la rehabilitación de marcha en niños entre cinco y seis años con dificultades o limitaciones para caminar o moverse, causados por diferentes factores. El diseño posee 4 GDL (Grados de libertad) que describe los movimientos y las restricciones de cada una de las articulaciones de las extremidades inferiores del paciente, el cual realiza movimientos terapéuticos específicos, obtenidos a través de un estudio del movimiento de marcha. Para garantizar el seguimiento de dichas secuencias se diseñó un control angular de los motores implementados, que permite corregir error de posición. En la interfaz de usuario desarrollada en Visual Studio, se puede observar y controlar los movimientos de rehabilitación del exoesqueleto con ejercicios repetitivos decididos por el fisioterapeuta.

Palabras claves: Exoesqueleto, rehabilitación, análisis de marcha, interfaz gráfica de usuario, infantes.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EXOSKELETON REHABILITATION OF MARCH IN INFANTS

AUTHOR(S): JORGE LUIS CORNEJO PLATA, JESUS FABIAN SANTANA HERNANDEZ

FACULTY: ELECTRONIC ENGINEERING

DIRECTOR: SERGIO ALEXANDER SALINAS

ABSTRACT:

This project describes the design and simulation of an exoskeleton with motors, controlled by a microcontroller, for driving rehabilitation in five and six year old children with limitations or difficulties walking or moving caused by different factors, which aimed to optimize rehabilitation therapy and with it the patient's recovery. The design has 4 GLD (degrees of freedom) that describes the movements and restrictions of each joint of the patient's lower extremities, and performs specific therapeutic movements, obtained through a study of the walking motion. To monitor the progress of such sequences, it was designed an angular control of the implemented engines, which allows to correct the position error. In the user interface, developed in Visual Studio, you can observe and control the movements of the exoskeleton rehabilitation with repetitive exercises determined by the physiotherapist.

Keywords: Exoskeleton, Rehabilitation, Gait analysis, GUI, infants.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda uno de los temas que ha sido de gran relevancia en el campo de la biomédica, tiene que ver con lo que se ha denominado exoesqueleto. A partir de áreas como la medicina, se han desarrollado instrumentos especializados centrados en la recuperación del paciente, cuyo propósito es mejorar su calidad de vida, es así como surgen los exoesqueletos.

El exoesqueleto ha sido definido como un dispositivo que se adapta a la estructura física del cuerpo humano, su funcionalidad es de apoyo para la realización de movimientos, lo cual, aumenta las capacidades o facilita el desarrollo de potencialidades de determinados miembros del cuerpo humano. De esta forma los exoesqueletos se clasifican según la sección del cuerpo en extremidades o miembros superiores, extremidades o miembros inferiores y para rehabilitación.

Sin embargo, la construcción de estos mecanismos requiere de disciplinas como electrónica, informática y mecánica. A partir del campo electrónico, se reconocen la instrumentación y el control como partes fundamentales del sistema; la instrumentación, se encarga de recolectar la información útil para ser enviada a un procesador central, el cual contiene las estrategias de control necesarias para tomar una decisión de acuerdo con la información recibida.¹

Por otra parte, el diseño de exoesqueletos surge en el año 1960 para aplicaciones militares en ámbitos de combate, en los que los soldados deben cargar equipos que exceden su peso y requieren mayor movilidad; otra aplicación para uso militar es que el soldado pueda realizar caminatas largas sin que genere agotamiento físico y cuando llegue a su destino el soldado tenga la energía suficiente para realizar operativos.

Asimismo se han desarrollado investigaciones respecto a la construcción de exoesqueletos para la rehabilitación de marcha. Un ejemplo de exoesqueleto es Re-Walk que permite movilidad a sus usuarios a través de funciones como pararse, caminar, ascender y descender escaleras. Por consiguiente, los actuadores en el exoesqueleto deben ser localizados en la posición correspondiente a la representación en el cuerpo humano, para simular la función de los músculos durante el proceso del movimiento humano del operador, permitiendo el desarrollo de secuencias de movimiento en el miembro inferior que emula la parte del cuerpo del paciente.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, esta investigación pretende diseñar y construir un exoesqueleto con motores controlados a través de un micro-controlador, el cual

¹Chávez, M.A., Rodríguez, F., & Baradica, A. Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2010.

será manipulado a través de una interfaz gráfica de usuario desarrollada en un computador para la rehabilitación de marcha en niños entre cinco y seis años, ya que, no se han realizado investigaciones en Colombia que aborden la realización de exoesqueletos para rehabilitación de marcha en esta población.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Diseñar y construir un modelo funcional a escala de un exoesqueleto, para rehabilitación de marcha en niños entre cinco y seis años; y desarrollar una interfaz gráfica de usuario para su control.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudiar los movimientos de las extremidades inferiores realizados por un niño entre cinco y seis años cuando realiza la marcha, para definir los requerimientos técnicos del exoesqueleto.
- Diseñar un exoesqueleto con motores controlados a través de un micro-controlador, una interfaz gráfica de usuario amigable, un algoritmo para la generación de la secuencia de movimientos y un sistema de sensor de posición angular de las articulaciones.
- Implementar la estructura exoesquelética a escala para emular los movimientos de marcha.

2. MARCO TEÓRICO

Actualmente la tecnología ha tenido avances significativos en las diferentes áreas del ser humano, especialmente lo relacionado con la salud. Uno de los procesos psicomotores de gran relevancia en el hombre es la movilidad (caminar), sin embargo, en el mundo existen diferentes situaciones de discapacidad y es a partir de la tecnología que se pueden desarrollar equipos especializados como los exoesqueletos, los cuales, han permitido al paciente recuperar la movilidad de su cuerpo.

2.1 EXOESQUELETOS

El ser humano se ha caracterizado desde la antigüedad por realizar actividades simples y complejas, las cuales, van desde caminar hasta conducir un automóvil, comprometiendo diferentes miembros superiores e inferiores del cuerpo humano. Por lo que, cada miembro es indispensable para el adecuado funcionamiento del sistema humano y su afectación debido a enfermedades o accidentes, implica la utilización de dispositivos externos o terapias de rehabilitación física, generando de esta forma el origen del exoesqueleto.

El exoesqueleto ha sido definido según Ayala (2012)², como un sistema biomecatrónico, en el cual, el mecanismo está adaptado a la estructura física del cuerpo humano, con un control que puede provenir de las mismas señales del cerebro, con sensores conectados a la piel humana y con actuadores que son analógicos a las funciones del cuerpo, todos estos elementos pueden actuar como un solo sistema integrado que puede desarrollar variadas actividades.

Estos dispositivos se encuentran constituidos por órtesis, las cuales, son aparatos externos aplicados al cuerpo para modificar las características funcionales o estructurales del sistema neuronal- muscular- esquelético. De acuerdo a su funcionamiento se pueden clasificar en:

- Pasivas, son dispositivos que solo incluyen partes mecánicas. La mayoría de este tipo de diseño no permiten el movimiento en ninguna de las articulaciones del cuerpo.
- Activas, su aplicación principal son los exoesqueletos, que consisten en un mecanismo estructural externo acoplado a la persona, cuyas juntas y eslabones corresponden a las de la parte del cuerpo humano que emula. El contacto entre el usuario y el exoesqueleto permite transferir potencia mecánica y señales de información. Son sistemas mecatrónicos que utilizan actuadores para proveer la fuerza y la movilidad de las articulaciones; controlados por una unidad central de procesamiento a la que se conectan sensores y actuadores.

² Ayala, J.F. *Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior*. México: Tesis de grado publicada, Instituto Politécnico Nacional, 2012

El exoesqueleto durante años ha sido considerado como un dispositivo que permite el desarrollo de un conjunto de habilidades como caminar, saltar y correr. En sus inicios, fueron diseñados para uso industrial y militar, con el propósito de ayudar a los soldados a sostener cargas pesadas en el ámbito de combate. De esta forma el exoesqueleto permitía al usuario aumentar su fuerza y resistencia.

Los exoesqueletos se dividen según la aplicación final en:

Amplificadores de potencia: Fueron los primeros en ser desarrollados, su finalidad era aumentar la capacidad, principalmente de fuerza y carga, del miembro en el que es aplicado.

Tecnologías de asistencia para individuos con problemas de movilidad: Se encuentran en desarrollo y no existe aún un dispositivo accesible a la mayoría que asista a los discapacitados en su vida cotidiana fuera de los centros terapéuticos. Se espera que con el avance de la tecnología, con la miniaturización de los mecanismos y con el creciente desarrollo de grupos en bioingeniería, se pueda lograr pronto este objetivo con un producto ergonómico.

De igual forma, los exoesqueletos se clasifican en tres categorías de acuerdo a la sección del cuerpo a la que son aplicados: Para extremidades o miembros superiores, extremidades o miembros inferiores y para rehabilitación.

También existe una clasificación de acuerdo a donde se sujeta la base del exoesqueleto:

No portátiles: las estructuras exoesqueléticas que se encuentran ancladas a una base fija, tal como el suelo, la pared o el techo. En general estas interfaces son más pesadas y complejas que los exoesqueletos portátiles, debido a que suelen tener la capacidad de producir fuerza de salida mayores. Además, la seguridad es especialmente importante en su diseño.

Portátiles: el soporte sobre el que se apoya todo el peso del exoesqueleto es el propio usuario o un dispositivo móvil con el usuario, como por ejemplo una silla de ruedas. De esta forma los exoesqueletos portátiles ejercen las fuerzas de reacción sobre el usuario en los puntos de sujeción.

El término rehabilitación aparece por primera vez en Estados Unidos de América hacia finales de la primera guerra mundial para hacer frente a la reinserción profesional y al suministro de prótesis a los mutilados por la guerra; lo que originó que diseñaran ejercicios físicos de rehabilitación en los hospitales militares.

Según Pérez (2011)³, la rehabilitación ha sido definida como un conjunto de procedimientos dirigidos a ayudar a una persona a alcanzar el más complejo potencial físico,

³ Pérez, M.A. *Análisis cinemático e implementación de una mano robótica servo-articulada aplicable como prótesis*. Tesis de grado publicada. México: Instituto Politécnico Nacional, 2011

psicológico, social, vocacional y educacional compatible con su deficiencia fisiológica o anatómica y limitaciones medioambientales.

El primer dispositivo fue desarrollado en 1890 por Nicholas Yagin, considerado como una unidad, constituida por bolsas de gas comprimido para almacenar la energía requerida para movimientos simples.

De acuerdo a Ayala (2012)², en la década de 1960, los exoesqueletos fueron estudiados para propósitos de aplicaciones industriales y médicas; asimismo algunos de estos dispositivos se desarrollaron con el fin de incrementar las capacidades humanas a principios de la década de 1990. El primer exoesqueleto activo fue diseñado en el año 1969 por el profesor Vukobratovic, fundamentado en el miembro inferior; impulsado neumáticamente y con una programación cinemática mínima para producir una marcha antropomórfica básica.

Posteriormente, en la década de 1970, investigadores de la Universidad Cornell y General Electric desarrollaron un sistema teleoperado (maestro- esclavo), denominado Hardiman. Este dispositivo, era un exoesqueleto antropomórfico colocado dentro de un robot esclavo más grande y era utilizado para amplificar la fuerza humana (Ayala, 2012)².

En el año de 1986, Monty Reed creó un prototipo de exoesqueleto denominado Lifesuit, utilizado como instrumento de rehabilitación. El dispositivo tenía un peso de 75 libras y estaba constituido por una maleta, un paquete de cohetes y tanques de buceo. En el 2003, Lifesuit (LS6) fue capaz de grabar y reproducir una marcha humana; mientras que en el 2005, LS12 fue usado para competir en una carrera a pie conocida como San Patricio. Se han construido varias versiones de este diseño de exoesqueleto con resultados exitosos. Actualmente el Lifesuit14 tiene la capacidad de caminar una milla con un peso extra de 92 kilogramos (Reed, 2011)⁴.

En 1990 los científicos del Instituto de Tecnología de Kanagawa en Japón diseñaron un traje robótico de asistencia, el cual estaba destinado a simplificar la labor de las enfermeras. Este traje estaba constituido por extremidades plegables, las cuales funcionaban con sensores de aire comprimido, que reaccionaban gracias a información enviada por un ordenador que controlaban los sensores de esfuerzo del usuario. Si la enfermera decidía movilizar a un paciente, el traje se activaba facilitando el traslado del enfermo, minimizando el esfuerzo de las zonas activas de la enfermera como el tronco, hombros y cintura. Una enfermera de 67 kilogramos podía levantar a un paciente de 70 kilogramos sin esfuerzo. Este traje fue diseñado con la finalidad de evitar las lesiones de espalda, que muchas veces sufre el personal médico al tratar pacientes con movilidad limitada (Ayala, 2012)².

⁴ Reed, M. *Monty Reed and his marvelous robotic "life suit"*. 2011. Recuperado de <http://www.theyshallwalk.org/lifesuit-updates-and-news/monty-reed-and-his-marvelous-robotic-life-suit-editor-marty-lindemann-repost/>

A continuación se describen algunos de los últimos sistemas exoesqueléticos usados en miembros inferiores:

- **ReWalk Exoskeleton Suit (2008):** Se ha diseñado para permitir que algunos parapléjicos a caminar con la ayuda de muletas. El inventor israelí, que tiene tetraplejía, dice que el uso del traje requiere la función del brazo. Usando correas de soporte para las piernas, sensores del cuerpo y una mochila con una caja de control computarizado. El usuario puede avanzar hacia adelante, usando muletas para mantener el equilibrio (Kahanoff, 2008)⁵.
- **HAL de Cyberdyne:** En el año 2002 Yoshiyuki Sankai, investigador de robótica de la Universidad de Tsukuba en Japón y fundador de la empresa japonesa Cyberdyne, diseñó un traje robótico para ayudar a ancianos y personas con discapacidades motoras. El traje HAL (Hybrid Assisting Limb), es un robot cibernético con elementos de la biónica, robótica y electrónica. Actualmente es un traje de solo 25kg y es capaz de multiplicar la fuerza del usuario de dos a diez veces. En el 2009, la empresa, anunció la fabricación en masa del HAL para ser comercializado, ofreciendo dos opciones, el traje completo y otro solo para miembros inferiores (Cyberdyne, 2004)⁶.
- **BLEEX (Berkeley Lower Extremity Exoskeleton).** Es un traje que permite al usuario llevar unos 32kg de peso extra. EL traje fue diseñado con la finalidad de ayudar a los soldados, bomberos y enfermeras para transportar cargas pesadas. Fue el primer traje diseñado por DARPA (Defense Advanced Research Project Agency). Este traje contaba con una mochila grande y aunque tiene un peso de 50kg, el piloto no llega a notarlo puesto que la máquina, es quien soporta todo el peso. Al siguiente año se comenzó a fabricar una versión más compacta con la capacidad de llevar una carga extra de 60kg (Berkeley Robotics & Human Engineering Laboratory, 2000)⁷.
- **XOS de Sarcos:** Es un exoesqueleto que está en fase de desarrollo, puede levantar 90kg de peso sin esfuerzo, pero se cree que podría llegar a levantar hasta 10 veces más que un hombre normal. El traje es básicamente un robot portátil, que amplifica la fuerza del usuario así como su agilidad y resistencia. Además que dota al portador de una fuerza extraordinaria. En el año 2010, anunciaron la segunda versión de este traje, XOS2 que

⁵ Kahanoff, R. *ReWalk Exoskeleton Suit*. 2008. Recuperado de <http://wheelieatholic.blogspot.com/2008/08/rewalk-exoskeleton-suit.html>Marsi

⁶ Cyberdyne. 2004. *Hal de Cyberdyne*. Recuperado de <http://www.cyberdyne.jp/english/>

⁷ Berkeley Robotics & Human Engineering Laboratory. 2000. *BLEEX*. Recuperado de <http://bleex.me.berkeley.edu/research/exoskeleton/bleex/>

intentaba superar a todos los exoesqueletos robóticos creados hasta el momento (Army – Technology, 2010)⁸.

- The Lokomat (2010): Es una máquina que proporciona entrenamiento en pasarela rodante asistida por robot por medio de una órtesis de marcha robotizada, el sistema de apoyo del peso corporal y la cinta de correr. Fabricado por Hocoma en Suiza, ha sido objeto de una intensa atención de los medios desde que fue introducido a los EE.UU. en 2001. Atención similar se ha dado al sistema de juego Nintendo Wii TM por su posible papel en la rehabilitación. Aunque no está diseñado específicamente para su uso en el campo médico, la Nintendo Wii TM se ha relacionado con los beneficios de rehabilitación funcionales en una variedad de grupos de pacientes. El objetivo de este trabajo es revisar las aplicaciones clínicas de la Lokomat ® y Nintendo Wii TM, y para proporcionar un análisis de las ventajas y desventajas de cada una como una modalidad de la fisioterapia en la rehabilitación (Henry & Barrett, 2011)⁹.
- PROYECTO ATLAS: Un proyecto de robótica español en el 2013 consigue que una niña tetrapléjica pueda volver a caminar. Debido a la incapacidad que presenta el paciente para mover sus extremidades, el dispositivo produce un movimiento básico en actividades de la vida diaria, como son: levantarse, sentarse, caminar, entre otras. El robot se desarrolló en el Centre for Automation and Robotics (Centro de Automática y robótica) del Spanish National Research Council (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). Concretamente en el Department of Automatic Control (Departamento de Control Automático)
- ROBO-COP (2013): Realizado de un metal y un marco de fibra de carbono que encierra las áreas paralizadas del cuerpo, es controlado por una palanca de mando movido por el pulgar. Por ahora su uso está limitado a un número muy limitado de ajustes terapéuticos (Ams Vans, 2013)¹⁰.
- X1 Robotic(2014): Dispositivo que se coloca sobre las piernas por medio de un arnés sobre la espalda y los hombros, se compone de cuatro articulaciones motorizadas en las caderas y las rodillas con diez grados de libertad y seis articulaciones pasivas para girar

⁸ Army – Technology. *Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit. United States of America, 2010.* Recuperado de <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>

⁹ Henry, A., & Barrett, A. “Wii-habilitation” and robotic exoskeletons: technology in physiotherapy. 2011. Recuperado de <http://www.rcsismj.com/2009-2010-issue/wii-habilitation/>

¹⁰ Ams V. *Robotic exoskeleton Rex Gets paralyzed woman out of wheelchair.* 2013. Recuperado de <http://www.rexbionics.com/>

y flexionar el pie. Basado en parte en Robonaut de la NASA 2, el Instituto de la Florida para los Derechos Humanos y (IHMC) Mina exoesqueleto de Machine Cognition, la combinación de la tecnología de la NASA y algoritmos IHMC permitirá que el X1 produzca mayor par de sus motores para proporcionar asistencia en el levantamiento de cargas y la navegación por las escaleras o terrenos difíciles. (Szondy, 2012)¹¹.

- Marsi Bionics (2014): Son dispositivos de bajo peso, fáciles de usar, no hay necesidad de un asistente para que el paciente se transfiera desde la silla de ruedas al exoesqueleto. Proporcionan un movimiento natural, capacidad de caminar sobre terreno irregular, y están intuitivamente controlados y operados. El exoesqueleto se puede combinar con un andador inteligente y permite que el usuario pueda sentarse y levantarse. De manera autónoma el exoesqueleto interactúa con el andador para mayor comodidad del usuario. (Marsi Bionics, 2014)¹².

De manera que se han construido exoesqueletos para rehabilitación de extremidades inferiores, según Chávez, Rodríguez & Baradica, 2010:

- *AKROD*, el cual es un dispositivo ortopédico para rehabilitación activa de rodilla, diseñado para entrenar a pacientes con accidente cerebro-vascular, que sufre de hiperextensión de la rodilla en la fase de apoyo de la marcha y de flexión reducida de la rodilla durante la fase de balanceo.
- En Argentina, se diseñó una órtesis robótica, cuyo objetivo es optimizar tanto la recuperación del paciente como la práctica profesional del terapeuta. Esta órtesis cuenta con seis GDL y tiene actuadores sobre la cadera, la rodilla, el tobillo y el pie. En el diseño, sólo se consideran las componentes en el plano sagital de las variables biomecánicas. La propuesta incluye una estructura graduable en altura y de bajo peso, con fibra de carbono, servomotores y reductores. Para el sistema de control, proponen un sistema de control de posición y el diseño se evalúa por medio de simulaciones.
- Otro desarrollo de mucha importancia en la rehabilitación de pacientes, es el presentado por J.L. Pons, J.C. Moreno, F.J. Brunetti y E. Rocon, "*Lowerlimbwearable exoskeleton*". Este es un sistema de compensación y evaluación de la marcha patológica, para aplicaciones, en condiciones reales, como una metodología de asistencia y evaluación de los problemas que afectan la movilidad de individuos con desórdenes neuro-motores.

¹¹ Szondy, D. *NASA developing exoskeleton for astronauts and the earthbound*.2012. Recuperado de <http://www.gizmag.com/x1-exoskeleton/24525/>.

¹² Marsi Bionics. *Marsi Bionics' lower-limb exoskeletons are orthotic devices that attached to the legs and trunk of a user reproduce the normal gait*.2014. Recuperado de <http://www.marsibionics.com/>.

Asimismo, se han desarrollado proyectos a nivel nacional en los que se han realizado diseños conceptuales y funcionales de exoesqueletos para extremidades inferiores, entre ellos se encuentran:

Una investigación que se realizó en la facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, en la cual se construyó un dispositivo diseñado por una estructura compuesta por cables cruzados entre sí, que atraviesan la imitación de una pequeña pierna construida en aluminio, que emula el proceso de caminar en el ser humano. De esta forma, se creó un prototipo para extremidad inferior que permita la rehabilitación de personas con discapacidad parcial en sus piernas. De acuerdo con Grosso (2013)¹³ “el dispositivo robótico se encarga de grabar los movimientos realizados por una pierna sana, para inducirlos sobre la pierna lesionada; a fin de automatizar las sesiones de terapia en los centros de fisioterapia y aprovechar las ventajas que ofrece el tratamiento con movimiento intensivo”.

Un exoesqueleto para reeducación muscular en pacientes con IMOC tipo diplegia espástica moderada se desarrolló en la Universidad del Cauca. Se diseñó un control y se simuló un exoesqueleto robótico para “reeducación de pacientes con daños motores causados por una lesión durante el desarrollo de un cerebro inmaduro” (Lasso & Masso, 2010)¹⁴. El diseño propuesto describe movimientos de cada una de las articulaciones de las extremidades inferiores del paciente, a través de un estudio de trayectorias basadas en la teoría de visión artificial. Para el seguimiento de trayectorias se diseñó un control por par calculado (CTC). Finalmente se utilizaron programas como MATLAB® y Virtual Reality, para observar el exoesqueleto en la realización de ejercicios de reeducación seleccionados.

Finalmente, la investigación realizada por Grosso y Tibaduiza¹⁵, “el diseño conceptual de un exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior”.

Sin embargo, no se encontraron referentes en la literatura de exoesqueletos de miembros inferiores realizados en Colombia en población infantil con edades entre 5 y 6 años.

2.2 REHABILITACIÓN DE MARCHA

¹³ Grosso, J. M., & Tibaduiza, D. Diseño y validación de un exoesqueleto maestro-esclavo para rehabilitación de piernas. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2013

¹⁴ Lasso, I.L., & Masso, M. *Exoesqueleto para reeducación muscular en pacientes con imoc tipo diplegia espástica moderada*. Tesis de grado publicada, Popayán: Universidad del Cauca, 2010.

¹⁵ Grosso, J. M., & Tibaduiza, D. Diseño Conceptual de un Exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica, 2009*.

La marcha humana es un proceso aprendido, influenciado por variables ambientales. Según Rodríguez (2012)¹⁶ puede definirse como “una sucesión de pasos, entendiéndose por pasos aquellas acciones y movimientos que se producen entre el choque de talón de un pie y el choque de talón del pie contralateral” (p.47). Sin embargo, la marcha requiere de un proceso de desarrollo en el ser humano, es adquirida por imitación y aprendizaje a través del método de ensayo – error. De esta forma, la marcha es un elemento primordial en el desarrollo psicomotor del niño.

Para niños sin problemas de neurodesarrollo, entre los dos y tres años de edad, se identifican cambios fisiológicos que contribuyen en el proceso de la marcha como aumento de la velocidad y duración de apoyo monopodal, empiezan a observarse rotaciones opuestas de la cintura escapular y pélvica, mejora el equilibrio y aumentan los ángulos de flexión de la rodilla y dorsiflexión del tobillo (Rodríguez, 2012)¹⁶; entre los 5 y 7 años de edad la marcha es parecida a la de un adulto como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Desarrollo de la marcha en niños

MESES	DESARROLLO
2 primeros meses	Marcha automática
7 meses	Reptación o rastreo
8 meses	Se mantiene en pie si se le dan las dos manos
10 meses	Gateo (abdomen muy próximo al suelo)
11-12 meses	Gateo como un oso
13-15 meses	Marcha independiente
5-7 años	Marcha parecida a la del adulto

Fuente: Collado, Susana., (2005). Desarrollo de la marcha. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud*, 3, 1 – 13.

Asimismo, las extremidades inferiores pasan por unas fases para producir la marcha, estas son: Posición inicial (fase de doble apoyo), propulsión o impulso, balanceo (fase de apoyo único), apuntalamiento o refrenamiento, apoyo (en este estadio el miembro opuesto se encuentra en balanceo). Por consiguiente, cuando una de las extremidades inferiores está en

¹⁶ Rodríguez, I. Entrenamiento robótico como medio de rehabilitación para la marcha. *Evidencia Médica e Investigación en Salud*, 2012

apoyo, la otra está en balanceo, existiendo un instante en el cual ambas se encuentran apoyadas en el piso.

Por otra parte, pacientes con problemas de neurodesarrollo o trastornos neuromusculares presentan una serie de procesos patológicos, cuya semiología más común es (Rodríguez, 2012)¹⁶:

Dolor: Las reacciones fisiológicas alteran la marcha introduciendo además otros elementos como limitación en el movimiento y debilidad muscular.

Limitación del movimiento: Los tejidos no permiten una movilidad suficiente para adoptar posturas normales y rangos de movimiento fisiológico durante la marcha. La contractura o retracción suele ser la causa más habitual a consecuencia de una inmovilidad prolongada o como secuela de una lesión.

Debilidad muscular: Por causa de una atrofia muscular por desuso, a lesiones neurológicas y miopatías.

Control neurológico deficitario: Se presenta en patologías del sistema nervioso central o periférico, manifestándose en diferentes alteraciones básicas como: espasticidad, alteraciones de la coordinación, patrones reflejos primitivos y alteración de la propiocepción.

En relación a lo anterior, existen diversas formas para la clasificación de las alteraciones de la marcha por patologías, de acuerdo a su etiología, diagnóstico o fase de la marcha alterada. Según la región anatómica afectada, se encuentran alteraciones de tobillo, en rodilla, en cadera y en plano transversal.

De esta forma, se concibe el término de rehabilitación de marcha como una terapia con repetición del movimiento que facilita la conexión entre neuronas afectadas. Este sistema permite automatizar y optimizar las terapias, haciéndolas más intensivas y facilitando la labor del terapeuta en el entrenamiento de la marcha (Rodríguez, 2012)¹⁶.

La rehabilitación es un proceso de duración limitada y con objetivos definidos como mejorar el equilibrio y la coordinación del paciente, encaminado a permitir que una persona con deficiencia alcance un nivel físico, mental y/o social funcional óptimo, proporcionándole así los medios para modificar su propia vida. Puede comprender medidas encaminadas a compensar la pérdida de una función o una limitación funcional (Ayala, 2012)². Un ejemplo, de lo anterior es el entrenamiento robótico.

2.3 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

La interfaz ha sido definida desde la electrónica y las telecomunicaciones como un “puerto a través del cual se envían o reciben señales desde un sistema o subsistemas hacia otros”

(Marrero, Carlos., & Rivero, Alfredo., p.7). Asimismo, en el contexto de la interacción persona-ordenador, el término interfaz de usuario, refiere al espacio que media la relación de un sujeto y un ordenador o sistema interactivo. El interfaz de usuario, es esa ventana mágica de un sistema informático, que posibilita a una persona interactuar con él (Marrero, Carlos., & Rivero, Alfredo., 2006)¹⁷.

De esta forma, la interfaz gráfica de usuario (GUI) sirve para interactuar y conectar dos o más componentes, equipos, programas, donde se le facilita al usuario un cómodo control de los elementos utilizados. La interfaz tiene como objetivo facilitar el manejo y entendimiento de un sistema; es así como todas las interfaces tienen menús, opciones, botones, listas, guías que facilitan su uso en una aplicación.

Por consiguiente, las interfaces de usuario gráficas son de gran utilidad en aspectos básicos de la vida cotidiana, pues se encuentran en aparatos sencillos como calculadoras, celulares, computadoras, alarmas hasta aparatos más complejos como las industrias, equipos médicos, control de grandes multinacionales, entre otros.

La interfaz gráfica surge como artefacto tecnológico, en el año 1973 en el centro de investigación Xerox Alto, con el objetivo de encontrar un modelo óptimo de interacción persona-ordenador(1º período), pasa por un proceso de eclosión y de madurez donde se definen sus elementos básicos (2º período), para acabar convirtiéndose en un producto de consumo estético dentro de los sistemas interactivos, donde la interfaz más allá de un medio de interacción óptimo, se transforma en un objeto inteligente abierto a los procesos de modificación por parte del usuario (3º período) (Marrero, Carlos., & Rivero, Alfredo., 2006)¹⁷.

Entre los precursores de la interfaz gráfica de usuario se han destacado:

- Vannevar Bush es uno de los grandes referentes en relación a la informática actual. Desarrolló en el año 1945 su tesis “As We may think” en el que refiere a los medios de almacenamiento del conocimiento e información futuras y propone, la forma en que todo ello debía estar centralizado en un sistema que él llamó MEMEX (Memory Extensión), en el que desarrolla a nivel teórico, el concepto de ordenador personal incluyendo además el concepto de hipertexto, como propuesta para un modelo de información interconectada.
- Theodor Holm Nelson. Uno de los pioneros de la informática en los años sesenta. Nelson introdujo el concepto de hipermedia, virtualidad, hipertexto (1963), y escribió varias obras de ficción, entre ellas, “Computer Lib and Dream Machines” publicada en el año 1981.

¹⁷ Marrero, Carlos., & Rivero, Alfredo. (2006). *Interfaz gráfica de usuario*. Tesis de grado publicada, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.

- Alan Kay, matemático y biólogo molecular. Realizó aportaciones al contexto de la informática, especialmente en la interfaz gráfica de usuario. Sus aportaciones están relacionadas con el lenguaje orientado a objetos, Smalltalk, desarrollado en el centro de investigación Xerox Parc, uno de los fundamentos tecnológicos que posibilitó la implementación de una interfaz gráfica de usuario basada en la representación de íconos. Desarrolló su “The Dinabook” un tipo de ordenador portátil, especialmente diseñado como medio pedagógico para niños.
- Douglas Engelbarten sus investigaciones en el Augmentation Research Center, centro que creó y dirigió dentro del Xerox Alto, desarrolló el primer prototipo de ratón y concluyó su tesis titulada Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework, a partir del concepto de incremento de las capacidades cognitivas del intelecto humano a través de sistemas almacenamiento de datos en su tesis.
- Iván Sutherland. Pionero de las comunicaciones y la rama de la informática especializada en la imagen digital. Fue el creador del Sketchpad (1963), un software de diseño gráfico pionero tipo vectorial (CAD), que influenció el modo alternativo de interacción con las computadoras; referente ineludible en el nacimiento y desarrollo de las interfaces gráficas.

3. MOVIMIENTO DE MARCHA EN NIÑOS DE 5 A 6 AÑOS

El movimiento de marcha o ciclo de marcha, según Sanz (2006)¹⁸ es la secuencia de acontecimientos que tienen lugar desde el contacto de un talón con el suelo, hasta el siguiente contacto del mismo talón con el suelo. Durante un ciclo de marcha completo alterno y rítmico de las extremidades y del tronco, Ésta se caracteriza por el contacto permanente del individuo con el suelo (Tabla 2). El movimiento de marcha está relacionado con múltiples factores: extrínsecos (terreno, tipo de calzado, vestido, transporte de carga); intrínsecos (edad, sexo); físicos, (medidas antropométricas).

Tabla 2. Características de la marcha inicial del niño

- Longitud del paso irregular
- No se produce rotación de la pelvis ni inclinación lateral de ésta.
- Ampliación de la base de apoyo para mantener mejor el equilibrio, y pronación de los pies.
- Abordaje del suelo con toda la planta
- Excesiva flexión de cadera y rodilla en la fase de oscilación
- Extremidades superiores separadas del cuerpo
- Menor duración de la fase de apoyo monopodal

Fuente: Agudelo, Adriana., Briñez, Tatiana., Guarín, Vanessa., Ruiz, Juan Pablo., & Zapata, Marilly. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *Revista CES Movimiento y Salud*, 1, 29 – 43.

La marcha es definida como “el paso bípedo que utiliza la raza humana para desplazarse de un lugar a otro, con bajo esfuerzo y un mínimo consumo energético” en la figura 1 se muestra paso a paso el movimiento de la rodilla y pie a lo largo de la marcha con los ángulos de inclinación.

¹⁸ Sanz, Carmen. (2006) *Cinesiología de la marcha humana normal*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza

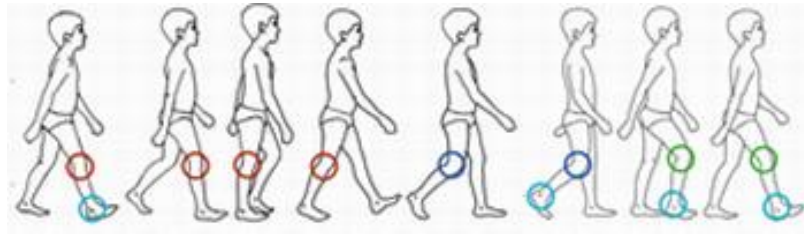


Figura 1. Movimiento de marcha niño entre 5-6 años

Fuente: Serrano, Rafael., & Vergara, Enrique. (2011). *Desarrollo angular y rotacional de los miembros inferiores en escolares entre 3 y 10 años. Estudio de dos poblaciones diferentes*. Tesis de grado publicada, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

La marcha se describe mediante parámetros espaciales (tabla 3) que muestran un desarrollo normal de la marcha y son:

- El abordaje del suelo mediante el talón: Un 50% de los niños de un año abordan el suelo con el antepié o con toda la planta del pie, mientras que al año y medio ya suele abordar el suelo con el talón.
- Aparición del movimiento pendular de extremidades superiores o braceo: En el niño pequeño no existe pues lleva sus extremidades superiores muy separadas del cuerpo para equilibrarse mejor. Suele aparecer hacia los dos años y a los cuatro años está presente siempre si el desarrollo es normal.
- Flexión de la rodilla durante el apoyo: Durante el apoyo monopodal existe flexión de la rodilla para evitar un mayor ascenso del centro de gravedad. Esta flexión de rodilla suele aparecer alrededor de los dos años.
- Separación de los pies durante la marcha: Cuando el niño comienza la marcha independiente camina con los pies muy separados para conseguir mayor base de apoyo y más estabilidad. El apoyo se va estrechando durante el desarrollo.

Tabla. Fases de la Marcha

Tabla 3. Fases del movimiento de marcha

Fase	Descripción
Contacto inicial	(0-2% del ciclo, apoyo bipodal): Es el momento en el que el pie entra en contacto con el suelo. Normalmente el contacto tiene lugar en la región del talón, razón por la que ésta fase se

	considera para registrar el inicio y la culminación del ciclo de la marcha
Respuesta a la carga	(10% del ciclo de marcha, apoyo bipodal): El pie realiza contacto total con el piso y el peso del cuerpo se transfiere a la extremidad adelantada
Soporte medio	(Transcurre entre el 10% y el 30% del ciclo de la marcha): La extremidad contralateral pierde contacto con el piso y el peso del cuerpo se transfiere a lo largo del pie hasta que se alinea con la cabeza de los metatarsianos. La transferencia del peso se da gracias a la rotación de la tibia sobre el pie estático
Soporte Terminal o final	(Transcurre esta fase entre el 30% y el 50% del ciclo de marcha): El talón se levanta para desplazar el peso hacia los dedos y transferir la carga al pie contralateral, el cual, entra en contacto con el piso
Pre-balanceo o fase previa a la oscilación	Transcurre entre el 50% y el 60%) Fase de transición entre la fase de soporte y la de balanceo. Se inicia cuando el pie contralateral entra en contacto con el piso y termina cuando el pie ipsilateral despegar del piso. El peso corporal es transferido totalmente de una extremidad a la otra
Balanceo Inicial	(Aproximadamente del 50% al 73% del ciclo) Inicia cuando los dedos del pie se despegan del piso y termina cuando la rodilla alcanza la flexión máxima durante la marcha (40°), el muslo se encuentra directamente debajo del cuerpo y paralelo a la extremidad inferior contralateral que, en este instante, soporta el peso del corporal
Balaceo Medio	(entre el 73% y el 87%) El muslo continúa avanzando y la rodilla, que ha alcanzado la flexión máxima, ahora se extiende, de manera que el pie permanece despegado del suelo y termina cuando la tibia se dispone en posición perpendicular al piso
Balanceo Terminal	Inicia con la posición vertical de la tibia, continúa a medida que la rodilla se extiende

	completamente y la extremidad se prepara para aceptar la carga durante el contacto inicial
--	--

Fuente: Agudelo, Adriana., Briñez, Tatiana., Guarín, Vanessa., Ruiz, Juan Pablo., & Zapata, Marilly. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *Revista CES Movimiento y Salud*, 1, 29 – 43.

Las graficas que se observan en la figura 2 nos muestran el movimiento angular de la rodilla y cadera tanto mínimo como máximo en la flexión y extensión de las mismas arrojandonos parámetros para el diseño del proyecto como ángulos mínimos y máximos, en la rodilla observamos un ángulo inicial de 20 grados como movimiento de marcha y luego aproximadamente 60 grados, en la cadera observamos ángulos de 30 grados como máximo y -10 grados como mínimo

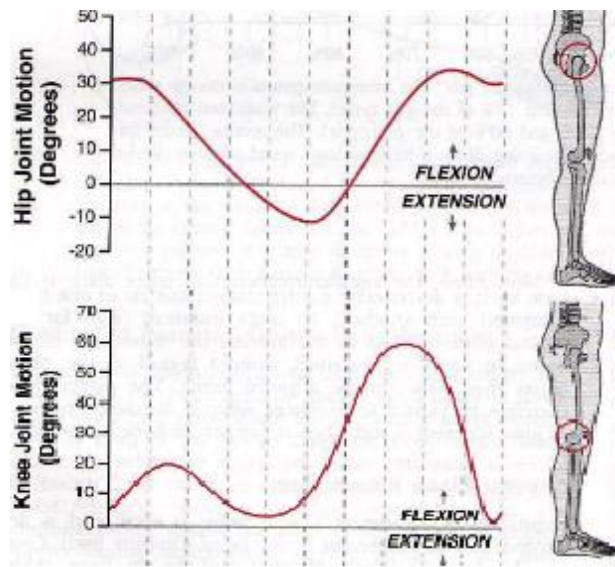


Figura 2. Grafica Rodilla y Cadera Vs Tiempo

Fuente: Cleva, Mario S., Civetta, Julio D., Monzón, Jorge E. (2005) Evaluación de la Variabilidad de los Parámetros Cinemáticos de la Marcha Obtenidos sobre Cinta Ergométrica Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/medicina/m-020.pdf>

Según estudios realizados por Serrano & Vergara (2011)¹⁹ los niños en edades entre 3 – 5 años tienen ángulos de rotación normales entre 10°- 45° de rodilla y 4°- 26° de cadera; en edades que oscilan entre 6 y 7 años los ángulos son de 10° - 40° rodilla y 4° - 20° de

¹⁹ Serrano, Rafael., & Vergara, Enrique. (2011). *Desarrollo angular y rotacional de los miembros inferiores en escolares entre 3 y 10 años. Estudio de dos poblaciones diferentes.* Tesis de grado publicada, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

cadera. Teniendo en cuenta los resultados arrojados en dicha investigación se debe tomar como ángulo máximo de rotación 40° grados en la rodilla y 20° de rotación máxima en la cadera.

De acuerdo a investigaciones, Ávila, Prado & González (2001)²⁰, las medidas estándar de niños en edades entre 5 y 6 años son de 106,40 centímetros a 112,77 centímetros, con un peso entre 18 kilogramos a 20 kilogramos. Las medidas de las extremidades de niños colombianos entre 5 y 6 años en promedio son: cadera-rodilla 34,45 centímetros a 34,85 centímetros, del piso-rodilla 30,25 centímetros a 31,88 centímetros y de la cadera 22,2 centímetros a 23,5 centímetros, según datos establecidos por Polegar Medios (2013)²¹. En relación con lo mencionado, se establecieron las medidas del muñeco, aproximándolas a medidas en población infantil real. Las medidas de cadera-rodilla fueron 15 centímetros, piso-rodilla 14 centímetros y cadera 15 centímetros; éstas medidas corresponden a escalas de cadera-rodilla 1:2 piso-rodilla 1:2 y de cadera 1:2.

Los requisitos necesarios para el proyecto son:

- Ángulo máximo de rotación de 40° grados en la rodilla
- Ángulo máximo de rotación de 20° grados en la cadera
- Estructura a tamaño escala según medidas del muñeco implementado

²⁰ Ávila, Rosalío., Prado, Lilia., & González, Elvia Luz. (2001). *Dimensiones antropométricas. Población Latinoamericana*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

²¹ Polegar Medios (2013). *Pesos y estatura del bebé, niño y niña*. Recuperado de <http://www.guiainfantil.com>.

4. DESARROLLO DEL EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MARCHA EN INFANTES

C.S.ONE.

El proyecto C.S.ONE es el desarrollo y puesta en marcha de un aparato electro-mecánico para la estimulación de las extremidades inferiores en población infantil con edades entre 5 y 6 años que presentan dificultades o limitaciones en la marcha.

Consiste en un prototipo que simula el patrón de marcha a través de terapias con repetición del movimiento, que permiten establecer rápidamente las conexiones entre las neuronas afectadas. A partir de ejercicios repetitivos e independientes se pueden fortalecer las extremidades implicadas, las cuales, contribuyen a una recuperación exitosa del paciente.

El exoesqueleto C.S.ONE está constituido por una estructura que sostiene al paciente en el momento en que se ejecuta la terapia de rehabilitación. Se utilizan motores controlados por medio de un microcontrolador que a su vez está dirigido por una interfaz de usuario que se integran como órtesis, las cuales constituyen cada articulación de cadera y rodilla (miembros inferiores). Los ángulos son monitoreados en tiempo real por la interfaz de usuario; cada una de las cuatro articulaciones son supervisadas constantemente por el software como se observa en la figura 3. De este modo, se logra automatizar la terapia de rehabilitación de marcha del paciente, en donde se obtienen importantes beneficios que mejoran y potencian su calidad de vida, ya que, en edades tempranas la actividad cerebral es significativamente reconstructiva.

Finalmente, la rehabilitación de marcha en población infantil con edades tempranas permite la estimulación y corrección de las dificultades o limitaciones en la marcha, aumentando su autonomía y potencializando el desarrollo integral del paciente.

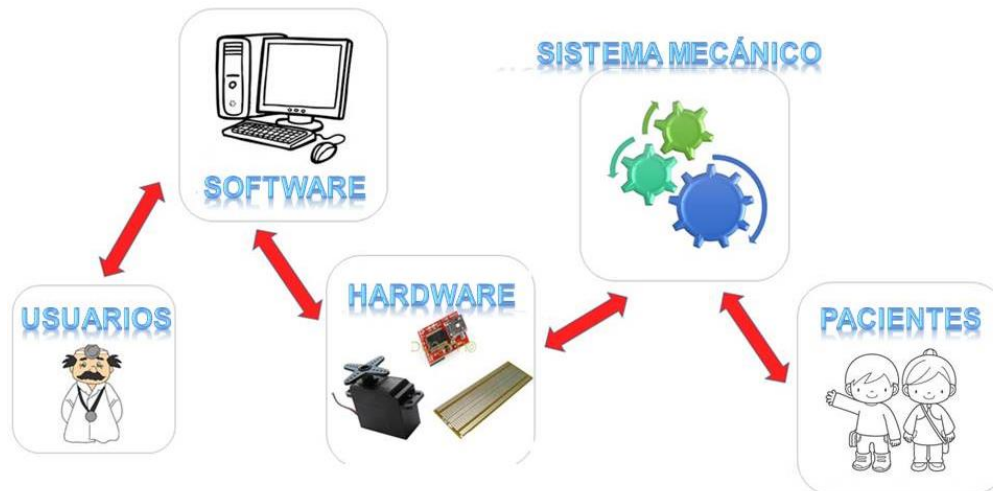


Figura 3. Diagrama proyecto C.S.ONE

4.1 SISTEMA MECÁNICO

Son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan. Se caracterizan por presentar elementos o piezas sólidas, con el objeto de realizar movimientos por acción o efecto de una fuerza. En ocasiones, pueden asociarse con sistemas eléctricos y producir movimiento a partir de un motor accionado por la energía eléctrica²².

4.1.1 Implementación

Las piezas diseñadas se basan en estructura exoesquelética de infantes entre 5 y 6 años. La figura 4 se encuentra dividida por: La Parte (a) corresponde al área del ante-pierna, la Parte (b) corresponde al área de la cadera y la Parte (c) corresponde al área del muslo. Todas las piezas juntas son el exoesqueleto del equipo construido (ubicación del paciente).

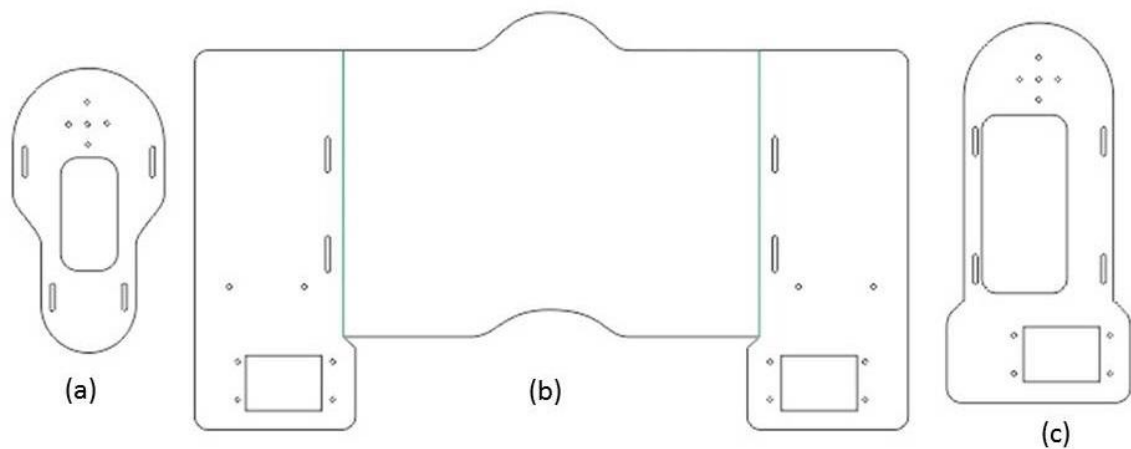


Figura 4. Piezas implementadas en el exoesqueleto

La estructura de soporte diseñada para portar una carga interna y externa se puede observar en la figura 5.

²² Ogata, K. (1987). *Dinámica de sistemas*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.



Figura 5. Soporte implementado en el exoesqueleto

La estructura de soporte se desarrolló rígida para resistir el peso del exoesqueleto y el niño, con tubos de sillas dañadas pertenecientes a la Universidad Pontificia Bolivariana con medidas de ancho 24 centímetros y altura de 48 centímetros.

4.2 HARDWARE.

Son las partes físicas de un sistema. Está formado por los componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos, tales como circuitos de cables y circuitos de luz, placas, utensilios, cadenas y cualquier otro material, en estado físico, que sea necesario para hacer que el equipo funcione.

Para un correcto funcionamiento del hardware, también se necesita el software, que es la parte lógica de la informática y no es tangible. Es en el software donde está toda la parte electrónica y tiene el poder de hacer todas las operaciones que realiza un sistema electrónico²³.

En este proyecto los componentes del hardware son la comunicación, Sistema sensor, Actuadores, Control, que componen el diseño final.

4.2.1 DISEÑO

- **Comunicación**

La comunicación se desarrolla por medio UART que son las siglas de “Universal Asynchronous Receiver-Transmitter” (en español, *Transmisor-Receptor*)

²³ González, I., González, J., & Gómez-Arribas, F. (2003). *Hardware libre: Clasificación y desarrollo de hardware reconfigurable en entornos GNU/Linux.* Recuperado de <http://ftp1.nluug.nl/ftp/pub/ftp/os/Linux/doc/LuCaS/Presentaciones/200309hispalinux/8/8.pdf>

Asíncrono Universal). Éste controla los puertos y dispositivos serie. Se encuentra integrado en la placa base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo. Un UART dual, o DUART, combina dos UARTs en un solo chip. Existe un dispositivo electrónico encargado de generar la UART en cada puerto serie²⁴.

Las funciones principales de chip UART son manejar las interrupciones de los dispositivos conectados al puerto serie y de convertir los datos en formato paralelo, transmitidos al bus del sistema y se convierten a datos en formato serie, para que puedan ser transmitidos a través de los puertos y viceversa, como se muestra en la figura 6

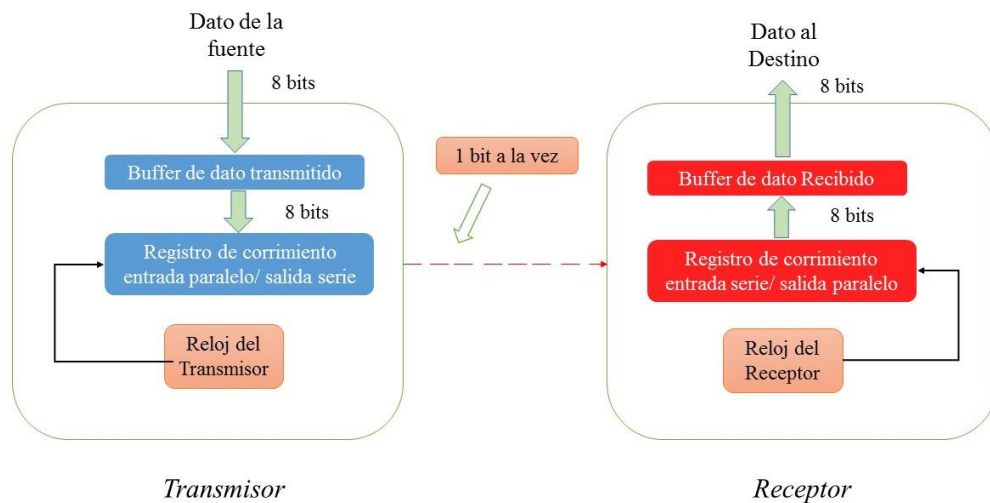


Figura 6. Diagrama funcionamiento comunicación Uart

El controlador del UART es el componente clave del subsistema de comunicaciones series de una computadora. El UART toma bytes de datos y transmite los bits individuales de forma secuencial. En el destino, un segundo UART reensambla los bits en bytes completos. La transmisión serie de la información digital (bits) a través de un cable único u otros medios es mucho más efectiva en cuanto a costo que la transmisión en paralelo a través de múltiples cables. Dando paso al conversor serial-USB implementado en esta comunicación. La tarjeta tiene múltiples propósitos como son programar las tarjetas Arduino MINI y Arduino PRO²⁵, o cualquier sistema que tenga el mismo modo de programación; además sirve como conversor serial a USB.

²⁴ Luecke, J. (2005). Analog and Digital Circuits for Electronic Control System Applications, Embedded Technology Series, Elsevier, Cap 8. Communications.

²⁵ Dynamo Electronics (2014). Programador Arduino mini y pro. Recuperado de http://www.dynamoelectronics.com/index.php?product_id=922&page=shop.product_details&category_id=82&flypage=dynamo.tpl&option=com_virtuemart&Itemid=58

En este proyecto se implementó como convertor serial – USB otorgando tres pines y una entrada mini USB como se muestra en la figura 7, los pines son Rx, Tx, y GND que van dirigidos al microcontrolador.



Figura 7. Programador Arduino mini y pro

Fuente: Dynamo Electronics (2014). *Programador Arduino mini y pro*. Recuperado de http://www.dynamoelectronics.com/index.php?product_id=922&page=shop.product_details&category_id=82&flypage=dynamo.tpl&option=com_virtuemart&Itemid=58

Por otro lado se conecta el cable USB-mini USB en el extremo contrario al computador como se muestra en la figura 8.

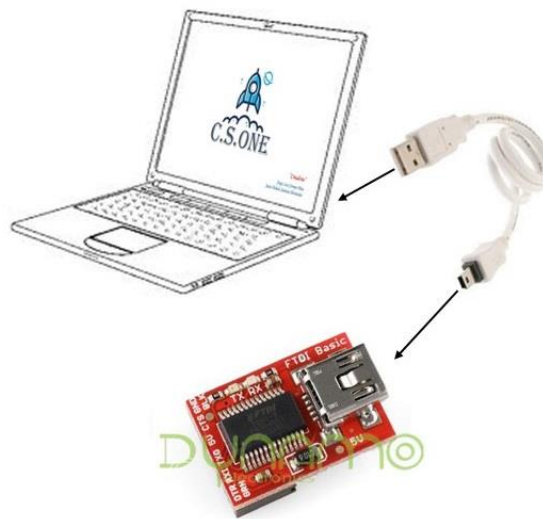


Figura 8. Conexión Programador Arduino mini y pro al computador

4.2.2 CONTROL

- **Micro-controlador PIC30F4013**

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador como se muestra en la figura 9. Se empleó para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, la secuencia de marcha para la rehabilitación en infantes. Es “la solución en un chip” porque su reducido tamaño minimiza el número de componentes y el costo.



Figura 9. Micro-controlador 30f4013

Fuente: Microchip Technology Inc (2014), *Microcontrolador 30f4013*. Recuperado de <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/16bit/>

La combinación de un Microcontrolador 30f4013 con el hardware y el software libre son ideales para diseños que incluyen una alta eficiencia de control de los motores, fuentes de alimentación digital y de baja potencia para la duración de la batería en aplicaciones portátiles²⁶. Por consiguiente se desarrolló un protocolo en este dispositivo para la secuencia de movimiento de marcha.

- **Lazo de Realimentación**

Un sistema está integrado por una serie de elementos que actúan conjuntamente y que cumplen un cierto objetivo. Los elementos que componen un sistema no son independientes, sino que están estrechamente relacionados entre sí, de forma que las modificaciones que se producen en uno de ellos pueden influir en los demás.

Por tanto, un sistema que mantiene una relación establecida entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado o de lazo cerrado.

²⁶ Microchip Technology Inc (2014), *Microcontrolador 30f4013*. Recuperado de <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/16bit/>

El problema central en control es encontrar una forma técnicamente realizable de actuar sobre un determinado proceso de manera que éste tenga un comportamiento que se aproxime al deseado. Además, este comportamiento deseado deberá lograrse ante la presencia de perturbaciones externas e incontrolables, actuando sobre el mismo.

Para generar una señal de realimentación se realiza una inclusión de sensores como se observa en la figura 10 para realizar la toma de datos.

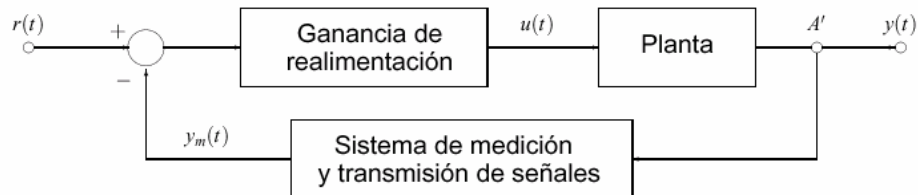


Figura 10.Lazo de realimentación general

Fuente: Angulo, C., & Raya, C. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Barcelona: UPC

Las propiedades deseables de los sensores son: confiabilidad, exactitud, sensibilidad, velocidad de respuesta, inmunidad a ruido, linealidad (o al menos conocer la alinealidad) y no intrusividad (no afectar el proceso).

Un lazo de realimentación típico, considerando sensores, presenta la configuración de la figura 11. El diseño de un sistema de control es el proceso mediante el cual se comprenden los compromisos de diseño inherentes al problema, se toman decisiones deliberadas consistentes con estos compromisos de diseño y se es capaz de traducir sistemáticamente el objetivo de diseño deseado en un controlador²⁷.

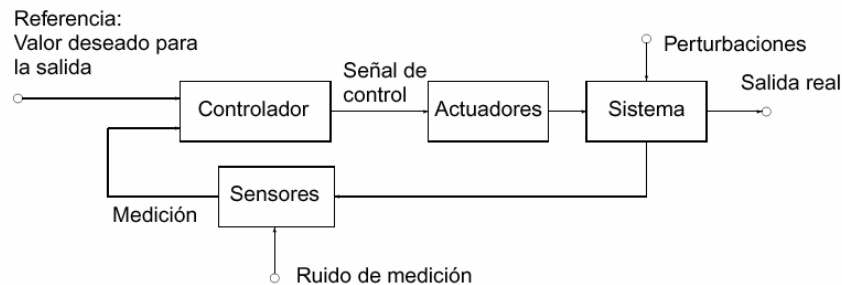


Figura 11.Lazo de realimentación típico

Fuente: Angulo, C., & Raya, C. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Barcelona: UPC

El proceso de realimentación remite al siguiente ciclo iterativo:
 - Cuantificación del comportamiento deseado.

²⁷ Kuo, B. (2006). *Sistemas de control automático*. México: Pearson.

- Medición de los valores actuales de variables relevantes del sistema mediante sensores.
- Inferencia del estado presente del sistema a partir de las mediciones.
- Comparación del estado inferido con el estado deseado.
- Cálculo de la acción correctora para llevar el sistema al estado deseado.
- Aplicación de la acción correctora al sistema por medio de actuadores, y finalmente.
- Repetir los pasos anteriores.

4.2.3 Actuadores

Son dispositivos capaces de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control²⁸. Se clasifican en tres grandes grupos, según la energía que utilizan: Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos. En el proyecto se utilizan actuadores eléctricos que tienen como ventajas precisión, fiabilidad, fácil control, sencilla instalación y silenciosos. Se implementaron cuatro servomotores: 2 TGY-1501MG ubicados en las caderas y 2 SG 5010 ubicados en las rodillas del exoesqueleto.

Servomotor TGY-1501MG: La serie Turnigy TGY1501 (figura 12) – servo de alto torque puede girar 180 grados (90 en cada dirección). Ellos son de la calidad más alta (que es por eso que son más costosos). Sus parámetros se observan en la figura 13²⁹.

²⁸ Vildósola, E. (2014). *Actuadores*. Recuperado de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

²⁹ Turnigy (2014). *Servomotor TGY-1501MG*. Recuperado de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18919__Turnigy_Metal_Gear_Servo_60g_15_5kg_16sec_USA_Warehouse.html



Figura 12.Servomotor TGY-1501MG

Fuente: Turnigy (2014). *Servomotor TGY-1501MG*. Recuperado de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18919__Turnigy_Metal_Gear_Servo_60g_15_5kg_16sec_USA_Warehouse_.html

Los parámetros son datos que se considera imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar un determinado elemento, para el servomotor TGY-1501MG los parámetros se observa en la tabla 4.

Tabla 4.Parámetros Servomotor TGY-1501MG

Voltaje	4.8~6.0v
Velocidad	0.16~0.14sec
Torque	15.5~17.0kg/cm
Peso	60g
Dimensiones	40.7x20.5x39.5mm

Fuente: Turnigy (2014). *Servomotor TGY-1501MG*. Recuperado de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18919__Turnigy_Metal_Gear_Servo_60g_15_5kg_16sec_USA_Warehouse_.html

El resumen de las dimensiones físicas del servomotor se observa en la figura 13.

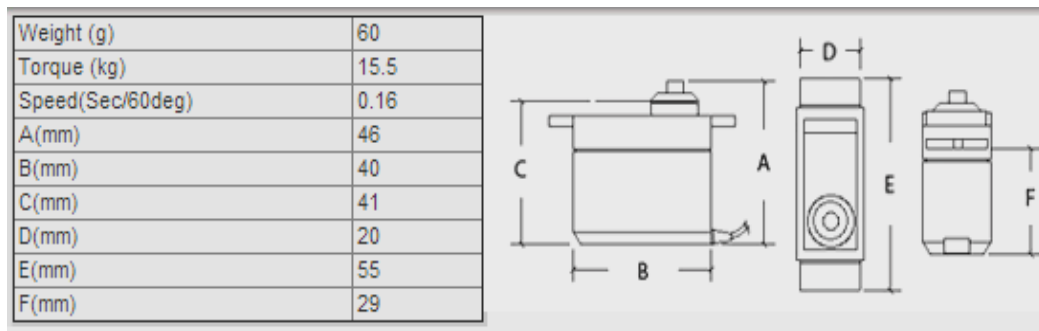


Figura 13. Parámetros y dimensiones Servomotor TGY-1501MG

Fuente: Turnigy (2014). *Servomotor TGY-1501MG*. Recuperado de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18919__Turnigy_Metal_Gear_Servo_60g_15_5kg_16sec_USA_Warehouse_.html

Servomotor Tower Pro SG 5010: La serie Tower Pro SG5010 (figura 14) – servo estándar de alto torque puede girar aproximadamente 180 grados (90 en cada dirección) Viene con 3 cuernos. Ellos no son de la calidad más alta servo (que es por eso que son menos costosos). Sus parámetros se observan en la figura 15³⁰.



Figura 14. Servomotor SG 5010

Fuente: Tower Pro (2014). *Servomotor SG-5010*. Recuperado de <http://torqpro.com/?product=sg5010-4>

³⁰Tower Pro (2014). *Servomotor SG-5010*. Recuperado de <http://torqpro.com/?product=sg5010-4>

El servomotor SG 5010 cuenta con parámetros establecidos de fábrica como son Voltaje, Velocidad, Torque, peso y dimensiones como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros Servomotor SG 5010

Voltaje	4.8~6.0V
Velocidad (4.8V)	0.19sec/60°
Velocidad (6.0V)	0.15sec/60°
Torque (4.8V)	8.00kg.cm (111.1 oz/in)
Torque (6.0V)	11.00kg.cm (152.8 oz/in)
Dimensiones	40.1x20.3x43.2mm
Peso	38g

Fuente: Tower Pro (2014). *Servomotor SG-5010*. Recuperado de <http://torqpro.com/?product=sg5010-4>

El resumen de las dimensiones físicas del servomotor se observa en la figura 15.

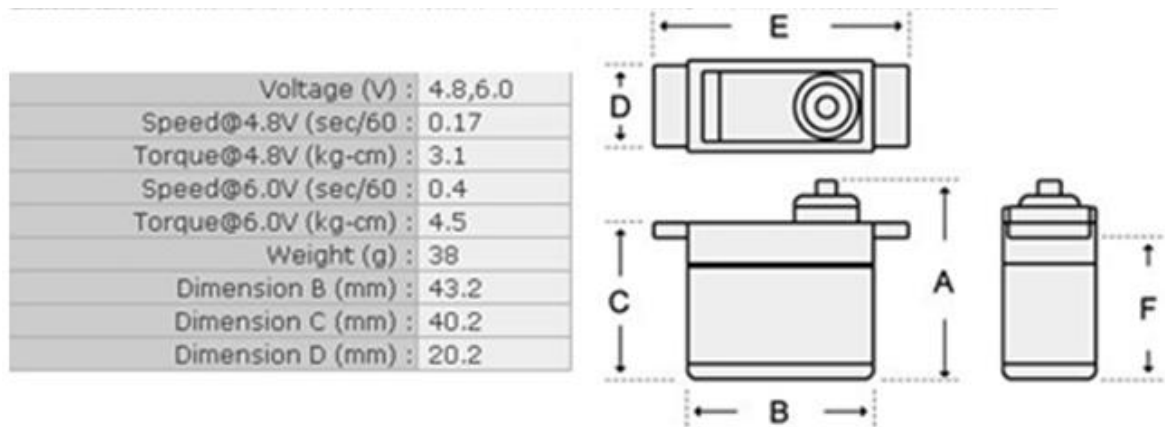


Figura 15. Parámetros y dimensiones Servomotor SG 5010

Fuente: Tower Pro (2014). *Servomotor SG-5010*. Recuperado de <http://torqpro.com/?product=sg5010-4>

4.2.4 Sistema Sensor

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. El sistema sensor se encuentra ubicado dentro de los servomotores que es el potenciómetro interno, éste ayuda a identificar la posición del motor

actual, arrojando un voltaje que varía entre 0.32V y 2.24V el cual, se tomó en el pin central del potenciómetro (Cable verde) como se observa en la figura 16.

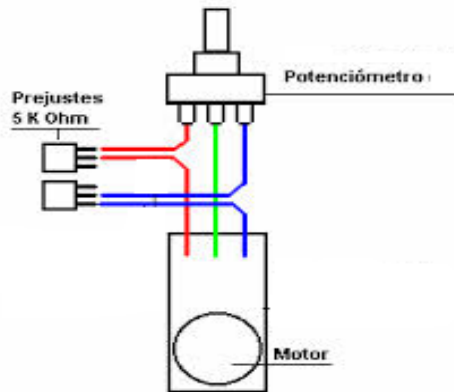


Figura 16. Sistema sensor del servomotor

4.2.5 Tarjeta impresa

La tarjeta impresa se desarrolló en el software Eagle 4.11 una potente aplicación con la que diseñar circuitos impresos y realizar esquemas electrónicos. Eagle son las siglas de Easily Applicable Graphical Layout Editor³¹.

Gracias a este editor se logra diseñar esquemas y placas de circuito impreso con autorouter, es decir con la función que automatiza el dibujo de pistas en la placa de circuitos impresos, y todo esto en un entorno ergonómico

La tarjeta diseñada tiene como medias 9 x 6 cm como se muestra en la figura 17.

³¹ CadSoft Compute (2011). *Eagle 4.11*. Recuperado de <http://www.cadsoftusa.com/>

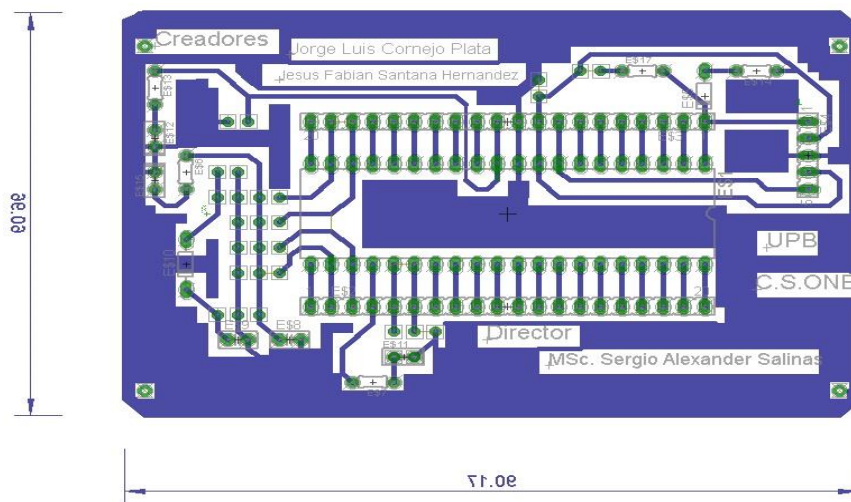


Figura 17. Diseño Tarjeta Impresa

4.3 SOFTWARE

Son programas que se pueden ejecutar mostrando al usuario ventanas, íconos y menús que componen las interfaces gráficas que comunican la computadora con el usuario y le permiten interactuar. En el proyecto se utilizaron dos programas principales Mplab y Visual Basic, donde se trabajaron protocolos de comunicación, interfaz gráfica de usuario y algoritmos para el micro-controlador³².

4.3.1 Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)

Para el desarrollo del interfaz se utilizó el software Visual Basic que está diseñado para la creación de aplicaciones de manera productiva con seguridad de tipos y orientado a objetos. Además nos permite centrar el diseño en Windows, la web y dispositivos móviles, dándonos beneficios en la seguridad y la interoperabilidad³³

La interfaz gráfica de usuario diseñada se observa en la figura 18.

³² Marqués, P. (2010). *El software educativo*. Recuperado de http://recursos.salonesvirtuales.com/assets/bloques/educativo_de_pere_MARQUES.pdf

³³ Borja, F., Montero, P., Pena, C., Padrón, J., Teijeiro, I. (2010). *Interfaces gráficas de usuario*. Recuperado de <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Interfaces/enlightment/>

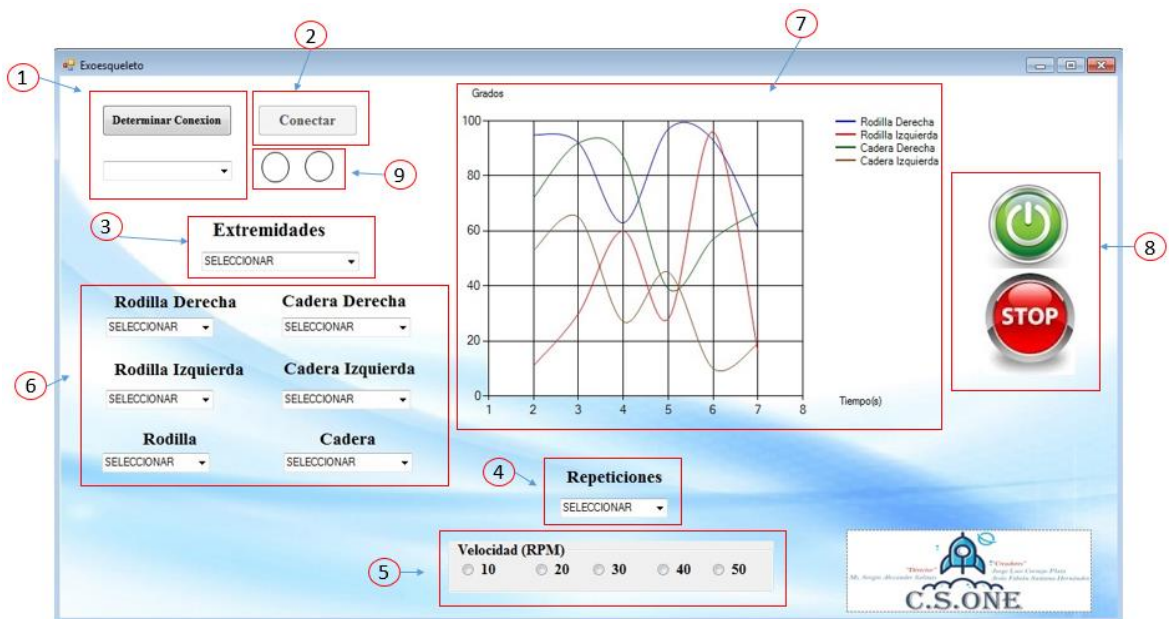


Figura 18. Interfaz Gráfica de Usuario

1. Detección del puerto USB y su respectiva selección
2. Pulsador de conexión
3. Casilla de selección de extremidad donde tiene 7 opciones (Rodilla Derecha, Rodilla Izquierda, Cadera Derecha, Cadera Izquierda, Rodilla y cadera Derecha, Rodilla y Cadera Izquierda, Movimiento de Marcha)
4. Casilla de selección de Repeticiones donde encuentra 5 opciones (10, 20, 30, 40, 50)
5. Casilla de selección de Velocidad donde tiene 5 opciones (10, 20, 30, 40, 50)
6. casillas de selección de Angulo según extremidad, si es rodilla encuentra 4 opciones (0°, 10°, 20°, 40°) y si es cadera 3 opciones (0°, 10°, 20°)
7. Grafica Grados Vs tiempo de las extremidades en uso
8. Botones de inicio y detener del software
9. indicadores de conexión donde el primero identifica la conexión del software y el segundo la del hardware, cuando detectan la conexión su color es verde de lo contrario es rojo

4.3.2 Protocolo de Comunicación

El protocolo de comunicación de la interfaz comienza con la detección del puerto USB para identificar si el equipo se encuentra listo para utilizarse y continúa con su conexión, luego el usuario realiza unas selecciones para identificar las órdenes enviadas al equipo como son la extremidad, repetición de la terapia, velocidad y ángulo de rotación; después de haber escogido, el usuario pulsa el botón iniciar (botón verde) dando comienzo a la confirmación

del protocolo, el software envía una “I” esperando como respuesta la misma letra. Si por el contrario no sucede o recibe otra letra el programa no envía la cadena, muestra un error y regresa para que el usuario repita la selección. Si el software recibe la letra indicada inicia el envío del protocolo indicando la cadena completa de los datos seleccionados, colocando en funcionamiento el equipo. El programa después del envío sensa los ángulos y los grafica para que el usuario los pueda visualizar; si en algún momento el usuario pulsa el botón detener o termina la secuencia, la línea punteada se activa terminando todo proceso y regresando para que el usuario repita la selección y comience una nueva instrucción como se muestra en la figura 19.

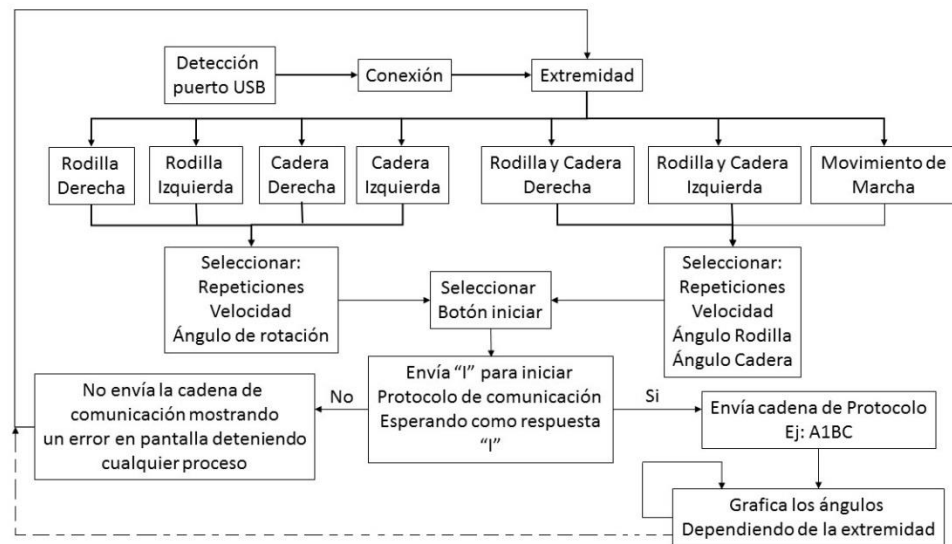


Figura 19. Protocolo Software

4.3.3 Algoritmos en el Micro-controlador

Mplab es un programa de software para desarrollar aplicaciones para microcontroladores Microchip y controladores de señales digitales. Se llama un entorno de desarrollo integrado (IDE), ya que proporciona un único “medio ambiente” integrado para desarrollar código para microcontroladores embebidos. Por esta razón se desarrolló un protocolo en este software.

El protocolo diseñado se divide por fases como se observa en la figura 20:

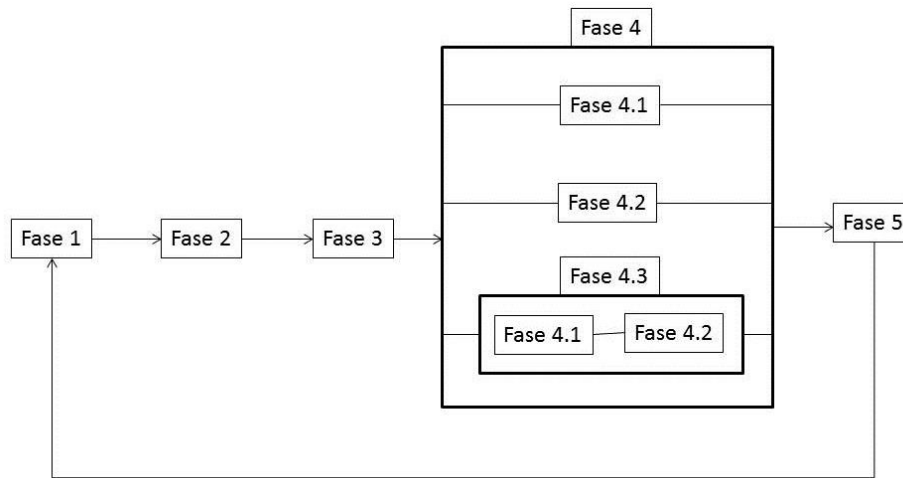


Figura 20. Protocolo Hardware

Fase 1: Es la identificación de inicio de protocolo, donde el microcontrolador recibe un dato del puerto serial “I” o “O”, si el dato recibido es “I” el microcontrolador envía “I” como respuesta para iniciar el protocolo y recibe los datos siguientes que identifican el proceso. Después de iniciar el protocolo se espera la identificación de la extremidad (RD: Rodilla derecha, RI: Rodilla izquierda, CD: Cadera derecha, CI: Cadera izquierda, R&CD: Rodilla y cadera derecha R&CI: Rodilla y cadera izquierda, M: Movimiento de marcha) para continuar con la fase 2. Si el microcontrolador no recibe un dato de extremidad o recibe una “O” al inicio de la fase 1 el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo como se observa en la figura 21.

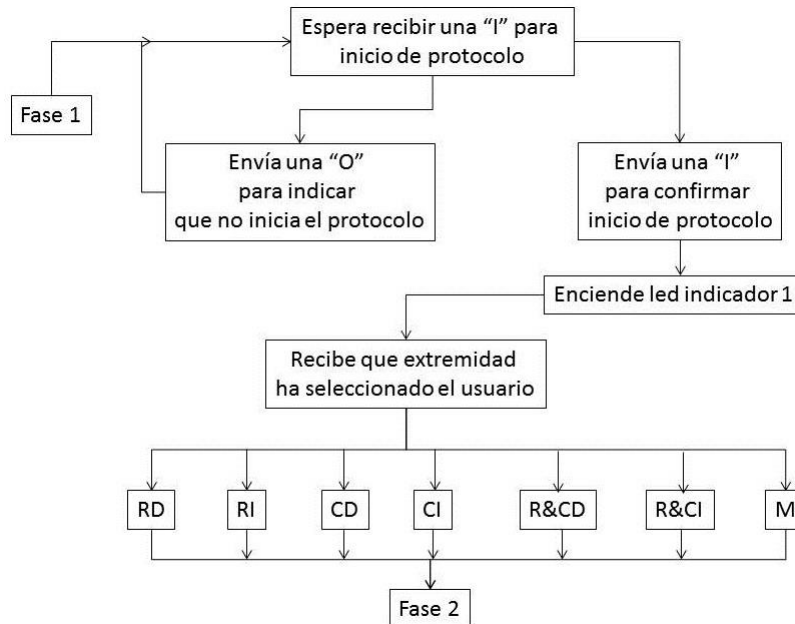


Figura 21. Inicio fase 1 protocolo Microcontrolador.

Fase 2: Cada una de las extremidades escogidas debe seguir una línea como se muestra en la figura 22, donde nuevamente se lee el puerto serial para indicar el número de repeticiones necesarias en el proceso de los actuadores, éstas opciones de repeticiones son 10, 20, 30, 40 o 50, continuando a la fase 3. Si por algún motivo no se recibe un dato en el puerto serial o se recibe una “O” al el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

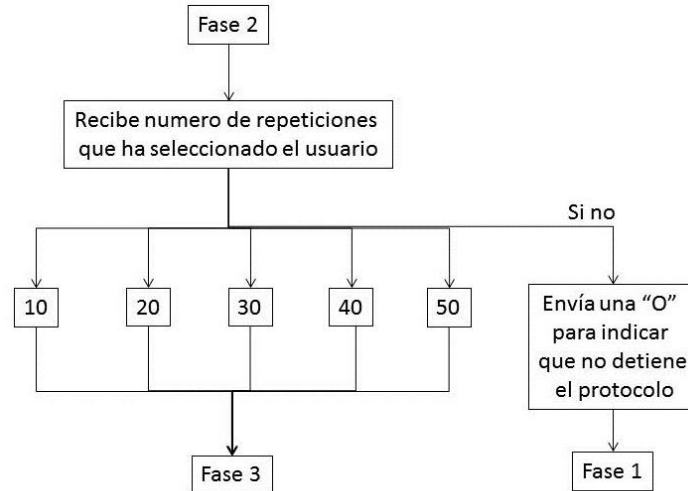


Figura 22.Fase 2 Protocolo Microcontrolador

Fase 3: Cada una de las opciones de repetición inicia la fase 3 del programa como se ilustra en la figura 23, donde el programa lee el puerto serial esperando un dato como 10, 20, 30, 40 o 50 que indica la velocidad del actuador, siguiendo a la fase 4. Si por algún motivo no se recibe un dato en el puerto serial o se recibe una “O” al el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

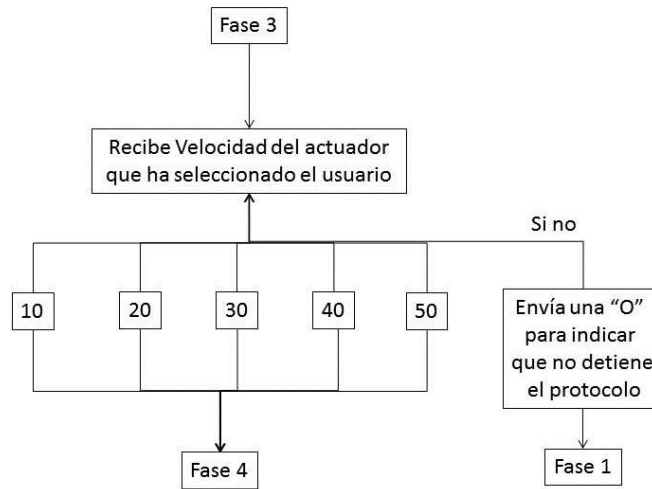


Figura 23.Fase 3 Protocolo Microcontrolador

Fase 4: Esta fase tiene tres procesos diferentes que comienzan desde la fase 1 cuando se selecciona la extremidad. El primer proceso llamado fase 4.1 contiene las extremidades RD y RI inicia leyendo el puerto serial como se muestra en la figura 24 esperando un dato como 0°, 10°, 20°, o 40° que indica el ángulo de marcha que se envía al actuador, proporcionando paso a la fase 5.

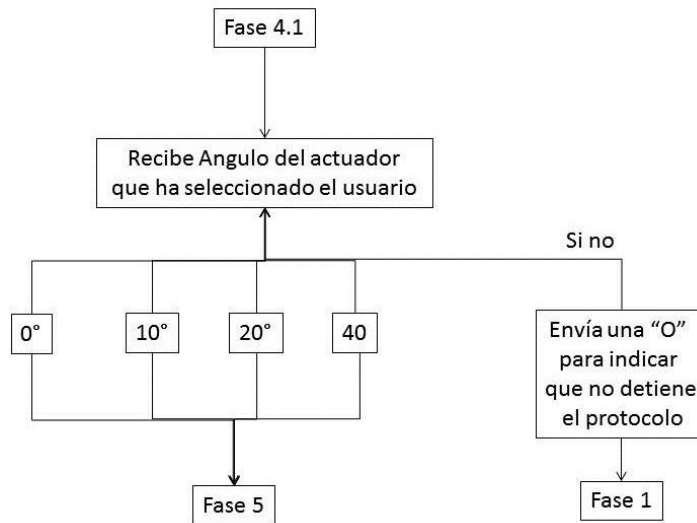


Figura 24.Fase 4.1 protocolo Microcontrolador

El segundo proceso llamado fase 4.2 contiene las extremidades CD y CI comienza leyendo el puerto serial esperando un dato como 0°, 10°, o 20°, que indica el ángulo de marcha que se envía al actuador, proporcionando paso a la fase 5 como se muestra en la figura 25.

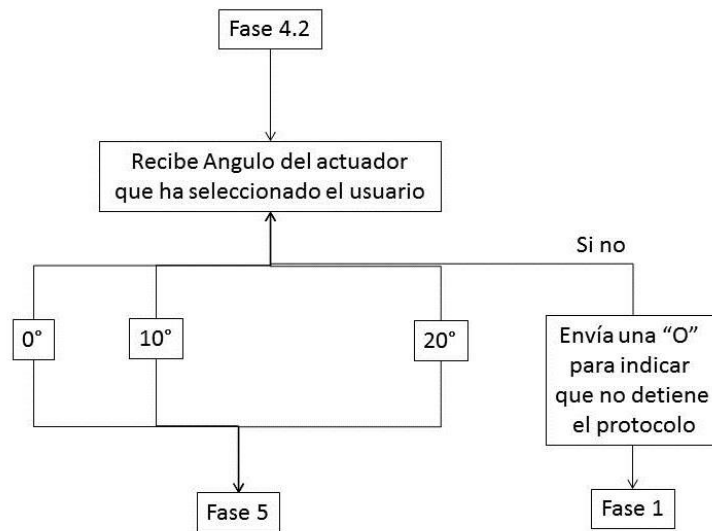


Figura 25.Fase 4.2 protocolo Microcontrolador

El tercer proceso contiene las extremidades restantes R&CD, R&CI, y M contiene los dos procesos descritos anteriormente comenzando con la fase 4.1 y luego la fase 4.2, indicando dos ángulos de marcha que corresponden a la rodilla y la cadera dando paso a la fase 5. Si por algún motivo no se recibe un dato en el puerto serial en cualquiera de los tres procesos o se recibe una “O” el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

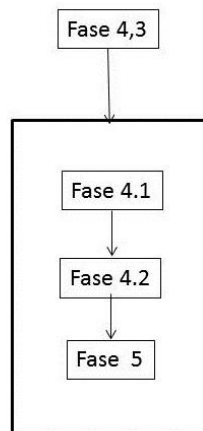


Figura 26.Fase 4.3 protocolo Microcontrolador

Fase 5: La última fase es la de control y ejecución de las órdenes tomadas anteriormente, iniciando con un indicador de inicio de proceso como se observa en la figura 27, continuando con el inicio del control del proceso general, a través de dos lecturas, una del puerto serial indicando que si recibe una “O” termina todo proceso, pero si no recibe nada continúa con el programa tomando la segunda lectura que es el dato del sensor que está

ubicado en el potenciómetro de los servomotores utilizados; luego compara este dato con los datos del ángulo o los ángulos enviados al proceso, si existe una variación en los ángulos ejecuta un control (Lazo de realimentación) y envía los datos al actuador corregidos para su funcionamiento preciso y vuelve a realizar el proceso para su constante control. La forma de terminar el proceso es que el programa termine sus condiciones dadas desde la interfaz o reciba la orden de detener el programa (botón rojo).

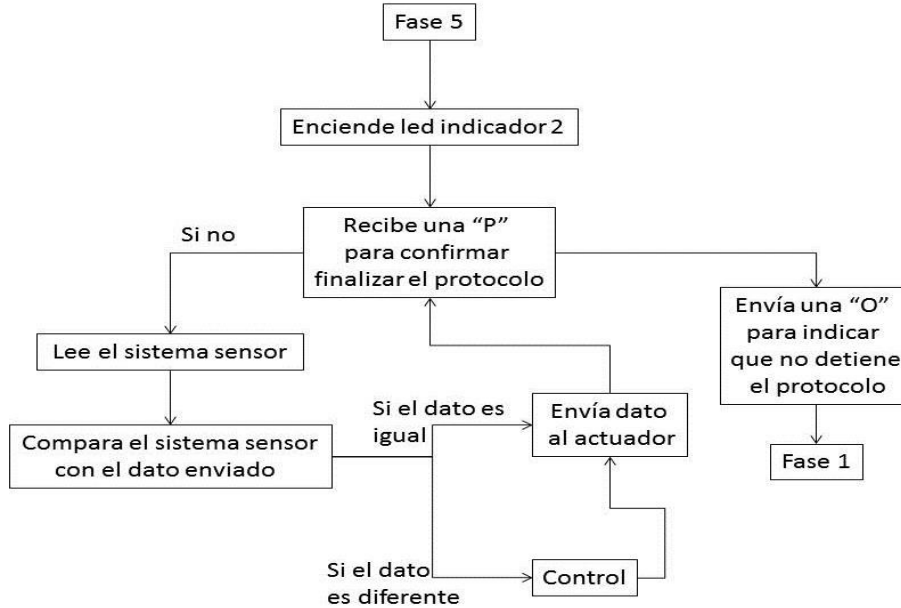


Figura 27.Fase 5 Protocolo Microcontrolador

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describen las pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema exoesquelético, obteniendo resultados que permiten observar el comportamiento del sistema en la interfaz de usuario, equipo exoesquelético y su control.

5.1 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

La interfaz gráfica de usuario diseñada establece una comunicación amigable entre el usuario y el equipo para su correcto funcionamiento. Inicialmente se busca que el usuario establezca la conexión del puerto a trabajar, dando clic en el botón DETERMINAR CONEXIÓN. Se logra reconocer los puertos actualmente activos en el ordenador para posteriormente dar clic en el botón conectar como se observa en la figura 28.

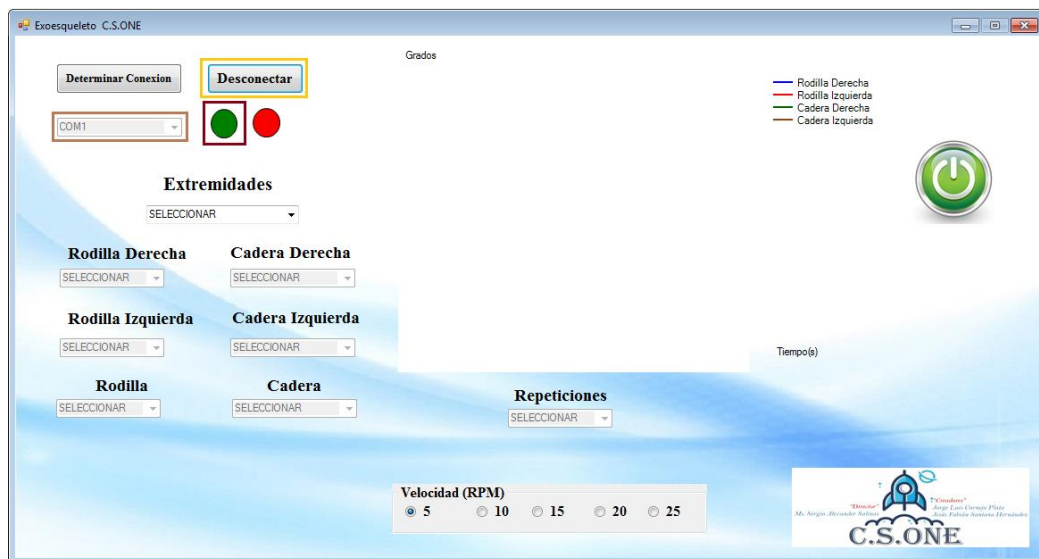


Figura 28. Conexión Interfaz Gráfica de usuario final

Luego el usuario tiene diversas opciones de actividades como son Rodilla Derecha, Rodilla Izquierda, Cadera Derecha, Cadera Izquierda, Rodilla y Cadera Derecha, Rodilla y Cadera Izquierda o movimiento de marcha completo. Cada una de estas opciones cuenta con otra variedad de posibilidades como son la variación en Angulo de cada extremidad, Velocidad y número de repeticiones como se observa en la figura 29.

Extremidades

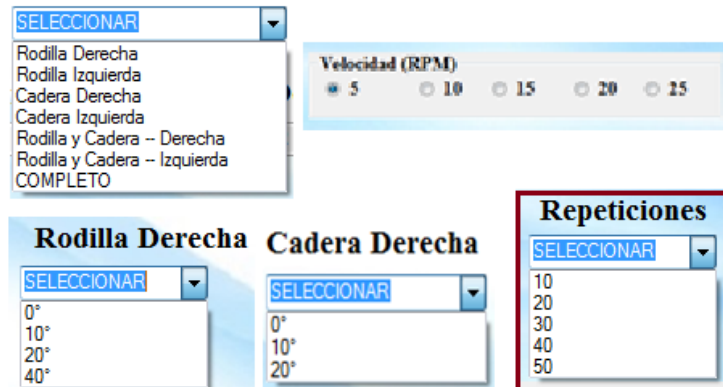


Figura 29. Selecciones de la Interfaz Gráfica de usuario final

Cuando el equipo se pone en funcionamiento arroja una gráfica de posición de las extremidades identificadas cada una con un color: azul (Rodilla Derecha), roja (Rodilla Izquierda), verde (Cadera Derecha) y morado (Cadera Izquierda) como se observa en la figura 30.

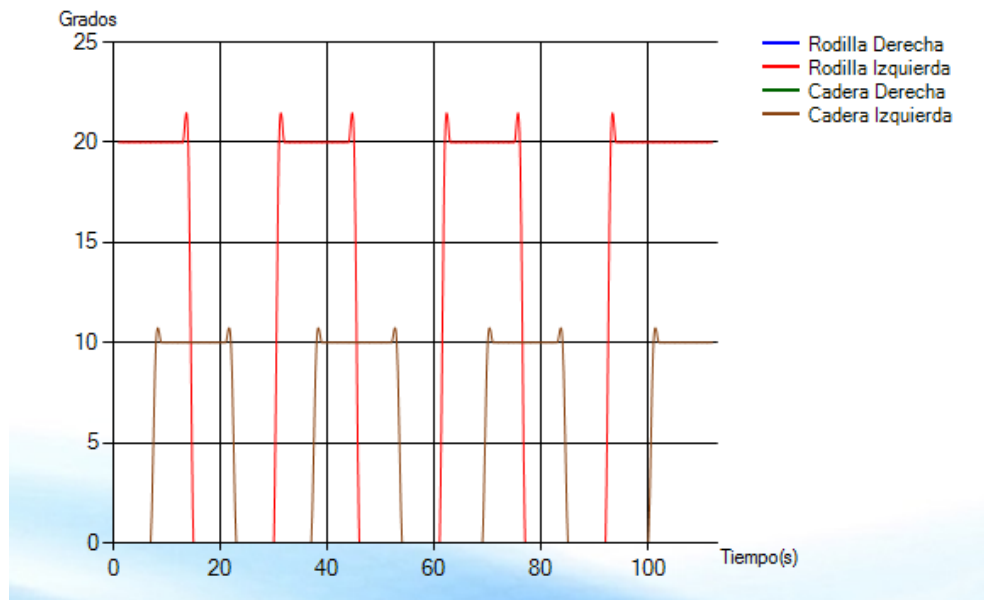


Figura 30. Graficas de posición de la Interfaz Gráfica de usuario final

La velocidad de la ejecución que por defecto se encuentra previamente seleccionada al valor más bajo debido al criterio de seguridad en rehabilitación. Siendo el valor 5 la velocidad más lenta y 25 la más rápida para procedimientos orientados a rehabilitación los cambios de velocidad ejercen un movimiento más rápido como se observa en la figura 31.

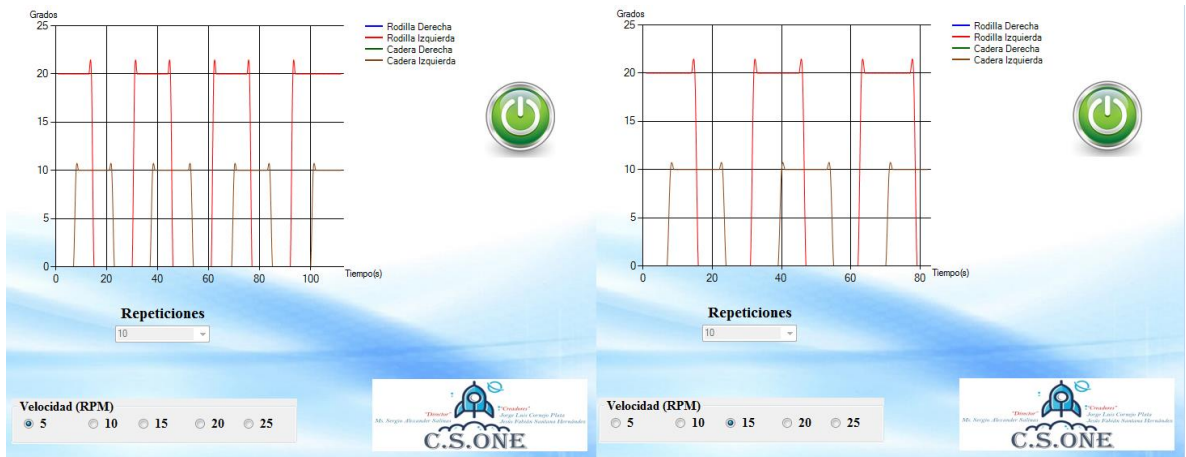


Figura 31. Graficas de posición de la Interfaz Gráfica de usuario final con variación de velocidad

Asimismo, la interfaz gráfica de usuario es un forma de comunicación para implementar la estructura exoesquelética a escala emulando los movimientos de marcha.

5.2 EQUIPO EXOESQUELÉTICO

En la estructura exoesquelética diseñada se encuentran elementos para el funcionamiento con la interfaz gráfica de usuario. Cuenta con una caja de control, cable de energía, cable de conexión y en cada extremidad cintas de ajuste como se observa en la figura 32.



Figura 32. Elementos del equipo exoesquelético

En la caja de control se encuentran tres indicadores, uno de funcionamiento, dos de energía que corresponden a los motores y al micro-controlador. También se encuentra una parada de emergencia, conector energía, conector de comunicación y un interruptor ON/OFF para encender o apagar el equipo exoesquelético como se observa en la figura 33.



Figura 33. Componentes de la caja de control

Inicialmente se coloca el maniquí en el exoesqueleto colocándole las cintas de ajuste como se observa en la figura 34 para realizarle la terapia de rehabilitación, luego se conectan los cables de energía y de comunicación en la cara lateral de la caja de control, se acciona el interruptor, de inmediato los dos indicadores de energía de color verde deben encender para que el usuario sea informado de una correcta conexión de energía.



Figura 34. Estructura exoesquelética con y sin maniquí

Cuando el usuario desde la interfaz seleccione los parámetros de la terapia, en la caja de control se encenderá el indicador de funcionamiento de color azul hasta que termine la terapia u ocurra una parada de emergencia, esta parada de emergencia puede ser accionada

manualmente desde el pulsador “parada de emergencia” o desde la interfaz gráfica de usuario con el botón “Detener”.

Al terminar el proceso de utilización del equipo se debe apagar el exoesqueleto con el interruptor ON/OFF y desconectar los cables de energía y mini-USB, al igual que en la interfaz se debe pulsar el botón “Desconectar” y cerrar la aplicación.

5.3 CONTROL

El control implementado es proporcional de constante uno. El sistema calcula el error con la diferencia del dato enviado con el dato analógico recibido como se observa en la tabla 6, este error incrementa o disminuye con una constante de uno el valor al cual debe finalizar

Tabla 6. Error de posición de cada extremidad

MOTOR	ERROR DE POSICIÓN
Rodilla Derecha	Entre 0 y 2 Grados
Cadera Derecha	Entre 0 y 3 Grados
Rodilla Izquierda	Entre 0 y 2 Grados
Cadera Izquierda	Entre 0 y 3 Grados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la prueba del funcionamiento del prototipo con control y sin control. A partir de la toma de datos de cada extremidad se grafica y comprueba su correcto funcionamiento como se muestra en las figuras siguientes y en la tabla del anexo 4.

En la figura 35 se evidencia el funcionamiento con control (CD Control) y sin control (CD Analógico), la diferencia entre estas dos señales, es el error de posición, que se nivela cuando se estabiliza el motor. La aplicación del control al motor de la Cadera Derecha genera un movimiento pausado

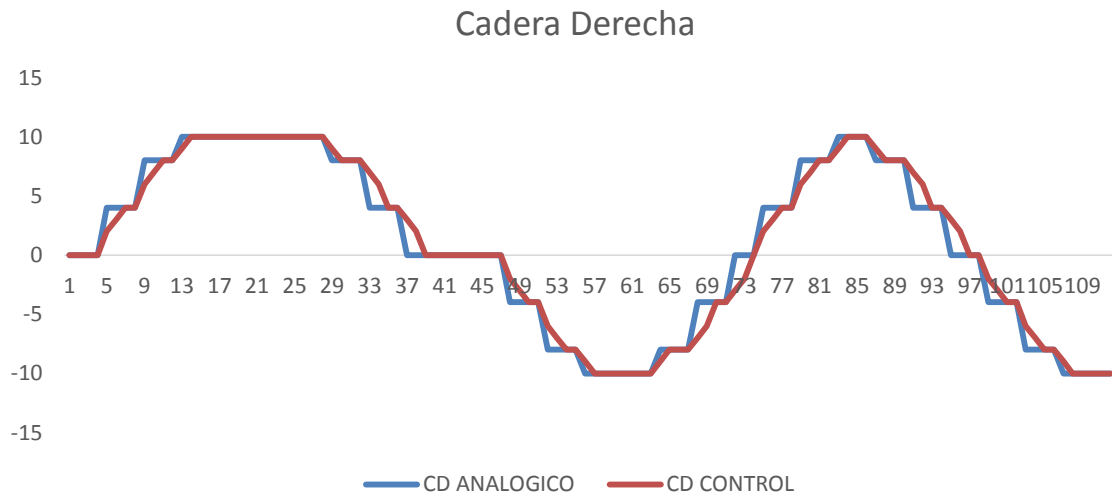


Figura 35. Grafica de Cadera derecha con control y sin control

La comparación del movimiento con control (CI Control) y sin control (CI Analógico) de la Cadera Izquierda se contempla en la figura 36 en el cual la diferencia de las dos señales produce el error de posición que se nivela cuando se estabiliza el motor. La aplicación del control al motor origina un movimiento pausado

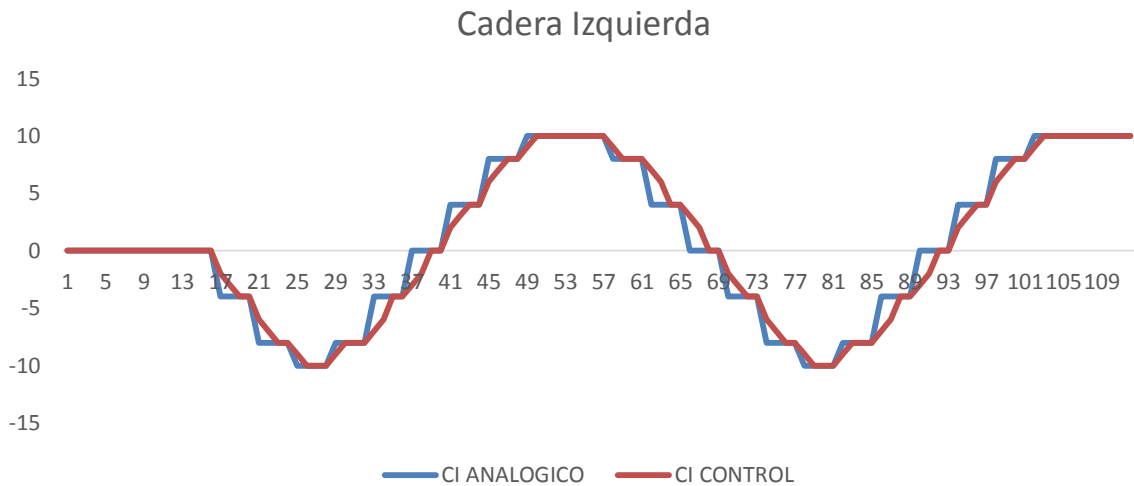


Figura 36. Grafica de Cadera izquierda con control y sin control

La figura 37 refiere al funcionamiento de la Rodilla Derecha, realizando una comparación entre el funcionamiento con control (RD Control) y sin control (RD Analógico). A través de esta comparación se evidencia la señal de error de posición de este motor.

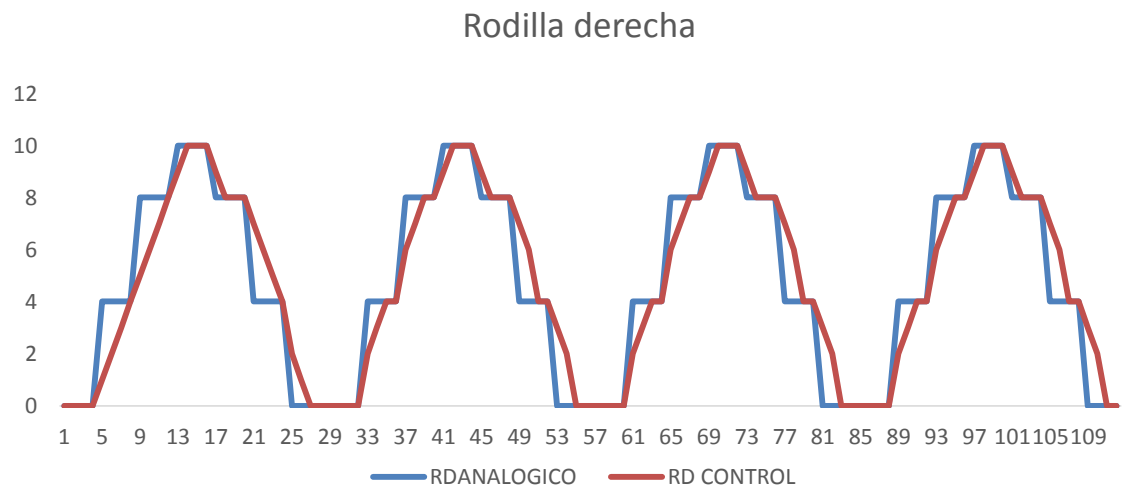


Figura 37. Grafica de Rodilla derecha con control y sin control

La figura 38 muestra el movimiento con control (RI Control) y sin control (RI Analógico) de la Rodilla Izquierda donde la diferencia entre las dos señales es el error de posición. La aplicación del control al motor genera un movimiento pausado

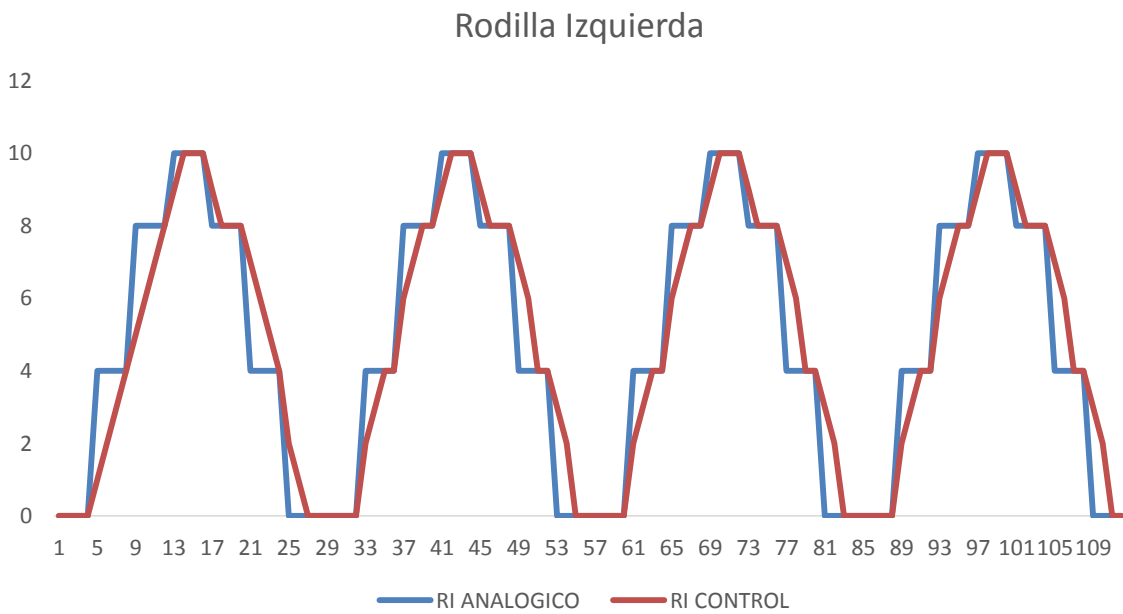


Figura 38. Grafica de Rodilla izquierda con control y sin control

También se realizaron pruebas cambiando la velocidad para observar el funcionamiento y la variación de la rapidez del movimiento, los datos fueron tomados y graficados como se muestra en la figura 39.

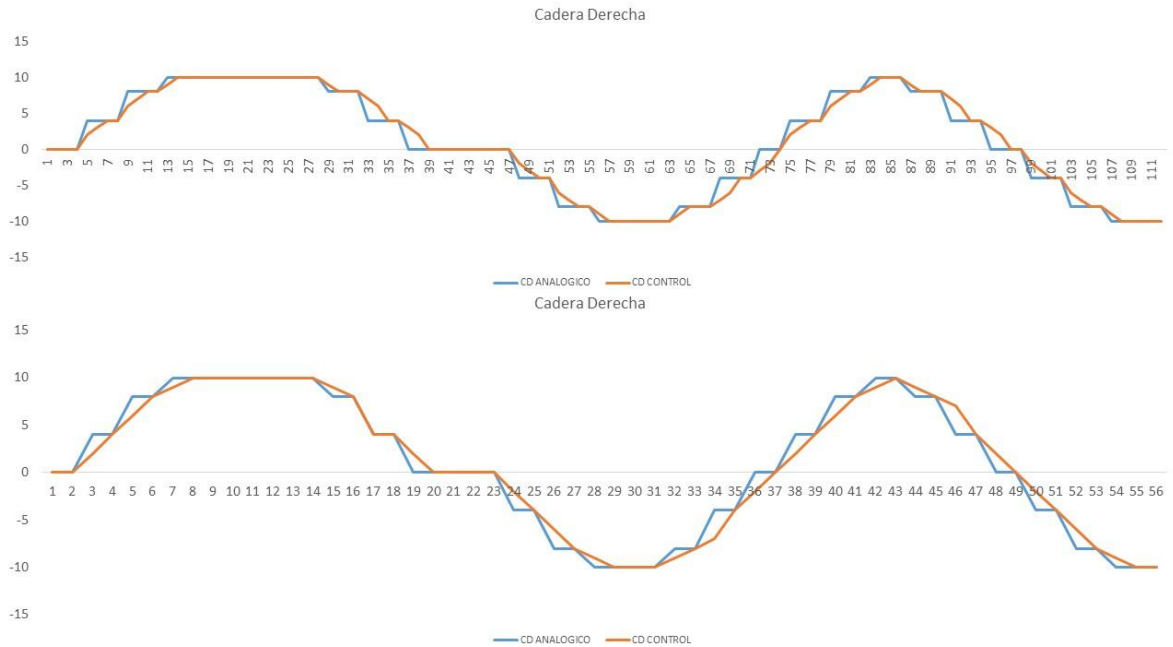


Figura 39. Grafica variación de la Velocidad en Cadera Derecha

Se considera que la interfaz gráfica de usuario y el prototipo exoesquelético facilitan la interacción entre el paciente y el fisioterapeuta, generando una terapia equilibrada y exitosa, pues los movimientos, fuerza, velocidad y repetición se realizan de forma equitativa en cualquier extremidad

6. CONCLUSIONES

Se definieron los requerimientos técnicos del exoesqueleto, a partir del estudio de los movimientos de las extremidades inferiores realizados por un niño entre cinco y seis años, cuando realiza la marcha.

Se desarrolló un modelo funcional a escala de un exoesqueleto, para rehabilitación de marcha en niños entre cinco y seis años y desarrollar una interfaz gráfica de usuario para su control.

Se diseñó un exoesqueleto con motores controlados a través de un micro-controlador y una interfaz gráfica de usuario amigable con algoritmos que generan secuencias de movimientos; también algoritmo para el sistema sensor de posición angular de las articulaciones logrando su control.

Se comprobó el funcionamiento del control proporcional del exoesqueleto con las pruebas realizadas, logrando obtener gráficas aproximadas de los ángulos aplicados en cada extremidad, los cuales presentan un margen de error que varía entre 0 y 2 grados, este error es generado por la diferencia entre el dato enviado a los actuadores y el dato analógico recibido de ellos que indica la posición actual.

El proyecto es un prototipo apto para ser utilizado como una herramienta para estudiantes de ingeniería electrónica, o carreras afines con el fin de que afiancen los conocimientos obtenidos a partir de la teoría.

Se recomienda, en futuras investigaciones, la creación de un programa de entrenamiento para fisioterapeutas, en los que se capaciten en terapias de rehabilitación de marcha en población infantil, a través del prototipo exoesquelético C.S. ONE. Asimismo, fortalecer en estudiantes de pregrado la realización de prácticas de laboratorio en biomédica, generando nuevos conocimientos e incursionando a los estudiantes el interés por desarrollar investigaciones futuras en esta área.

Se sugiere implementar proyectos desde el área de biomédica en donde se incluya población infantil cuyo propósito sea potencializar el desarrollo del niño, pues los estudios básicos son escasos, poco explícitos y los equipos especializados son costosos en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, Adriana., Briñez, Tatiana., Guarín, Vanessa., Ruiz, Juan Pablo., & Zapata, Marly. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *Revista CES Movimiento y Salud*, 1, 29 – 43.
- Angulo, C., & Raya, C. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Barcelona: UPC
- Ams V. *Robotic exoskeleton Rex Gets paralyzed woman out of wheelchair*. 2013. Recuperado de <http://www.rexbionics.com/>
- Army – Technology. *Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit. United States of America, 2010*. Recuperado de <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>
- Ayala, J.F. *Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior*. México: Tesis de grado publicada, Instituto Politécnico Nacional, 2012
- Ávila, Rosalío., Prado, Lilia., & González, Elvia Luz. (2001). *Dimensiones antropométricas. Población Latinoamericana*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Berkeley Robotics & Human Engineering Laboratory. 2000. *BLEEX*. Recuperado de <http://bleex.me.berkeley.edu/research/exoskeleton/bleex/>
- Borja, F., Montero, P., Pena, C., Padrón, J., Teijeiro, I. (2010). *Interfaces gráficas de usuario*. Recuperado de <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Interfaces/enlightment/>
- CadSoft Compute (2011). *Eagle 4.11*. Recuperado de <http://www.cadsoftusa.com/>
- Chávez, M.A., Rodríguez, F., & Baradica, A. Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2010.
- Collado, Susana., (2005). Desarrollo de la marcha. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud*, 3, 1 – 13.
- Cyberdyne. 2004. *Hal de Cyberdyne*. Recuperado de <http://www.cyberdyne.jp/english/>
- Dynamo Electronics (2014). *Programador Arduino mini y pro*. Recuperado de http://www.dynamoelectronics.com/index.php?product_id=922&page=shop.product_details&category_id=82&flypage=dynamo.tpl&option=com_virtuemart&Itemid=58

- González, I., González, J., & Gómez-Arribas, F. (2003). *Hardware libre: Clasificación y desarrollo de hardware reconfigurable en entornos GNU/Linux*. Recuperado de <http://ftp1.nluug.nl/ftp/pub/ftp/os/Linux/doc/LuCaS/Presentaciones/200309hispalinux/8/8.pdf>
- Grosso, J. M., & Tibaduiza, D. Diseño Conceptual de un Exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica, 2009*.
- Grosso, J. M., & Tibaduiza, D. Diseño y validación de un exoesqueleto maestro-esclavo para rehabilitación de piernas. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2013
- Henry, A., & Barrett, A. “*Wii-habilitation*” and robotic exoskeletons: technology in physiotherapy.2011. Recuperado de <http://www.rcsismj.com/2009-2010-issue/wii-habilitation/>
- Kahanoff, R. *ReWalk Exoskeleton Suit*. 2008. Recuperado de <http://wheelieatholic.blogspot.com/2008/08/rewalk-exoskeleton-suit.html>Marsi
- Kuo, B. (2006). *Sistemas de control automático*. México: Pearson.
- Lasso, I.L., & Masso, M. *Exoesqueleto para reeducación muscular en pacientes con imoc tipo diplejía espástica moderada*. Tesis de grado publicada, Popayán: Universidad del Cauca, 2010.
- Marqués, P. (2010). *El software educativo*. Recuperado de http://recursos.salonesvirtuales.com/assets/bloques/educativo_de_pere_MARQUES.pdf
- Marrero, Carlos., & Rivero, Alfredo. (2006). *Interfaz gráfica de usuario*. Tesis de grado publicada, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.
- Marsi Bionics. *Marsi Bionics' lower-limb exoskeletons are orthotic devices that attached to the legs and trunk of a user reproduce the normal gait*.2014. Recuperado de <http://www.marsibionics.com/>.
- Microchip Technology Inc (2014), *Microcontrolador 30f4013*. Recuperado de <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/16bit/>
- Microchip Technology Inc (2014), *Microcontrolador 30f4013*. Recuperado de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70046E.pdf>

- Microsoft (2013). *Visual Basic*. Recuperado de <http://msdn.microsoft.com/es-co/library/2x7h1hfk.aspx>
- Luecke, J. (2005). *Analog and Digital Circuits for Electronic Control System Applications, Embedded Technology Series*, Elsevier, Cap 8. Communications.
- Ogata, K. (1987). *Dinámica de sistemas*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Pallás, R. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo.
- Pérez, M.A. *Análisis cinemático e implementación de una mano robótica servo-articulada aplicable como prótesis*. Tesis de grado publicada. México: Instituto Politécnico Nacional, 2011
- Polegar Medios (2013). *Pesos y estatura del bebé, niño y niña*. Recuperado de <http://www.guiainfantil.com>.
- Reed, M. *Monty Reed and his marvelous robotic "life suit"*. 2011. Recuperado de <http://www.theyshallwalk.org/lifesuit-updates-and-news/monty-reed-and-his-marvelous-robotic-life-suit-editor-marty-lindemann-repost/>
- Sanz, Carmen. (2006) *Cinesiología de la marcha humana normal*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza
- Serrano, Rafael., & Vergara, Enrique. (2011). *Desarrollo angular y rotacional de los miembros inferiores en escolares entre 3 y 10 años. Estudio de dos poblaciones diferentes*. Tesis de grado publicada, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.
- Szondy, D. *NASA developing exoskeleton for astronauts and the earthbound*. 2012. Recuperado de <http://www.gizmag.com/x1-exoskeleton/24525/>.
- Tower Pro (2014). *Servomotor SG-5010*. Recuperado de <http://torqpro.com/?product=sg5010-4>
- Turnigy (2014). *Servomotor TGY-1501MG*. Recuperado de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18919__Turnigy_Metal_Gear_Servo_60g_15_5kg_16sec_USA_Warehouse_.html
- Vildósola, E. (2014). *Actuadores*. Recuperado de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

ANEXOS

MANUAL DE MANTENIMIENTO



EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MARCHA EN INFANTES



Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga
Facultad de Ingeniería Electrónica

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
MANUAL DE MANTENIMIENTO	51
1. Consideraciones previas.....	53
2. Como leer y utilizar el manual de instrucciones	53
2.1 Importancia del manual.....	53
2.2 Como consultar el manual.....	53
2.3 Conservación del manual	54
3. Información General	54
3.1 Datos de identificación del fabricante	54
3.2 Informaciones sobre la asistencia técnica y el mantenimiento del equipo.....	54
3.3 Advertencias generales de seguridad	55
4. Transporte, Manejo, Almacenamiento	57
4.1 Transporte y manejo de la máquina	57
5. Instalación	57
5.1 Condiciones ambientales permitidas.....	57
5.2 Conexión a las fuentes de energía y controles correspondientes	58
5.3 Mantenimiento del Exoesqueleto	58
5.3.1 Mantenimiento del hardware.....	59
5.3.2 Mantenimiento del software	59
5.3.3 Limpieza de la estructura exoesqueletica.....	59
6. Esquemas del equipo	59
6.1 Esquemas Hardware.....	59
6.2 Esquema del Software.....	61

1. Consideraciones previas

Lo que debe tener en cuenta antes de utilizar el equipo son:

- Recuerde tener un ambiente adecuado para la utilización del equipo
- No obstaculice el movimiento de marcha del equipo con instrumentos inadecuados
- Los accesorios como cable de energía y conexión USB deben estar bien ubicados y conectados en sus respectivas puertos
- Cuando ubique al niño recuerde asegurarlo con los implemento del equipo exoesquelético

2. Como leer y utilizar el manual de instrucciones

2.1 Importancia del manual

El presente MANUAL DE INSTRUCCIONES constituye la guía para la INSTALACIÓN, USO, y MANTENIMIENTO del exoesqueleto que ha comprado.

Se recomienda que siga cuidadosamente todos los consejos que contiene el manual, debido a que el buen funcionamiento como la duración del exoesqueleto dependen del uso correcto y de la aplicación metódica de las instrucciones de mantenimiento contenidas en el manual. Los fabricantes declina todo tipo de responsabilidad en caso de un uso incorrecto o de un mantenimiento inadecuado del exoesqueleto.

El MANUAL DE INSTRUCCIONES forma parte integrante. Guarde el presente manual durante toda la duración del exoesqueleto.

Asegúrese de que todas las actualizaciones entregadas por el fabricante se hayan incluido en el manual o estén junto a él.

Entregue el manual con el exoesqueleto cuando éste cambie de usuario o propietario.

2.2 Como consultar el manual

El manual de instrucciones está compuesto por:

- PORTADA CON LA IDENTIFICACIÓN DE LA MÁQUINA
- ÍNDICE ANALÍTICO
- INSTRUCCIONES Y/O NOTAS SOBRE EL EXOESQUELETO

En la PORTADA aparece el modelo del exoesqueleto del que se habla en el manual y el número de serie del exoesqueleto que usted tiene.

En el ÍNDICE se puede ver el CAPÍTULO y el APARTADO sobre el que se puede consultar un tema en concreto.

Todas las INSTRUCCIONES Y/O NOTAS SOBRE EL PRODUCTO están dirigidas a encontrar las advertencias sobre la seguridad y los procedimientos para un correcto funcionamiento del exoesqueleto

2.3 Conservación del manual

Utilice el manual de manera tal que no dañe su contenido. No elimine, arranque o escriba por ningún motivo partes del manual. Conserve el manual en un ambiente protegido de la humedad y del calor.

3. Información General

3.1 Datos de identificación del fabricante



3.2 Informaciones sobre la asistencia técnica y el mantenimiento del equipo

Se recuerda que nuestro servicio de asistencia está a su completa disposición, para resolver cualquier problema que se presente o para suministrarles las informaciones necesarias. Para eventuales aclaraciones diríjase a: Universidad Pontificia Bolivariana o a su distribuidor.

Sólo se puede garantizar un rendimiento óptimo de nuestro exoesqueleto si se utilizan repuestos originales.

Se recomienda seguir minuciosamente las instrucciones suministradas en el Capítulo MANTENIMIENTO y utilizar EXCLUSIVAMENTE piezas de repuesto originales.

La utilización de repuestos NO ORIGINALES invalida automáticamente la garantía.

3.3 Advertencias generales de seguridad

Nota! Las operaciones que encontrará en el manual han sido escritas para ayudar al operador durante la utilización y las operaciones de mantenimiento del exoesqueleto.

INSTRUCCIONES IMPORTANTES PARA UTILIZAR CON SEGURIDAD EL EXOESQUELETO.

ATENCIÓN: EL USO INAPROPIADO Y UN MANTENIMIENTO INCORRECTO DEL EXOESQUELETO PUEDEN PROVOCAR LESIONES FÍSICAS AL USUARIO. PARA EVITAR ESTOS RIESGOS HAY QUE SEGUIR DETENIDAMENTE LAS INSTRUCCIONES SIGUIENTES.

1. NO TOCAR LAS PARTES EN MOVIMIENTO

No meter nunca las manos, dedos u otras partes del cuerpo cerca de las partes en movimiento del exoesqueleto.

2. NO USAR EL EXOESQUELETO SIN LAS PROTECCIONES NECESARIAS

No usar nunca el exoesqueleto sin que todas las protecciones estén perfectamente montadas en su sitio (por ej. correas, arnés.); si las operaciones de mantenimiento o asistencia requieren que se quiten estas protecciones, hay que asegurarse de que las protecciones estén bien fijadas en su sitio antes de utilizar de nuevo el exoesqueleto. Está tajantemente prohibido deshabilitar los dispositivos de seguridad instalados en el exoesqueleto.

3. DESCONECTAR EL EXOESQUELETO

Desconectar el exoesqueleto de la fuente de energía eléctrica antes de efectuar cualquier operación de asistencia, inspección, mantenimiento, limpieza y cambio o control de cualquier pieza.

4. ARRANQUES ACCIDENTALES

No transportar el exoesqueleto mientras está conectado a la fuente eléctrica.

5. ALMACENAR EL EXOESQUELETO DE MANERA APROPIADA

Cuando el exoesqueleto no se utiliza tiene que estar almacenado en un lugar seco protegido de la acción de los agentes atmosféricos.

6. ZONA DE TRABAJO

Mantener la zona de trabajo limpia y si fuera necesario quitar del área las herramientas que no sean necesarias. Mantener la zona de trabajo bien ventilada. No usar el exoesqueleto en presencia de líquidos inflamables o gases. No usar el exoesqueleto en situaciones donde se puedan hallar pinturas, gasolinas, sustancias químicas, adhesivos o cualquier otro material combustible o explosivo.

7. PRENDAS DE TRABAJO

No usar indumentos o accesorios inadecuados, pues podrían quedar atrapados en las partes en movimiento.

8. PRECAUCIONES PARA EL CABLE DE ALIMENTACIÓN

No desconectar la clavija de la corriente tirando del cable de alimentación. Mantener el cable lejos del calor, del aceite y de superficies cortantes. No pisar el cable eléctrico ni aplastarlo con pesos inadecuados.

9. MANTENER EL EXOESQUELETO CON CUIDADO

Seguir las instrucciones para el mantenimiento. Inspeccionar el cable de alimentación periódicamente y si está dañado repararlo o cambiarlo en un centro de asistencia autorizado. Comprobar el aspecto exterior del exoesqueleto de manera que no presente anomalías visuales. Dirigirse eventualmente al centro de asistencia más cercano.

10. PROLONGACIONES ELÉCTRICAS PARA LA UTILIZACIÓN EN EL EXTERIOR

Cuando el exoesqueleto se utiliza en el exterior utilizar solamente prolongaciones de cable destinadas al uso exterior y marcadas para este uso.

11. CUIDADO

Prestar atención a la tarea que se está efectuando y utilizar el sentido común. No usar el exoesqueleto cuando están cansados. El exoesqueleto no debe ser utilizado jamás si se está bajo el efecto del alcohol, drogas o medicinas que puedan inducir somnolencia.

12. UTILIZAR EL EXOESQUELETO EXCLUSIVAMENTE PARA LAS APLICACIONES ESPECIFICADAS EN EL SIGUIENTE MANUAL DE INSTRUCCIONES

El exoesqueleto es un instrumento de rehabilitación de marcha para infantes. No utilizar jamás el exoesqueleto para usos diferentes de los especificados en este manual de instrucciones.

13. UTILIZAR EL EXOESQUELETO CORRECTAMENTE

Poner en funcionamiento el exoesqueleto conforme a las instrucciones de este manual. No dejar que utilicen el exoesqueleto los niños ni las personas que no tienen familiaridad con su funcionamiento.

14. HACER FUNCIONAR EL EXOESQUELETO A LA TENSIÓN NOMINAL

Hacer funcionar el exoesqueleto a la tensión indicada en la placa de datos eléctricos. Si el exoesqueleto se utiliza a una tensión superior o inferior a la nominal, se pueden dañar o quemar los motores y otros componentes eléctricos.

15. NO UTILIZAR JAMÁS EL EXOESQUELETO SI ESTÁ DEFECTUOSO

Si mientras el exoesqueleto trabaja produce ruidos extraños o excesivas vibraciones, o si pareciera defectuoso, interrumpir su funcionamiento inmediatamente y comprobar su funcionalidad o contactar con el centro de asistencia autorizado más cercano.

16. UTILIZAR SÓLO PIEZAS DE REPUESTO ORIGINALES

El uso de piezas de repuesto no originales invalida automáticamente la garantía y produce desperfectos en el funcionamiento. Las piezas de repuesto originales están disponibles en los distribuidores autorizados.

17. NO MODIFICAR EL EXOESQUELETO

No modificar el exoesqueleto. Consultar con un centro de asistencia autorizado para efectuar todas las reparaciones. Una modificación no autorizada puede disminuir las

prestaciones del exoesqueleto y puede ser la causa de graves accidentes para las personas que no poseen el conocimiento técnico necesario para hacer modificaciones a la máquina.

18. APAGAR EL EXOESQUELETO CUANDO NO ESTÁ EN FUNCIONAMIENTO

19. NO PARAR EL EXOESQUELETO TIRANDO DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN

Utilizar los pulsadores “O/P” (INICIO/DETENER) del panel de control para parar el exoesqueleto.

20. PIEZAS DE REPUESTO

En caso de reparaciones, utilizar únicamente piezas de repuesto originales idénticas a las piezas sustituidas. Las reparaciones deben ser efectuadas exclusivamente por un centro de asistencia autorizado.

21. PARA UTILIZAR CORRECTAMENTE EL EXOESQUELETO

Antes de empezar el trabajo, el personal tiene que conocer perfectamente la posición y el funcionamiento de todos los mandos y de las características del exoesqueleto.

CONSERVAR ESTAS INSTRUCCIONES DE USO Y MANTENIMIENTO Y PONERLAS AL ALCANCE DE LAS PERSONAS QUE DESEAN UTILIZAR ESTE APARATO!

NOS RESERVAMOS EL DERECHO DE APORTAR CUALQUIER MODIFICACIÓN SIN AVISO PREVIO SI FUERA NECESARIO

4. Transporte, Manejo, Almacenamiento

Antes de leer el siguiente capítulo, a fin de utilizar el equipo exoesquelético en condiciones de seguridad, consultar las normativas de seguridad del Apartado 3.3

4.1 Transporte y manejo de la máquina

El transporte del equipo tiene que ser efectuado por personal cualificado.

Antes de efectuar una operación cualquiera de transporte, prestar atención a las dimensiones y peso del equipo.

5. Instalación

5.1 Condiciones ambientales permitidas

Colocar el equipo en el lugar establecido en el momento del pedido; de no ser así el fabricante no responde por los eventuales inconvenientes que pudieran surgir.

Salvo diversa puntualización en el momento del pedido se entiende que el equipo debe funcionar en las condiciones ambientales indicadas en los puntos siguientes.

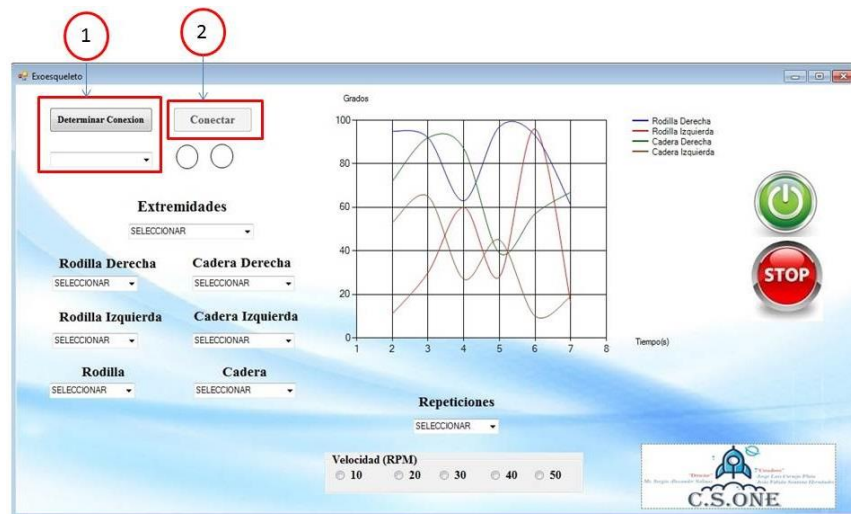
- Ambiente fresco y ventilado
- Iluminación adecuada para la vista del paciente y usuario
- Espacio adecuado para su funcionamiento (2 veces las dimensiones del equipo)

5.2 Conexión a las fuentes de energía y controles correspondientes

Conecte la fuente de energía a un puerto USB o al toma con un adaptador no excediendo el voltaje de 5 Voltios, luego conecte el cable de comunicación a otro puerto USB

Para comprobar la conexión abra el programa y pulse en Determinar conexión, en la casilla de abajo, saldrá un puerto con un letrero diciendo que se detectó. Si por el contrario no sale ningún puerto en el recuadro, salga un mensaje indicando que no se encuentra ningún puerto conectado.

Luego de este procedimiento, se pulsa en conectar y el equipo está listo para utilizarse.



5.3 Mantenimiento del Exoesqueleto

Para realizar el mantenimiento del equipo debe tener en cuenta lo siguiente.

- El cable de energía y el cable de comunicación no deben estar conectados al equipo
- El equipo debe estar en reposo

5.3.1 Mantenimiento del hardware

Revise las conexiones de los motores en la tarjeta impresa del dispositivo comprobando que se encuentran en buen estado, luego continúe con las conexiones de los cables (energía y comunicación) y terminando con las conexiones internas del equipo

5.3.2 Mantenimiento del software

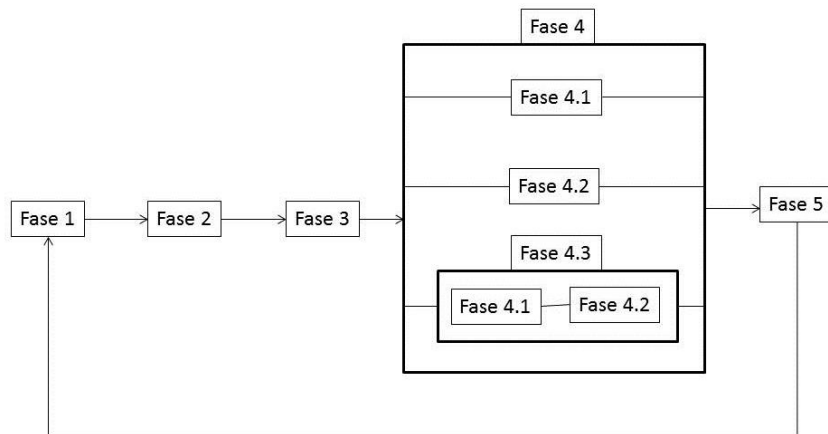
Conecte el equipo a la fuente de energía y con ayuda de los programas TERMITE y virtual serial ports. Compruebe las conexiones y envíe de datos de cada opción del programa, si tiene inquietudes o problemas comuníquese con el fabricante.

5.3.3 Limpieza de la estructura exoesquelética

Con un paño seco limpiar suavemente la estructura eliminando el polvo que se adhiere al equipo, teniendo cuidado con las conexiones internas y externas del exoesqueleto.

6. Esquemas del equipo

6.1 Esquemas Hardware



Fase 1: Es la identificación de inicio de protocolo, donde el microcontrolador recibe un dato del puerto serial “I” o “O”, si el dato recibido es “I” el microcontrolador envía “I” como respuesta para iniciar el protocolo y recibe los datos siguientes que identifican el proceso. Después de iniciar el protocolo se espera la identificación de la extremidad (RD: Rodilla derecha, RI: Rodilla izquierda, CD: Cadera derecha, CI: Cadera izquierda, R&CD: Rodilla y cadera derecha R&CI: Rodilla y cadera izquierda, M: Movimiento de marcha) para continuar con la fase 2. Si el microcontrolador no recibe un dato de extremidad o

recibe una “O” al inicio de la fase 1 el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

Fase 2: Cada una de las extremidades escogidas debe seguir una línea, donde nuevamente se lee el puerto serial para indicar el número de repeticiones necesarias en el proceso de los actuadores, estas opciones de repeticiones son 10, 20, 30, 40 o 50, continuando a la fase 3. Si por algún motivo no se recibe un dato en el puerto serial o se recibe una “O” al el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

Fase 3: Cada una de las opciones de repetición inicia la fase 3 del programa, donde lee el puerto serial esperando un dato como 10, 20, 30, 40 o 50 que indica la velocidad del actuador, siguiendo a la fase 4. Si por algún motivo no se recibe un dato en el puerto serial o se recibe una “O” al el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

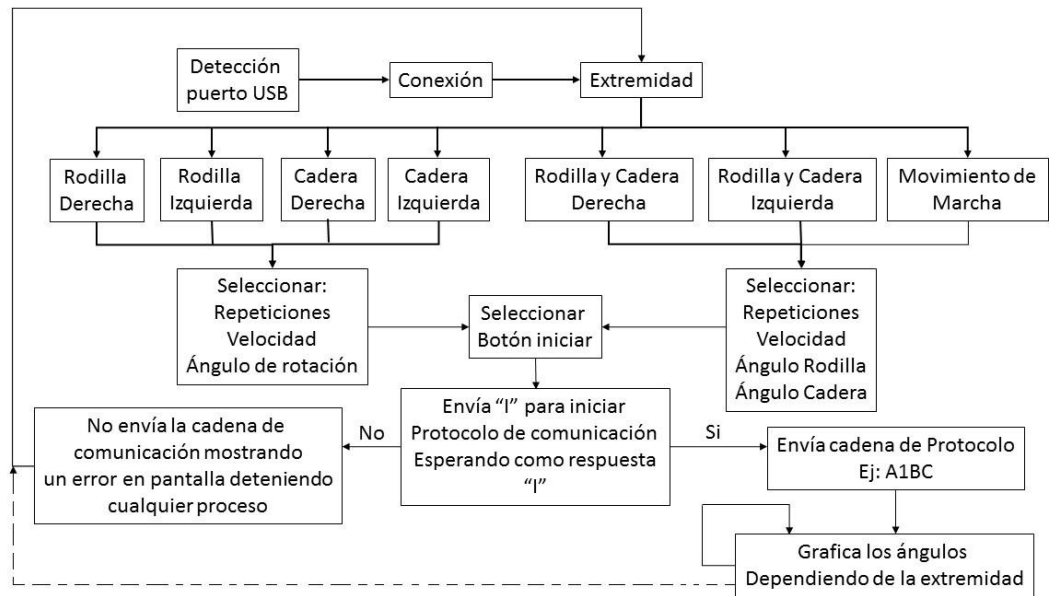
Fase 4: Esta fase tiene tres procesos diferentes que comienzan desde la fase 1 cuando se selecciona la extremidad. El primer proceso llamado fase 4.1 contiene las extremidades RD y RI inicia leyendo el puerto serial esperando un dato como 0°, 10°, 20°, o 40° que indica el ángulo de marcha que se envía al actuador, proporcionando paso a la fase 5.

El segundo proceso llamado fase 4.2 contiene las extremidades CD y CI comienza leyendo el puerto serial esperando un dato como 0°, 10°, o 20°, que indica el ángulo de marcha que se envía al actuador, proporcionando paso a la fase 5.

El tercer proceso contiene las extremidades restantes R&CD, R&CI, y M contiene los dos procesos descritos anteriormente comenzando con la fase 4.1 y luego la fase 4.2, indicando dos ángulos de marcha que corresponden a la rodilla y la cadera dando paso a la fase 5. Si por algún motivo no se recibe un dato en el puerto serial en cualquiera de los tres procesos o se recibe una “O” el programa termina todo proceso en ejecución hasta que se reinicie el protocolo.

Fase 5: La última fase es la de control y ejecución de las órdenes tomadas anteriormente, iniciando con un indicador de inicio de proceso, continuando con el inicio del control del proceso general, a través de dos lecturas, una del puerto serial indicando que si recibe una “O” termina todo proceso, pero si no recibe nada continúa con el programa tomando la segunda lectura que es el dato del sensor que está ubicado en el potenciómetro de los servomotores utilizados; luego compara este dato con los datos del ángulo o los ángulos enviados al proceso, si existe una variación en los ángulos ejecuta un control (Lazo de realimentación) y envía los datos al actuador corregidos para su funcionamiento preciso y vuelve a realizar el proceso para su constante control. La forma de terminar el proceso es que el programa termine sus condiciones dadas desde la interfaz o reciba la orden de detener el programa (botón rojo).

6.2 Esquema del Software



El protocolo de comunicación de la interfaz comienza con la detección del puerto USB para identificar si el equipo se encuentra listo para utilizarse y continúa con su conexión, luego el usuario realiza unas selecciones para identificar las órdenes enviadas al equipo como son la extremidad, repetición de la terapia, velocidad y ángulo de rotación; después de haber escogido, el usuario pulsa el botón iniciar (botón verde) dando comienzo a la confirmación del protocolo, el software envía una "I" esperando como respuesta la misma letra. Si por el contrario no sucede o recibe otra letra el programa no envía la cadena, muestra un error y regresa para que el usuario repita la selección. Si el software recibe la letra indicada inicia el envío del protocolo indicando la cadena completa de los datos seleccionados, colocando en funcionamiento el equipo. El programa después del envío sensa los ángulos y los grafica para que el usuario los pueda visualizar; si en algún momento el usuario pulsa el botón detener o termina la secuencia, la línea punteada se activa terminando todo proceso y regresando para que el usuario repita la selección y comience una nueva instrucción.

MANUAL DE USUARIO

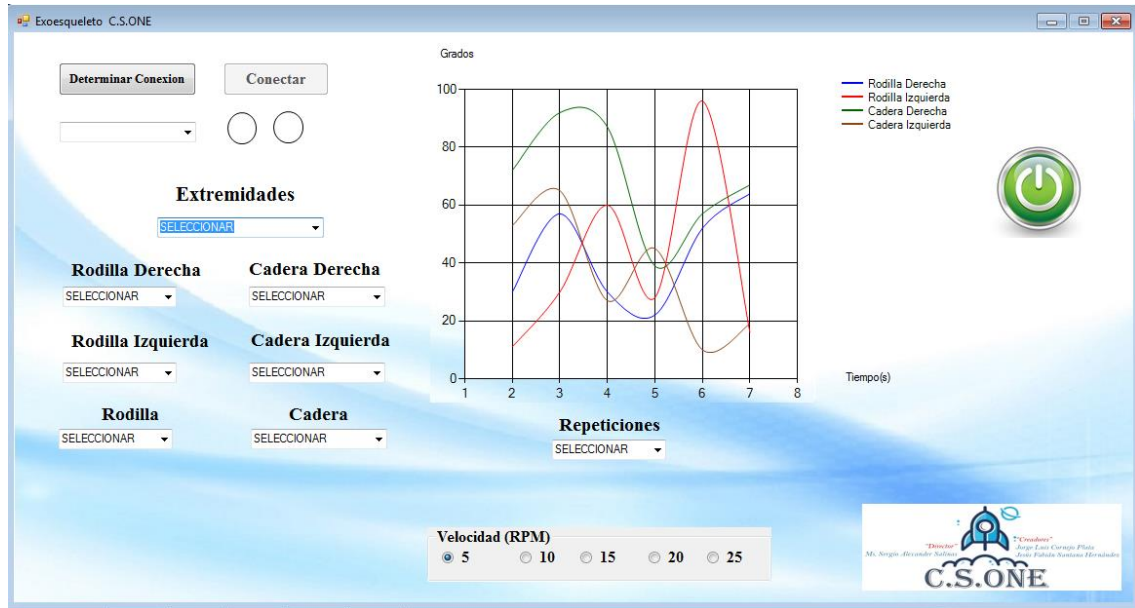


EXOESQUELETO PARA REHABILITACION DE MARCHA EN INFANTES

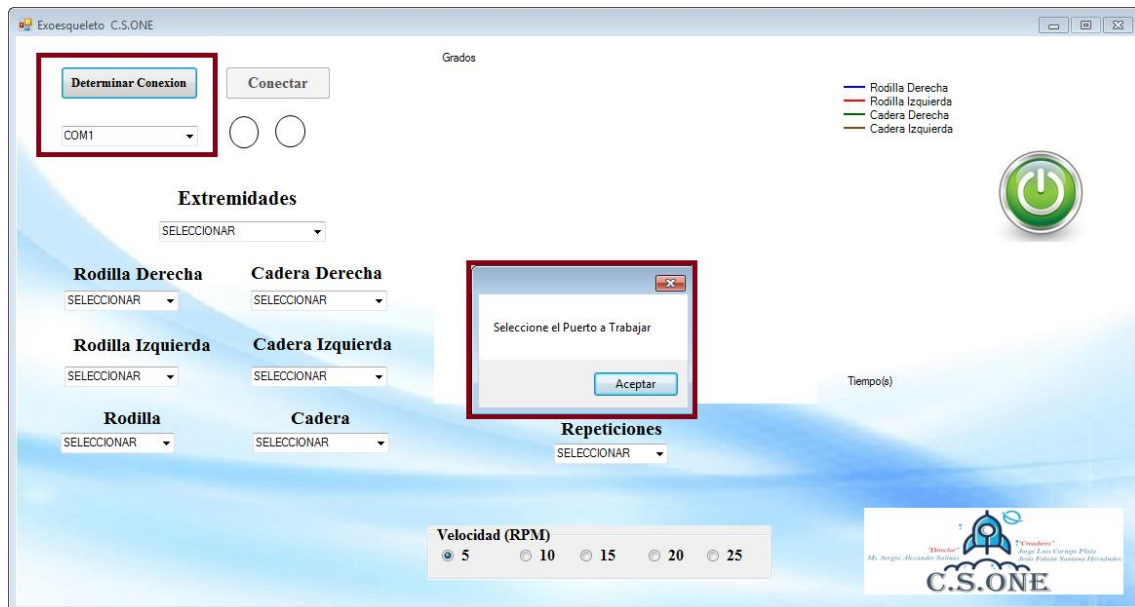


**Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga
Facultad de Ingeniería Electrónica**

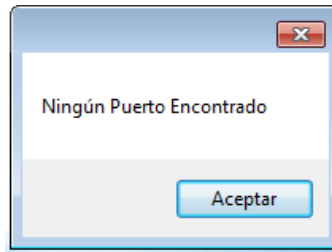
INTERFAZ DE USUARIO



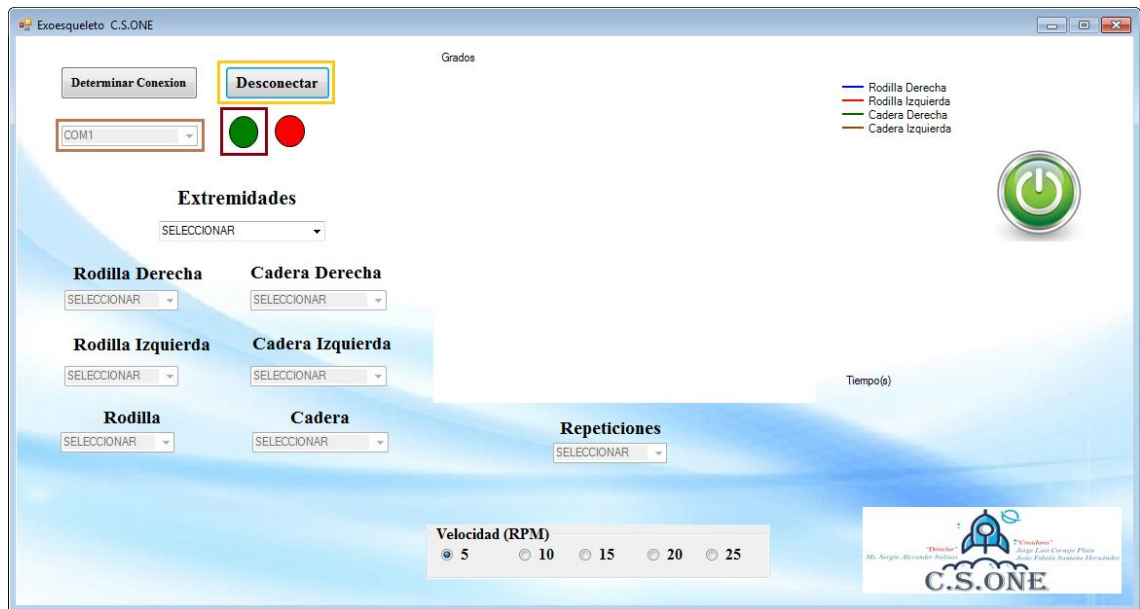
Inicialmente se busca establecer la conexión de puerto a trabajar, dando clic en el botón DETERMINAR CONEXIÓN. Se logra reconocer los puertos actualmente activos en el ordenador para posteriormente dar clic en el botón conectar.



En caso de No reconocer ningún puerto activo en el computador se mostrara un aviso de “Ningún Puerto Encontrado”



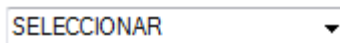
Una vez se haya dado clic en el botón conectar, se crea un enlace correcto del puerto seleccionado con la interfaz de usuario. El led indicador izquierdo en estado “verde”, Confirma la validez del proceso de conexión.



Asimismo se podrá revertir el proceso utilizando el botón “Desconectar” e incorporar un puerto diferente.

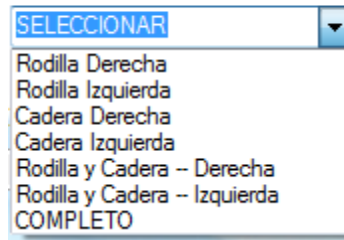
En efecto se desplegara un menú de selección encabezado por la selección de las “Extremidades” que se desee trabajar.

Extremidades



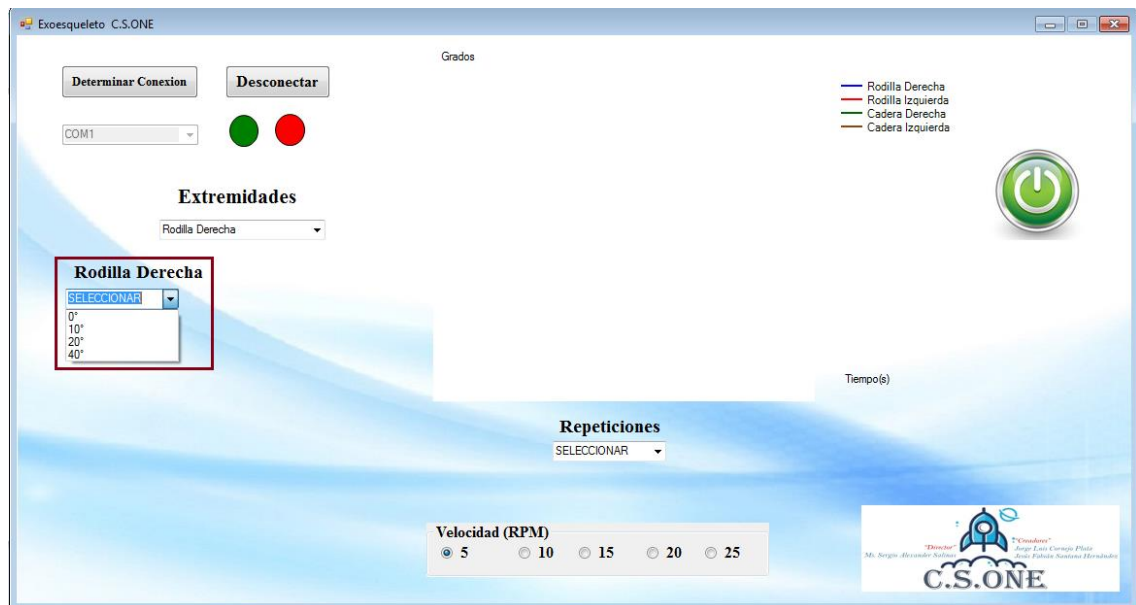
Este menú principal permitirá orientar el trabajo según lo deseado.

Extremidades

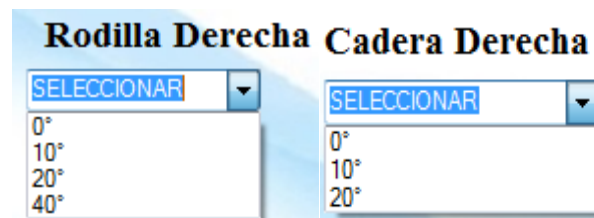


La opción COMPLETO, se encuentra relacionada con la secuencia de marcha ideal por consiguiendo las dos extremidades inferiores simularan un correcto desempeño de marcha.

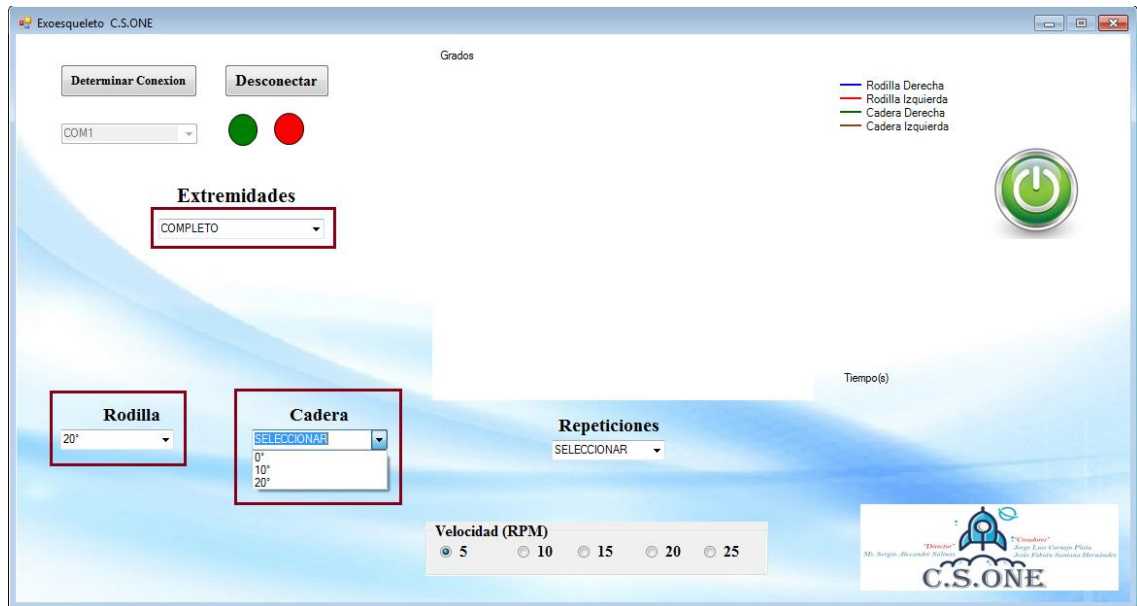
Acto seguido de la selección de la extremidad a trabajar, aparecerá continuamente una lista despegable, la cual permitirá seleccionar el ángulo al que se desea llevar dicha articulación.



Siendo los mostrados a continuaciones los valores de los ángulos correspondientes tanto para la rodilla como de cadera.

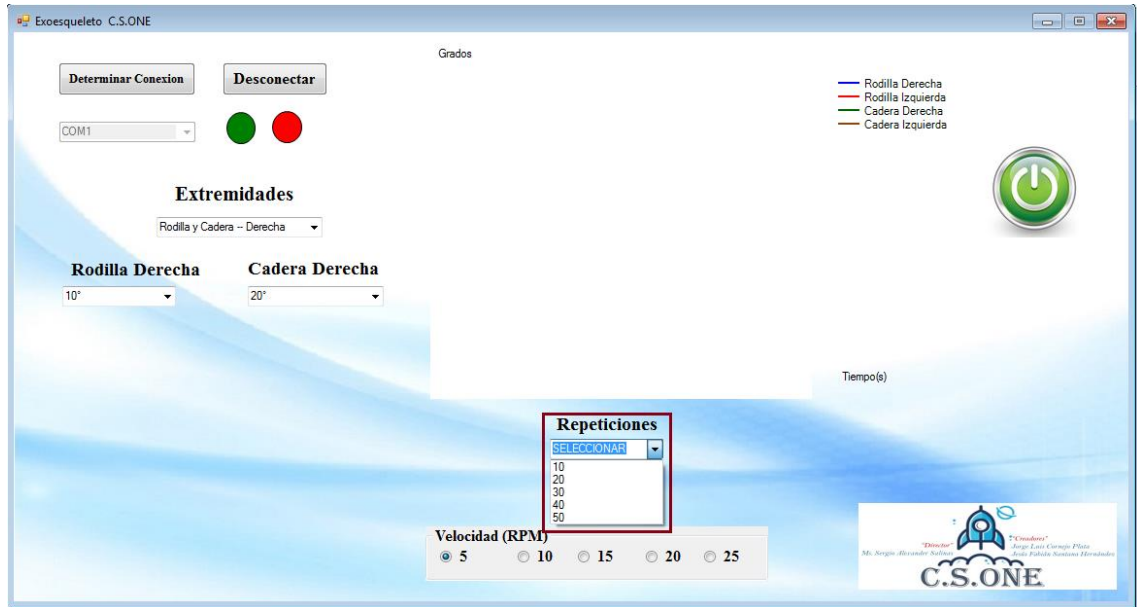


Igualmente se podrá repetir el proceso anteriormente ejecutado para cualquier opción del menú principal (Extremidades).



Posteriormente se debe proceder asignar las repeticiones deseadas a criterio del profesional a cargo.

Este menú repeticiones contiene cinco diferentes ciclos que se encuentran incrementados cada uno en diez, que permitirá un control en la intensidad de trabajo para dicha articulación.

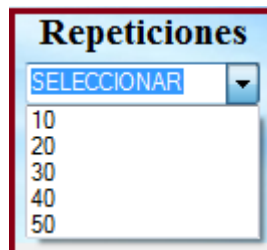


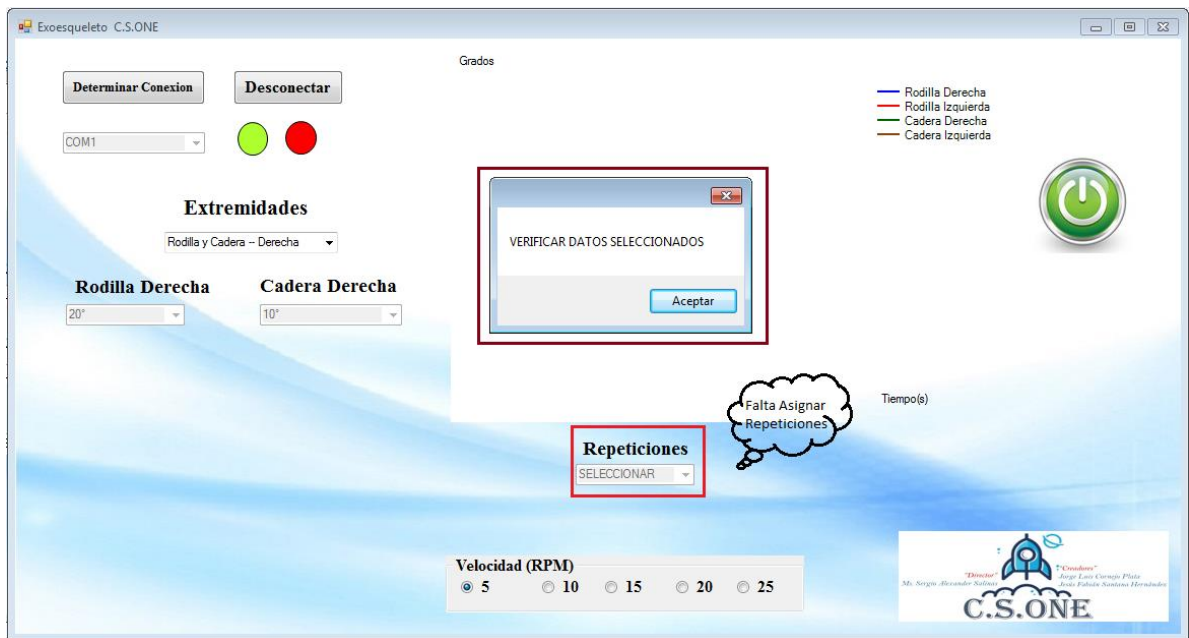
Finalmente se debe proporcionar la velocidad de la ejecución del movimiento que por defecto se encuentra previamente seleccionada al valor más bajo debido al criterio de seguridad en rehabilitación. Siendo el valor 5 la velocidad más lenta y 25 la más rápida para procedimientos orientados a rehabilitación. La aplicación de estos valores predeterminados queda a criterio de un profesional conocedor de cada caso en específico.

Ya cumplido los requerimientos necesarios para iniciar la terapia. Se comienza dando clic en el botón de encendido que se encuentra ubicado en la parte superior derecha de la interfaz de usuario.



Si algún requerimiento es olvidado, al dar inicio se mostrara un mensaje de verificación de datos que alerta de alguna anomalía en el proceso.



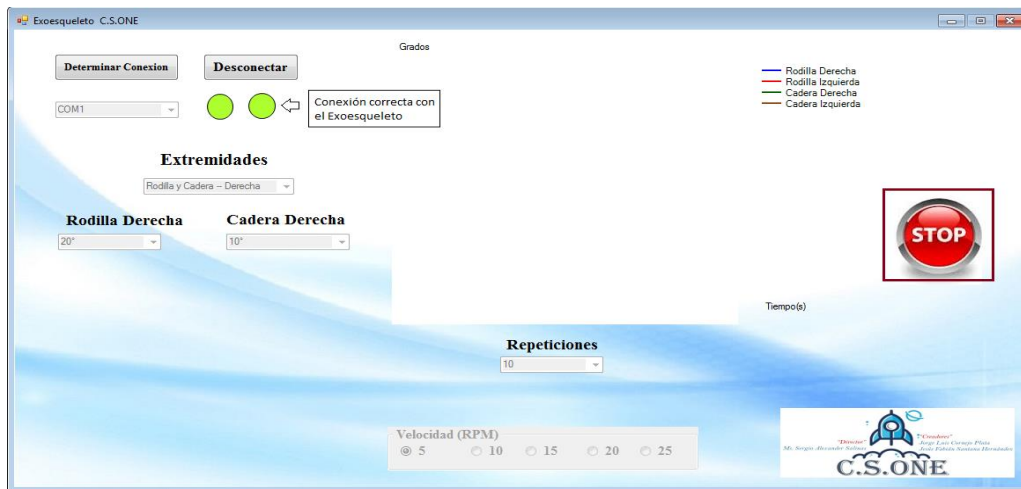


Inmediatamente los datos sean corregidos y se de encendido a la terapia, el led indicador de la derecha confirmara la comunicaci3n con el exoesqueleto siendo:



Del mismo modo aparecer3 el bot3n Stop, el cual Detiene y reinicia el proceso.





Paralelamente se podrá visualizar la lectura de cada ángulo correspondiente a dicha articulación, que permitirá controlar su funcionamiento como también conocer el historial de su última sesión.

En la superior se la podrá evidenciar a que articulación corresponde cada gráfico.

- Rodilla Derecha
- Rodilla Izquierda
- Cadera Derecha
- Cadera Izquierda

TABLA RESULTADOS

TABLA DE RESULTADOS PROYECTO C.S.ONE



SET POINT [Grados]				Lazo Abierto				lazo Abierto Con Carga				Lazo Cerrado				lazo Cerrado Con Carga			
				Rodilla Derecha	Rodilla Izquierda	Cadera Derecha	Cadera Izquierda	Rodilla Derecha	Rodilla Izquierda	Cadera Derecha	Cadera Izquierda	Rodilla Derecha	Rodilla Izquierda	Cadera Derecha	Cadera Izquierda	Rodilla Derecha	Rodilla Izquierda	Cadera Derecha	Cadera Izquierda
				[Grados]				[Grados]				[Grados]				[Grados]			
Rodilla Derecha	Rodilla Izquierda	Cadera Derecha	Cadera Izquierda																
0	0	0	0	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	10	1	1	1	12	-1	-1	-1	11	0	0	0	10	0	0	0	10
0	0	0	20	1	1	1	22	-1	-1	-1	21	0	0	0	20	0	0	0	20
0	0	10	0	1	1	12	1	-1	-1	11	-1	0	0	10	0	0	0	10	0
0	0	10	10	1	1	12	12	-1	-1	11	11	0	0	10	10	0	0	10	10
0	0	10	20	1	1	12	22	-1	-1	11	21	0	0	10	20	0	0	10	20
0	0	20	0	1	1	22	1	-1	-1	21	-1	0	0	20	0	0	0	20	0
0	0	20	10	1	1	22	12	-1	-1	21	11	0	0	20	10	0	0	20	10
0	0	20	20	1	1	22	22	-1	-1	21	21	0	0	20	20	0	0	20	20
0	10	0	0	1	12	1	1	-1	11	-1	-1	0	10	0	0	0	0	10	0
0	10	0	10	1	12	1	12	-1	11	-1	11	0	10	0	10	0	0	10	10
0	10	0	20	1	12	1	22	-1	11	-1	21	0	10	0	20	0	0	10	20
0	10	10	0	1	12	12	1	-1	11	11	-1	0	10	10	0	0	10	10	0
0	10	10	10	1	12	12	12	-1	11	11	11	0	10	10	10	0	0	10	10
0	10	10	20	1	12	12	22	-1	11	11	21	0	10	10	20	0	0	10	20
0	10	20	0	1	12	22	1	-1	11	21	-1	0	10	20	0	0	10	20	0
0	10	20	10	1	12	22	12	-1	11	21	11	0	10	20	10	0	0	10	20
0	10	20	20	1	12	22	22	-1	11	21	21	0	10	20	20	0	0	10	20
0	20	0	0	1	22	1	1	-1	21	-1	-1	0	20	0	0	0	0	20	0
0	20	0	10	1	22	1	12	-1	21	-1	11	0	20	0	10	0	0	20	10
0	20	0	20	1	22	1	22	-1	21	-1	21	0	20	0	20	0	0	20	20
0	20	10	0	1	22	12	1	-1	21	11	-1	0	20	10	0	0	0	20	10
0	20	10	10	1	22	12	12	-1	21	11	11	0	20	10	10	0	0	20	10
0	20	10	20	1	22	12	22	-1	21	11	21	0	20	10	20	0	0	20	20
0	20	20	0	1	22	1	1	-1	21	-1	-1	0	20	0	0	0	0	20	0
0	20	20	10	1	22	1	12	-1	21	-1	11	0	20	0	10	0	0	20	10
0	20	20	20	1	22	1	22	-1	21	-1	21	0	20	0	20	0	0	20	20
0	40	0	0	1	43	1	1	-1	41	-1	-1	0	40	0	0	0	0	40	0
0	40	0	10	1	43	1	12	-1	41	-1	11	0	40	0	10	0	0	40	10
0	40	0	20	1	43	1	22	-1	41	-1	21	0	40	0	20	0	0	40	20
0	40	10	0	1	44	12	1	-1	41	11	-1	0	40	10	0	0	0	40	10
0	40	10	10	1	43	12	12	-1	42	11	11	0	40	10	10	0	0	40	10
10	0	0	0	12	1	1	1	12	-1	-1	-1	10	0	0	0	0	0	10	0
10	0	0	10	11	1	1	12	11	-1	-1	11	10	0	0	10	0	0	10	10
10	0	0	20	12	1	1	22	12	-1	-1	21	10	0	0	20	0	0	10	20
10	0	10	0	12	1	12	1	12	-1	11	-1	10	0	10	0	0	0	10	0
10	0	10	10	12	1	12	12	12	-1	11	11	10	0	10	10	0	0	10	10
10	0	10	20	12	1	12	22	12	-1	11	21	10	0	10	20	0	0	10	20
10	0	20	0	11	1	22	1	11	-1	21	-1	10	0	20	0	0	0	10	0
10	0	20	10	12	1	22	12	12	-1	21	11	10	0	20	10	0	0	10	10
10	0	20	20	12	1	22	22	12	-1	21	21	10	0	20	20	0	0	10	20
10	10	0	0	12	12	1	1	12	11	-1	-1	10	10	0	0	0	0	10	0
10	10	0	10	12	12	1	12	12	11	-1	11	10	10	0	10	0	0	10	10
10	10	0	20	12	11	1	22	12	11	-1	21	10	10	0	20	0	0	10	20
10	10	10	0	12	12	12	1	12	11	11	-1	10	10	10	0	0	0	10	10
10	10	10	10	12	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	10	0	0	10	10
10	10	20	0	12	12	21	1	12	11	21	-1	10	10	20	0	0	0	10	20
10	10	20	10	12	12	22	12	12	11	21	11	10	10	20	10	0	0	10	20
10	10	20	20	12	12	21	22	12	11	21	21	10	10	20	20	0	0	10	20
10	20	0	0	12	22	1	1	12	21	-1	-1	10	20	0	0	0	0	10	0
10	20	0	10	12	21	1	12	12	21	-1	11	10	20	0	10	0	0	10	10
10	20	0	20	11	22	1	22	11	21	-1	21	10	20	0	20	0	0	10	20
10	20	10	0	12	22	12	1	12	21	11	-1	10	20	10	0	0	0	10	10
10	20	10	10	12	22	11	12	12	21	11	11	10	20	10	10	0	0	10	10
10	20	10	20	11	22	11	22	11	21	11	21	10	20	10	20	0	0	10	20
10	20	20	0	12	22	21	1	12	21	21	-1	10	20	20	0	0	0	10	20
10	20	20	10	12	21	21	11	12	21	21	11	10	20	20	10	0	0	10	20
10	20	20	20	12	21	22	21	12	21	21	21	10	20	20	20	0	0	10	20
10	40	0	0	12	43	1	1	12	41	-1	-1	10	40	0	0	0	0	10	0
10	40	0	10	12	43	1	11	12	41	-1	11	10	40	0	10	0	0	10	10
10	40	0	20	12	44	1	22	12	41	-1	21	10	40	0	20	0	0	10	20
10	40	10	0	12	44	11	1	12	41	11	-1	10	40	10	0	0	0	10	0
10	40	10	10	12	44	12	12	12	41	11	11	10	40	10	10	0	0	10	10
10	40	10	20	12	44	12	22	12	41	11	21	10	40	10	20	0	0	10	20
10	40	20	0	12	44	22	1	12	41	21	-1	10	40	20	0	0	0	10	0
10	40	20	10	12	44	22	11	12	41	21	11	10	40	20	10	0	0	10	10
10	40	20	20	12	44	22	21	12	41	21	21	10	40	20	20	0	0	10	20
10	0	0	0	22	1	1	1	22	-1	-1	-1	20	0	0	0	0	0	20	0
10	0	0	10	21	1	1	12	21	-1	-1	11	20	0	0	10	0	0	20	10
10	0	0	20	21	1	1	22	21	-1	-1	21	20	0	0	20	0	0	20	20
10	0	10	0	22	1	11	1	22	-1	11	-1	20	0	10	0	0	0	10	0
10	0	10	10	22	1	12	11	22	-1	11	11	20	0	10	10	0	0	10	10
10	0	10	20	22	1	12	21	22	-1	11	21	20	0	10	20	0	0	10	20
10	0	20	0	21	1	22	1	21	-1	21	-1	20	0	20	0	0	0	20	0
10	0	20	10	22	1	22	12	22	-1	21	11	20	0	20	10	0	0	20	10
10	0	20	20	22	1	22	22	22	-1	21	21	20	0	20	20	0	0	20	20
10	10	0	0	22	12	1	1	22	11	-1	-1	20	10	0	0	0	0	20	0

20	30	20	0	22	32	22	1	22	11	21	-1	20	10	20	0	20	10	20	0
20	10	20	10	21	11	22	12	21	11	21	11	20	10	20	10	20	10	20	10
20	30	20	20	22	12	22	21	22	11	21	21	20	10	20	20	20	20	10	20
20	20	0	0	22	22	1	1	22	21	-1	-1	20	20	0	0	20	20	0	0
20	20	0	10	22	21	1	12	22	21	-1	11	20	20	0	10	20	20	0	10
20	20	0	20	22	21	1	22	22	21	-1	21	20	20	0	20	20	20	0	20
20	30	10	0	21	21	12	1	21	21	11	-1	20	20	10	0	20	20	10	0
20	30	10	10	21	22	12	12	21	21	11	11	20	20	10	10	20	20	10	10
20	30	10	20	22	22	11	22	22	21	11	21	20	20	10	20	20	20	10	20
20	30	20	0	22	22	21	1	22	21	21	-1	20	20	20	0	20	20	20	0
20	20	20	10	22	21	22	12	22	21	21	11	20	20	20	10	20	20	20	10
20	20	20	20	22	22	21	22	22	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20
20	40	0	0	22	43	1	1	22	41	1	-1	20	40	0	0	20	40	0	0
20	40	0	10	22	44	1	12	22	41	-1	11	20	40	0	10	20	40	0	10
20	40	0	20	22	43	1	22	22	41	-1	21	20	40	0	20	20	40	0	20
20	40	10	0	22	43	12	1	22	41	11	-1	20	40	10	0	20	40	10	0
20	40	10	10	2	42	11	11	2	41	11	11	20	40	10	10	20	40	10	10
20	40	10	20	22	44	11	21	22	41	11	21	20	40	10	20	20	40	10	20
20	40	20	0	22	44	22	1	22	41	11	-1	20	40	20	0	20	40	20	0
20	40	20	10	22	44	22	11	22	41	21	11	20	40	20	10	20	40	20	10
20	40	20	20	22	44	21	21	22	42	21	21	20	40	20	20	20	40	20	20
40	0	0	0	44	1	1	1	44	-1	-1	-1	40	0	0	0	40	0	0	0
40	0	0	10	43	1	1	12	43	-1	-1	11	40	0	0	10	40	0	0	10
40	0	0	20	44	1	1	21	44	-1	-1	21	40	0	0	20	40	0	0	20
40	0	10	0	44	1	11	1	44	-1	-1	11	40	0	10	0	40	0	10	0
40	0	10	10	44	1	11	12	44	-1	11	11	40	0	10	10	40	0	10	10
40	0	10	20	44	1	12	21	44	-1	11	21	40	0	10	20	40	0	10	20
40	0	20	0	44	1	22	1	44	-1	21	-1	40	0	20	0	40	0	20	0
40	0	20	10	44	1	21	12	44	-1	21	11	40	0	20	10	40	0	20	10
40	0	20	20	44	1	22	21	44	-1	21	21	40	0	20	20	40	0	20	20
40	10	0	0	43	12	1	1	43	11	-1	-1	40	10	0	0	40	10	0	0
40	10	0	10	43	12	1	12	43	11	-1	11	40	10	0	10	40	10	0	10
40	10	0	20	43	12	1	21	43	11	1	21	40	10	0	20	40	10	0	20
40	10	10	0	43	12	12	1	43	11	11	-1	40	10	10	0	40	10	10	0
40	10	10	10	44	12	12	11	44	11	11	11	40	10	10	10	40	10	10	10
40	10	10	20	44	12	11	21	44	11	11	21	40	10	10	20	40	10	10	20
40	10	20	0	43	12	22	1	43	11	21	-1	40	10	20	0	40	10	20	0
40	10	20	10	43	12	22	12	43	11	21	11	40	10	20	10	40	10	20	10
40	10	20	20	44	12	22	22	44	11	21	21	40	10	20	20	40	10	20	20
40	20	0	0	43	22	1	1	43	21	-1	-1	40	20	0	0	40	20	0	0
40	20	0	10	44	22	1	12	44	21	-1	11	40	20	0	10	40	20	0	10

40	20	0	20	44	21	1	22	44	21	-1	21	40	20	0	20	40	20	0	20
40	20	10	0	44	21	12	1	44	21	11	-1	40	20	10	0	40	20	10	0
40	20	10	10	44	21	12	12	44	21	11	11	40	20	10	10	40	20	10	10
40	20	10	20	43	21	12	22	43	21	11	21	40	20	10	20	40	20	10	20
40	20	20	0	44	21	22	1	44	21	21	-1	40	20	20	0	40	20	20	0
40	20	20	10	44	21	21	12	44	21	21	11	40	20	20	10	40	20	20	10
40	20	20	20	43	22	22	22	43	21	21	21	40	20	20	20	40	20	20	20
40	40	0	0	43	43	1	1	43	41	-1	-1	40	40	0	0	40	40	0	0
40	40	0	10	43	43	1	12	43	41	-1	11	40	40	0	10	40	40	0	10
40	40	0	20	43	43	1	22	43	42	-1	21	40	40	0	20	40	40	0	20
40	40	10	0	43	44	11	1	43	41	11	-1	40	40	10	0	40	40	10	0
40	40	10	10	43	43	12	12	43	41	11	11	40	40	10	10	40	40	10	10
40	40	10	20	44	44	12	21	44	41	11	21	40	40	10	20	40	40	10	20
40	40	20	0	44	44	22	1	44	41	21	-1	40	40	20	0	40	40	20	0
40	40	20	10	44	44	22	12	44	42	21	11	40	40	20	10	40	40	20	10
40	40	20	20	44	44	22	22	44	41	21	21	40	40	20	20	40	40	20	20