



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

TEMA:

“Análisis y diseño de un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación pediátrica de los miembros inferiores, utilizando sistemas embebidos para el control del sistema y la interfaz de usuario”

AUTOR:

Núñez Franco, Kleber José

**Trabajo De Graduación Previo a La
Obtención Del Título De:**

Ingeniero Electrónico En Control Y Automatismo

Tutor:

Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

**Guayaquil, Ecuador
20 de Marzo del 2017**



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Kleber José Núñez Franco, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Electrónica en Control y Automatismo**.

TUTOR

Heras Sánchez, Miguel Armando

DIRECTOR DE LA CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 20 del mes de Marzo del año 2017



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Núñez Franco, Kleber José**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE EXOESQUELETO PARA LA REHABILITACIÓN PEDIÁTRICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA Y LA INTERFAZ DE USUARIO.** Previa a la obtención del Título **de Ingeniero Electrónica en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 20 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR:

f. _____
Núñez Franco, Kleber Jose



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

AUTORIZACIÓN

Yo, Núñez Franco, Kleber José

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE EXOESQUELETO PARA LA REHABILITACIÓN PEDIÁTRICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA Y LA INTERFAZ DE USUARIO**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR:

f. _____
Núñez Franco, Kleber José

REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the URKUND software interface. The top-left pane shows document metadata: 'Documento: tesis kleber.docx (D26035689)', 'Presentado: 2017-02-26 20:47 (-05:00)', 'Recibido: eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Trabajo Kleber Núñez Franco. Mostrar el mensaje completo'. A yellow highlight indicates '2% de esta aprox. 19 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 4 fuentes.' The top-right pane, titled 'Lista de fuentes', lists sources such as 'PORTADA FINAL 1.doc', 'http://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/...', 'B-T.LA EVOLUCION Y PROGRAMACION DE LOS ANDRO...', 'https://adolescente3.files.wordpress.com/2010/11/cj...', and 'http://sumemergencias.com.ar/que-hacer-ante-una...'. Below this is a section for 'Fuentes alternativas' including 'Análisis de un caso de histeria masculina.docx', 'Portada CAGalarza UCSG caratula modificada.docx', and 'CARATULAS.docx'. The main window shows a document with a 100% zoom level. The document content includes: 'FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO', 'TEMA: ..', 'ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE EXOSQUELETO PARA LA REHABILITACIÓN PEDIÁTRICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA Y LA INTERFAZ DE USUARIO', 'AUTOR: NÚÑEZ FRANCO, KLEBER JOSÉ', 'Trabajo de Graduación previo a la Obtención del Título de: INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO', 'TUTOR: ING. MENDOZA MERCHÁN EDUARDO VICENTE', 'Guayaquil, Ecuador Febrero 2017', 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO', 'CERTIFICACIÓN', and 'Certificamos'. The bottom status bar shows two document tabs: 'Análisis de un ca....docx' and 'PLUAS-JARAMILL....docx', along with a 'Mostrar todo' button.

AGRADECIMIENTO.

Extiendo mi agradecimiento a mi tutor Ingeniero Eduardo Mendoza quien con su conocimiento, motivación y paciencia ha logrado que pueda culminar este trabajo de investigación, a mi familia quien ha estado presente en momentos difíciles del proyecto y a mi esposa quien ha estado a mi lado en todo momento para brindarme su ayuda y opiniones motivándome día a día para poder culminar este proyecto.

KLEBER NÚÑEZ.

DEDICATORIA.

Este proyecto se lo dedico a Dios, a mi esposa Larizza Maridueña y a mis padres Flora Franco y Kleber Núñez, como también a mis padrinos Lucia Franco y José Vinuesa por ser el pilar más importante de mi vida, brindándome su apoyo y amor incondicional, inculcando en mi los mejores valores que me identifican como un buen hijo, hermano y padre.

KLEBER NÚÑEZ.



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
Mendoza Merchán, Eduardo Vicente
TUTOR

f. _____
Heras Sánchez, Miguel Armando
DECANO O DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
Cordova Rivadeneira, Luis Silvio
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1.JUSTIFICACIÓN.....	4
1.2.DELIMITACIÓN.....	5
1.3.OBJETIVOS.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO.....	6
1.4.HIPÓTESIS.....	6
1.5.MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. EL ESTADO DEL ARTE.....	8
2.2. DISCAPACIDAD MOTRIZ Y REHABILITACIÓN.....	12
2.2.1. DISCAPACIDAD Y SUS TIPOS.....	13
2.2.2. REHABILITACION FISICA.....	15
2.2.3. LA ACCION DEL TERAPISTA FISICO.....	15
2.2.4. INSPECCION MUSCULAR.....	15
2.3. ENFERMEDADES PARA REHABILITACIÓN CON EL EXOESQUELETO.....	17
2.3.1. ACCIDENTE VASCULAR CEREBRAL.....	18
2.3.2. LESION DE LA MEDULA ESPINAL.....	18
2.3.3. PARALISIS CEREBRAL.....	18
2.4. INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA.....	19
2.4.1. EXOESQUELETO ROBOTICO.....	20
2.4.2. CARACTERISTICAS PRINCIPALES.....	20
2.4.3. CLASIFICACIÓN.....	20
2.5. APLICACIONES DE LOS EXOESQUELETOS Y DISPOSITIVOS PARA	

REHABILITACIÓN.....	21
2.5.1. MILITARES.....	21
2.5.2. COMERCIALES.....	22
2.5.3. MEDICAS.....	23
2.6. SISTEMA DE CONTROL DEL EXOESQUELETO.....	24
2.6.1. SENSORES.....	24
2.6.2. ACTUADORES.....	25
2.6.3. MICROCONTROLADORES.....	25
CAPÍTULO III.....	26
DISEÑO DEL PROTOTIPO EXOESQUELETO.....	26
3.1. CONSIDERACIONES INICIALES DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO EXOESQUELETO.....	26
3.1.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE REHABILITACION.....	26
3.1.2. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA EXOESQUELETO.....	26
3.1.3. FUNCION DEL EQUIPO DE REHABILITACIÓN.....	267
3.1.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN.....	268
3.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO.....	29
3.2.1. MECANISMO PARA EL SOPORTE DEL USUARIO.....	29
3.2.2. MECANISMOS PARA EL MOVIMIENTO DE LA RODILLA.....	31
3.3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	32
3.3.1. DISEÑO DE HARDWARE.....	33
3.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.....	34
3.3.3. DISEÑO DE SOFTWARE.....	37
3.3.4. CARACTERISTICAS DEL SERVO MOTOR.....	38
3.4. PRUEBAS DEL PROTOTIPO.....	38
3.5. CALCULO DE COSTOS.....	41
CAPÍTULO IV.....	41
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1.RESULTADOS DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO DESARROLLADO.....	42
4.2.CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS.....	43
4.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	43

4.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO.	43
4.3.ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA.....	43
4.3.1. ANALISIS DE LA METODOLOGIA.....	43
4.3.2. ANALISIS DE LA HIPOTESIS.	434
4.3.3. ANALISIS DE LA SOLUCION DEL PROBLEMA.	434
CAPITULO V	45
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	45
5.1.CONCLUSIONES.	45
5.2.RECOMENDACIONES.	46
5.3.TRABAJO A FUTURO.	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	50
ANEXO A: DATA SHEET REGULADOR LM7805.....	50
ANEXO B: DATA SHEET PIC 16F870	501
ANEXO C: DATA SHEET LCD LM016.....	56
ANEXO D: CODIGO FUENTE.	58
ANEXO E: ESQUEMATICO Y CIRCUITO IMPRESO DEL PROYECTO.....	61
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	65

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1. LESIONES EN FUNCIÓN DE SU ORIGEN (MARCHESI Y COLS, 1999).....	12
TABLA 2. TALLA DE NIÑOS DE 2 A 4 AÑOS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2014).....	30
TABLA 3. CALCULO DE COSTOS DEL EXOESQUELETO.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 HAL HYBRID ASSISTIVE LIMB (CYBER DYNE, 2013).	8
FIGURA 2. ESQUEMA BÁSICO DE LA INTEGRACIÓN DE NEURO ROBOT Y NEURO PRÓTESIS (MARTÍNEZ, 2011).	9
FIGURA 3. MODELO DE UNA PIERNA CON DOS GRADOS DE LIBERTAD (GROSSO, TIBADUIZA, 2009).	10
FIGURA 4: INSPECCIÓN MUSCULAR (A) MÉTODO ACTIVO (B) MÉTODO PASIVO (NICHOLS, 1985).	16
FIGURA 5: EJERCICIOS DE FUERZA MUSCULAR (A) ISOMÉTRICO (B) ISOTÓNICO (NICHOLS, 1985).	17
FIGURA 6. ROBOT (LOJA Y ORDOÑEZ, 2016).	19
FIGURA 7. EXOESQUELETO L-EXOS (FRISOLI Y COLS, 2007).	21
FIGURA 8. EXOESQUELETO E USO MILITAR (ENGADGET, 2013).	22
FIGURA 9. BERKELEY EXOESQUELETO PARA USOS COMERCIALES (BLEEX, 2004).	22
FIGURA 10. EXOESQUELETO MOTORIZADO (HOCOMA, LOKOMAT, 2014.).	23
FIGURA 11. DIAGRAMA DE FLUJO DEL EXOESQUELETO.	28
FIGURA 12. ESTRUCTURA METÁLICA.	29
FIGURA 13. ESTRUCTURA METÁLICA.	29
FIGURA 14. ESTRUCTURA DE LA PIERNA DEL EXOESQUELETO.	31
FIGURA 15. ESTRUCTURA DE LA PIERNA DEL EXOESQUELETO.	31
FIGURA 16. ESTRUCTURA DE ALUMINIO DEL EXOESQUELETO.	32
FIGURA 17. ESTRUCTURA DE ALUMINIO DEL EXOESQUELETO.	32
FIGURA 18. CIRCUITO ESQUEMÁTICO.	34
FIGURA 19. FUENTE DE PODER.	35
FIGURA 20. DISEÑO TARJETA ELECTRÓNICA EN EAGLE.	36
FIGURA 21. TARJETA DE CONTROL DEL EXOESQUELETO.	36
FIGURA 22. TARJETA DE CONTROL DEL EXOESQUELETO.	36
FIGURA 23. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE.	37
FIGURA 24. SERVO MOTOR MG996.	38

FIGURA 25. PRUEBA DE INTERFAZ.	38
FIGURA 26. PRUEBA DE INTERFAZ.	39
FIGURA 27. SEGURIDADES DEL EXOESQUELETO.....	40
FIGURA 28. PCB FUNCIONAMIENTO.....	41

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis, diseño y construcción de un exoesqueleto que servirá para la rehabilitación física de los miembros inferiores de niños que sufren de atrofias muy comunes como golpes, fracturas o relacionadas con la actividad neuronal (derrame cerebral). Se diseñó y desarrollo un prototipo de exoesqueleto con el uso de componentes mecánicos, electrónicos, micro programables y de software, que proporciona un adecuado control de su funcionamiento. Se han utilizado mecanismos robóticos de un grado de libertad para la rehabilitación de sus extremidades inferiores, y la estructura mecánica, se adapta según normas establecidas por la organización mundial de la salud para niños de 2 a 4 años. Los movimientos de las articulaciones de la rodilla se logra por medio de cuatro actuadores que generan los movimientos, los cuales son controlados por un sistema basado en microcontroladores que envía la información necesaria para su correcta coordinación, considerando las variables ingresadas por el terapeuta como tiempo, velocidad y área a rehabilitar mediante una interfaz visual. Los sistemas basados en microcontroladores permiten el diseño de aplicaciones muy versátiles, que se ajustan fácilmente a los requerimientos y exigencias propios de los procesos de rehabilitación física en infantes.

Palabras Clave: Exoesqueleto, Microcontroladores, Robótica, Prototipo, Interfaz De Usuario, Paciente.

ABSTRACT

This work presents the analysis for the design and construction of an exoskeleton that will serve for the physical rehabilitation of the lower limbs of children suffering from very common atrophies such as blows, fractures or related to neuronal activity (stroke). A prototype exoskeleton was designed and developed with the use of mechanical, electronic, micro-programmable and software components, which provides an adequate control of its operation. Robotic mechanisms of a degree of freedom have been used for the rehabilitation of their lower limbs, and the mechanical structure is adapted according to norms established by the world health organization for children from 2 to 4 years. The movements of the knee joints are achieved by means of four actuators that generate the movements, which are controlled by a system based on microcontrollers that sends the necessary information for its correct coordination, considering the variables entered by the therapist as time, Speed and area to be rehabilitated through a visual interface. Microcontroller-based systems allow the design of very versatile applications, which are easily adjusted to the requirements and requirements of physical rehabilitation processes in infants.

Key Words: Exoskeleton, Microcontrollers, Robotics, Prototype,
User Interface, Patient.

INTRODUCCIÓN.

Existen personas que nacen con algún tipo de discapacidad física, como también hay personas que por algún accidente o enfermedad la adquieren y necesitan rehabilitarse para recuperar su porcentaje de movilidad, los exoesqueletos son una alternativa de rehabilitación que ayudan a las personas a recuperarse mucho más rápido. El problema en el Ecuador es que es difícil acceder a este tipo de rehabilitación porque los centros especializados carecen de esta tecnología y resulta muy costosa importarla desde otro país.

Los modelos mecánicos de exoesqueletos son robots acoplados a las extremidades del cuerpo humano los cuales son enfocados en el incremento de su fuerza, velocidad y rendimiento, el objetivo es utilizarlo para la rehabilitación de las extremidades cuando por cualquier causa se tiene una movilidad reducida o nula. Los resultados experimentales muestran que existe una amplificación de la fuerza generada por el humano, ofreciendo una disminución en el esfuerzo del usuario para mantenerse de pie. La amplificación de la fuerza puede aumentarse o disminuirse según se necesite hasta llegar a la rehabilitación completa.

En este trabajo se analizó las características y funciones de los sistemas de rehabilitación pediátrica basado en exoesqueletos, apoyado en bibliografías especializadas. Se desarrollará un prototipo de exoesqueleto con medidas ajustables para niños de dos a cuatro años, se utilizó para el control de su motricidad actuadores eléctricos y sistemas embebidos, como también una interfaz utilizando microcontroladores PIC.

El exoesqueleto está construido en aluminio para darle mayor durabilidad y fácil manipulación, es ajustable a las extremidades de pacientes infantiles, menores de cuatro años, se construyó una base metálica que servirá de soporte para el niño que será rehabilitado, procurando que el diseño sea ergonómica y resistente. Las secuencias de operación deben ser controladas y supervisadas por un especialista en rehabilitación, así mismo la interfaz de usuario es muy intuitiva y amigable con el

operador, de tal forma que permita que se introduzcan o modifiquen fácilmente los parámetros requeridos para cada paciente.

Los resultados que se obtuvieron con el desarrollo del proyecto demuestra que se cumplieron las expectativas planteadas inicialmente, el prototipo brindó las seguridades y estabilidad requerida también cumplió con las secuencias programadas en los sistemas embebidos siendo de fácil manipulación para que el usuario realice correctamente la rehabilitación de la marcha.

La estructura es sólida, liviana y cómoda para al paciente, las articulaciones y los motores proporciona la movilidad, velocidad y estabilidad requerida en cada rehabilitación.

Los exoesqueletos son estructuras que pueden ser utilizados como base para el diseño de equipos de rehabilitación física, tener una buena aceptación por parte del paciente y el terapeuta. Se considera que el tema despierta mucho interés por la aplicación y beneficios que presta a quienes lo requieran, así como abre un campo muy amplio de investigación e innovación. Se sugiere la lectura de al menos las partes fundamentales de este trabajo, a personas que se interesen en estas aplicaciones, y que deseen seguir profundizando y aportando con nuevos desarrollos para beneficios de aquellos niños que requieran algún tipo de rehabilitación.

CAPITULO I: CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Planteamiento Del Problema De Investigación.

Existen muchas personas que nacen con algún tipo de discapacidad física en sus miembros inferiores como también aquellos que por algún accidente o enfermedad la adquieren y necesitan de varios métodos de rehabilitación para recuperar sus habilidades para volver a caminar normalmente, así mismo en el caso de niños se utiliza la estimulación temprana y en adultos la rehabilitación física con la ayuda de algún especialista, además es necesario se la realice focalizando a uno o varias articulaciones, en la actualidad no es posible debido a falta de equipamiento de los centros de rehabilitación, utilizando la terapia convencional.

Los exoesqueletos son otra alternativa de rehabilitación para niños y adultos, estos ayudan al paciente a recuperar sus patrones de la marcha mucho más rápido. En el Ecuador no existen porque son poco comerciables y tienen una baja rentabilidad para las empresas al tener una baja demanda, esto ha provocado que las empresas tengan poco interés en su elaboración, en el 2015 el Gobierno de Estados Unidos aprobó la comercialización de Rewalk el primer exoesqueleto robotizado para adultos con el propósito de que las personas que utilizan sillas de ruedas puedan volver a caminar por un costo de \$85000 por unidad.

El problema radica que en el Ecuador no se puede acceder a este tipo de rehabilitación porque en los centros especializados, hospitales carecen de esta tecnología, es de difícil acceso y muy costosa.

1.2. Justificación.

Los exoesqueletos ayudan a las personas con cierto tipo de discapacidad física para que tengan un mejor estilo de vida, puedan recuperarse mediante terapia, y algunas logren caminar con el equipamiento adecuado, además puedan llegar a un alto nivel de posible movilidad de miembros inferiores en personas afectados con enfermedades que les hayan impedido caminar, dar pasos y otros casos especiales

que no pueden mantenerse de pie por un tiempo determinado y sin ningún avance de la correcta coordinación motriz para caminar, mejorando así la calidad de vida e independencia del ser humano. Se lograra una mayor inclusión social que le permitirá a personas con movilidad reducida ser capaz de llevar una vida mejor, teniendo las posibilidades de realizar algo tan sencillo para algunos y tan difícil para otros como caminar.

Se creará un prototipo de exoesqueleto que va dirigido para niños de 2 a 4 años que no pueden caminar y acortará el tiempo de terapia, lo más importante, los resultados se observarán en cada sesión logrando una marcha adecuada y equilibrio que sin el prototipo no lo podrán tener.

Desde el punto de vista económico importar un exoesqueleto es muy costoso, a diferencia de realizar un diseño propio con elementos económicos y ajustados a nuestras necesidades.

Como un caso particular mi hijo Benjamín Núñez tiene PCI (Parálisis Cerebral Infantil) debido a que nació prematuro extremo de 6 meses de gestación 750gr de peso y 34cm de estatura, debido a su condición se buscó varios métodos de rehabilitación existentes entre ellos la terapia tradicional como masajes musculares y estiramientos para ayudar en su recuperación, otras alternativas con ayuda tecnológica son los exoesqueletos los mismos que se decidió investigar para la recuperación de Benjamín y todas las personas que lo necesiten.

1.3. Delimitación.

La investigación llegará hasta la fase de desarrollo del prototipo realizando pruebas del exoesqueleto en un niño con un diagnóstico que no le permita caminar de forma correcta, estas se realizarán en el gimnasio Gold Boxing de la ciudad de Milagro. Así también dar a conocer nuevas alternativas de rehabilitación aplicando la tecnología disponible actualmente como lo son los exoesqueletos.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación pediátrica de los miembros inferiores, utilizando un sistema basado en micro controladores para el control del sistema y la interfaz con el usuario, para niños entre dos a cuatro años.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Analizar las características, funciones y morfología de un sistema de rehabilitación pediátrica para miembros inferiores basado en exoesqueletos, apoyado en bibliografía especializada y expertos en el área.
- Desarrollar un prototipo exoesqueleto con medidas ajustables para niños entre 2 a 4 años, utilizando para su motricidad y control actuadores eléctricos.
- Desarrollar un sistema de control y su interfaz de usuario utilizando micro controladores, para cinco niveles de rehabilitación y el control de las variables del exoesqueleto.

1.5. Hipótesis.

El prototipo del sistema de rehabilitación exoesqueletico, permitirá reducir el tiempo de rehabilitación en los infantes de 2 a 4 años en un 30%, gracias a la comodidad que brinda el sistema al paciente, permitiendo que se mantengan erguidos y den pasos, todo esto con la supervisión de un especialista.

1.6. Método De Investigación.

La investigación es de tipo correlacional porque se utilizarán variables que interactuarán en ella o tienen alguna relación. Se tiene un enfoque cuantitativo, debido que, porque el tipo de experimentos que se realizarán tienen variables cuantitativas, es decir se utilizarán valores cuantificables como las edades de los pacientes, también datos como la estatura de los pacientes y variables que pueden servir para analizar los resultados del proyecto.

El método de investigación es bibliográfico y experimental, puesto que se recopilará información bibliográfica de diferentes libros, tesis, revistas que tengan relación con el proceso. Con esto se diseñará un prototipo al que se tendrá que realizar pruebas de su correcto funcionamiento y verificación de las variables a controlar.

El diseño de la investigación para la construcción del prototipo de exoesqueleto se lo realizará en varios pasos, mediante los cuales permitirá llegar al final del mismo.

Se iniciará con la recopilación de datos bibliográficos de diferentes libros sobre exoesqueletos en especial los utilizados para fines médicos y de rehabilitación física como también de cada uno de sus componentes.

Luego con toda la información se definirá los objetivos generales y específicos que se cumplirán durante la elaboración de la investigación. Se elaborará el diseño y construcción de los circuitos electrónicos tanto esquemáticos como la circuitería impresa en el programa Eagle para la integración de todos sus componentes y su verificación de funcionamiento, se construirá la base metálica que servirá de soporte para el paciente, esta deberá ser resistente y ergonómica para el usuario.

El exoesqueleto será diseñado en aluminio para darle una mayor durabilidad y fácil manipulación, será ajustable a las extremidades del paciente, en este se montará los servo motores para el movimiento de las extremidades, como paso siguiente se garantizará el buen funcionamiento del exoesqueleto, la calibración necesaria sin el usuario tomando en consideración todas las medidas de seguridad, calibración y correcto funcionamiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizará distintas bibliografías de exoesqueletos que servirán de base para el diseño del prototipo.

2.1. El Estado Del Arte.

Espejo, (2014). Existen varios exoesqueletos en la actualidad, los cuales se analizarán los diferentes modelos existentes enfocándose en la parte electrónica para determinar los beneficios de cada uno de ellos. HAL ver figura. 1, este es uno motorizado que se acopla al cuerpo y controla las extremidades superiores e inferiores. LOKOMAT, este es capaz de imitar el caminar fisiológico de las extremidades inferiores del usuario y es utilizado para rehabilitación física. REWALK, está diseñado para ayudar a personas con parálisis de sus extremidades inferiores ayudando a las personas que usan sillas de rueda puedan caminar. REX, es controlado por el usuario mediante un joystick y no puede ser utilizado en texturas accidentadas. Al inicio fueron creados con fines militares y actualmente se los utiliza con fines de rehabilitación médica. De todos los estudiados el modelo HAL es el más completo y avanzado que direccionándolo a la rehabilitación médica, muchas personas con discapacidades motrices podrán volver a caminar normalmente.



Figura 1 Hal Hybrid Assistive Limb
Fuente: (Cyber dyne, 2013).

Chávez, Rodríguez, Baradica, (2010). El artículo presenta diferentes bibliografías sobre los diseños y las diferentes aplicaciones en la vida humana, el objetivo es identificar los diferentes usos para los cuales son creados, para fuerza y habilidad, fueron creados para uso militar, levantamiento de cargas, rehabilitación médica, para ayudar a personas que tienen problemas en la marcha. Se realizará un agrupamiento de diseños dependiendo de la zona corporal para la que se ha construido, se presentan estudios que como parte fundamental busca utilizar las señales mioeléctricas de los músculos. Podemos concluir que los seres humanos son muy propensos a sufrir lesiones en sus extremidades, es por esto que, por medio de la robótica se busca optimizar la rehabilitación de pacientes y ofrecer, en un futuro, protección y soporte a las partes que componen el cuerpo humano ver figura 2 esquema básico de la integración de neuro robot y neuro prótesis.

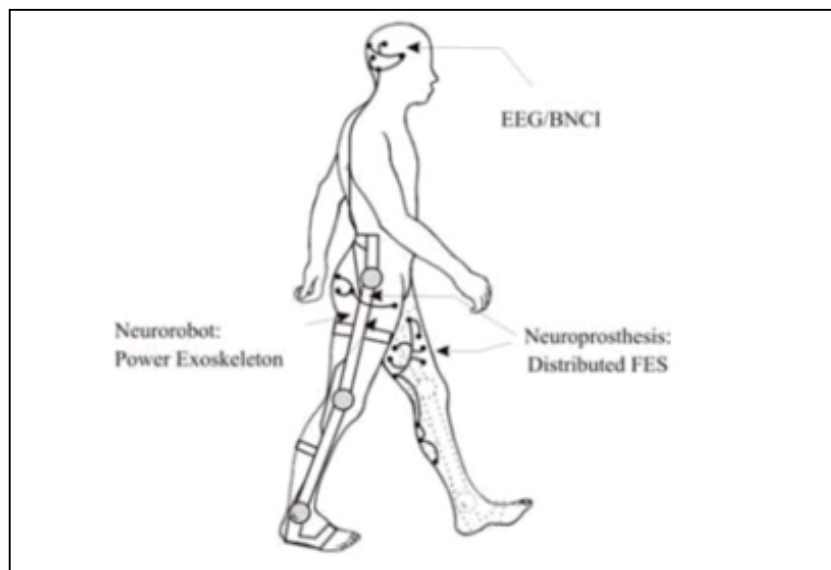


Figura 2. Esquema básico de la integración de neuro robot y neuro prótesis
Fuente: Martínez, 2011.

Grosso, Tibaduiza, (2009). Los humanos presentan complejos algoritmos naturales, lo que les permite realizar tareas con rápidos tiempos de respuesta y gran equilibrio. Los robots según sus diseños pueden realizar tareas que requieran gran fuerza por su estructura metálica. El objetivo es la combinación de estas dos, el humano y el robot en un solo sistema para beneficiarse mutuamente. Las validaciones del sistema se realizaron en una plataforma bípeda servo actuada con SIM MECHANICS de los

miembros inferiores. Este sistema permitirá automatizar y optimizar las terapias haciéndolas más efectivas. Los errores de alineamiento pueden causar malestar o daños a los usuarios, ya que el sistema se encuentra en etapa de simulación, el beneficio es aprovechar las terapias con repetición de movimientos que permitirán establecer las conexiones entre las neuronas afectadas más rápidamente ver figura 3, modelo de una pierna con dos grados de libertad.

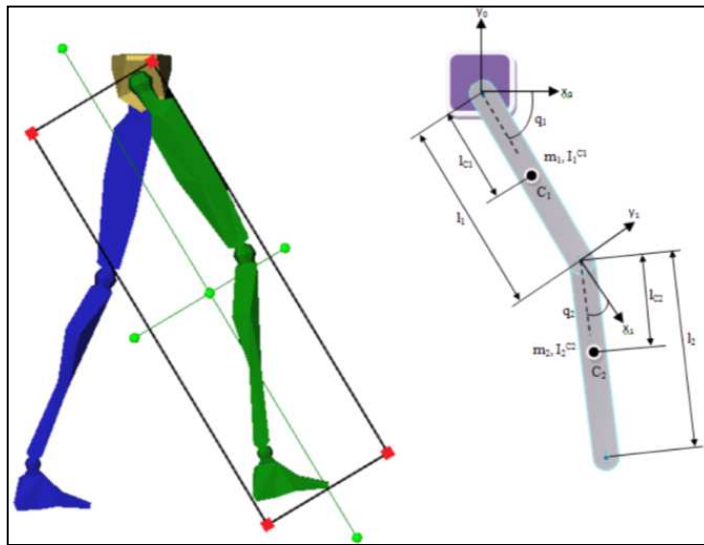


Figura 3. Modelo de una pierna con dos grados de libertad
Fuente: Grosso, Tibaduiza, 2009

López, Aguilar, Salazar, Lozano, Torres, (2014). Los modelos mecánicos son robots acoplados a las extremidades del cuerpo humano enfocados en el incremento de su fuerza, velocidad y rendimiento, el objetivo es utilizarlo para la rehabilitación de las extremidades cuando por cualquier causa se tiene una movilidad reducida o nula. Los resultados experimentales muestran que existe una amplificación de la fuerza generada por el humano, ofreciendo una disminución en el esfuerzo del usuario para mantenerse de pie. La amplificación de la fuerza puede aumentarse o disminuirse según se necesite hasta llegar a la rehabilitación completa. El diseño utilizado se adapta a las necesidades de las personas para una adecuada rehabilitación sin embargo se debe ampliar para las dos extremidades inferiores.

Zapata, Batres, Lerma, Ronquillo, (2015). El propósito del documento es desarrollar un diseño e implementación de una estructura robótica para que las personas que

tienen discapacidad en los miembros inferiores les permita movilizarse de un lugar a otro y tengan la posibilidad de realizar tareas de manera independiente como manejar, operar maquinarias u otro tipo de equipos. El diseño consta de control de cadera y rodilla por medio de motores controlados por un micro controlador que procesa las señales eléctricas del musculo humano y se activa una secuencia de movimientos específicos según la programación. Podemos concluir que el proyecto beneficiara a las personas con discapacidad para mejorar su calidad de vida con respecto a su salud física y mental, es conveniente mantener el proceso de adquisición de datos en permanente vigilancia para minimizar errores en las lecturas o por mala ubicación de los sensores.

Lugo, Ponce, Molina, Castro, (2014). El objetivo de este trabajo es demostrar como la co-simulación incrementa las ventajas para los diseños. La propuesta tiene tres etapas; el diseño de la parte biomecánica, el diseño mecánico y el sistema de control. Para el diseño de procesos se utiliza OPENSIM este resuelve el sistema musculo esquelético y da modelos para diferentes condiciones, la parte mecánica es evaluada por SOLIDWORKS, el sistema de control es resuelto por MATLAB. Esto permite obtener un diseño personalizado que simula una marcha completa y un movimiento natural. La investigación demuestra tener muchas ventajas a nivel de costos debido al entorno virtual solo dependerá del programador. Al ser un prototipo virtual pueden existir problemas en la construcción final.

Lugo, (2013).El objetivo de la tesis es realizar un análisis de movimiento para el diseño y construcción de un exoesqueleto de miembro superior. Este análisis se llevó a cabo mediante técnicas de robótica, estas simplifican el análisis y ayudan a conocer la movilidad de la extremidad, se propone un diseño mecánico del exoesqueleto el cual se construyó como primer prototipo tomando consideraciones anatómicas y terapéuticas, el diseño tiene la capacidad de adaptarse a diversas anatomías de niños, de edades entre los dos a cuatro años. El trabajo se proyecta en ayudar a personas con discapacidad en sus miembros superiores mediante rehabilitación robótica y lograr la recuperación del cliente. Es de mucha ayuda para las personas con discapacidades, pero limita a usarlo solo en persona con problemas de movimiento de solo un miembro superior.

Alonso, Vinagre, (2010). El objetivo de este trabajo es realizar el diseño de una ortesis activa de rodilla y tobillo con control de apoyo para asistir la marcha de lesionados medulares incompletos. La ortesis está diseñada para permitir a las personas caminar de manera más natural y eficiente, todo gracias a los sensores ubicados en el tren inferior del paciente y con la ayuda de un sistema de control automático. La novedad en este diseño es permitir que las personas puedan caminar de manera natural y eficiente, ayuda en la fase de balanceo a la flexión y extensión de la pierna y en la fase de apoyo a bloquear la rodilla, estas son independientes entre sí. La ortesis según el diseño tiene un bajo costo de producción.

Villalba, Vinagre, (2012). El objetivo es diseñar y simular un exoesqueleto para la existencia de la marcha de miembros inferiores a pacientes con paraplejia flácida. De acuerdo a la metodología QFD se requieren varias rutinas para que interactúen el exoesqueleto y el usuario, incluyendo procedimientos de seguridad respectivos. El sistema de control lo conforman 4 drivers para los motores y un micro controlador, se emplea el sistema arduino 2560, este interactúa con los drivers de los actuadores y almacena los patrones de velocidad de la marcha, se utiliza sensores de fin de carrera para el fin del ciclo de la marcha. Fue diseñado para ser usado con muletas auxiliares y OTP's para garantizar una asistencia adecuada en la marcha del paciente, se realizara comparaciones entre los patrones de velocidad para determinar el avance en la rehabilitación.

2.2. Discapacidad Motriz Y Rehabilitación.

Cuando se presenta en una persona algún problema a nivel nervioso, muscular, neurológico o articular y este no le permite ejecutar una actividad física normal de cualquiera de sus miembros ya sea permanente o temporal se lo llama discapacidad, existen varios métodos para su recuperación.

2.2.1. Discapacidad Y Sus Tipos.

Es la limitación o pérdida de movilidad para realizar actividades al mismo nivel que otras personas, debido a las barreras físicas (Tregaskis, 2003). En nuestro caso haremos referencia a problemas motrices de los miembros inferiores.

El movimiento de los miembros inferiores es a través de articulaciones, músculos y huesos, el sistema nervioso periférico (SNP) recibe información de la actividad táctil y cenestésica de la extremidad, toda esta información es enviada al sistema nervioso central (SNC) el mismo la procesa y la envía en forma de impulsos de control a los músculos a través de la unión neuromuscular, en esta etapa se realiza el movimiento, estos dos sistemas pueden ser afectados por lesiones adquiridas (accidente físico), lesiones congénitas o trastornos psicomotores, en donde el movimiento puede dejar de ser voluntario, limitado y en el peor de los casos deja de haber movimiento, esto provoca una discapacidad motriz (Palomino S,1998).

Tipos de discapacidad motriz:

El origen puede ser cerebral, espinal, muscular u óseo articular observar tabla 1. (Marchesi y Cols, 1999) lesiones en función de su origen.

Origen	Lesión
Cerebral	<ul style="list-style-type: none">• Parálisis cerebral.• Traumatismo craneoencefálico.• Tumores.
Espinal	<ul style="list-style-type: none">• Poliomielitis.• Espina bifida.• Lesiones medulares degenerativas.• Traumatismo medular.
Muscular	<ul style="list-style-type: none">• Miopatías (distrófia muscular progresiva de Duchenne, distrofia escapular de Landouzy-Djerine).• Malformaciones Congénitas (Amputaciones, luxaciones, artrogriposis).• Distróficas (Condodistrófia, osteogénesis imperfecta).
Óseo-articular	<ul style="list-style-type: none">• Microbianas (osteomielitis aguda, tuberculosis ósea articular).• Reumatismos infantiles (reumatismo articular agudo, reumatismo crónico).• Lesiones osteo-articulares por desviación de la raquis (cifosis, escoliosis, lordosis).

Tabla 1. Lesiones en función de su origen
Fuente: Marchesi y Cols, 1999

La falta de movilidad se encuentra durante y después de la lesión cuyas principales características motoras son:

- Parecía (parálisis parcial de la extremidad) es una lesión en el sistema nervioso central y no propiamente de los músculos, debido a una afección en las ramificaciones nerviosas motoras que causa debilidad leve en cada musculo.
- Plejía (parálisis total de la extremidad) es la ausencia del movimiento a causa de una debilidad total de la musculatura y se debe a problemas en el sistema nervioso central.
- Distrofia muscular de Dúchenme es una debilidad muscular debido a la degeneración en las fibras musculares que se presentan en las extremidades.
- Desorden de control muscular es la falta de control producida por una parálisis cerebral que pudo ser adquirida físicamente, por nacimiento o congénita; produce dificultad para colocar la extremidad en una determinada posición, la zona del cerebro que se encuentra afectada envía una mala información a los músculos y provoca contracción excesiva o por el contrario muy poca o nada. Se pueden distinguir tres tipos de efectos funcionales.
- Espástica o rigidez muscular que mantiene los músculos contraídos permanentemente y los acorta, por lo que se mantiene en una sola posición.
- Atetosis o movimientos lentos, complejos e irregulares que están en relación con la contracción simultánea de los músculos agonistas y antagonistas de la extremidad, que provocan las posturas diatónicas (aumento de tono muscular).
- Ataxia o disminución de la coordinación y estática de los movimientos, además de una disminución en el tono muscular. La recuperación ante una lesión se hace a través de la estimulación mediante rehabilitación o fisioterapia.

2.2.2. Rehabilitación Física.

Es la rama de la medicina encargada del tratamiento en complicaciones de la biomecánica del movimiento del cuerpo y extremidades ocasionadas por lesiones a nivel neurológico o físico. Consiste en el tratamiento físico a través de agentes como masoterapia, electroterapia y ejercicios de movimientos que ayudan al discapacitado en su recuperación física hasta sus límites máximos posibles.

2.2.3. La Acción Del Terapeuta Físico.

El terapeuta físico es aquel que emplea varias técnicas de rehabilitación para conseguir el resultado definitivo de la recuperación y en algunos casos aplicando una combinación de estas técnicas para obtener mejores resultados, considerando el estado del paciente.

El terapeuta debe de tener conocimiento de todas las técnicas de fisioterapia, también desempeña un papel importante al momento de la valoración de la discapacidad física por lo que debe de tener una visión clara de la asistencia médica y quirúrgica en general. Así como técnicas que permitan al paciente superar la incapacidad física con el uso de aparatos y otros dispositivos para rehabilitación (Nichols, 1985).

2.2.4. Inspección Muscular.

Las evaluaciones que realiza el terapeuta son en base a su experiencia y conocimientos ya que estas dependen de factores como la resistencia, fuerza, rapidez de acción, coordinación con otros músculos y fatiga, todos estos factores varían dependiendo la discapacidad de cada persona.

Las pruebas manuales son para determinar la amplitud y extensión de la debilidad. Los registros son una base para la planificación de las diferentes técnicas terapéuticas como repeticiones periódicas para identificar su efectividad en el paciente.

Es necesario complementar con la determinación de los arcos de movilidad del paciente. Se aplica métodos activos y pasivos para saber los límites de los arcos de

movilidad. La prueba activa figura 4. (a) El sujeto realiza completos los arcos de movilidad usando sus propios músculos, y las maniobras pasivas figura 4. (b) el terapeuta mueve hacia todos los límites las extremidades del enfermo (Nichols, 1985).



Figura 4: Inspección muscular (a) Método activo (b) Método pasivo.
Fuente: Nichols, 1985.

2.2.5. Ejercicios Terapéuticos.

Los ejercicios producen efectos en músculos y articulaciones. El tratamiento y los efectos locales del ejercicio muscular pueden ser terapéuticos o preventivos, y encierra los siguientes objetivos:

- Preservar la función muscular en el periodo de inmovilización de la articulación, prevenir la fibrosis, la atrofia, estasis, linfática y mantener la movilidad articular por debajo y por encima de las articulaciones inmovilizadas.
- Combatir la rigidez articular y fortalecer los músculos débiles.
- Restablecer la coordinación neuromuscular.
- Prepararse para la actividad funcional.
- Procurar que el paciente demuestre su creciente capacidad para ejecutar cada uno de los ejercicios.

Desde el punto de vista fisiológico las contracciones musculares se pueden clasificar en:

- Contracción isométrica, aumento de la tensión muscular sin alterar la longitud del musculo ver figura 5. (a).
- Contracción isotónica, ejercicio realizado contra una resistencia fija, con movimiento articular ver figura 5. (b).

El ejercicio isométrico es aplicado en extremidades inmovilizadas con vendajes, entablilladas o enyesadas ya sea por procedimientos ortopédicos, por fractura o inflamación articular.

Los ejercicios isotónicos se aplican pesos determinados, se lo utiliza generalmente después de un traumatismo para establecer la potencia muscular. Existen técnicas con la misma carga, otras con cargas más leves o por el contrario más elevadas (Nichols, 1985).

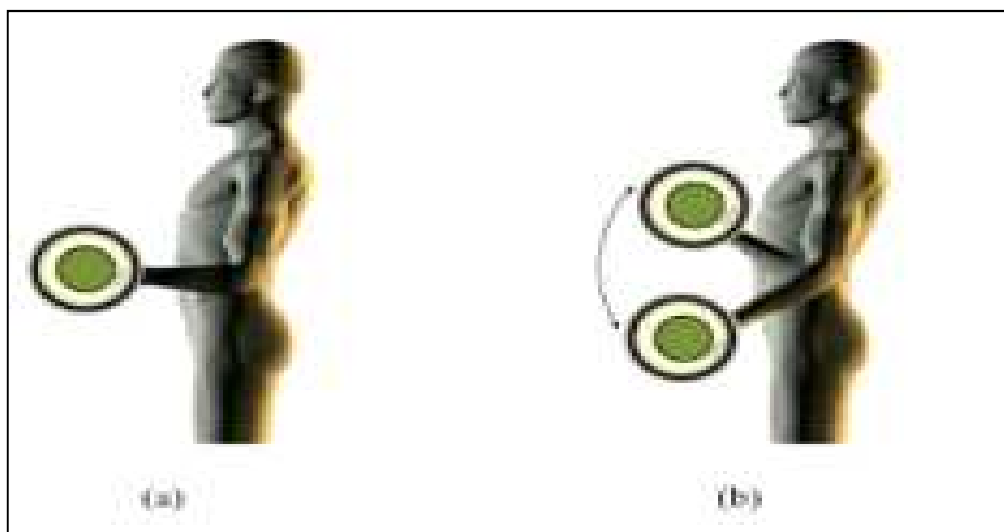


Figura 5: Ejercicios de fuerza muscular (a) Isométrico (b) Isotónico
Fuente: Nichols, 1985.

2.3. Enfermedades Para Rehabilitación Con El Exoesqueleto.

Los trastornos motores afectan a las funciones importantes en la vida diaria: andar, alcanzar objetos o la locomoción. Hay probabilidades que el origen de estos trastornos sea a nivel central, o en la medula espinal del sistema nervioso.

2.3.1. Accidente Vascular Cerebral AVC.

Esta enfermedad afecta las arterias que conducen hacia el cerebro y dentro del mismo. Sucede cuando se interrumpe el flujo sanguíneo de una parte del cerebro debido a que un vaso sanguíneo se encuentra bloqueado o roto.

Existen dos tipos de accidente cerebro vascular, isquémico es cuando se bloquea un vaso sanguíneo que irriga sangre al cerebro; y accidente cerebro vascular hemorrágico, que ocurre cuando se rompe un vaso sanguíneo y provoca que la sangre se escape hacia el cerebro.

2.3.2. Lesión De La Medula Espinal LME.

Es una alteración de la medula espinal, esta puede provocar la pérdida del control voluntario de las extremidades, la locomoción deteriorada, espasmos, agarre débil, sensaciones alteradas etc.

Las dos causas principales son enfermedades como la poliomielitis, la espina bífida, osteítis hipertrófica de la columna, tumores primarios o metas taticos y traumas por accidentes de coche, disparos, caídas.

La lesión medular no siempre guarda relación con una lesión de cuello o espalda, es posible que estos sufran alguna lesión y que la medula espinal no sufra ningún daño.

2.3.3. Parálisis Cerebral PC.

Es un grupo de trastornos que afecta la capacidad de una persona para mantener el equilibrio, la postura y moverse. Los trastornos aparecen a edad temprana. Por lo general no empeoran con el tiempo. La mayoría de estas personas tienen complicaciones al caminar, al escribir. Algunos tienen más afecciones médicas, como discapacidad mental, o trastornos convulsivos. No existe una cura para la parálisis Cerebral el tratamiento incluye aparatos, medicinas y terapia física, ocupacional y de lenguaje.

2.4. Introducción A La Robótica.

Los robots más antiguos fueron conocidos como tele manipuladores, herramientas de trabajo con la cual manipulaban componentes radiactivos, estas eran controladas por un operario hasta que se sustituyó por un programa de ordenador.

Las leyes de la robótica fueron enunciadas en el año 1942 por el conocido Isaac Asimov que utilizó por primera vez la palabra robots en el campo científico en la obra “Rondaround”

- Un robot no debe dañar a un ser humano o por su inacción dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe de proteger su propia existencia (por ser un sistema muy costoso), hasta donde esta protección no entre en conflicto con la primera o la segunda ley.

Gracias a estas leyes se transmitió seguridad por parte de los robots, ya que hasta entonces solo se conocía leyendas de ellos, que hablaban de robots creados por el hombre que se volvían violentos y atacaban a la población, podemos observar en la figura 6, un robot en la actualidad.



Figura 6. Robot
Fuente: Loja y Ordoñez, 2016.

2.4.1. Exoesqueleto Robótico.

Es un sistema electromecánico con una estructura externa que se adaptara a la extremidad del paciente con el propósito de suministrar una ayuda para moverla. Las áreas principales en donde se aplican son la industria, la milicia y la medicina en la cual su propósito es de brindar la ayuda necesaria a pacientes que realizan los procedimientos de rehabilitación.

2.4.2. Características Principales.

Como característica principal tendremos la fuerza que aplican los actuadores es controlada por un sistema de control considerando la información de los sensores. Está formado por una estructura externa, sensores, actuadores, y una unidad de control. La unidad de control deberá aplicar la fuerza necesaria en los actuadores del exoesqueleto para darle dirección y movimiento a las extremidades del cuerpo humano así como también su sincronización, es decir deberá simular de forma más natural todos los movimientos.

2.4.3. Clasificación.

Se pueden dividir en los siguientes grupos.

- Exoesqueletos antropomórficos, estos dispositivos se asemejan a la topología humana, tomando todas sus características dinámicas, grados de libertad y cinemáticas.
- Exoesqueletos no antropomórficos, no se restringen al diseño que simule una articulación humana como por ejemplo las bicicletas.
- Exoesqueletos pasivos, estos exoesqueletos tienen una secuencia fija ya programada previamente y no tiene ningún sensor que sirva como retroalimentación.
- Exoesqueletos activos, estos reciben señales de sensores, luego son interpretados por una unidad de control y en base a estas lecturas ejecuta acciones conforme los requerimientos del usuario.

2.5. Aplicaciones De Los Exoesqueletos Y Dispositivos Para Rehabilitación.

La rehabilitación robótica se ha utilizado en algunos países durante las últimas décadas con gran aceptación de la comunidad de rehabilitación. La interacción entre humanos-robot ha dado buenos resultados, con un enfoque nuevo en comparación a los métodos clásicos (Ruiz y Cols, 2006).

Por ejemplo el robot L-Exos, es un exoesqueleto de 5 GdL ver figura 7 exoesqueleto L-Exos, con un sensor de posición, 4 actuadores y de base fija. Fue diseñado como una interfaz que se adapta al antebrazo y brazo, capaz de proveer fuerza a los 4 GdL (Frisoli y Cols, 2007). Tiene un trabajo de 135° en flexión - extensión, 140° en aducción-abducción para el hombro, en codo muestra una pronación de 180° y una movilidad de los 105°.



Figura 7. Exoesqueleto L-Exos
Fuente: Frisoli y Cols, 2007.

Para el desarrollo de estos dispositivos se debe tener claro el objetivo final, en el cual el ingeniero debe alcanzar al terminar el proyecto. Existen varias aplicaciones para los exoesqueletos entre las principales, operaciones militares, médicas y comerciales.

2.5.1. Militares.

Uno de los principales usos es para cargar equipos pesados que normalmente utilizan los soldados sobrepasando regularmente los 45 Kg durante las operaciones militares. El exoesqueleto los ayuda a tener mejor movilidad y los ayuda a cargar el peso sin que ellos gasten mucha energía, como se lo visualiza en la figura 8, exoesqueleto de uso militar.



Figura 8. Exoesqueleto e uso militar
Fuente: Engadget, 2013.

Otra de las aplicaciones es en largas caminatas, ayuda al soldado para que no se canse y pueda llegar a su destino con mucha energía, en el futuro se les puede agregar más aplicaciones como reconocer las señales que envía el cerebro y pueda realizar disparos de distintas armas incluidas en estos dispositivos. Las características más importantes que deben de tener es una alta potencia y mucha resistencia para que soporte las operaciones militares que pueden tardar horas y en algunos casos hasta días, además debe detectar el estado de salud del soldado para poderle brindar ayuda.

2.5.2. Comerciales.

Una aplicación comercial es por diversión, realizar largas caminatas por la ciudad con la ayuda de un exoesqueleto, la función principal es trasladar al usuario. Además puede ser utilizado por personas de la tercera edad que no necesitan rehabilitación pero han perdido su fuerza en las piernas según pasan los años, ver figura 9, Berkeley.



Figura 9. Berkeley exoesqueleto para usos comerciales
Fuente: Bleex, 2004.

Estas aplicaciones son intermedias entre médicas y militares, por este motivo debe de tener características como una adecuada potencia y su resistencia debido a la manipulación completa por el usuario.

2.5.3. Médicas.

En la medicina se los usa como métodos de rehabilitación en el cual son muy importantes debido a que se puede guardar los datos de cada paciente, medir los avances de cada usuario y tener una mejor rehabilitación como se muestra en la figura 10, exoesqueleto motorizado.



Figura 10. Exoesqueleto motorizado
Fuente: Hocoma, Lokomat, 2014.

En este tipo de aplicaciones el exoesqueleto no necesita tener la capacidad de llevar mucho peso ya que soportaría solo el peso del usuario, son de mucha ayuda y es necesario que lleven a los usuarios hasta su última etapa de recuperación. También se espera que se adapte al usuario y permita movimientos lo más natural posible durante las terapias, debido a su uso no se deberá preocupar por el suministro de energía porque las rehabilitaciones se realizan en un lugar adecuado y podemos energizarlo desde un toma de corriente común.

2.6. Sistema De Control Del Exoesqueleto.

La unidad de control se encarga de procesar los datos recibidos de los sensores, y transmitir a los actuadores las señales necesarias para realizar la tarea programada (Marcos, 2011).

Todos estos elementos se los han nombrado de la siguiente manera:

- **Percepción del entorno.** El dispositivo dispone de sensores para percibir la información que ocurre en su entorno. Cada sensor detecta una magnitud física variable y la transforma en una señal eléctrica. Todas estas señales forman los datos de entrada al sistema.
- **Procesado e interpretación de los datos.** El elemento central es la unidad de control. Normalmente consta de un micro procesador y su respectivo programa para el tratamiento de datos que emiten los sensores para ser leídos e interpretados, este a su vez activa las señales de control correspondientes para ejecutar una acción.
- **Ejecución de la acción.** Se denomina a la ejecución de un cambio físico en el robot, ya sea una parada, un cambio de posición, un movimiento de una articulación etc. Estas tareas son ejecutadas por motores eléctricos, cilindros hidráulicos o neumáticos, accionados eléctricamente.

2.6.1. Sensores.

El robot tiene que tener conocimiento de su estado y el estado de su entorno para poder realizar su tarea con la precisión y la velocidad requerida. Los sensores internos son los más importantes estos informan ubicación y velocidad de sus articulaciones a la unidad de control, este procesa la información y actúa.

Los sensores más utilizados son los encoder, basados en la interrupción de un láser perpendicular al eje de giro de la articulación (Marcos 2011).

2.6.2. Actuadores.

Se encargan de seguir las órdenes de la unidad de control para generar el movimiento de los elementos del robot. En robótica se utilizan actuadores dependiendo la fuente de energía, eléctrica, neumática e hidráulica (Juan, Andrés, 2016).

En este caso son utilizados los actuadores eléctricos como:

- Motor de corriente continua.
- Motor de corriente alterna (asincrónico, jaula de ardilla).
- Motor de corriente alterna (rotor bobinado).
- Motor pasó a pasó.
- Servo motores.

2.6.3. Microcontroladores.

Un micro controlador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes o secuencias que están guardadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una función específica dentro del funcionamiento del mismo y a su vez permiten obtener configuraciones diferentes. Esto es, se pueden diferenciar según el tamaño, cantidad de sus elementos básicos y características especiales (Juan, John, Gilberto, Manuel, 2010)

En esta sección nombramos algunas de las partes básicas a manera e información para establecer algunas comparaciones.

- Memoria ROM.
- Memoria RAM.
- Líneas de entrada/salida (I/O).
- Lógica de control.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PROTOTIPO EXOESQUELETO.

3.1. Consideraciones Iniciales Del Diseño Del Prototipo Exoesqueleto.

Las consideraciones iniciales para el diseño del prototipo serán una estructura compuesta por materiales resistentes, un diseño ergonómico para los usuarios, el exoesqueleto será ajustable a las articulaciones del humano, estas serán de aluminio para facilitar su ensamblaje y moldeo. Dispondrá de un sistema de control electrónico que permitirá registrar los distintos modos de rehabilitación y a su vez enviar las señales necesarias a los actuadores para que ejecute la acción programada.

3.1.1. Descripción Del Sistema De Rehabilitación.

El sistema de rehabilitación estará diseñado para que funcione de la siguiente manera. Un terapeuta físico debe de valorar al paciente que usara el exoesqueleto para una correcta aplicación, se debe ajustar el exoesqueleto a las medidas del paciente acoplando las articulaciones del humano a las articulaciones mecánicas, luego se selecciona las rutinas de rehabilitación a ejecutar según el diagnóstico previo del paciente. El equipo permitirá que los usuarios se puedan mantener de pie, equilibrar el cuerpo para realizar la rutina de rehabilitación de la marcha durante el tiempo programado. Le dará varias opciones modificables al médico, como los tiempos que dura la terapia de 5 a 25 minutos, la velocidad que se va ejecutar la marcha en niveles del 1 al 5, parte del cuerpo a ser rehabilitada puede ser derecha o izquierda dependiendo de cada usuario.

3.1.2. Características Del Sistema Exoesqueleto.

El equipo de rehabilitación que se proyecta diseñar, y que permitirá resolver el problema planteado al inicio de este trabajo, va a disponer de las siguientes características.

- Se dispondrá de un micro controlador PIC 16f870 de 128 bytes de RAM, 128

bytes de ROM y 64 bytes de EEPROM, contiene 22 líneas de entradas y salidas, 5 canales analógicos y tiene un voltaje de operación de 2.0 a 5.5 voltios.

- Para realizar la simulación del movimiento del cuerpo humano se utilizarán servo motores MG996 con un peso de 55 gramos, un torque de 15kg/cm a 6 voltios, su voltaje de operación es desde los 4.8 voltios a 7.2 voltios, con una corriente de 500 a 900 mA, con una rotación de su eje de 120 grados.
- El sistema de control dispone de una LCD de cristal líquido y 4 pulsadores los cuales permiten el registro o selección de los diferentes niveles de rehabilitación programados.
- Las dimensiones de la estructura son 85 cm de largo, 68 cm de ancho, y 105 cm de alto con 11mm de espesor, se le acoplara ruedas para el fácil desplazamiento del paciente cuando este caminando y tendrá una resistencia máxima de carga de 200 libras.
- El exoesqueleto será construido en aluminio de 1,1 mm de espesor con 1 grado de libertad. Funcionará con 110 voltios los cuales los podrán tomar del suministro de energía pública más cercana y pueda ser usado en cualquier centro de rehabilitación.

3.1.3. Funciones Del Equipo De Rehabilitación.

Las funciones del sistema exoesqueletico se ha previsto que sean las siguientes:

- Permite automatizar el proceso de rehabilitación, permitiendo al médico especialista programar previamente en el circuito de control el tipo de terapia a realizar dependiendo del diagnóstico de cada paciente.
- Interfaz de usuario mediante una pantalla LCD para elegir las secuencias a realizar.

- El exoesqueleto informa al terapeuta las rutinas programadas que se encuentran ejecutando durante el proceso de rehabilitación.

3.1.4. Diagrama De Flujo Del Sistema De Rehabilitación.

Se ha realizado un diagrama de flujo, que muestra de forma general el funcionamiento del sistema de rehabilitación de miembros inferiores, basado en una estructura exoesqueletico figura 11.



Figura 11. Diagrama de flujo del exoesqueleto.

Fuente. Elaborado por autor.

ser utilizada para niños de dos a cuatro años de edad según la organización mundial de la salud se agrega tabla 2 donde se verifica las estaturas promedio de niños en un rango de dos a cuatro años.

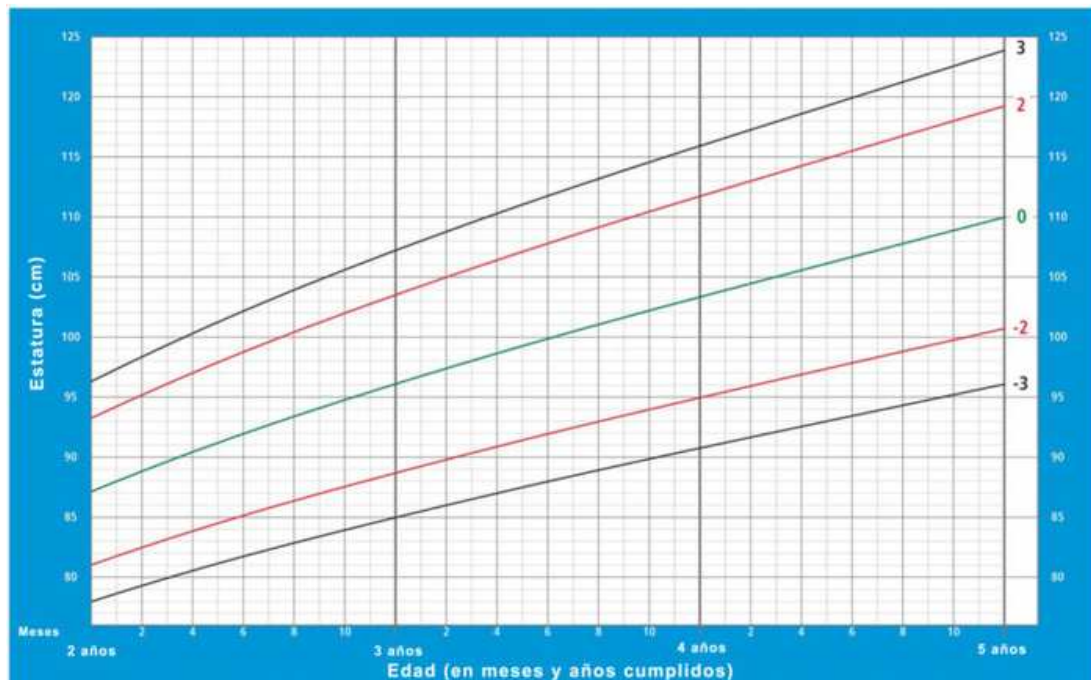


Tabla 2. Talla de niños de 2 a 4 años
Fuente: organización mundial de la salud, 2014.

Dentro de los requerimientos mecánicos se considera los grados de libertad en donde se necesita 1 grado de libertad para realizar os movimientos de extensión y flexión de la rodilla. La fuerza se refiere al torque generado por el motor, para calcular usaremos la siguiente formula considerando al sistema como uno de segundo orden.

$$\tau(t) = M \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} + K\theta(t)$$

El torque generado por el motor se representa por $\tau(t)$ y el desplazamiento angular θ (τ), los datos C, M y K describen las resistencias dependientes de la velocidad, aceleración y posición angular respectivamente.

3.2.2. Mecanismos Para El Movimiento De La Rodilla.

El modelo completo se lo puede visualizar en la figura 14-17, estructura del exoesqueleto, como se puede observar el exoesqueleto es de un grado de libertad tiene un rango de medidas regulable de 20 a 25 cm entre la cadera y la rodilla, el mecanismo se calibra a las medidas del paciente en este caso se lo dejo en 20 cm para un niño de 3 años de edad.

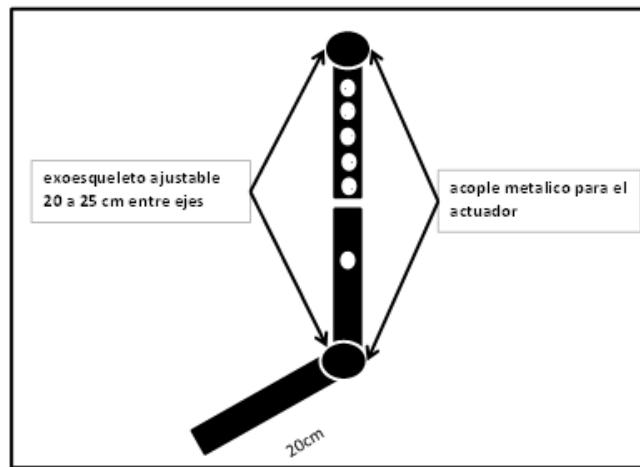


Figura 14. Estructura de la pierna del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.



Figura 15. Estructura de la pierna del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.

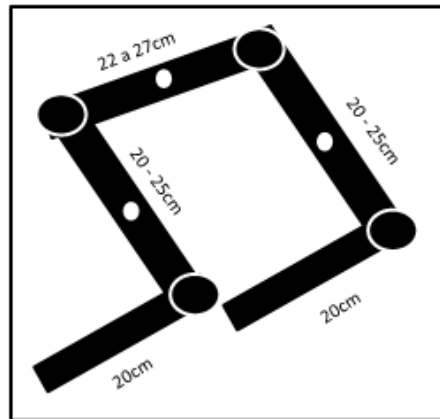


Figura 16. Estructura de aluminio del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.



Figura 17. Estructura de aluminio del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.

Así mismo entre la rodilla y el pie tenemos un soporte fijo de 20 cm, para la simulación de la rodilla se colocaron acoplamientos mecánicos el cual permitirá el movimiento de un grado de libertad.

3.3. Análisis Del Sistema De Control.

Se considera los requerimientos del diseño como las variables que intervienen, controlador a utilizar para dirigir el funcionamiento, alarmas, restricciones o condiciones como tiempos de desplazamientos, ángulo de giro, corrección de errores y su implementación.

3.3.1. Diseño De Hardware.

El diseño del hardware se lo realizo integrando los circuitos de los actuadores y el sistema de control mediante un microcontrolador PIC 16F870.

El microcontrolador envía información al LCD para que el usuario se informara y pueda realizar cambios a las variables configuradas mediante 4 teclas de control. Al iniciar la secuencia de rehabilitación el microcontrolador acciona los actuadores con la secuencia embebida hasta que se cumpla el tiempo de rehabilitación o se detenga el proceso mediante la tecla de paro. Cuando termine la secuencia programada se activará una alarma sonora durante 5 segundos para indicar al terapeuta que puede retirar al paciente del equipo.

Se utilizó un PIC 16F870 de la familia microchip, el cual posee unidades funcionales embebidas como son: temporizadores, entrada y salidas tanto analógicas como digitales, USART, unidades de comparación, PWM, etc., cumple con nuestros requerimientos mínimos para regir el sistema de control. Este sistema de control se comporta de la siguiente manera:

- El microcontrolador PIC envía a la interfaz un mensaje de saludo “EXOESQUELETO BENJAMÍN” y se mantiene en un bucle hasta que sea presionada la tecla menú.
- Se seleccionan las variables deseadas para ejecutar la rehabilitación, tipo de rehabilitación, derecha, izquierda o total. Nivel de velocidad a ejecutar de 1 a 5 niveles, Seleccionar pasos a realizar en cada rutina de 2 a 10 pasos por rutina, seleccionar el tiempo total de rehabilitación de 5 a 25 minutos.
- Una vez concluido el tiempo de rehabilitación se detiene el proceso y se activa una alarma sonora, adicional existe un botón de paro en el caso de alguna emergencia o detener el proceso antes de la rehabilitación.

3.3.2. Características Del Circuito Electrónico.

El circuito electrónico se elabora en base a las necesidades del proyecto para suministrar energía y control a todos sus componentes, como primer paso se elabora el circuito esquemático figura 18. Circuito esquemático. Y fuente figura 19.

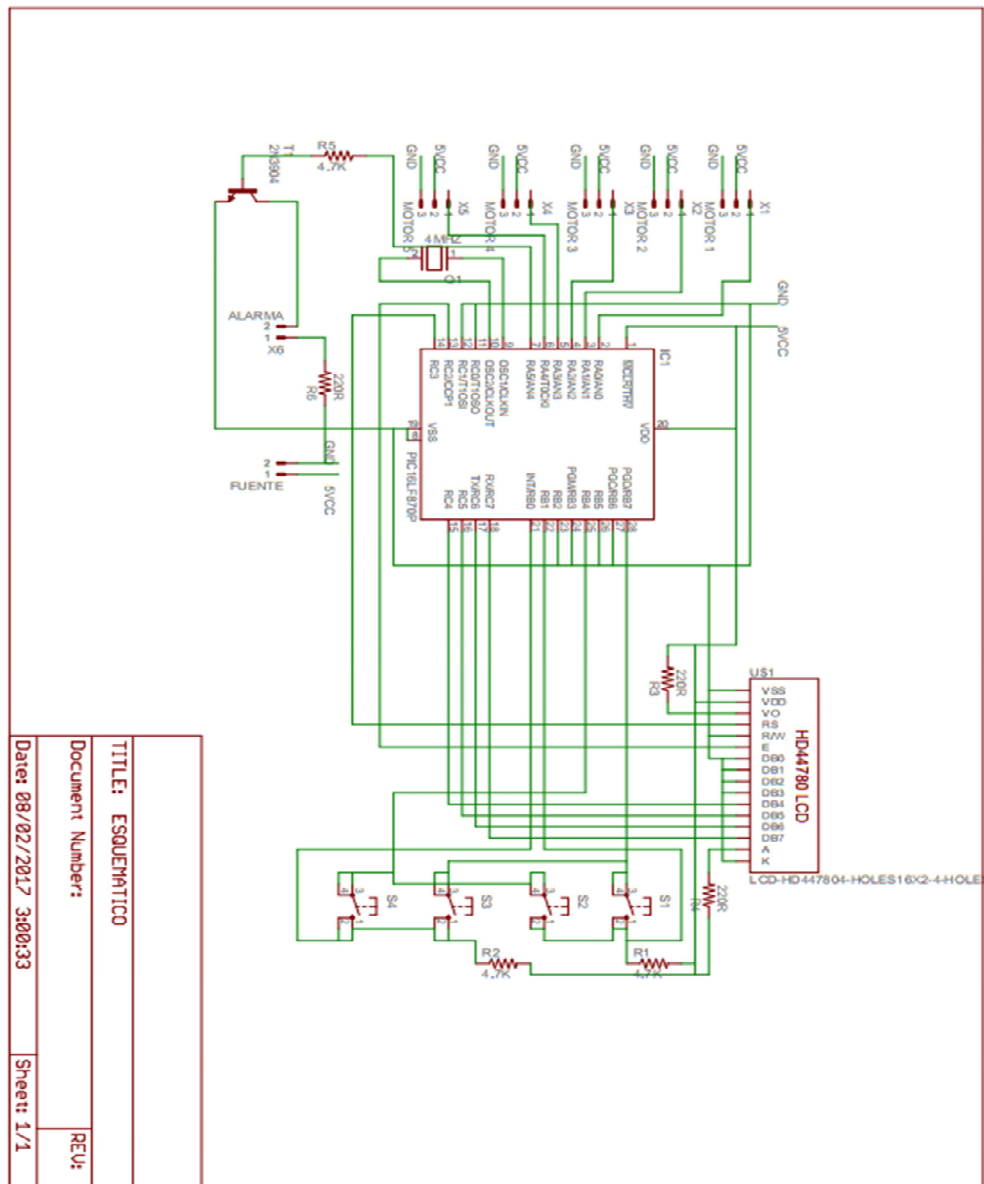


Figura 18. Circuito esquemático.
Fuente. Elaborado por autor.

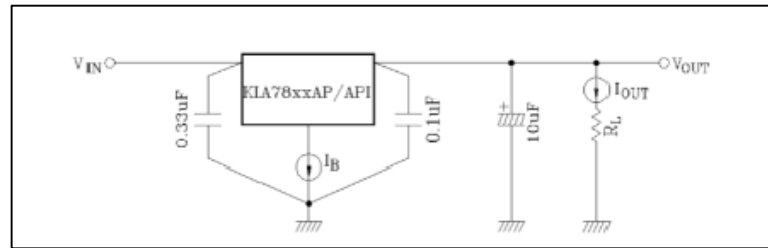


Figura 19. Fuente de poder.
Fuente. Elaborado por autor.

En la fuente de poder se utilizó el regulador 7805 siguiendo las recomendaciones del fabricante se colocó un capacitor de 0.33uf a la entrada, uno de 0.1uf y 10uf a la salida del regulador para garantizar los 5 voltios de operación del microcontrolador, los pulsadores se conectaran como una matriz hexadecimal con una resistencia de 4.7 K Ω para que la corriente de entrada no exceda la permitida por el microcontrolador de 25 mA, los pines 8 y 19 del PIC están conectados a tierra según recomendaciones del fabricante, así como también el pin 20 a 5 voltios para polarizarlos y para una mejor precisión recomienda utilizar un oscilador de 4 MHz. La pantalla LCD se conectara al PIC utilizando los 4 bits más significativos del bus de datos, el pin R/W es conectado a tierra para indicar al LCD que estaremos escribiendo, el pin E está conectado al pin 13 y RS al pin 14 del PIC para su control. Se utilizará resistencias de 220 Ω para no exceder la corriente máxima de salida de 0,025A. Resistencia igual a 5 voltios dividida para 0,025A igual a 220 Ω . Una vez finalizado el circuito esquemático diseñamos el PCB, se lo diseñara con una sola capa bottom layer, las pistas con un grosor mínimo de 0.8mm debido a las condiciones del fabricante para una buena conductividad entre conexiones, cabe mencionar que es de mucha importancia la tarjeta de circuito impreso porque aquí se agrupan los componentes con todas sus interconexiones para su debido funcionamiento, el diseño se lo desarrolló en el programa Eagle figura 20, diseño de tarjeta electrónica.

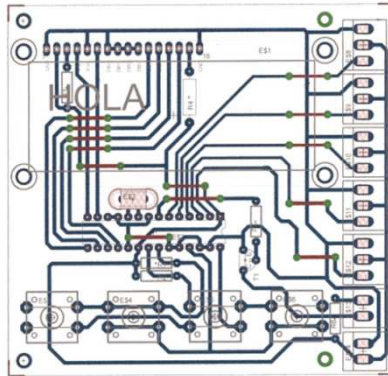


Figura 20. Diseño tarjeta electrónica en eagle.
Fuente. Elaborado por autor.

Concluido el diseño PCB se realizara el ensamblado de los componentes electrónicos figura 21 y 22, tarjetas de control.

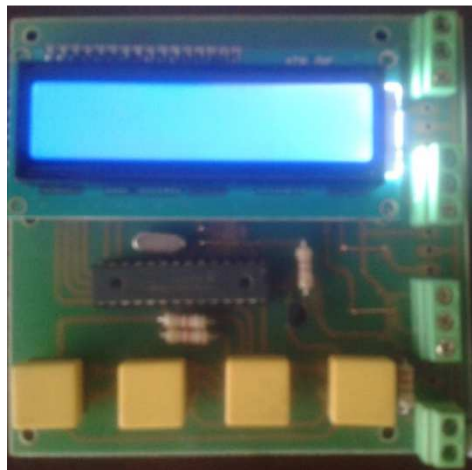


Figura 21. Tarjeta de control del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.

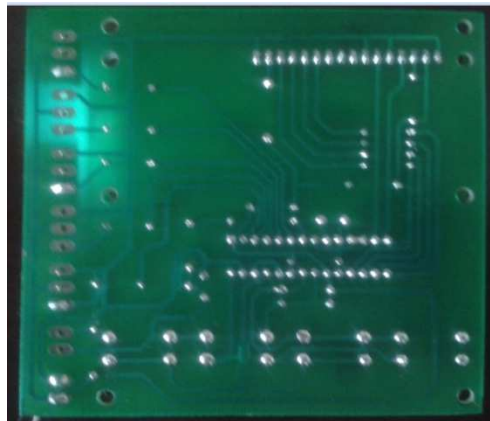


Figura 22. Tarjeta de control del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.

3.3.3. Diseño De Software.

El diseño del software del sistema de control electrónico, puede ser fácilmente entendido, a través del diagrama de flujo mostrado en la figura 22, en la que aparecen los pasos principales del proceso de automatización del sistema de rehabilitación infantil. Se lo realizo mediante el siguiente diagrama de flujo figura 23, diagrama de flujo del software.

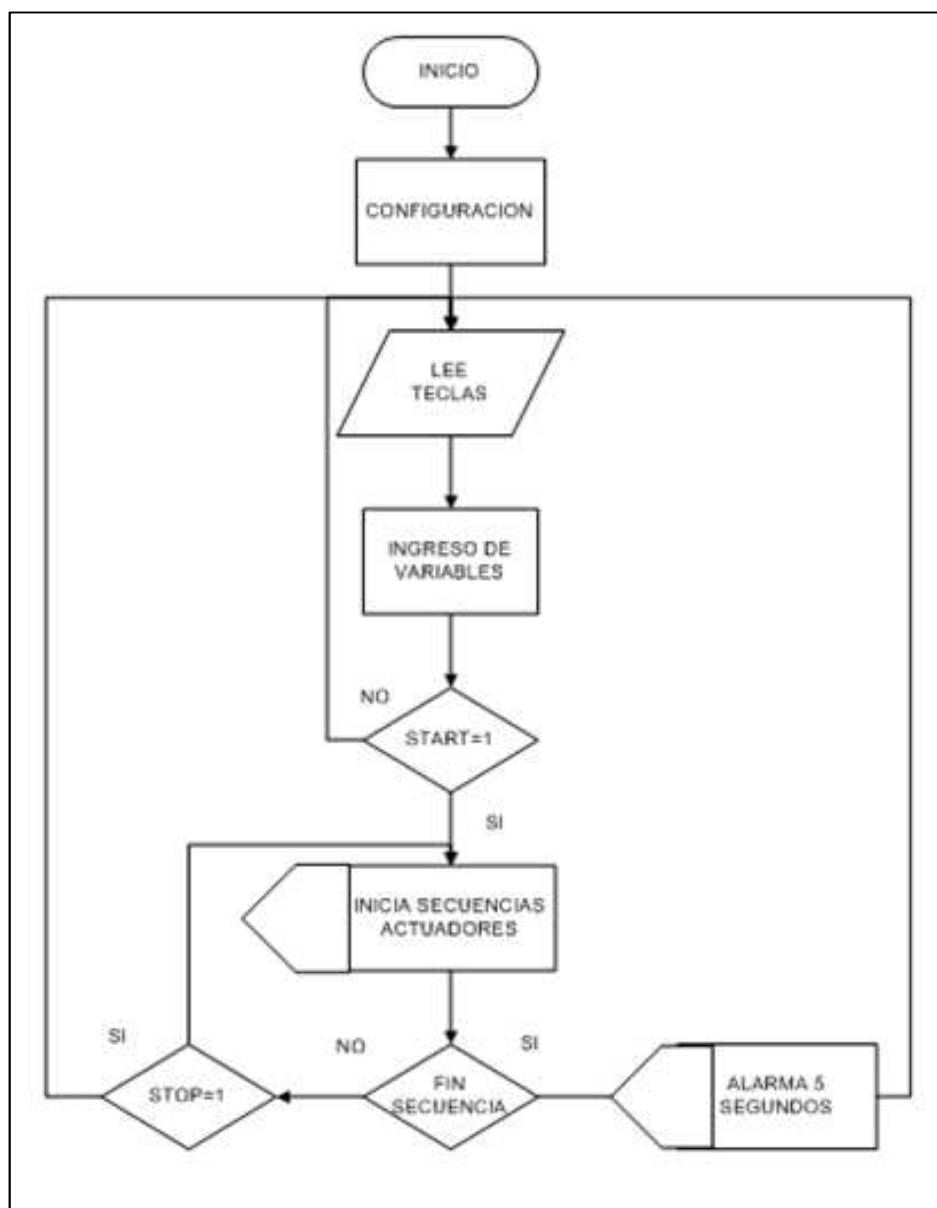


Figura 23. Diagrama de flujo del software.
Fuente. Elaborado por autor.

3.3.4. Características Del Servo Motor.

En apartados anteriores se logró determinar un valor aproximado de la fuerza requerida para mover las articulaciones móviles de la estructura exoesqueletico, en base a lo cual se determinó las características de los motores para generar los movimientos requeridos durante las terapias. En base a las necesidades del proyecto de controlar los ángulos de rotación tanto de la pierna como de la rodilla se decidió la selección del servo motor MG996 figura 24, servo motor, por su control de hasta 180 grados, su bajo consumo de 600mA y su gran torque de 15KG/cm según su fabricante.



Figura 24. Servo motor MG996.
Fuente. Elaborado por autor.

3.4. Pruebas Del Prototipo.

Las pruebas inicialmente se realizaron en el simulador proteus para validar la programación, la misma que se realizó en el programa PIC BASIC. Se verifico el correcto funcionamiento de la interface de usuario, que las rutinas estén correctamente y que el PIC controle los ángulos de los servo motores figura 25 y 26.

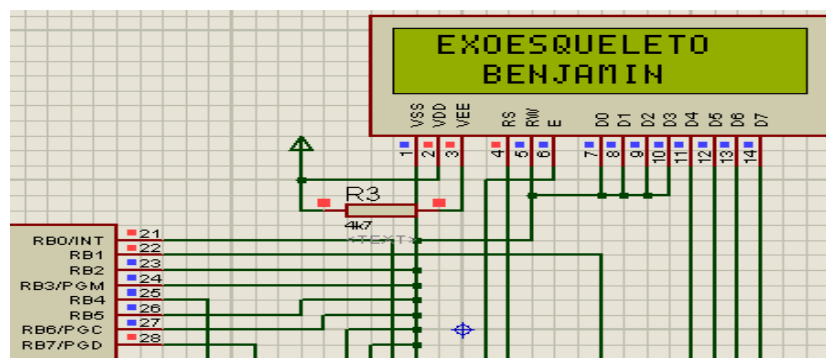


Figura 25. Prueba de interfaz.
Fuente. Elaborado por autor.

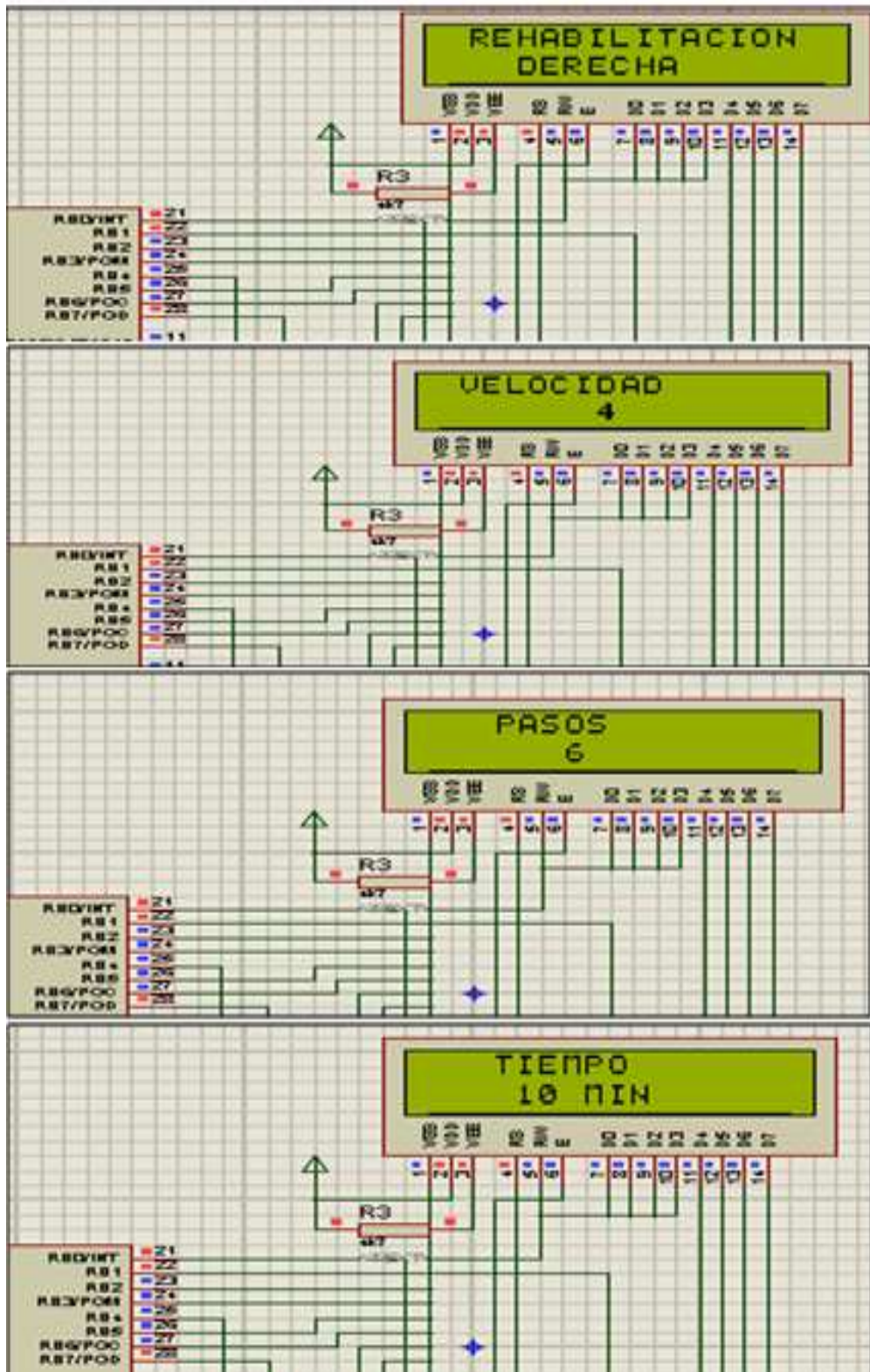


Figura 26. Prueba de interfaz.
Fuente. Elaborado por autor.

Ya verificada la programación se grabara el microcontrolador y se realizan pruebas finales al prototipo, se ensambla totalmente el equipo, se verifica la estructura metálica que brinde el soporte necesario al paciente, se acopla el paciente a las articulaciones mecánicas y se procede a colocar seguridades respectivas figura 27, seguridades del exoesqueleto.



Figura 27. Seguridades del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.

Una vez asegurado el paciente se ingresa las rutinas a ejecutar, tipo de rehabilitación, velocidad empleada, tiempo de rehabilitación, se realizaron pruebas al PIC y a la interfaz de usuario las cuales funcionan correctamente como se muestra en la figura 28 y 29, PCB en funcionamiento y pruebas en paciente. La estructura metálica se ajustó correctamente brindando seguridad y confianza para el paciente.

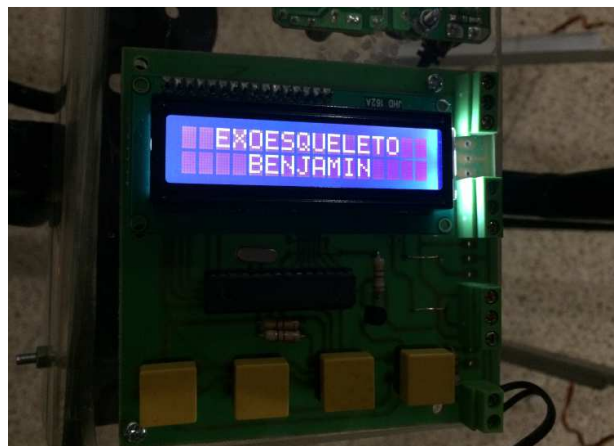


Figura 28. PCB funcionamiento.
Fuente. Elaborado por autor.



Figura 29. Prueba en un paciente.
Fuente. Elaborado por autor.

3.5. Calculo De Costos.

Se elaboró la tabla 3, cálculo de costos en donde se detalla el costo de los componentes del proyecto, estos valores obtenidos solo representan el costo por materiales y componentes por lo que no refleja el costo real del equipo, al omitirse costos por diseño y construcción.

CALCULO DE COSTO DEL EXOESQUELETO			
CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	ESTRUCTURA METALICA DEL EXOESQUELETO	100	100
1	ESTRUCTURA DE ALUMINIO DEL EXOESQUELETO	50	50
4	RUEDAS PARA DESPLAZAMIENTO	4	16
1	CIRCUITO IMPRESO Y COMPONENTES	40	40
4	SERVO MOTORES 15 KG/CM	25	100
1	SISTEMA DE SEGURIDAD PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES	25	25
TOTAL			331

Tabla 3. Calculo de costos del exoesqueleto.
Fuente. Elaborado por autor.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Resultados Del Diseño Del Prototipo Desarrollado.

Al finalizar el proyecto de investigación, que está orientado al prototipo de exoesqueleto, las características planteadas inicialmente se analizan en los siguientes párrafos.

El sistema mecánico cumplió con los requerimientos de proyecto permitió que el paciente de 3 años con diagnóstico de parálisis cerebral infantil, hipertonía de miembro superior e inferior izquierdo ver Anexos, se acople ergonómicamente a sus articulaciones, se desplazó con facilidad en línea recta durante la rutina de rehabilitación gracias a sus ruedas de desplazamiento.

La interfaz con las teclas permitieron un fácil control de las variables de la rehabilitación del paciente.

Los actuadores dieron la ayuda necesaria para el movimiento de las articulaciones, con la novedad que el paciente no debe de oponerse al movimiento por más de 30 segundos para evitar daños a los pacientes y sobrecargas a la fuente de energía.

Realizamos una prueba general el exoesqueleto diseñado con fines pediátricos. Las pruebas realizadas mostraron que el mecanismo de acople permite adaptarse correctamente a las dimensiones del usuario y así no incomodarlo, las pruebas de movimiento de las articulaciones constatan el buen funcionamiento de los actuadores para la flexión, extensión de la rodilla y el correcto funcionamiento de las seguridades aplicadas.

4.2. Cumplimiento De Los Objetivos.

4.2.1. Objetivo General.

El objetivo general se cumplió al concluir el diseño del prototipo y ser probado en un niño de 3 años, el cual está dentro del rango proyectado, se utilizó microntroladores de ocho bits para el control de los actuadores y la interfaz de usuario.

4.2.2. Objetivos Específicos.

Las bibliografías permitieron ilustrar nuevos conocimientos sobre exoesqueletos y sus diferentes tecnologías.

Se desarrolló el prototipo de forma correcta permitiéndose ser ajustado a medidas de niños de 2 a 4 años según las tallas estipuladas en la organización mundial de la salud acoplando para esto actuadores que permitan controlar el ángulo de giro hasta 180 grados.

Las variables del exoesqueleto fueron controladas mediante una interfaz visual utilizando sistemas embebidos para el sistema de control cumpliendo de esta forma los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación.

4.3. Análisis De La Metodología Empleada.

En esta etapa se analizara si la metodología empleada fue la correcta empleada para ir de inicio a fin durante la ejecución del proyecto.

4.3.1. Análisis De La Metodología.

La metodología empleada permitió desarrollar una investigación ordenada siguiendo paso a paso la planificada al inicio del proyecto y enrutar de una forma correcta para cumplir tanto como el objetivo general como los específicos.

4.3.2. Análisis De La Hipótesis.

El equipo exoesqueletico permitió realizar rehabilitación física de las extremidades inferiores brindándole ergonomía y buen equilibrio al momento de ejecutar las rutinas y movimientos de la marcha con una fácil adaptación a la estructura del cuerpo humano y de manera ajustable para niños de 2 a 4 años de edad. Se realizaron diversas pruebas que permitieron determinar una buena ergonomía y compatibilidad de los pacientes con el equipo, así como una fácil comprensión de la interfaz por parte del especialista, lo que asegura que el proceso de rehabilitación tendrá, al menos en estos aspectos, las expectativas planteadas inicialmente y plasmadas en la hipótesis.

4.3.3. Análisis De La Solución Del Problema.

Con el exoesqueleto logramos brindar una terapia de rehabilitación en el Ecuador que le ayudaran al paciente brindándoles una fuerza inicial para realizar sus movimientos y note de manera más rápida los resultados ya que en la primera terapia el paciente se mantendrá de pie con equilibrio al realizar la marcha. Todo a un bajo costo y lo más importantes con materiales accesibles en el mercado.

CAPITULO V: CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.

5.1. Conclusiones.

- Mediante el uso de microcontroladores es posible diseñar equipos de rehabilitación física automatizados, que funcionen de forma robusta, eficiente y con una reducción considerable en sus costos.
- Los actuadores (servo motor), de aplicación general, utilizados en el diseño del equipo exoesqueleto, tuvieron un desempeño adecuado según las condiciones impuestas por el proceso de rehabilitación, lo que facilita el diseño de equipos robustos económicos y fiables.
- Los sistemas basados en microcontroladores permiten el diseño de aplicaciones muy versátiles, que se ajustan fácilmente a los requerimientos y exigencias propios de los procesos de rehabilitación física en infantes.
- Los exoesqueletos son estructuras que pueden ser utilizados como base para el diseño de equipos de rehabilitación física, consiguiéndose una buena aceptación por parte del paciente como del terapeuta.
- El diseño de una buena interfaz de usuario es fundamental para que el operario pueda programar, configurar y ejecutar las secuencias en un exoesqueleto de rehabilitación física, reduciendo considerablemente las probabilidades de error.

5.2. Recomendaciones.

- En la medida de lo posible, se recomienda incorporar un dispositivo sea acústico o visual, que sirva para atraer la atención del paciente (infante), lo cual permitirá que el proceso de rehabilitación sea más atractivo para el paciente.
- Se puede integrar un sistema de alimentación portátil, capaz de suministrar la energía necesaria para energizar el exoesqueleto y no depender del suministro de energía domiciliaria.
- Se recomienda, de manera periódica revisar las partes mecánicas móviles y realizar los ajustes y el mantenimiento necesario, a fin de evitar lesiones físicas durante la ejecución de la rehabilitación.
- El equipo de rehabilitación exoesqueleto no ha sido diseñado para pacientes con parálisis total ni con problemas neurológicos graves (convulsiones), por lo tanto bajo ningún motivo el equipo debe de ser utilizado con este tipo de pacientes.
- La rehabilitación física utilizando el equipo exoesqueleto, debe de ser siempre supervisado por un especialista en el área, para verificar el uso correcto, los avances del paciente y el buen uso del mecanismo.
- Se recomienda verificar periódicamente que todas las conexiones eléctricas del equipo, se encuentren en buen estado, para evitar corto circuitos o daños en sus componentes.

5.3. Trabajo A Futuro.

Aunque el equipo actualmente está funcionando según lo planificado y cumple las expectativas planteadas inicialmente, se puede mejorar el proceso de rehabilitación, a través del uso de un ordenador, que a través de una interfaz con el exoesqueleto permitiría llevar el control del proceso, la generación de registros históricos de cada uno de los pacientes, que permitirá analizar y valorar el avance de los pacientes de una forma más sencilla y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

Villalba, M., Garrido, L., Franco, H., Toro, N., Rodríguez, J., (2012). *Diseño y simulación de un exoesqueleto de miembro inferior para la asistencia en marcha a pacientes con paraplejia flácida*. Manizales, Colombia: Universidad Autónoma de Manizales.

Gavilanes, M, (2014). *Equipo para rehabilitación de parálisis cerebral infantil*. (Trabajo de graduación de diseñadora de objetos). Universidad del Azuay, Cuenca Ecuador.

Grosso, J., Tibaduiza, D., (2008). *Diseño y Validación de un Exoesqueleto Maestro-Esclavo para Rehabilitación de piernas*. Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Sánchez, E., (2010). *Control y Programación de Robots*. Colombia: Universidad de Navarra.

López, R., Aguilar, H., Salazar, S., Lozano, R., Torres, J., (2014). *Modelo y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de Libertad*. México: Elseiver España.

Zapata, C., Batres, M., Lerna, R., Ronquillo, K., (2015). *Diseño e Implementación de un Exoesqueleto Prototipo con Manipulación de los Actuadores por Señales Mioelectricas para Personas con Discapacidad*. México: Universidad de Chihuahua.

Font, J., Arroyo, G., Alonso, F., Vinagre, B., (2010). *Diseño de una Ortesis Activa para Ayuda a la Marcha de Lesionados Medulares*. España: Asociación Española de Ingeniería Mecánica.

Chávez, M., Rodríguez, F., Baradica, A., (2010). *Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y Apoyar la Rehabilitación*. Medellín, Colombia: Revista de Ingeniería Biomédica.

Gutiérrez, R., Niño, P., Avilés, O., Vanegas, F., Duque, J., (2007). *Exoesqueleto Mecatrónico para Rehabilitación Motora*. Cusco: Universidad Militar Nueva granada.

Martínez, M. (2011). *Diseño de un Banco de Pruebas para un Exoesqueleto de miembro Superior*. (Tesis para la Obtención del Título en Ingeniería Técnica Industrial Mecánica). Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, España.

Narváez, M., Castañeda, S., Mancilla, H., (2009). *Configuración Mecánica de Ortesis Activa de Miembro Inferior para Pacientes con Paraplejia*. Sonora, México: Somim.

Grosso, J., Tibaduiza, D., (2009). *Diseño Conceptual de un Exoesqueleto para Asistir la Rehabilitación de miembro Inferior*. Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Lugo, M., (2013). *Diseño Robótico de un Exoesqueleto Pediátrico de Miembro Superior Basado en Criterios Clínicos y Antropomórficos para análisis de Movimiento y Rehabilitación*. (Tesis para Obtener el Grado de Maestro en Ciencias). Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Coahuila de Zaragoza.

Palacios, C., (2014). *Diseño y Construcción de un Exoesqueleto para Rehabilitación de la Extremidad Superior derecha*. (Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Macarrónico). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito Ecuador.

Loja, J., Ordoñez, A., (2016). *Diseño y Construcción de un exoesqueleto de Rodilla Robótica para Asistir a pacientes en Etapas de Rehabilitación*. (Tesis previa la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones). Universidad de Cuenca, Cuenca Ecuador.

ANEXOS.

ANEXO A: Data sheet regulador lm7805.



SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

KIA7805AP/API~
KIA7824AP/API
BIPOLAR LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

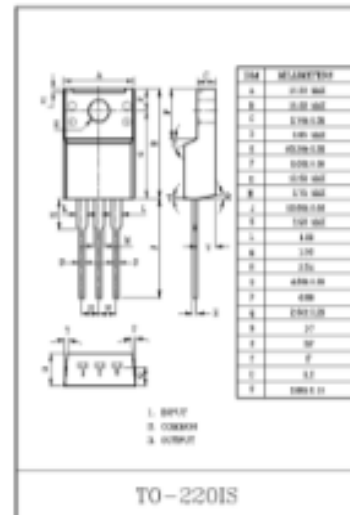
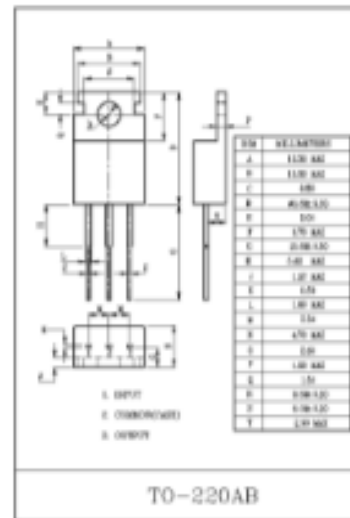
THREE TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS
5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 20V, 24V.

FEATURES

- Suitable for C-MOS, TTL, the Other Digital IC's Power Supply.
- Internal Thermal Overload Protection.
- Internal Short Circuit Current Limiting.
- Output Current in Excess of 1A.
- Satisfies IEC-65 Specification. (International Electrotechnical Commission).

MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Input Voltage	KIA7805AP/API~ KIA7815AP/API	V _{IS}	35	V
	KIA7818AP/API~ KIA7824AP/API		40	
Power Dissipation (Tc=25°C)		P _D	30.8	W
Power Dissipation (Without Heatsink)		P _D	2.0	W
Operating Junction Temperature		T _J	-30~150	°C
Storage Temperature		T _{stg}	-55~150	°C



KIA7805AP/API ~ KIA7824AP/API

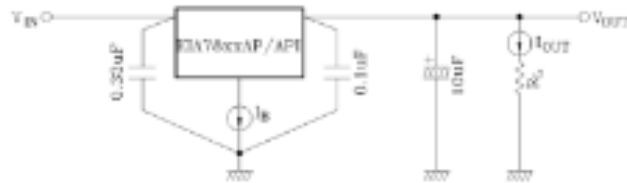
KIA7805AP/API

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{IN}=10V$, $I_{OUT}=500mA$, $0^{\circ}C \leq T_1 \leq 125^{\circ}C$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Output Voltage	V_{OUT}	1	$T_1=25^{\circ}C$, $I_{OUT}=100mA$	4.8	5.0	5.2	V	
Input Regulation	Reg line	1	$T_1=25^{\circ}C$	$7.0V \leq V_{IN} \leq 25V$	-	3	100	mV
				$8.0V \leq V_{IN} \leq 12V$	-	1	50	
Load Regulation	Reg load	1	$T_1=25^{\circ}C$	$5mA \leq I_{OUT} \leq 1.0A$	-	15	100	mV
				$250mA \leq I_{OUT} \leq 750mA$	-	5	50	
Output Voltage	V_{OUT}	1	$7.0V \leq V_{IN} \leq 20V$ $5.0mA \leq I_{OUT} \leq 1.0A$, $P_D \leq 15W$	4.75	-	5.25	V	
Quiescent Current	I_Q	1	$T_1=25^{\circ}C$, $I_{OUT}=5mA$	-	4.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	1	$7.0V \leq V_{IN} \leq 25V$	-	-	1.3	mA	
Output Noise Voltage	V_{NO}	1	$T_1=25^{\circ}C$, $100Hz \leq f \leq 100kHz$ $I_{OUT}=50mA$	-	50	-	μV_{RMS}	
Ripple Rejection Ratio	RR	1	$f=120Hz$, $8.0V \leq V_{IN} \leq 18V$, $I_{OUT}=50mA$, $T_1=25^{\circ}C$	62	78	-	dB	
Dropout Voltage	V_D	1	$I_{OUT}=1.0A$, $T_1=25^{\circ}C$	-	2.0	-	V	
Short Circuit Current Limit	I_{SC}	1	$T_1=25^{\circ}C$	-	1.6	-	A	
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TC_{VO}	1	$I_{OUT}=5mA$, $0^{\circ}C \leq T_1 \leq 125^{\circ}C$	-	-0.6	-	mV/ $^{\circ}C$	

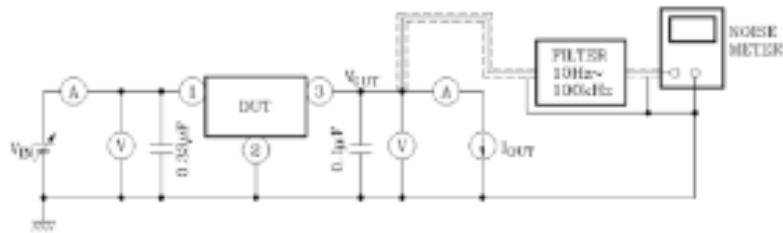
KIA7805AP/API ~ KIA7824AP/API

TEST CIRCUIT1/STANDARD APPLICATION CIRCUIT

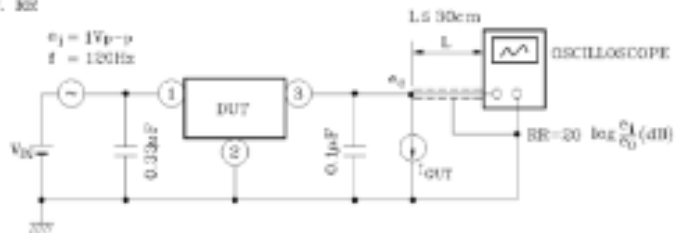


TEST CIRCUIT

1. V_{OUT} , $R_{eq} \cdot line$, $R_{eq} \cdot load$, V_{OUT} , I_B , ΔI_B , V_{SD} , $\Delta V_{OUT} / \Delta I_L$, $V_{IN} - V_{OUT}$, TC_{10}



2. RR





PIC16F870/871

28/40-Pin, 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

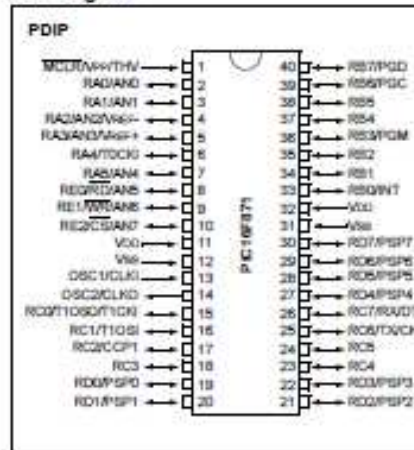
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F870
- PIC16F871

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 2K x 14 words of FLASH Program Memory
128 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
64 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16CXXX 28 and 40-pin devices
- Interrupt capability (up to 11 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low power consumption:
 - < 1.6 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

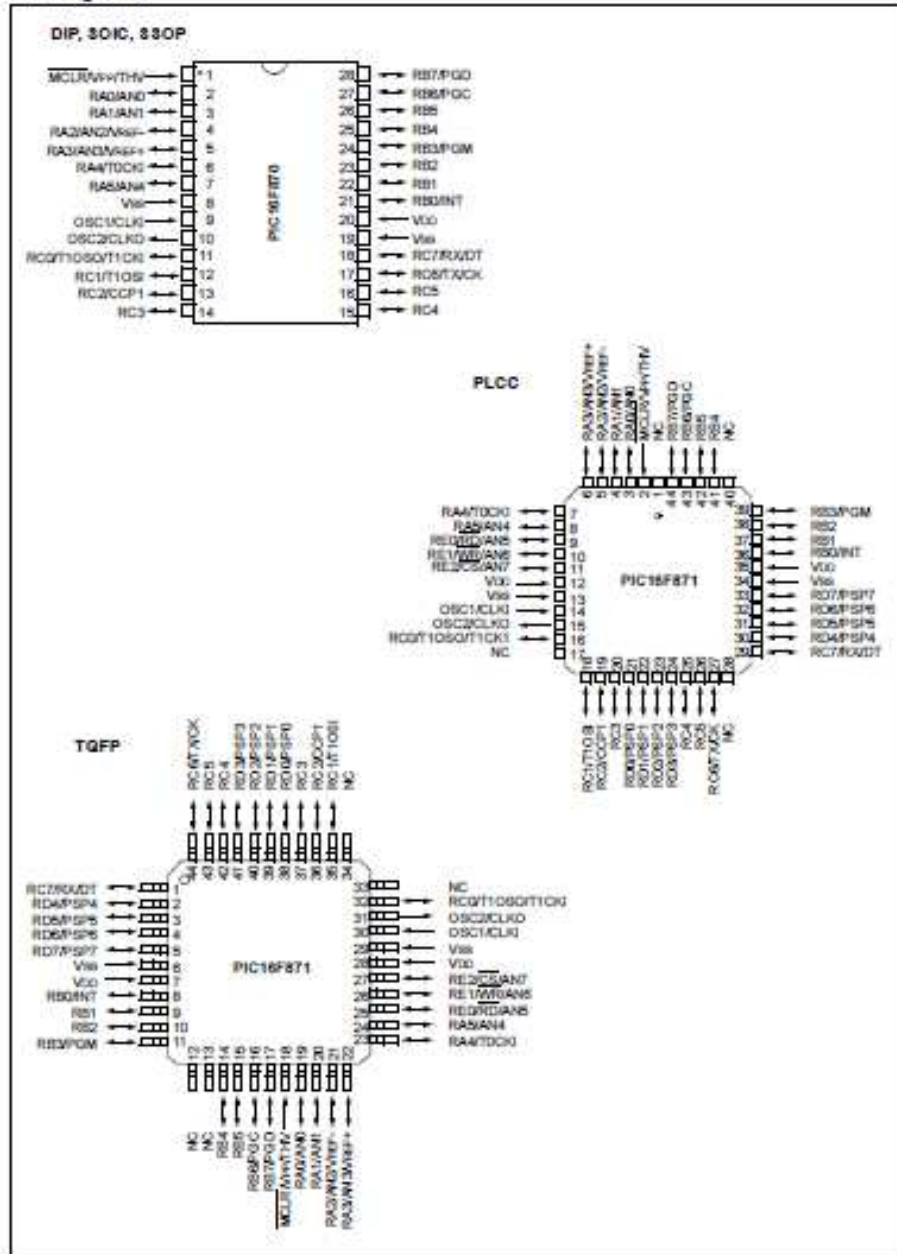


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- One Capture, Compare, PWM module
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

PIC16F870/871

Pin Diagrams



PIC16F870/871

Key Features PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023)	PIC16F870	PIC16F871
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	2K	2K
Data Memory (bytes)	128	128
EEPROM Data Memory	64	64
Interrupts	10	11
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3
Capture/Compare/PWM modules	1	1
Serial Communications	USART	USART
Parallel Communications	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions

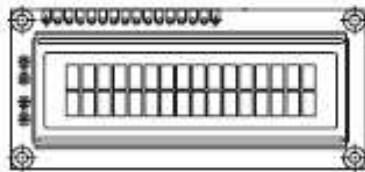
ANEXO C: Data sheet LCD Im016.



LCD-016M002B

Vishay

16 x 2 Character LCD



FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A/K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 95.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	3.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - VO	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC/400Hz	-	-	5.0	mA	

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

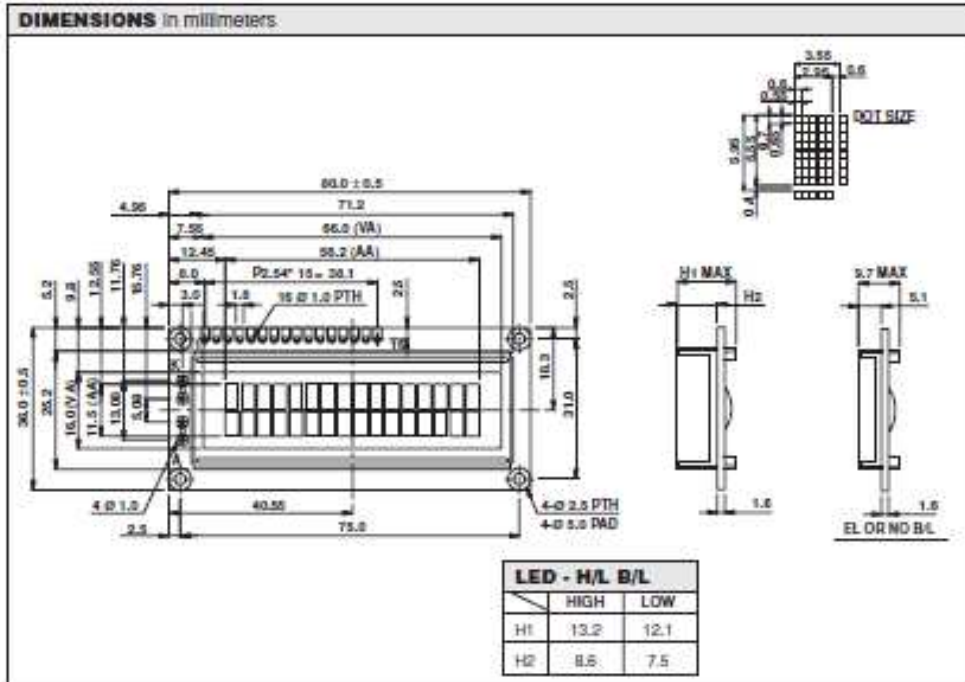
LCD-016M002B

Vishay

16 x 2 Character LCD



PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+3V or +5V
3	V0	Contrast Adjustment
4	RS	HL Register Select Signal
5	R/W	HL Read/Write Signal
6	E	H-L Enable Signal
7	DB0	HL Data Bus Line
8	DB1	HL Data Bus Line
9	DB2	HL Data Bus Line
10	DB3	HL Data Bus Line
11	DB4	HL Data Bus Line
12	DB5	HL Data Bus Line
13	DB6	HL Data Bus Line
14	DB7	HL Data Bus Line
15	A/Vee	+4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (DV)



ANEXO D: Código fuente realizado en PIC Basic.

```
*****
* NOMBRE : EXOESQUELETO.BAS *
* AUTOR: KLEBER NÚÑEZ F. *
* Date : 18/02/17 *
* Versión: EXOESQUELETO 1.0 *
*****

@deviceXT_OSC
; DEFINE LAS VARIABLES
UNO VAR portb.0
DOS VAR portb.1
TRES VAR portb.2
CUATRO VAR portb.3
A VAR portb.4
B VAR portb.5
C VAR portb.6
D VAR portb.7
BIP VAR portc.1
LED VAR porta.3
REH VAR BYTE
VEL VAR BYTE
TIEMP VAR BYTE
SONIDO VAR BYTE
NUMERO VAR byte
x VAR byte
y VAR byte
; DEFINE LOS PINES DEL LCD, DE ENTRADA Y SALIDA
DEFINE LCD_DREG PORTC
DEFINE LCD_DBIT 4
DEFINE LCD_RSREG PORTC
DEFINE LCD_RSBIT 3
DEFINE LCD_EREG PORTC
DEFINE LCD_EBIT 2
TRISB=%00001111
TRISC=0
TRISA=0
; INICIA EN TECLADO
GOTO teclado
; ENCERA LAS VARIABLES Y MUESTRA MENSAJE EN LCD
Teclado:
REH=0
VEL=0
TIEMP=0
UNO=0
DOS=0
TRES=0
A=0
B=0
C=0
x=150
LCDOUT $FE,$80," EXOESQUELETO "
LCDOUT $FE,$C0," BENJAMÍN "
PAUSE 100
; LEE EL TECLADO LA OPCIÓN MENÚ
INICIO:
LOW A
```

```

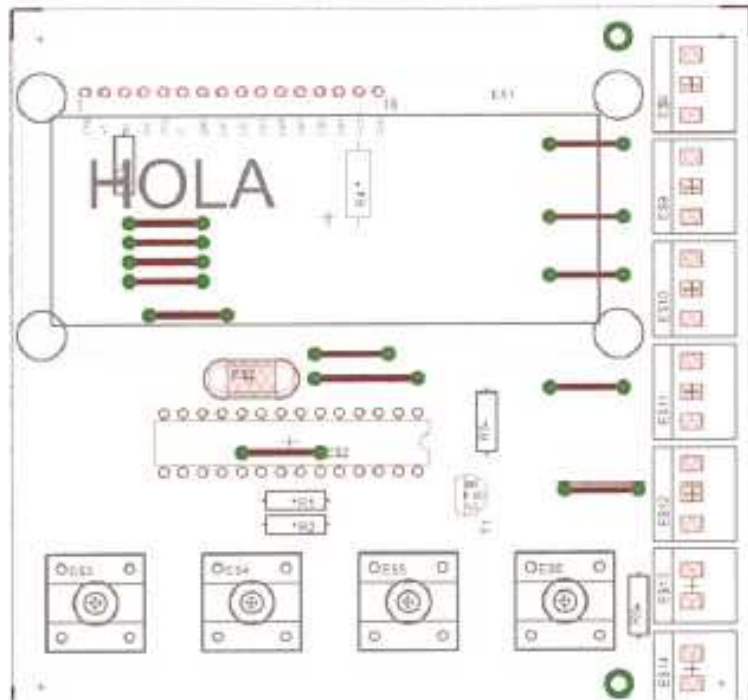
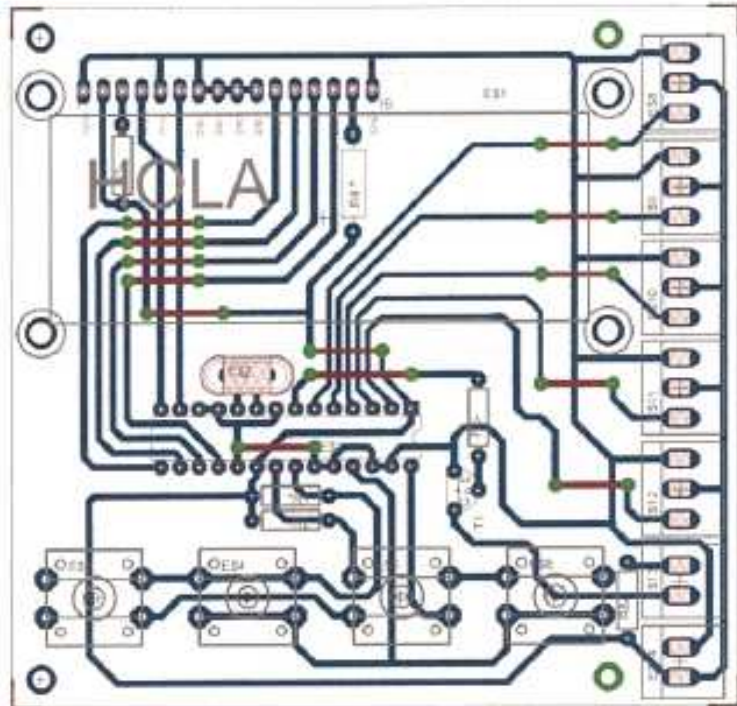
PAUSE 10
HIGH A
LOW B
PAUSE 10
HIGH B
LOW C
PAUSE 10
HIGH C
LOW D
IF uno=0 THEN MENÚ
HIGH D
GOTO INICIO
; MUESTRA LAS VARIABLES EN LA LCD Y LEE EL TECLADO
MENÚ:
LCDOUT $FE,1
LCDOUT $FE,$80,"REHA.VELO.TIEMP."
LCDOUT $FE,$C6,DEC VEL
LCDOUT $FE,$C0,DEC reh
LCDOUT $FE,$CC,DEC TIEMP
PAUSE 100
UNO=0
DOS=0
TRES=0
A=0
B=0
C=0
PAUSE 10
LOW A
IF uno=0 THEN start
IF dos=0 THEN incVEL
HIGH A
LOW B
PAUSE 10
HIGH B
LOW C
PAUSE 10
HIGH C
LOW D
IF uno=0 THEN increh
IF DOS=0 THEN inctiemp
HIGH D
PAUSE 10
GOTO MENÚ
; INCREMENTA EL VALOR DE REH DE 1 EN 1
increh:reh=reh+1
IF reh>=4 THEN reh=0
PAUSE 10
GOTO MENU
; INCREMENTA LA VELOCIDAD DE 1 EN 1
incVEL:VEL=VEL+1
IF VEL>=6 THEN VEL=0
PAUSE 10
IF VEL=1 THEN x=200
PAUSE 10
IF VEL=2 THEN x=190
PAUSE 10
IF VEL=3 THEN x=180

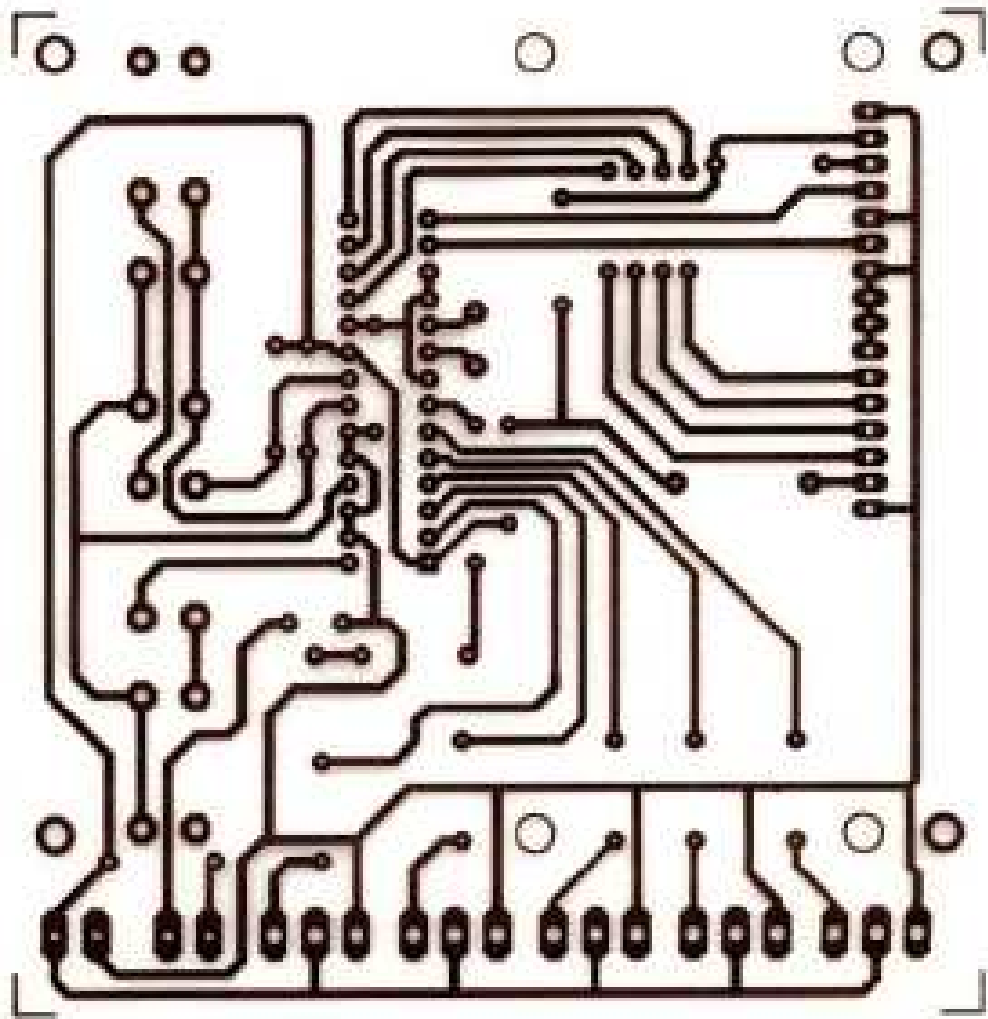
```

```

PAUSE 10
IF VEL=4 THEN x=170
PAUSE 10
IF VEL=5 THEN x=165
PAUSE 10
IF VEL=0 THEN x=150
PAUSE 10
GOTO MENU
; INCREMENTA EL TIEMPO DE 5 EN 5 MINUTOS
inctiemp: tiemp=tiemp+5
IF tiemp>=26 THEN tiemp=0
PAUSE 10
GOTO MENÚ
; EJECUTA LAS VARIABLES PROGRAMADAS MEDIANTE EL TECLADO
start:
UNO=0
DOS=0
TRES=0
A=0
B=0
C=0
PAUSE 10
LCDOUT $FE,1
LCDOUT $FE,$80,"INICIO"
LOW A
PAUSE 10
HIGH A
LOW B
PAUSE 10
HIGH B
LOW C
PAUSE 10
HIGH C
LOW D
IF uno=0 THEN borra
HIGH D
IF VEL=1 THEN y=2000
IF VEL=2 THEN y=4000
IF VEL=3 THEN y=6000
IF VEL=4 THEN y=8000
IF VEL=5 THEN y=10000
PULSOUT porta.0,x PAUSE y
PULSOUT porta.1,x PAUSE y
PULSOUT porta.2,x PAUSE y
PULSOUT porta.3,x PAUSE y
GOTO start
; BORRA LAS VARIABLES Y REGRESA AL INICIO.
borra:
x=150
y=0
GOTO MENÚ
;
END

```





**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Núñez Franco, Kleber José**, con C.C: # **(0926612094)** autor/a del trabajo de titulación: **ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE EXOESQUELETO PARA LA REHABILITACIÓN PEDIÁTRICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA Y LA INTERFAZ DE USUARIO** previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónica en Control y Automatismo** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **20** de **03** de **2017**

f. _____

Nombre: **Núñez Franco, Kleber José**

C.C: **0926612094.**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis y diseño de un prototipo de exoesqueleto para la rehabilitación pediátrica de los miembros inferiores, utilizando sistemas embebidos para el control del sistema y la interfaz de usuario.		
AUTOR(ES)	Kleber José Núñez Franco		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Eduardo Vicente Mendoza Merchán		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control Y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de marzo de 2017	No. DE PÁGINAS:	80
ÁREAS TEMÁTICAS:	Electrónica, Mecatronica, Electrónica médica.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Rehabilitación, exoesqueleto, microcontroladores, interfaz, prototipo, robótica.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	En este trabajo se presenta el análisis, diseño y construcción de un exoesqueleto que servirá para la rehabilitación física de los miembros inferiores de niños que sufren de atrofas muy comunes como golpes, fracturas o relacionadas con la actividad neuronal (derrame cerebral). Se diseñó y desarrollo un prototipo de exoesqueleto con el uso de componentes mecánicos, electrónicos, micro programables y de software, que proporciona un adecuado control de su funcionamiento. Se han utilizado mecanismos robóticos de un grado de libertad para la rehabilitación de sus extremidades inferiores, y la estructura mecánica, se adapta según normas establecidas por la organización mundial de la salud para niños de 2 a 4 años. Los movimientos de las articulaciones de la rodilla se logra por medio de cuatro actuadores que generan los movimientos, los cuales son controlados por un sistema basado en microcontroladores que envía la información necesaria para su correcta coordinación, considerando las variables ingresadas por el terapeuta como tiempo, velocidad y área a rehabilitar mediante una interfaz visual. Los sistemas basados en microcontroladores permiten el diseño de aplicaciones muy versátiles, que se ajustan fácilmente a los requerimientos y exigencias propios de los procesos de rehabilitación física en infantes.		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-0982366863	E-mail: Kleber90@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
	Teléfono: +593-4-0985086815		
	E-mail: edu.mendoza@hotmail.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			