UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TEMA:

Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral mediante el uso de microcontroladores PIC.

AUTORA:

Pacheco Vélez, Lilena Yanelian

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio

Guayaquil, Ecuador

2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. **Pacheco Vélez Lilena Yanelian** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

_____

M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio

DIRECTOR DE CARRERA

_____

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pacheco Vélez, Lilena Yanelian**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación **"Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral mediante el uso de microcontroladores PIC"** previo a la obtención del Título de **Ingeniera Electrónica en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2020

LA AUTORA

_____

PACHECO VÉLEZ, LILENA YANELIAN

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Pacheco Vélez, Lilena Yanelian**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **"Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral mediante el uso de microcontroladores PIC"**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

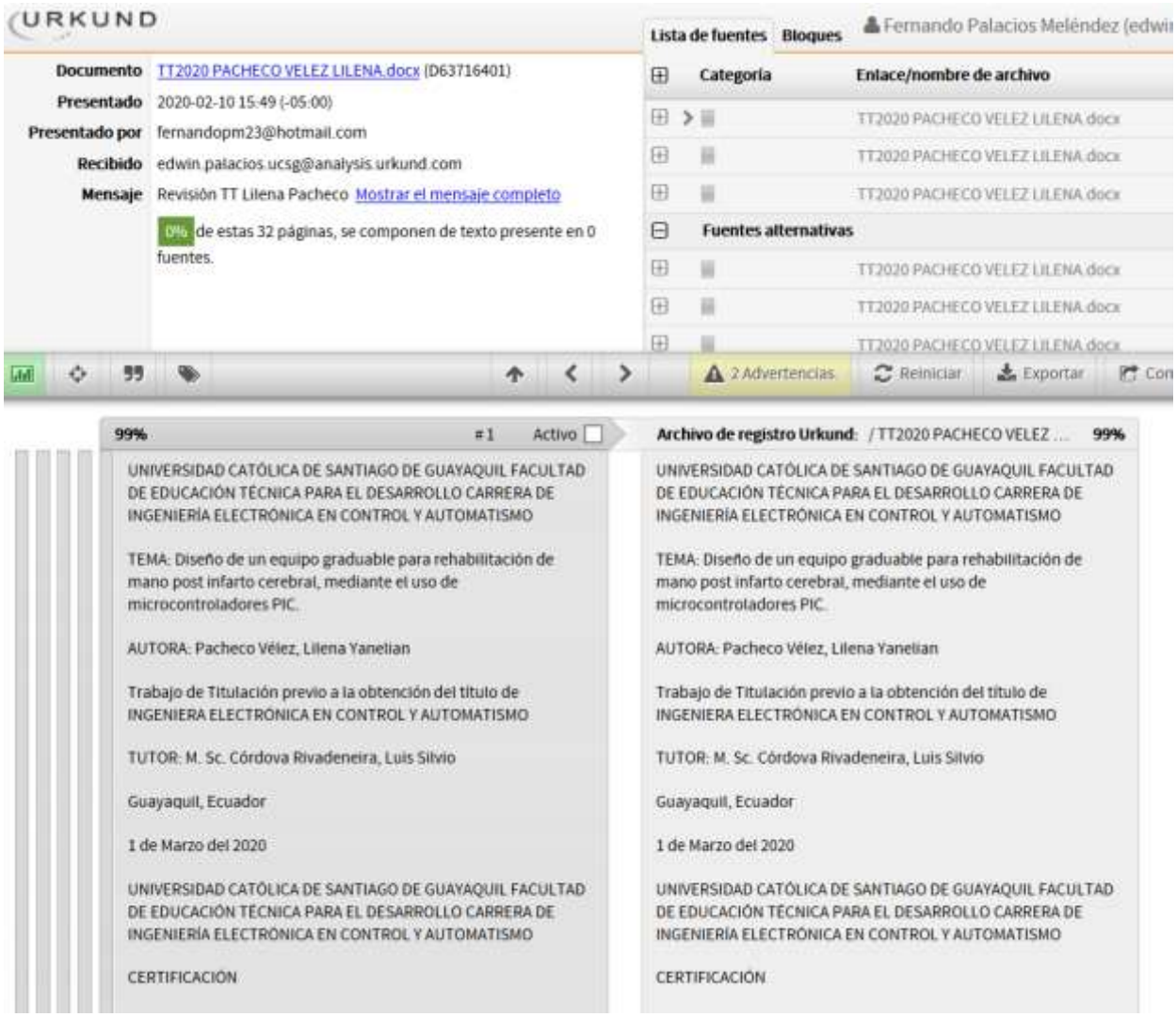
Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2020

LA AUTORA

_____

PACHECO VÉLEZ, LILENA YANELIAN

REPORTE DE URKUND



DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a los dos pilares fundamentales a lo largo de mi vida, mi madre y mi padre. Madre, María Elena Vélez Loor, este logro es para ti por haberme brindado tu total confianza, apoyo, fortaleza y amor incondicional en cada una de las etapas de mi vida académica, gracias por alentarme a seguir a pesar de las adversidades, eres la luz de mis días. Padre, Simón Eduardo Pacheco Martínez, aunque no pudimos compartir estos momentos juntos esto es para ti, sé que tus ojos brillarían de orgullo al verme culminar esta etapa. Ustedes dos tienen mi amor, admiración y respeto por siempre.

LA AUTORA

_____

PACHECO VÉLEZ, LILENA YANELIAN

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación ha demandado esfuerzo y mucha dedicación de mi parte, pero no hubiese sido posible su exitosa culminación sin la ayuda, cooperación y aporte de las personas que a continuación nombrar.

A ti Dios mío, primero por bendecirme, por acompañarme y orientarme a lo largo de mi carrera, por ser fortaleza en los momentos de dificultades, por las oportunidades de vida que me has brindado, por los espacios de aprendizaje, experiencia, formación académica y espiritual y por hacer realidad este sueño anhelado.

A mis amados padres, este logro es fruto del apoyo vital y desinteresado de quien nos ama, gracias porque siempre creyeron en mí, y por hacerme saber que todo lo que con esfuerzo se trabaja genera frutos que te conducen al éxito, a la felicidad y a la satisfacción personal.

Al master Luis Córdova Rivadeneira, tutor de la tesis, por la orientación, apoyo, aporte invaluable y dedicación brindada en cada una de las etapas del trabajo de investigación, gracias por la confianza y objetividad, gracias por respetar mis ideas y sugerencias, gracias por las exigencias adquiridas, todo esto facilitó el cumplimiento de las metas en cuanto a tiempo y calidad del resultado obtenido.

Al master Fernando Palacios, agradezco su orientación, cooperación y tiempo, factores que permitieron enriquecer el trabajo de investigación con cada una de sus sugerencias, fortaleciendo de esta manera los resultados de la investigación con la aplicación del modelo matemático, gracias por su visión crítica en muchos aspectos, todo aquello me motivó durante el desarrollo de la tesis.

En este recorrido la vida colocó en el momento indicado ángeles que brindaron de manera desinteresada su apoyo, gracias, Andrés Peña por ser parte de esta etapa, tu aporte, colaboración, tiempo y sugerencias han sido

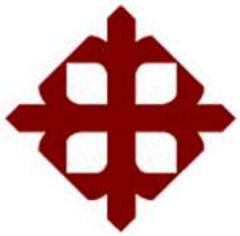
invaluables, gracias por siempre estar ahí motivándome, esto generó una aptitud de logro que me permitió terminar con éxito.

Para todos ellos, va mi más sincero respeto y agradecimiento, son mi referente a seguir en la vida.

LA AUTORA

_____

PACHECO VÉLEZ, LILENA YANELIAN



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

f. _____

M. Sc. MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras ..... **XII**

Índice de Tablas ..... **XV**

Resumen ..... **XVI**

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación **2**

1.1. Introducción. **2**

1.2. Antecedentes. **3**

1.3. Definición del Problema. **4**

1.4. Justificación del Problema. **5**

1.5. Objetivos del Problema de Investigación. **6**

1.5.1. Objetivo General. **6**

1.5.2. Objetivos Específicos. **6**

1.6. Hipótesis. **6**

1.7. Metodología de Investigación. **6**

Capítulo 2: Fundamentación Teórica **9**

2.1 Microcontroladores **9**

2.1.1 PIC16F628. ..... **10**

2.1.2 PIC16F877 ..... **16**

2.1.2.1 Memoria EEPROM **18**

2.1.2.2 Memoria RAM **18**

2.1.2.3 Configuración de los pines **19**

2.1.2.4 Oscilador externo **22**

2.1.2.5 Arquitectura interna **23**

2.2 Servomotores **24**

2.2.1 Servomotor MG995 ..... **25**

2.3 Consecuencias del ictus. **26**

2.3.1. Consecuencias funcionales. **26**

2.3.2. Consecuencias a nivel familiar. 28

2.3.3. Consecuencias a nivel social y económico. 29

2.3.4. Rehabilitación post infarto cerebral....31

2.4. Técnicas de rehabilitación....32

2.4.1. Rehabilitación con robótica....34

2.4.2. Tele rehabilitación 36

Capítulo 3: Diseño, Implementación y resultados 38

3.1. Diseño del exoesqueleto (guante) 38

3.2. Modelo matemático 40

3.3. Materiales 43

3.4. Diseño de la PCB....44

3.4.1. Diseño esquemático 44

3.4.2. Diseño de Layout 48

3.5. Diagrama de Flujo (Algoritmo) 49

3.6. Programación del PIC 16F877 49

3.7. Resultados de programación del PIC en Proteus 57

3.8. Validación del equipo por un profesional de salud 59

3.9. Hardware ensamblado....61

Conclusiones. 62

Recomendaciones.....63

Bibliografía....64

Índice de Figuras

Capítulo 1:

Figura 1. 1 Modelo de método en V. 7
Figura 1. 2 Modelo en V aplicado al tema " Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral, mediante el uso de microcontroladores PIC." 8

Capítulo 2

Figura 2. 1: Pines de I/O (entrada/salida) del PIC 16F628. 11
Figura 2. 2: Diagrama de los bloques funcionales del PIC. 13
Figura 2. 3: Arquitectura Harvard. 14
Figura 2. 4: Mapa de la memoria de programa. 14
Figura 2. 5: Mapa de la memoria de datos SRAM. 15
Figura 2. 6: Esquema de microcontrolador. 18
Figura 2. 7: Estructura del PIC 16F877. 19
Figura 2. 8: Pines del PIC 16F877. 19
Figura 2. 9: Puertos del PIC 16F877. 20
Figura 2. 10: Capacidad de corriente de los pines y puertos 16F877. 22
Figura 2. 11: Esquema de conexión de un oscilador XT. 23
Figura 2. 12: Arquitectura del PIC 16F877. 23
Figura 2. 13: Partes de un servomotor. 25
Figura 2. 14: Diagrama de bloques de un servomotor. 25
Figura 2. 15: Hemisferios del cerebro y sus funciones. 28
Figura 2. 16: Terapia Bilateral. 32
Figura 2. 17: Terapia de movimiento inducido por restricción. 33
Figura 2. 18: Terapia Espejo. 34
Figura 2. 19: Interacción bidireccional e intercambio de información. 35
Figura 2. 20: Tele rehabilitación. 37

Capítulo 3

Figura 3. 1: Principio de funcionamiento del guante. 38
Figura 3. 2: Vista lateral-superior izquierda del guante. 39
Figura 3. 3: Vista superior-lateral izquierda del montaje del servomotor. 39

Figura 3. 4: Vista inferior del soporte del brazo y los dedos. 40
Figura 3. 5: Vista lateral izquierda de los dedos del guante. 40
Figura 3. 6: Mecanismo de funcionamiento. 41
Figura 3. 7: PIC 16F877..... 43
Figura 3. 8: Servomotor MG995. 43
Figura 3. 9: LCD 4X20. 43
Figura 3. 10: Keyboard o teclado. 44
Figura 3. 11: Ácido poliláctico (PLA). 44
Figura 3. 12: Diseño de la PCB en Proteus. 45
Figura 3. 13: LCD 4X20 y microcontrolador PIC. 45
Figura 3. 14: Teclado matricial 3X4 y microcontrolador PIC. 46
Figura 3. 15: Reloj DS1302 y microcontrolador PIC. 47
Figura 3. 16: Master Clear y microcontrolador PIC. 47
Figura 3. 17: Diseño Layout de la PCB 48
Figura 3. 18: Diagrama de flujo. 49
Figura 3. 19: Directivas, librerías y puertos..... 50
Figura 3. 20: Declaración de funciones y variables globales. 50
Figura 3. 21: Función void main (). 51
Figura 3. 22: Ingreso por teclado. 51
Figura 3. 23: Funciones de presentación y configuración. 52
Figura 3. 24: Programación del menú. 53
Figura 3. 25: Función nivel. 53
Figura 3. 26: Función tiempos. 54
Figura 3. 27: Función por dedos. 55
Figura 3. 28: Movimiento de cada dedo. 55
Figura 3. 29: Función toda la mano. 56
Figura 3. 30: Proceso grupal completado. 57
Figura 3. 31: Inicio del programa. 57
Figura 3. 32: Menú principal. 58
Figura 3. 33: Movimiento individual de dedos. 58
Figura 3. 34: Movimiento grupal de dedos (toda la mano). 59
Figura 3. 35: Fin del proceso. 59
Figura 3. 36: Validación por parte de un profesional. 60
Figura 3. 37: Exoesqueleto ensamblado. 61

Figura 3. 38: Placa de circuito ensamblada. 61

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Funciones especiales de los pines. 12
Tabla 2. 2: Registro de estados de memoria RAM. 16
Tabla 2. 3: Descripción de los puertos del PIC 16F877. 20
Tabla 2. 4: Corriente máxima en los puertos del PIC 16F877. 21
Tabla 2. 5: Características del servomotor MG995. 25
Tabla 2. 6: Porcentajes de consecuencias de un ictus. 27

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Amplitud de movimientos en cm. 42

Resumen

Los infartos cerebrales, también conocidos como accidentes cerebrovasculares o ictus, corresponden al primer lugar en causantes de discapacidad, la recuperación motora y neuronal es un tema preocupante para los pacientes y el sistema hospitalario. El método más utilizado para tratar estos casos de discapacidad es la fisioterapia asistida, sin embargo, ésta suele estar condicionada o limitada por cortos tiempos de sesión, entre 20 a 60 minutos, lo que aplaza o extiende el tiempo de recuperación. El presente proyecto de tesis tiene como objetivo el diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral, mediante el uso de microcontroladores PIC, que promete al usuario acelerar el tiempo de recuperación a nivel motriz y neuronal, con relación a la terapia tradicional, ya que al ser un equipo automatizado ofrece al paciente rehabilitación diaria sin tiempo límite y con diferentes niveles de intensidad de acuerdo con los resultados que se vayan obteniendo.

Palabras claves: ICTUS, REHABILITACIÓN, EXOESQUELETO, PIC, NEURONAL, AUTOMATIZACIÓN

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción.

Un infarto cerebral o ictus es una enfermedad que se produce a partir de una obstrucción o rompimiento en los vasos sanguíneos que transportan sangre al cerebro, esto ocasiona que el cerebro no reciba el suficiente flujo de sangre, glucosa y oxígeno, como consecuencia las terminaciones nerviosas del área perjudicada actúan de forma disfuncional afectando la movilidad del cuerpo. Según las causas que la originen, esta patología puede también llamarse accidente cerebrovascular y trombosis.

Alrededor de 18 millones de personas a nivel mundial se ven afectadas por los efectos colaterales que deja un infarto cerebral, convirtiendo a esta afección en la causa número uno de discapacidad adquirida en adultos. Cada parte del cuerpo es controlada por una distinta área del cerebro, al producirse un ictus las conexiones neuronales se ven afectadas, como consecuencia, el cerebro deja de ejercer control sobre las funciones que debe cumplir una determinada zona del cuerpo. El nivel de daño motriz, sensitivo o cognitivo depende de las conexiones neuronales que hayan sido dañadas, el tratamiento puede ser total o parcialmente correctivo según el caso presentado.

Desde el notable avance en equipos que permiten la identificación del deterioro cerebral hasta nuevos sistemas y softwares que facilitan los procesos de recuperación, las opciones de ayuda y rehabilitación han ido mejorando con el paso de los años y la tecnología ha jugado un papel fundamental en el tratamiento actual de los pacientes.

En América Latina, principalmente en países como Ecuador, las opciones diseñadas como apoyo a la rehabilitación fisioterapéutica intensiva, indispensable para tratar víctimas de accidentes cerebro vascular, son escasas, lo cual incita a las nuevas generaciones al desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías de tratamiento post ictus.

1.2. Antecedentes.

Gracias a los avances de la tecnología se puede garantizar precisión y exactitud en el diseño de exoesqueletos, optimizando el proceso de rehabilitación e intervención de diferentes discapacidades en el movimiento generadas por ictus. Los laboratorios de marcha y análisis de movimiento desde el punto de vista tecnológico, analiza el movimiento del ser humano desde tres procesos diferentes, uno de ellos es el tridimensional que captura el movimiento a través de una cámara digital, el segundo sistema es el encargado de medir momentos de fuerza y potencia en el movimiento y el tercer sistema registra la actividad de contracción del musculo en forma individual o grupal.

Bajo este principio Martínez Bea Javier (2016), de la Universidad Politécnica de Valencia, planteó el "Diseño e implementación de un brazo robot portable para discapacitados", el objetivo fue diseñar un dispositivo que permitiría al paciente con discapacidad ejecutar funciones básicas, a un costo razonable de fabricación. El brazo robot es un dispositivo híbrido entre prótesis y ortesis, pero no reemplaza la extremidad faltante y se ubica por arriba del brazo afectado y con la aplicación de dispositivos de control le permite al paciente realizar parte de las actividades que la discapacidad le impide, sin cambiar las características estructurales o funcionales.

Con este propósito Cuzco Simbaña e Illescas Arcentales (2016), de la Universidad Politécnica de Cuenca, en la investigación "Análisis del dimensionamiento electrónico y simulación en 3D de un exoesqueleto parte inferior para marcha bípeda" plantearon que el diseño debía cumplir con características específicas de seguridad, evitando movimientos inesperados y fuerza desmedida, para ello fue necesario que el diseño fuese mecánico y al mismo tiempo electrónico, la sección electrónica lo hizo un modelo confiable de alta precisión y eficaz al momento de tomar decisiones, la parte mecánica brindaría estabilidad y sumaría esfuerzo al rendimiento del equipo.

Así mismo, Arango Gómez (2018), estudiante de la Universidad Tecnológica de Mixteca, en la tesis titulada "Diseño y construcción de un

prototipo de exoesqueleto para miembro inferior de infantes con discapacidad motriz", planteó como propósito de este dispositivo emular la marcha, permitir movimientos de exión y extensión de la pierna, además de ser ajustable en longitud, ya que como fue diseñado para niños se consideró que éstos tienden a crecer muy rápidamente y el objetivo era que utilizaran el prototipo el tiempo requerido para la rehabilitación. Hoy en día, los sistemas móviles de rehabilitación para la marcha en la superficie son robots con servomotores seguidores de los movimientos de locomoción del paciente.

La revista Mexicana de Ingeniería Biomédica publicó la investigación de Cruz Martínez, Vilchis González, Zúñiga Avilés, Ávila Vilchis, y Hernández Sánchez (2018), que basándose en 4 casos de estudio plantearon el diseño del exoesqueleto ERMIS, orientado a la rehabilitación de miembros superiores con enfoque en la rehabilitación pasiva, haciendo un análisis de los ejercicios físicos a aplicar y de las patologías.

Con el objetivo de llevar a cabo la experimentación en los casos formulados se hizo el seguimiento de los datos de las trayectorias de las articulaciones del brazo de un paciente, y con la participación de un terapeuta se realizaron los ejercicios de rehabilitación. Para simular los movimientos anatómicos del brazo se diseñó ERMIS, un exoesqueleto de siete grados de libertad. Se corroboró el adecuado funcionamiento del proyecto simulando el modelo dinámico de este y comparándolo con los datos recopilados a partir de los ejercicios. Al emular la terapia con timón se obtuvo una precisión de desempeño promedio del 95% en los movimientos de hombro, codo y muñeca.

1.3. Definición del Problema.

Los casos de discapacidad a causa de ictus o infarto cerebral van en incremento con el paso de los años. De cada 15 millones de casos registrados de infarto cerebral, un aproximado de 5 millones presenta una discapacidad como consecuencia de este evento, así lo asegura la Organización Mundial de la Salud (OMS) en un informe presentado en el año 2017. En América Latina el 0.8% de una muestra de 1000 habitantes que superan los 35 años

ha sido víctima de un infarto cerebral causando discapacidad, las cifras son tan alarmantes que, en algunos países Latinoamericanos, como Colombia, los ictus ocupan el primer lugar como causantes de discapacidad. Nuestro país no está exento de las secuelas que dejan los ictus, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) el infarto cerebral es una de las principales causas de discapacidad en la época actual, a pesar de que no existen estadísticas exactas de casos registrados en los últimos 5 años.

El daño motor provocado por un ictus debe ser tratado a través de sesiones de rehabilitación, en Ecuador el principal método empleado es la fisioterapia asistida siendo ésta en la gran mayoría de los casos limitada. Los pacientes desisten de esta técnica por varios factores, el factor principal es la mínima recuperación motora presentada con relación al tiempo transcurrido desde el inicio del tratamiento, ya que cada sesión de rehabilitación dura entre 20 a 60 minutos como máximo.

Como respuesta a esta problemática planteé una alternativa asequible y portátil, el diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral, mediante el uso de microcontroladores PIC.

1.4. Justificación del Problema.

La finalidad de la rehabilitación en pacientes afectados a causa de un ictus es ofrecer una mejor calidad de vida y un significativo avance en la restauración motora. No obstante, el progreso en las técnicas de terapia física para superar las secuelas originadas por un infarto cerebral continúa siendo insipiente, lo que conlleva a un retraso en la recuperación de los pacientes.

Los primeros 3 meses son claves para la reanimación motriz, la aplicación de un intenso plan de rehabilitación con tecnología especializada ayuda considerablemente a la recuperación tanto a nivel físico como neurológico. El uso de un equipo portátil de fisioterapia intensiva generaría una notable mejoría en la movilidad del paciente y su desarrollo neurológico en menor tiempo que la terapia tradicional, a su vez que representaría un ahorro económico para la persona afectada y el sistema hospitalario.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Diseñar e implementar un equipo graduable y portátil para rehabilitación motora de mano post infarto cerebral, mediante el uso de estructuras impresas en 3D y programación de microcontroladores PIC.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de los microcontroladores, servomotores y de la rehabilitación en problemas de infarto cerebral.
- Diseñar en un software 3D el exoesqueleto para procesos de rehabilitación de discapacidad debido a infartos cerebrales.
- Elaborar el algoritmo de la movilidad del exoesqueleto utilizando lenguaje de programación de alto nivel en el software PIC C Compiler.
- Evaluar el tiempo de funcionamiento del dispositivo de rehabilitación de mano.

1.6. Hipótesis.

El diseño e implementación de un equipo graduable y portátil para rehabilitación de mano permitirá restaurar la movilidad y el desarrollo neurológico de los pacientes que se han visto afectados por un infarto cerebral en menor tiempo que la fisioterapia tradicional.

1.7. Metodología de Investigación.

El presente proyecto de investigación busca generar conocimiento para aplicarlo directamente a un problema que adolece a cierto sector de la sociedad, enmarcándose en la investigación de tipo aplicada, la misma que se basa principalmente en los descubrimientos tecnológicos de la investigación básica, prestando atención en el proceso de enlace entre la teoría y la práctica en beneficio de la sociedad. Romero Roa (2012) expone que la investigación aplicada toma el nombre de “investigación práctica o empírica”, que busca la utilización de los conocimientos adquiridos para sistematizar e implementar la práctica y a partir de ésta adquirir nuevos conocimientos. (p. 47)

Este trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y al tener la posibilidad de controlar las variables del diseño y construcción del exoesqueleto se utilizará en la investigación la modalidad no experimental y experimental. La investigación requiere valoración y análisis de las variables, sobre todo en el interactuar del paciente con discapacidad y el dispositivo de rehabilitación, la modalidad no experimental lo permite y facilita a través de la investigación correlacional.

Por otra parte, para diseñar y crear las situaciones especiales esperadas que generen el movimiento de los dedos en cada juntura se hace necesario el control de las variables que permitirán reproducir los sucesos en forma favorable al resultado científico esperado. Para el desarrollo de la investigación las técnicas que se emplearon fueron la observación y el experimento.

A nivel de diseño e implementación se utilizó el método en V (véase la figura 1.1), este método es aplicado en proyectos mecatrónicos ya que hace enfoque en la necesidad de validación o verificación constante entre los requisitos o funciones definidas y el sistema. El método en V describe el proceso que conlleva el diseño de un sistema mecatrónico.

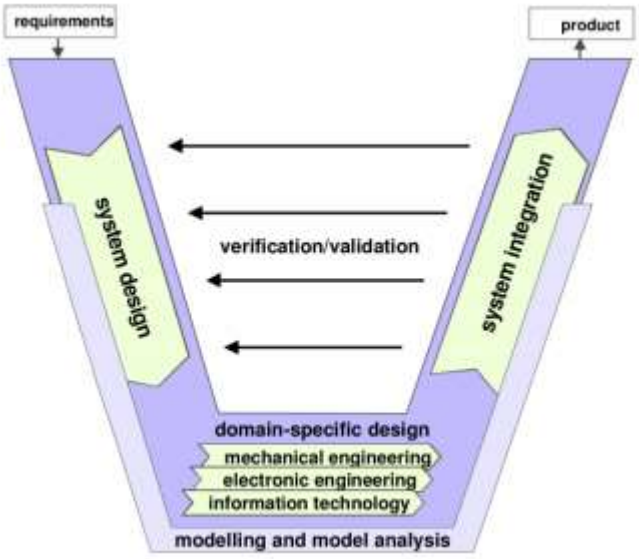


Figura 1. 1 Modelo de método en V.
Fuente: (Colomer Romero, 2013, p. 30)

A la izquierda del modelo en V se encuentran los requisitos de forma descendente, en esta etapa se definen los puntos necesarios para la obtención del sistema o producto, y al lado derecho figuran los resultados obtenidos de forma ascendente.

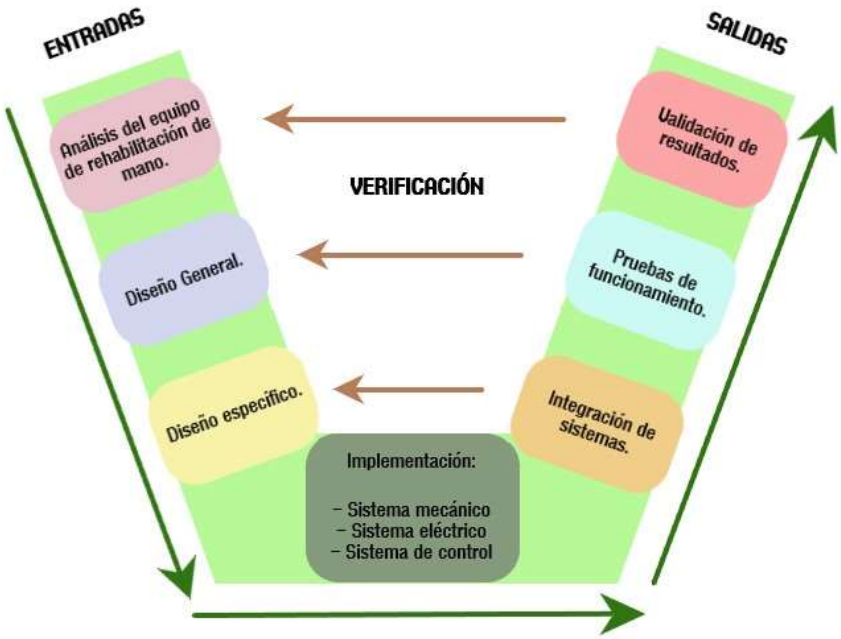


Figura 1. 2 Modelo en V aplicado al tema " Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral, mediante el uso de microcontroladores PIC."
Fuente: Autora.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

La finalidad de este apartado es describir los conceptos y bases legales que fundamentan este estudio y abordar investigaciones previas encontradas en la literatura gris que nos dan el punto de partida y permiten comparar los resultados de la investigación. En la sección de la fundamentación teórica, se abordan conceptos que describen la gestión, utilidad y características, arquitectura y memoria del programa de los microcontroladores PIC. El apartado que incluye la fundamentación legal abaliza la aplicación del sistema.

2.1 Microcontroladores

Valdés Pérez y Pállas Areny (2007) afirman que “los microcontroladores PIC tienen un procesador pequeño dentro de un circuito integrado que incluye una memoria de datos, memoria de programa, entradas y salidas, además conversores de señales digitales a análogas (DA) y de análogas a digitales (AD), para la transmisión y recepción de datos cuenta con módulos especializados.” La arquitectura de los PIC se basa al esquema de bloques, la arquitectura Harvard empleada en la actualidad cuenta con dos memorias de programa y de datos: una guarda únicamente instrucciones y los otros datos en la mayor parte de los microcontroladores la memoria de programas es más grande que la de datos, razón por la que está organizada en palabras de 12, 14 o 16 bits, a diferencia de la memoria de datos formada por registro de 8 bits.

En los microcontroladores PIC el acceso a los dispositivos de entrada y salida se lo hace utilizando los registros de memoria de datos, conocidos como registros de funciones especiales (SFR). Para el almacenamiento no volátil de datos, muchos microcontroladores PIC contienen cierta cantidad de memoria EEPROM. Según Valdés Pérez y Pàllas Areny (2007) los PIC son microcontroladores RISC, cuentan con un minúsculo número de instrucciones: entre 33 y 77, tienen el mismo tamaño todas las instrucciones, una palabra puede estar formada de 12, 14 o 16 bits. Desde la mira del programador, el microcontrolador PIC tiene un registro de trabajo (registro W) y registros de la

memoria de datos. Las operaciones aritméticas y lógicas, en cambio requieren que uno de los operandos este en el registro W y el resultado se obtiene en cualquier registro de la memoria de datos o en W. Las transferencias de datos se realizan entre algún registro de la memoria de datos y el registro W, los PIC de gama alta se dan transferencias directas entre dos registros de la memoria de datos, no requieren pasar por el registro W.

2.1.1 PIC16F628.

Ramírez (2013) refiere que el PIC16F628 incorpora tres características importantes como son: Procesador tipo RISC (juego reducido de 35 instrucciones), Procesador segmentado y una arquitectura Harvard, con estas características el PIC es capaz de ejecutar en un solo ciclo todas las instrucciones solicitadas.

Según la compañía Geek Factory (2017) la estructura segmentada permite realizar simultáneamente dos fases de descomposición de datos de cada instrucción, la fase de ejecución de la instrucción y la de búsqueda de la siguiente. El pilar de la arquitectura Harvard se basa en la separación de los dos tipos de memoria, lo que permite el acceso simultáneo e independiente a la memoria de instrucciones y de datos, además hace que cada una tenga el ancho y tamaño más adecuado. El dispositivo es de tipo Through-Hole, tiene 16 terminales de entrada y salida, soportan corrientes de hasta 25 mA, además incluye módulos de comunicación serie, comparadores, PWM, un oscilador interno RC de 4 MHz.

Por otra parte, el PIC16F628 tiene entre sus características un CPU de alto rendimiento RISC, velocidad de operación de DC-20 MHz, capacidad de interrupción, pila de 8 niveles, el modo de direccionamiento es directo, indirecto y relativo, un ancho de instrucciones de un byte y 35 simples instrucciones de palabra, las instrucciones son de ciclo único, excepto las de salto que requieren dos ciclos.

Trabaja con un voltaje de operación de 3 a 5.5 v, posee memoria de programa tipo FLASH con 2048 locaciones de 14 bits, memoria para datos:

memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory) de 224 bytes, es decir, cada registro consta de 8 bits, también posee una memoria ROM programable y borrable eléctricamente (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) de 128 bytes, 8 bits por registro. Una de las razones del éxito de los PIC se basa en que es muy sencillo su uso una vez que se conoce su arquitectura y su repertorio de instrucciones.

Este un dispositivo potente (tiempo de ejecución de instrucción de 200 nanosegundos) y a la vez muy fácil de programar (solo 35 instrucciones de una sola palabra en lenguaje ensamblador). Este microcontrolador PIC incorpora tecnología CMOS de 8 bits basado en FLASH con la potente arquitectura PIC® de Microchip en un paquete de 18 pines (véase la figura 2.1) para la conexión, es compatible con el PIC16F628, PIC16C62XA, dispositivos PIC16C5X y PIC12CXXX.

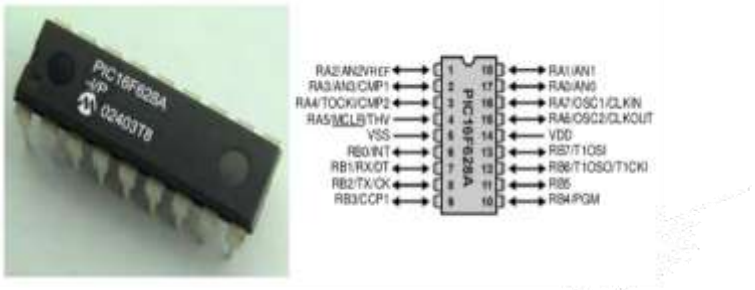


Figura 2. 1: Pines de I/O (entrada/salida) del PIC 16F628.
Fuente: (Reyes, 2008, p. 22)

El PIC16F628A presenta un oscilador interno de 4MHz, 128 bytes de memoria de datos EEPROM, captura / comparación / PWM, USART, 2 comparadores y una referencia de voltaje programable que lo hace ideal para aplicaciones de nivel analógico / integrado en aplicaciones automotrices, industriales, de electrodomésticos y de consumo (este microcontrolador no incluye conversor análogo/digital AD). En la tabla 2.1 se muestran las funciones especiales de los pines del PIC16F628A.

Los PIC son integrados que siguen una secuencia y pueden ser programados a través de una computadora. Es importante señalar que e PIC16F628 brinda una estructura de esquema universal, lo que lo convierte en uno de los más más utilizados por ser confiable y muy conocido. La figura

2.2 muestra por bloques el diagrama del circuito, el cual debe ser visto desde la electrónica como base en la programación de los microcontroladores PIC.

Tabla 2. 1: Funciones especiales de los pines.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
RA0/AN0 PIN 17	Entrada/Salida, comparador análogo (entrada).
RA1/AN1 PIN 18	Entrada/Salida, comparador análogo (entrada).
RA2/AN2/VREF PIN 1	Entrada/Salida, comparador análogo (entrada) y V. Referencia.
RA3/AN3/CMP1 PIN 2	Entrada/Salida, comparador análogo (entrada) y comparador análogo 1 (salida).
RA4/T0CKI/CMP2 PIN 3	Entrada/Salida, comparador análogo (entrada) y comparador análogo 2 (salida).
RA5/MCLR/VPP PIN 4	Entrada, modo Master Clear RESET externo.
RA6/OSC2/ CLKOUT PIN 15	Entrada/Salida, oscilador externo (entrada), cuarta parte de la frecuencia OSC 1 (salida).
RA7/OSC1/CLKIN PIN 16	Entrada/Salida, oscilador externo (entrada), entrada de reloj.
RB0/INT PIN 6	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión programable, entrada de interrupción externa.
RB1/RX/DT PIN 7	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión, entrada RS232, Entrada/Salida dato serial asincrónico.
RB2/TX/CK PIN 8	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión, salida RS232, Entrada/Salida dato serial asincrónico.
RB3/CCP1 PIN 9	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión, módulo CCP/ PWM I/O.
RB4/PGM PIN 10	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión, entrada del voltaje bajo de programación.
RB5 PIN 11	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión programable
RB6/T1OSO/T1CKI PIN 12	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión, salida oscilador TIMER1, entrada reloj de programación serial en circuito.
RB7/T1OSI PIN 13	Entrada/Salida, resistencia de elevación de tensión, entrada oscilador TIMER1, Entrada/Salida programación serial en circuito.

Fuente: (Reyes, 2008, p. 23)

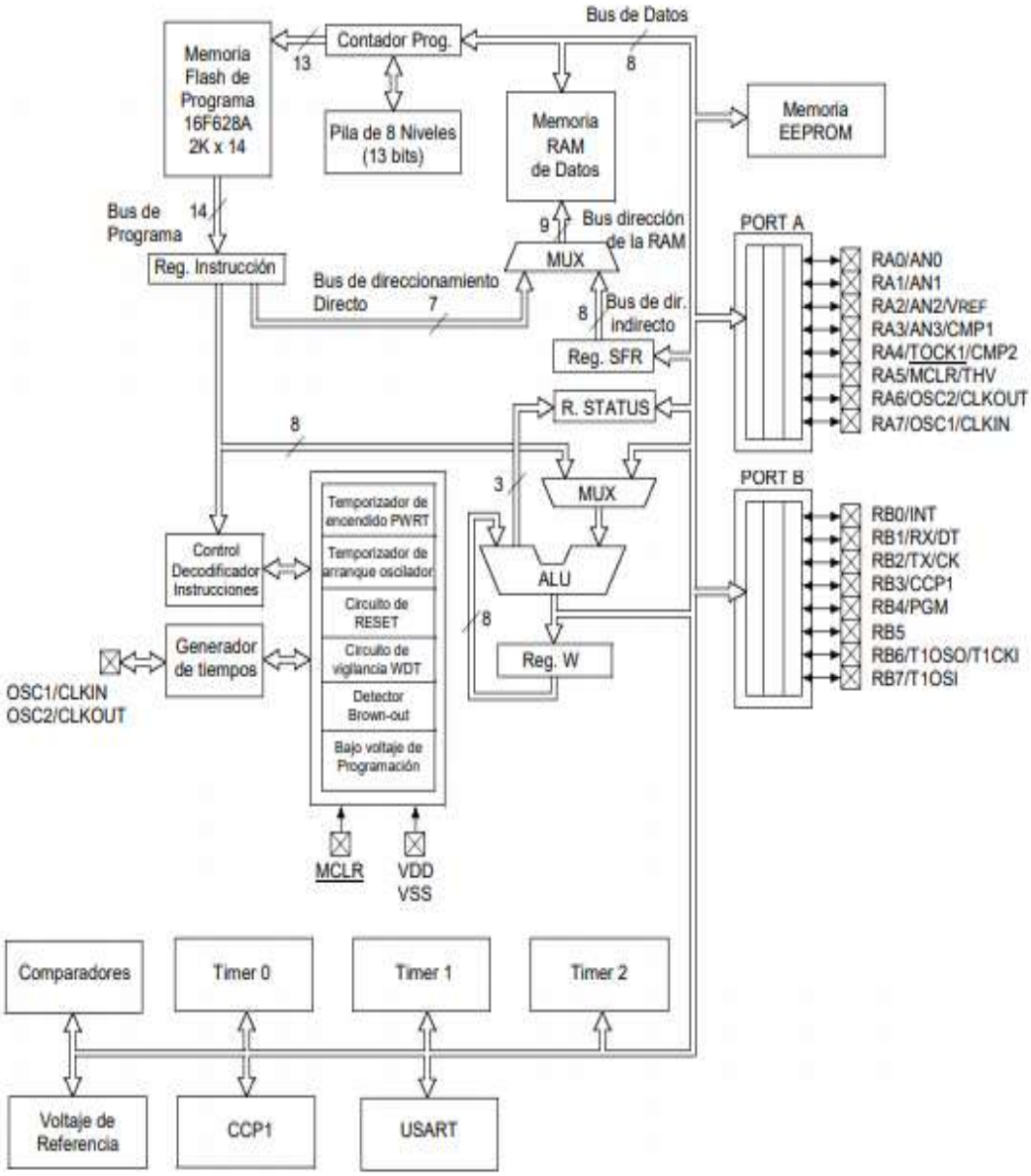


Figura 2. 2: Diagrama de los bloques funcionales del PIC.
Fuente: (Reyes, 2008, p. 19)

1.1.1.1 Arquitectura de los microcontroladores PIC 16F628.

Este modelo de PIC emplea un tipo procesador con arquitectura Harvard (véase la figura 2.3), esto le permite un mayor rendimiento en el instante que procesa las instrucciones, esta arquitectura emplea de manera independiente dos bloques de memorias, un bloque de memoria contiene instrucciones y el otro sólo datos, cada uno de ellos tiene un sistema de buses de acceso, para los datos 8 líneas y para las instrucciones 14 líneas, haciendo posible en las dos memorias ejecutar operaciones de acceso lectura o escritura simultáneamente, esto es conocido como paralelismo.

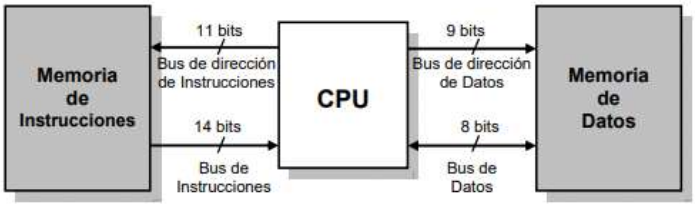


Figura 2. 3: Arquitectura Harvard.
Fuente: (Reyes, 2008, p. 18)

1.1.1.2 Memoria de programa del PIC16F628.

El microcontrolador está delineado de tal forma que se almacenen todas las instrucciones de programa en su memoria de programa, tal como se ilustra en la figura 2. 4. La memoria de programa tipo FLASH es no volátil, esto hace que tenga menor consumo de energía, se caracteriza por tener una mayor capacidad de almacenamiento, rapidez en el proceso de escritura y borrado eléctrico, características lo hacen ideal para las prácticas en laboratorios donde las grabaciones y borrados se dan con bastante frecuencia. La memoria FLASH, que incluye hace que el consumo de energía sea menor, además otro beneficio es que la capacidad de almacenamiento es mayor.

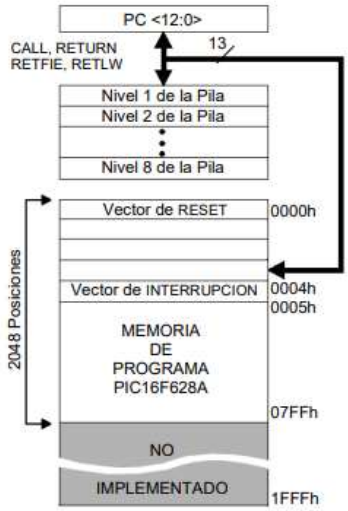


Figura 2. 4: Mapa de la memoria de programa.
Fuente: (Reyes, 2008, p. 20)

1.1.1.3 Memoria de datos del PIC16F628.

La variación continua de los datos que se manejan exigen una memoria de lectura y escritura, la más adecuada es la memoria RAM estática o SRAM, memoria de acceso casual tipo volátil, lo que significa que los datos permanecerán en la memoria mientras sea alimentado el dispositivo, ahí se

encuentran dos tipos de datos: los GPR es decir registros con propósito general, son los encargados de guardar las variables y los registros SFR es decir los registros especiales que tiene como finalidad llevar el control del conteo del temporizador, Además también está a cargo del contador del programa, configura las interrupciones y el estado de los puertos entre otros.

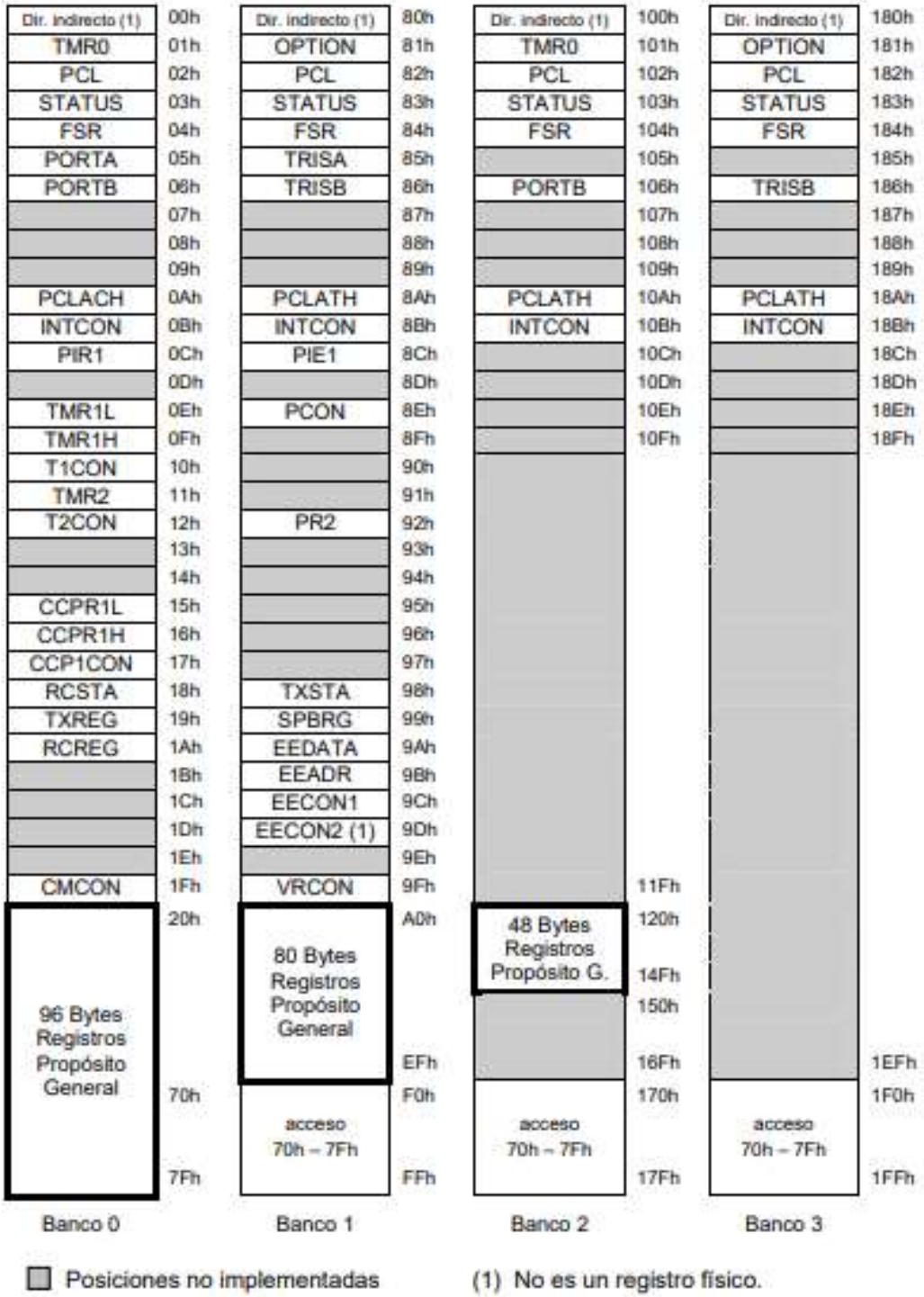


Figura 2. 5: Mapa de la memoria de datos SRAM.
Fuente: (Reyes, 2008, p. 21)

Otro tipo de memoria de datos para el PIC16F628 es una memoria auxiliar no volátil llamada EEPROM, que tiene una capacidad de 128 posiciones, de 8 bits cada una, es decir el anidamiento de las subrutinas lo permite el procesador de 8 niveles que tiene, es decir que 8 lugares diferentes de línea de programa pueden ser reiniciados y se vuelve volver a cada uno en el orden inverso en que fueron guardados.

Los pines de estos dispositivos deben estar obligatoriamente conectados en algún lado, por ningún concepto deben quedar al aire ya que al ser dispositivos de tecnología CMOS corre el riesgo de dañarse el integrado. En la fuente de alimentación de +5 Voltios, deben estar conectados los pines que no estén siendo utilizados. Además, el consumo de potencia es bajo va desde 2mA hasta 4 MHz, al ser estático hace que al paralizar el reloj la información no se pierda en la memoria RAM, estará disponible al reiniciarse el programa.

Reyes (2008) refiere que la memoria RAM cuenta de 512 líneas y cada línea tiene 8 bits y agrupada en 4 bancos: banco 0, banco 1, banco 2 y banco 3, cada uno de ellos de 128 bytes, accediendo por medio de los bits RP1 y RP0 del registro STATUS.

En este sentido, Angulo Usategui y Angulo Martinez (2006) afirman que la manera de acceder a la memoria RAM es a través de los bits 6 y 5 (registros de estados) conocidos también como RP1 y RP0, tal como se muestra la tabla 2.2.

Tabla 2. 2: Registro de estados de memoria RAM.

BANCO	RP1	RP2
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

Fuente: Autora.

2.1.2 PIC16F877

Valdés Pérez y Pàllas Areny (2007) aseguran que el microcontrolador PIC16F877 es fabricado por MicroChip Technology en tecnología CMOS, se

denomina PIC. El modelo 16F877 es un dispositivo muy versátil, práctico eficiente, tiene un mínimo consumo de potencia, otro beneficio de este dispositivo es que los datos de la memoria no se pierden así el reloj se detenga. El microcontrolador PIC16F877 soporta modo de comunicación serial, al tener dos pines para ello, amplia memoria para datos y programa tiene memoria reprogramable y se la conoce con el nombre de FLASH, la misma se puede borrar en forma electrónica (la "F" identifica al modelo), además tiene un set de instrucciones reducido, sin embargo, cuenta con todas las instrucciones que necesita (35) para su manejo (tipo RISC).

> En la familia de gama media se encuentra el modelo de PIC 16F877, éste conserva ciertos atributos de la gama baja pero se le incorporaron nuevos y mejorados atributos, lo que los convierte en microcontroladores más robustos en aplicaciones complejas, los mismos permiten interrupciones, gozan de poder realizar comparaciones de magnitudes analógicas, Convertidores A/D, temporizadores, puerto serie, memoria no volátil OTP (One Time Programmable) y una memoria ROM programable y borrable eléctricamente (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory), además posee 35 instrucciones de 14 bits de ancho (EcuRed contributors, 2010).

Por otra parte, según Parra (2010) este microcontrolador tiene el encapsulado más usual es el DIP (Dual In-line Pin) 40 pines, para utilizarlo en la experimentación es el más apropiado. Si utiliza cristal oscilador de hasta 4 MHz es PIC16F877- 04, es PIC16F877-20 si el dispositivo utiliza un cristal oscilador de hasta 20 MHz o PIC16F877A-I para el dispositivo tipo industrial que puede trabajar hasta a 20 MHz. En este sentido, existen encapsulados que cambian de acuerdo a las necesidades de diseño o aplicación, como es el caso del encapsulado tipo montaje superficial utilizado en producciones en serie por su reducido tamaño y bajo costo.

Según Mecafenix (2017) de manera general un microcontrolador consta de varios componentes que se resumen en la figura 2.6. Mientras que en la tabla 2.3 se muestran las características relevantes del PIC 16F877.

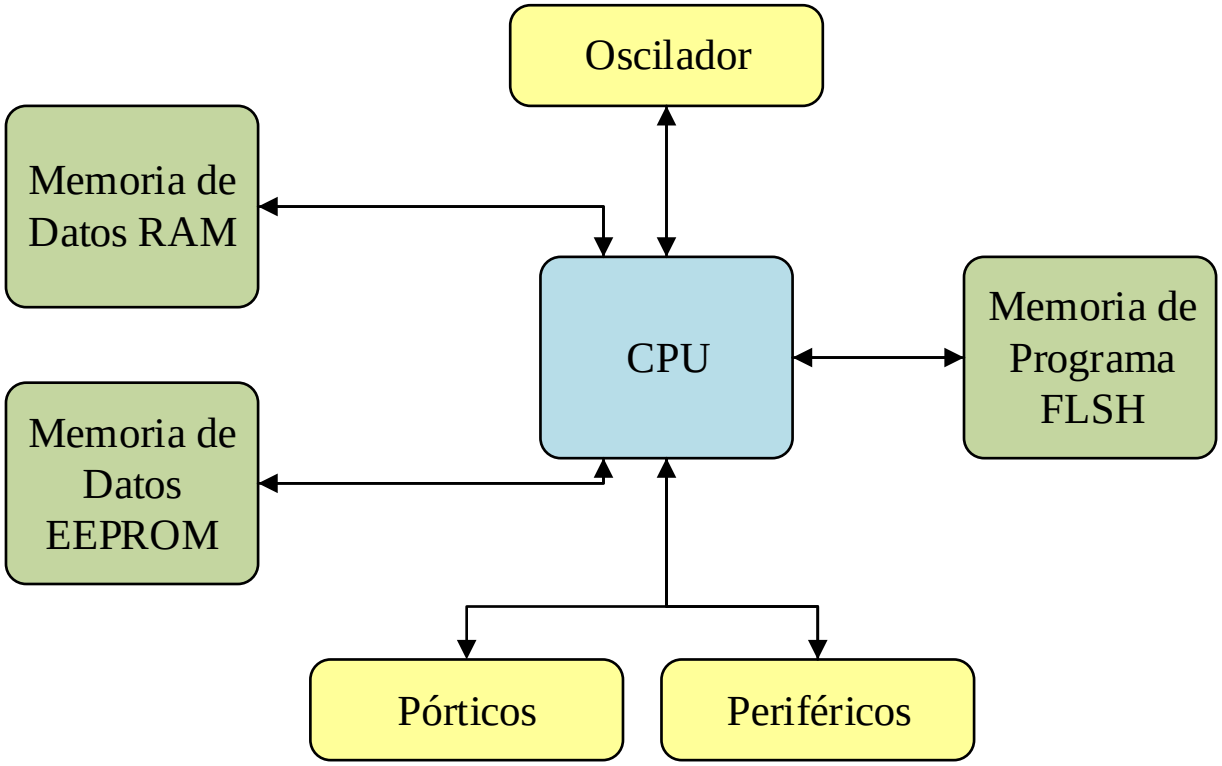


Figura 2. 6: Esquema de microcontrolador.
Fuente: Autora.

2.1.2.1 Memoria EEPROM

Para Mecafenix (2017) la memoria EEPROM es parecida a la memoria de programa, está permanentemente guardado el contenido de memoria EEPROM cuando se apaga la fuente de alimentación. Se diferencia de la ROM porque durante el funcionamiento del microcontrolador el contenido de la EEPROM puede cambiar. Por tal razón esta memoria que tiene 256 localidades es perfecta para almacenar constantemente resultados que se crean y se utilizan durante la ejecución del programa.

2.1.2.2 Memoria RAM

Mecafenix (2017) afirma que es la memoria más compleja del microcontrolador. Por otra parte, cuenta de dos partes; registros de propósito general y registros de funciones especiales (SFR). Estos registros se fraccionan en cuatro bancos de memoria. Al apagarse la fuente de alimentación los dos grupos de registros se enceran, su fabricación es similar al igual que su comportamiento sin embargo sus funciones no tienen muchas cosas en común.

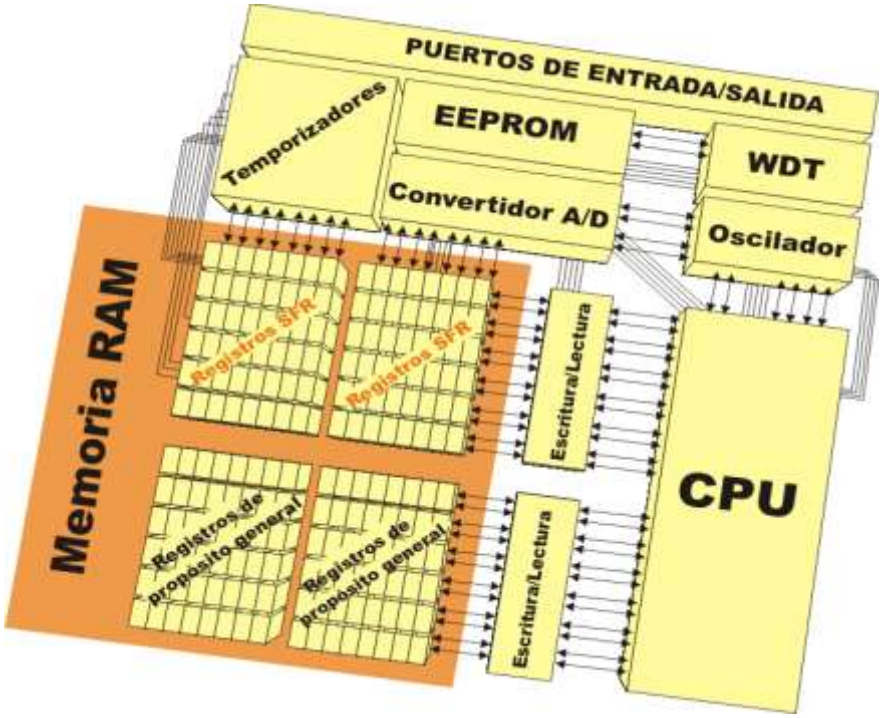


Figura 2. 7: Estructura del PIC 16F877.
Fuente: (MIKROE, 2010)

2.1.2.3 Configuración de los pines

Barra Zapata y Barra Zapata (2015) refieren que los pines de entrada y salida del microcontrolador (véase la figura 2.8) se organizan en cinco puertos, el puerto A consta de 6 líneas, el puerto B, C y D tienen 8 líneas, el puerto E formado por 3 líneas, tal como se muestra en la figura 2.9. Programando un par de registros diseñados se puede configurar como entrada/salida los pines ubicados en los diferentes puertos. Para configurar al pin del puerto de entrada se utiliza un bit en “1” y un bit en "0" para configurar el pin del puerto de salida.

Figura 2. 8: Pines del PIC 16F877.
Fuente: (Barra Zapata y Barra Zapata, 2015, p. 54)

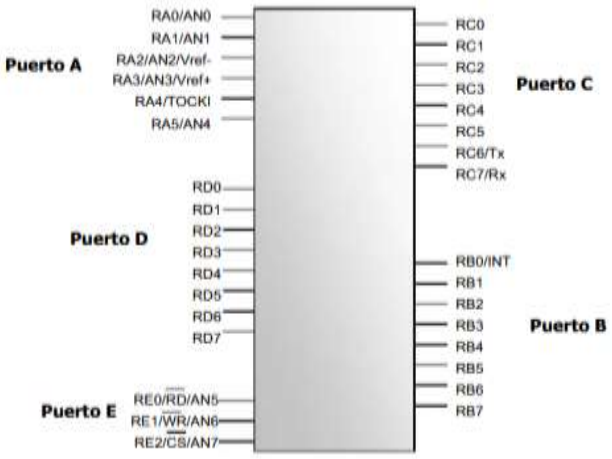


Figura 2. 9: Puertos del PIC 16F877.
Fuente: (Parra, 2010, p. 4)

El estudio realizado por Luis Parra (2010) evidencia como están organizados los pines de entrada y salida del microcontrolador y la forma como pueden trabajar los puertos, este texto citado en Tenorio Castillo y Mejía Quintero (2012) afirma que se puede conectar una señal de sensor o de un circuito análogo en los pines de los puertos A y E con el fin de que el microcontrolador transforme esta señal análoga en su equivalente digital permitiendo realizar procesos de instrumentación o control digital, ya que éstos pines pueden operar como I/O para el convertidor A/D. Si el pin RB0/INT es programado o configurado a través de software, usando bits de registros de interrupción, este puede ser operar como interruptor externo. (p. 64)

Tabla 2. 3: Descripción de los puertos del PIC 16F877.

Puerto A	Puerto B	Puerto C	Puerto D	Puerto E
Puerto e/s de 6 pines	Puerto e/s 8 pines	Puerto e/s de 8 pines	Puerto e/s de 8 pines	RE0/RD/AN5
RA0 /RA0 y AN0	Resistencias pull-up programables	RC0 /RC0, T1OSO (Timer1 salida oscilador) y T1CKI (Entrada de reloj del módulo Timer1).	Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo)	
RA1 / RA1 y AN1	RB0 /Interrupción externa	RC1-RC2 /PWM/COMP/CAPT	Puerto E:	RE1/WR/AN6
RA2 /RA2, AN2 y Vref-	RB4-7 /Interrupción por cambio de flanco	RC1 /T1OSI (entrada osc timer1)	Puerto de e/s de 3 pines	
RA3 /RA3, AN3 y Vref+		RC3-4 /IIC	RE0 /RE0 y AN5 y Read de PPS	

A4 /RA4 (Salida en colector abierto) y T0CKI (Entrada de reloj del módulo Timer0)	RB5-RB7 y RB3 /programación y debugger in circuit	RC3-5 /SPI	RE1 /RE1 y AN6 y Write de PPS	RE2/CS/AN7 Puerto E
RA5 /RA5, AN4 y SS (Selección esclavo para el puerto serie síncrono)		RC6-7 /USART	RE2 /RE2 y AN7 y CS de PPS	

Fuente: Autora.

Por otra parte, Barra Zapata y Barra Zapata (2015) afirman que en el puerto A el pin RA4 puede ser programado como pin I/O o entrada del T/C, puede identificar señales levemente distorsionadas y transformarlas a niveles lógicos (0 y 5V) cuando este está configurado como una entrada digital. Sin embargo, si es empleado como una salida digital su función es de colector abierto, lo que ocasiona que sea necesario el uso de una resistencia pull up (conectada a 5V); al ser usado como salida se invierte la lógica, es decir, si se escribe un 0 en el pin este entregará un 1 como respuesta, así mismo, sólo en el modo sumidero podría hacer uso de cargas como fuente. En el modo microprocesador mediante el uso de las líneas read, write y chip select el puerto E es capaz de controlar la conexión y el puerto D se desempeña como bus de datos de 8 bits.

Cada pin de los puertos cuando está en modo sumidero (sink) o en modo fuente (source) tiene una capacidad máxima de corriente de 25 MA.

Tabla 2. 4: Corriente máxima en los puertos del PIC 16F877.

Modo	Puerto A	Puerto B	Puerto C	Puerto D
Modo Sumidero	150 mA	200 mA	200 mA	200 mA
Modo Fuente	150 mA	200 mA	200 mA	200 mA

Fuente: (Parra, 2010, p. 5)

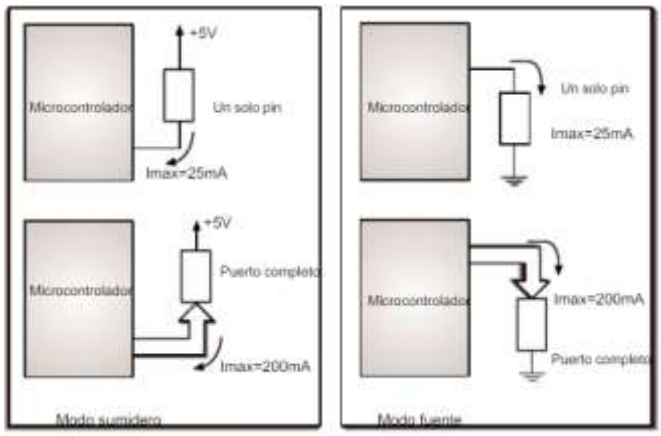


Figura 2. 10: Capacidad de corriente de los pines y puertos 16F877.
Fuente: (Parra, 2010, p. 5)

Por otra parte, El consumo de corriente para que funcione el microcontrolador depende de la frecuencia, voltaje de operación y de cuanta carga tengas sus pines. Para un consumo aproximado de 2mA el oscilador debe ser de 4 MHz, se pude hacer una reducción hasta de 40 amperios cuando se lo coloca en el modo sleep, en esta opción el consumo de potencia disminuye al detenerse el micro. De ese estado se retira cuando se suscitan circunstancias especiales.

2.1.2.4 Oscilador externo

Visualizar la velocidad del movimiento en que trabaja un microcontrolador es vital para éste, por lo tanto necesitan de un circuito externo que cumpla dicha función. A este circuito se lo conoce como el oscilador o reloj, es de vital importancia para el funcionamiento del sistema y es muy simple. Se puede utilizar cuatro tipos de osciladores entre estos los del PIC16F877, los mismos que tienen un oscilador con resistencia, cristal (XT), cristal de baja frecuencia y potencia (LP), cristal de alta frecuencia (HS) y condensador.

Es necesario especificar el tipo de oscilador a utilizar al momento de programar el microcontrolador, a través de los fusibles de configuración. Para las prácticas se sugiere emplear el oscilador el tipo XT con un cristal de 4MHz, lo que garantiza precisión, además es muy comercial. Esta frecuencia internamente es dividida por cuatro, así la frecuencia efectiva de trabajo es de 1 MHz, razón por la cual en un microsegundo se ejecuta una instrucción. El

cristal debe estar acompañado de dos condensadores, la Figura 2.11 muestra el esquema de la conexión.

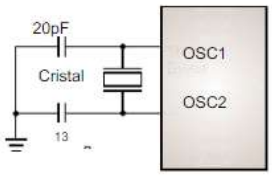


Figura 2. 11: Esquema de conexión de un oscilador XT.
Fuente: (Parra, 2010, p. 7)

2.1.2.5 Arquitectura interna

Luis Parra (2010) cita en su texto El Microcontrolador PIC16F877 que la arquitectura está conformada por los bloques funcionales y la ubicación de las conexiones de estos dentro del microcontrolador (por ejemplo: memoria FLASH (de programa), memoria RAM (de datos) y los puertos), además de la lógica de control encargada de que funcione todo el conjunto.

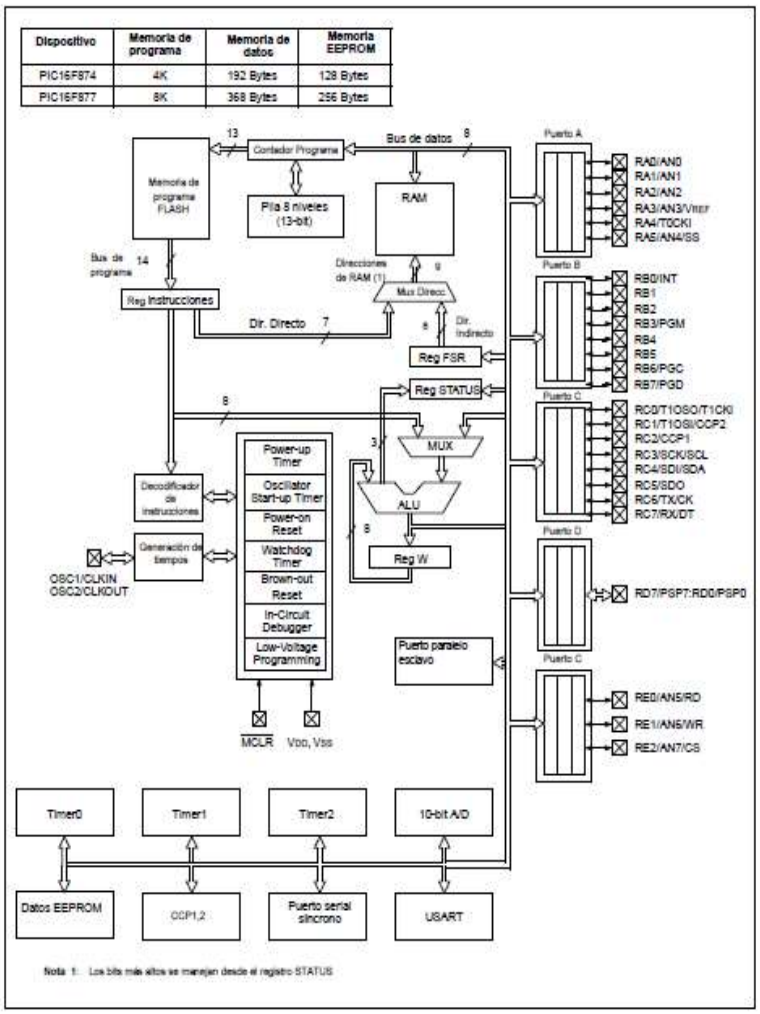


Figura 2. 12: Arquitectura del PIC 16F877.
Fuente: (Parra, 2010, p. 9)

La Figura 2.12 evidencia la arquitectura del PIC16F877, según Parra (2014) se aprecian los diferentes bloques que la integran junto con sus respectivas conexiones. Permite ver la conexión de los puertos, los temporizadores de arranque, los bloques especiales, las diferentes memorias, el oscilador, entre otros. Los buses vinculan entre sí a los diferentes elementos de la arquitectura, se denomina buses al conjunto de líneas que comunican dos o más módulos y transportan la información entre ellos. Un dato importante de destacar es que el microcontrolador PIC16F877 a más de contar con dos bloques principales de memoria (programa y datos) posee un bloque especial adicional, una memoria de datos de tipo ROM programable y borrable eléctricamente (EEPROM) de 256 bytes.

Por lo que respecta a la arquitectura con la cual se programa Parra (2010) menciona:

> El PIC16F877 se basa en un tipo de arquitectura, en la cual se pueden trabajar con buses y memorias separadas el programa y los datos, lo que permite que los datos e instrucciones gocen de diferentes longitudes. La estructura anteriormente mencionada es la que da paso a ciclos de búsqueda superpuestos y a la ejecución de las instrucciones, como producto de esto se evidencia una mayor velocidad del microcontrolador. (p. 10)

2.2 Servomotores

Serrano Iribarnegaray y Martínez Román (2017) exponen que los servomotores, conocidos también como servos, son motores eléctricos que cuentan con un sistema que controla el movimiento en forma regulada, hasta el punto de que se puedan definir sus grados de giro, movimiento de contracción, de agarre y movimiento hacia arriba y hacia abajo.

Los servos para Gonzáles (2003) son “un tipo especial de motor de corriente continua que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación”. El movimiento por realizar debe ser igual al tren de pulsos del servomotor. Está formado por un motor, amplificador, sistema reductor elaborado por ruedas

dentadas y un circuito de realimentación, están dentro de una caja de pequeñas dimensiones. El resultado es un servo de posición con un margen de operación de 180° aproximadamente".

Figura 2. 13: Partes de un servomotor.
Fuente: (García González, 2016)

Al interior de un servomotor se puede observar un motor DC, cuyo eje se acopla a una caja de engranajes con el objetivo de potenciar el torque y de esta manera conservar la posición requerida.

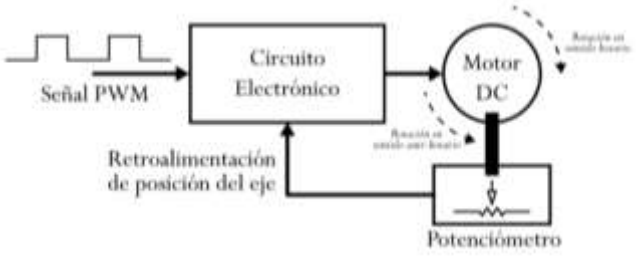


Figura 2. 14: Diagrama de bloques de un servomotor.
Fuente: (García González, 2016)

2.2.1 Servomotor MG995

Martínez Cruz (2018) afirma que "este servomotor consta con dos tipos de aplicaciones, por un lado, se trunca y se convierte en motores de corriente continua para la construcción de robot móviles o se emplea como articulaciones y de esa manera construir robot articulado".

Tabla 2. 5: Características del servomotor MG995.

Características del servomotor MG995	
Engranes y Piñones	Metálicos
Dimensiones (L x WxH)	40.6 x 19.8 x 42.9 mm (1.60 x 0.78 x 1.69 pulgadas)
Voltaje de operación	4.8 – 7.2 Volts.
Peso	55 gr.
Dimensiones	Largo 40.7 mm, ancho 19.7 mm, altura 42.9 mm aprox.

Tipo de interfaz	Analógica
Alta Velocidad de trabajo.	0.2 s/60grados (4.8 V).
	0.16 s/60grados (6 V)
Ángulo de Rotación	120 grados aproximadamente. (60grados en cada dirección)
Banda muerta	5 us
Torque	9.4 kg/cm (4.8 V).
	11 kg/cm (6 V) Frecuencia de funcionamiento 50Hz
Largo del cable	31 cm aprox.
Cojinete	Doble
Incluye accesorios	2 brazos o cuernos, tornillo de sujeción, 4 tornillos para montaje del servo, 4 gomas de suspensión, 4 ribetes metálicos para las gomas, y cable de conexión con conector

Fuente: Autora

2.3 Consecuencias del ictus.

2.3.1. Consecuencias funcionales.

Las consecuencias posteriores al ictus dependen de la localización de la lesión y de su tamaño. Un ictus en el hemisferio derecho a menudo ocasiona parálisis del lado izquierdo del cuerpo. Además, pueden aparecer inconvenientes en la percepción del espacio, negligencia izquierda, es decir el paciente ignora los objetos y personas ubicados en el lado izquierdo, otro síntoma puede ser el desconocimiento de su afectación. El ictus que se sitúa en el hemisferio izquierdo, por lo regular ocasiona parálisis del lado derecho del cuerpo, acompañado de alteraciones del lenguaje. Habrá problemas de descoordinación, desequilibrio, mareo, náuseas y vómitos si el ictus está localizado en la zona del cerebelo.

Por otra parte, las consecuencias más graves se dan si el ictus se localiza en el tronco del encéfalo, ya que en esta zona se sitúa el control de todas las funciones involuntarias como la respiración, el latido cardíaco, la presión arterial, además controla funciones como el habla, audición, movimientos oculares y la deglución. A todo ello se añade que las vías que transportan la información desde los hemisferios cerebrales pasan por el tronco del encéfalo hacia las extremidades, de manera que su lesión también condiciona una parálisis de uno o dos hemicuerpos.

Los dos tipos principales de los accidentes cerebrovasculares son isquémicos y hemorrágicos, isquémico es el más común con un porcentaje de 87% de ocurrencia (Thrift et al., 2014). Los accidentes cerebrovasculares isquémicos se producen cuando se impide el paso de sangre debido a la obstrucción de un vaso sanguíneo que interrumpe el flujo de sangre a una parte del cerebro (Memorial Hospital, 2017). La causa principal es la aterosclerosis, que es el desarrollo de una espesa pared vascular en una región que no permite el flujo adecuado de sangre y por lo tanto provoca el desarrollo de depósito de grasa.

Estos depósitos grasos pueden causar dos tipos de obstrucción: trombosis cerebral, trombo que se desarrolla en la parte obstruida del vaso, y embolia cerebral, un coágulo de sangre que se forma en otra ubicación en el sistema circulatorio que se conecta al cerebro por el torrente sanguíneo.

Las consecuencias físicas de un derrame cerebral pueden ser diferentes; la más común es la debilidad de la extremidad superior / brazo que afecta al 77% de las personas que se son víctimas de un derrame cerebral (State of the Nation, 2016).

Tabla 2. 6: Porcentajes de consecuencias de un ictus.

CONSECUENCIA	% AFECTADOS
Extremidad superior / debilidad en brazos	77%
Extremidad inferior / debilidad en piernas	72%
Problemas visuales	60%
Debilidad facial	54%
Dificultad para hablar	50%
Pérdida del control de la vejiga	50%
Dificultad al tragar	45%
Afasia	33%
Depresión	33%
Pérdida del control de los intestinos	33%
Demencia	30%
Falta de atención	28%
Emocionalismo los primeros 6 meses	20%
Emocionalismos pasados los 6 meses	10%

Fuente: (State of the Nation, 2016, p. 15).

Los estudios científicos han demostrado que, en cualquiera de las situaciones mencionadas, cuanto más rápido se inicie un tratamiento de rehabilitación por un equipo multidisciplinar experto, mejores serán los resultados funcionales a largo plazo. En este sentido se establece la recuperación del 40% del brazo y la pierna alrededor de la semana 16, la función sensitiva en el 80% entre la semana 46, la hemianopsia en el 65% entre la semana 33, la heminegligencia en el 70% entre la semana 13. Varios estudios expresan que la recuperación neurológica se produce en los tres primeros meses.

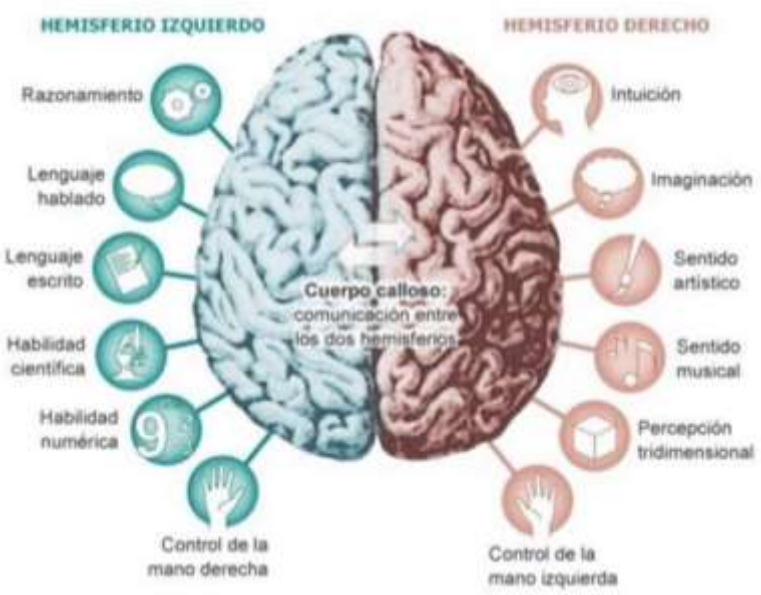


Figura 2. 15: Hemisferios del cerebro y sus funciones.
Fuente: (Carrasco, 2018)

2.3.2. Consecuencias a nivel familiar.

La familia clave en la recuperación de los pacientes que han sufrido un ictus, ya que, es el entorno de protección y socialización donde interactúa el adulto. Por ello la comunicación y formación del paciente y su familia son importantes y necesarias a lo largo de todas las fases del proceso. Las repercusiones para la familia en cuanto a tiempo, estado de ánimo, y economía son destacables, por la dependencia del paciente, necesidad de cuidado informal y lo oneroso de los costos por rehabilitación. En este sentido cuidar a un familiar que ha sufrido un accidente cerebrovascular implica en muchas ocasiones sobrecarga de trabajo que puede afectar física y emocionalmente a la persona encargad del cuidado.

Estudios científicos revelan que los familiares a cargo de pacientes con ictus pueden también enfermarse y sufrir de depresión. Además, se ha demostrado que cuando los cuidadores están en buenas condiciones físicas y psicológicas para enfrentar su tarea, los enfermos mejoran mucho más que cuando son atendidos por cuidadores que se han abandonado a sí mismos.

2.3.3. Consecuencias a nivel social y económico.

Stevens, Emmett, Wang, McKevitt, y DA Wolfe, (2015) aseguran que en toda Europa en las dos últimas décadas se ha dado una reducción en la proporción de personas que sufren un ictus, las posibilidades de recuperación de los pacientes han mejorado en gran medida. Sin embargo, en la actualidad, a pesar de estos avances médicos, el número de ictus se ha incrementado producto del aumento de europeos mayores de 70 años. Las proyecciones recogidas en este informe indican que entre 2015 y 2035 se producirá un incremento del 34%.

El impacto social del ictus es trascendental por tratarse de una enfermedad invalidante, que causa dependencia y necesidad de cuidados informales y costos de rehabilitación para la familia, el paciente pierde la capacidad de producción, arrastrando también a las personas a cargo de su cuidado. En este sentido alrededor del 30% a 40% de los supervivientes en el primer año después del accidente cerebrovascular no están en condiciones de volver a trabajar y requieren algún tipo de ayuda para realizar actividades básicas de la vida diaria.

Stevens, Emmett, Wang, McKevitt, y DA Wolfe (2015) expresan que cada vez hay un mayor número de personas que viven con las secuelas de un ictus y necesitan asistencia de apoyo y rehabilitación especializadas, lo que conlleva una carga creciente de ictus para las familias, la sociedad y los sistemas sanitarios.

George Quintero R. (2016) refiere que esta enfermedad genera un gran gasto, aparte del costo generado por las características propias del ictus

también existen importes por la evolución técnica científica empleada a su tratamiento y diagnóstico y los desembolsos por gastos en los que se incurre en el cuidado del sobreviviente, esto también tiene implicaciones sociales (p. 2).

Reducir la carga que representa el ACV en el individuo, la familia y la sociedad, supone un reto para los profesionales sanitarios, los sistemas de salud y la comunidad científica en general. Aunque la prevención primaria es crucial, y seguirá siendo la piedra angular de los esfuerzos para reducir la discapacidad, existe demostración acumulada de que la mejora sistemática del manejo del ictus, incluida la rehabilitación, puede también reducir la mortalidad y la discapacidad por esta causa.

En lo referente a los costos, se desconoce cómo valorar el cuidado informal al no existir registros de costes unitarios. Sin embargo, en el cuidado de los sobrevivientes se generan costos a largo plazo.

En países como España la valoración monetaria del tiempo del cuidado informal, se lo hace basado en el criterio del capital humano, cuyo baremo es el coste de oportunidad del tiempo empleado en recursos humanos. La variable utilizada es el salario medio según la actividad realizada.

La atención de los pacientes con ictus comprende dos fases, la primera fase es la hospitalización, la segunda fase guarda relación con la atención ambulatoria, acompañada del cuidado de la familia. Para la sociedad en su conjunto impone un alto coste en atención sanitaria y social a la enfermedad y en términos de pérdida de capacidad de producción de los pacientes y sus familiares.

Como se puede constatar en el estudio de George Quintero (2016), los costos generados por un ictus son bastante elevados dado que no solo abarcan los gastos directos como, por ejemplo, los cuidados, rehabilitación y servicios sociales, sino que esta enfermedad también genera indirectamente otros gastos como la limitación productiva (p. 5).

2.3.4. Rehabilitación post infarto cerebral.

Según la Organización Mundial de la Salud (2017) más de 1.000 millones de personas tienen algún tipo de discapacidad, que representan alrededor del 15% de la población mundial. En este sentido Barrios, Rodríguez, Pachón, Medina, y Sierra (2019) expresan que es de gran importancia que la rehabilitación física ante un caso de discapacidad adquirida, buscando una recuperación a nivel neurológico y osteosistémico.

Por otra parte, Barrios, Rodríguez, Pachón, Medina, y Sierra (2019) en su artículo también manifiestan que una de las herramientas fundamentales de la recuperación de los pacientes que presentan secuelas neurológicas es la rehabilitación física, se menciona que más del 50% de los pacientes con esta afectación tienen limitaciones en la funcionalidad de sus extremidades superiores. Es necesario indicar que esta aseveración no ha sido evidenciada mediante estudios y estadísticas.

El objetivo de la rehabilitación por accidente cerebrovascular según Mayo Clinic (2019) es ayudar mediante técnicas en el aprendizaje nuevamente de las habilidades perdidas en el instante que se afectó parte del cerebro por el ictus cerebral. Cuando el paciente aplica la rehabilitación tiene probabilidades que las técnicas aplicadas le ayuden a recuperar independencia y a mejorar la calidad de vida. La recuperación varía considerablemente, depende de la capacidad de cada persona, de la gravedad y de las complicaciones del accidente cerebrovascular. Los estudios y estadísticas han evidenciado que las personas que forman parte de del programa de rehabilitación por ictus se desempeñan mejor y se recuperan más pronto que la mayoría de las personas que no hacen rehabilitación (p. 1).

Por otra parte los costos consecuencia de la rehabilitación en enfermedades cerebrovasculares según George Quintero Ramón (2016) son preocupantes, ya que incorpora por una parte la actitud humanística y la cercanía del personal y la técnica, multidisciplinaria aplicada al problema médico, además incluye la parte social y económica planteada por la incapacidad, buscando como objetivo la reinserción del individuo inválido a su medio, en condiciones que evidencien mejoría y eficacia funcional (p. 4-5).

Según George Quintero R. (2016) No se debe considerar como caso aislado las sesiones de rehabilitación, estas son un proceso que involucra un enfoque integral, que busca en instante la reinserción del enfermo en su medio, persiguiendo principalmente que el paciente haga el esfuerzo de adaptarse a las funciones residuales y así lograr la reinserción recomendable a nivel familiar, laboral si es posible y social.

La investigación de George Quintero (2016) realizada en Cuba reflejó en el resultado de la rehabilitación que un 88.2 % de los pacientes con infarto cerebral presentaron una evaluación satisfactoria a los 6 meses o antes, los que se rehabilitan durante un año, se recuperan hasta el 98 %. Por otra parte, los afectados por la enfermedad hemorrágica alcanzaron un 74 % de satisfacción a los 6 meses, el 11 % de los enfermos logró un tratamiento satisfactorio hasta en un 85 %. Se hace necesario indicar que 15 % pacientes no alcanzó la recuperación esperada. Al determinar el costo total, George Quintero (2016) expone que los resultados reflejaron que los costos de rehabilitación son 1.80 veces más altos que los costes indirectos.

2.4. Técnicas de rehabilitación

Entre los diferentes métodos de rehabilitación se pueden destacar:

- Entrenamiento bilateral Simultáneo (véase la figura 2.16).

Según Coupar, Pollock, Van Wijck, Morris, y Langhorne (2010) los ejercicios se realizan simultáneamente con los dos miembros superiores en las actividades funcionales programadas, según la intención, a fin de estimular el miembro con problemas de discapacidad.

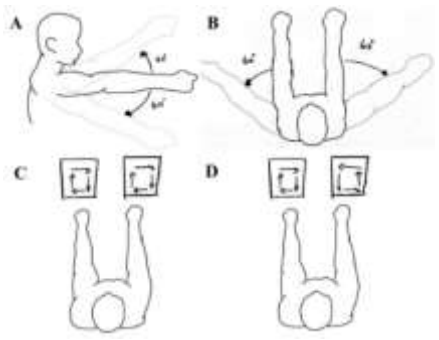


Figura 2. 16: Terapia Bilateral.
Fuente: (Sheng, Zhang, Tang, Xie, y Deng, 2018)

Monge (2014) explica que hay tres formas funcionales bilaterales simultáneas: Simétrica, en la que se trabajan ambas extremidades en la misma acción; simétrica alterna, en la que ambas extremidades de manera secuencial ejecutan la misma acción; por último, asimétrica donde cada miembro superior o cada brazo en forma independiente ejecuta una acción diferente.

- Terapia de movimiento inducido por restricción a dosis modificadas

Para Kwakkel, Veerbeek, Van Wegen, y Wolf (2015) la terapia de movimiento inducido, parte de dos principios, el primero es que la extremidad sana está bloqueada desde una red o un guante rígido, de esta manera el paciente no podrá moverlo, entonces se realizan ejercicios simples con la mano lesionada. El otro principio de esta técnica de rehabilitación consiste en redirigir todos los posibles intercambios de señales entre las extremidades y el cerebro a un solo lado para acelerar la fase de recuperación.

Figura 2. 17: Terapia de movimiento inducido por restricción.
Fuente: (Physiopedia contributors, 2020)

- La estimulación eléctrica

Según States, Pappas, y Salem (2009) los electrodos se aplican a la piel del paciente y algunos impulsos eléctricos son liberados para tratar de emular los impulsos naturales del cerebro. Esto se hace para tratar de mantener el tono muscular en las extremidades con discapacidad.

- Terapia intensa

Langhorne, Bernhardt, y Kwakkel (2011) afirman que esta técnica utiliza intervalos para proporcionar una forma intensa de rehabilitación; usa

variaciones de esfuerzo alternando los períodos de recuperación hasta alcanzar la intensidad máxima del ejercicio.

- Entrenamiento en tareas repetitivas

Jeon, Kim, y Park (2015) expresan que el entrenamiento en tareas repetitivas como su nombre lo indica es la repetición de acciones simples todos los días. Se basa en la idea de que para mejorar el rendimiento en una función es necesario practicarla varias veces, como cuando se aprende a caminar o andar en bicicleta por primera vez.

- Entrenamiento espejo

Según Thieme, Mehrholz, Pohl, Behrens, y Dohle (2012) la terapia espejo es una técnica donde el paciente ejecuta algunos ejercicios simples con ambas manos, sin embargo, su visión de la mano lesionada está obstruida por un espejo donde solo ve el reflejo de la mano sana, que de hecho se mueve como siempre. Este tipo de estímulo al cerebro del paciente crea un mecanismo de autoaprendizaje que ayuda a superar las dificultades en los movimientos.

Figura 2. 18: Terapia Espejo.
Fuente: (Wittkopf y Johnson, 2017)

2.4.1. Rehabilitación con robótica

Investigaciones recientes demostraron que el uso de dispositivos mecatrónicos y de realidad virtual en la rehabilitación es factible y eficaz. Los pacientes que se han sometido a una rehabilitación de extremidades superiores mediante el uso de accionamientos robóticos han percibido un notable avance en la recuperación motora de los músculos ejercitados (Volpe et al., 2000).

En este tipo de rehabilitación, el movimiento inducido por el equipo consiste en realizar las acciones primarias de la zona afectada; por ejemplo, en cuanto a las manos, estas actuaciones son el movimiento de apertura y cierre sencillo de los dedos para que el paciente vuelva a aprender las actividades que se pierden gracias a la enfermedad. Estas medidas tienen como objetivo redirigir la señal dirigida a la mano a otra área del cerebro humano. Las técnicas de rehabilitación pueden ser divididas en dos diferentes macrorregiones: la rehabilitación pasiva y la rehabilitación activa.

En la rehabilitación pasiva, el movimiento de las regiones afectadas se proporciona por una fuente externa; esta podría ser un médico o el propio paciente (en este caso la rehabilitación es proporcionada por los músculos que normalmente no incurren en el movimiento real). Este tipo de recuperación es fundamental en la fase posterior al accidente cerebrovascular ya que los músculos están rígidos y no controlables. Por otro lado, en la rehabilitación activa, la región afectada se mueve por los músculos que intervienen en el movimiento normal.

Figura 2. 19: Interacción bidireccional e intercambio de información.
Fuente: (Ruiz Olaya, 2008, p. 2)

Los dispositivos mecánicos pueden ser colocados en el campo de la rehabilitación pasiva, ya que no están directamente controlados por el paciente, pero entregan el movimiento necesario en la extremidad afectada. Los dispositivos robóticos pueden ser accionados por varios sistemas; los más

difundidos son el motor eléctrico y el actuador neumático. El movimiento se transmite a través de una estructura de soporte, llamado exoesqueleto.

El diseño del exoesqueleto comienza a partir de un concepto simple: los dedos humanos son impulsados por los tendones, los cuales reaccionan a los estímulos eléctricos provenientes del cerebro. A medida que estos incentivos pierden eficacia la función de los tendones debe ser sustituida por un dispositivo externo que proporcione un comportamiento similar para gestionar los movimientos correctamente y permitir que el paciente los experimente.

2.4.2. Tele rehabilitación

El crecimiento exponencial del Internet y el conjunto de sistemas de telecomunicaciones ha generado un incremento de posibilidades en el campo de la rehabilitación. Gracias a estas nuevas tecnologías existe un nuevo enfoque hacia el paciente en el que la "Telemedicina", "Tele rehabilitación" y "Tele salud" va en crecimiento en el campo médico (Agostini et al., 2015).

El término más correcto y explicativo para describir la telemedicina es "Medicina a Distancia", el interés creciente hacia la medicina a distancia parte del deseo de mejora continua en el campo de los sistemas sanitarios, ésta se vuelve cada vez más necesaria para acortar la estancia del paciente en un centro médico y así minimizar los gastos de hospitalización (Brennan, Mawson, y Brownsell, 2009).

Un posible campo de aplicación de la telemedicina es la tele rehabilitación. Gracias a los nuevos medios de comunicación se está convirtiendo en una alternativa válida para los tratamientos a distancia durante la fase de rehabilitación de cualquier enfermedad. Es posible definir Tele rehabilitación como:

> La monitorización del tratamiento y la rehabilitación proporcionadas en diferentes zonas y de distinta complejidad, en un ambiente al que el paciente puede acceder fácilmente mediante las tecnologías de Internet y de la comunicación médica, con el objetivo de tratar eficazmente al paciente y alcanzar las metas impuestas por el médico. (Agostini et al., 2015)
>
> "Tele rehabilitación se refiere al uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), proporcionar servicios de

rehabilitación a las personas de forma remota en sus casas o en otros entornos" (Brennan, Mawson, y Brownsell, 2009).

Figura 2. 20: Tele rehabilitación.
Fuente: (expok, 2013)

Capítulo 3: Diseño, Implementación y resultados

3.1. Diseño del exoesqueleto (guante)

El exoesqueleto es un sistema cuyo objetivo es entregar alguna función a una específica parte del cuerpo, en la cual este va montado. Para alcanzar este propósito, debe estar compuesto por tres principales subsistemas:

- Actuadores
- Transmisión
- Estructura de soporte

Cumpliendo con los objetivos que debe cumplir un exoesqueleto se desarrolló el diseño de la estructura del mismo en el software FREECAD. Los actuadores que se emplearon fueron servomotores y la transmisión del movimiento se realizó a través de alambres. La idea de usar alambres nació de la búsqueda de una actuación natural de los dedos. Por lo tanto, el resultado obtenido fue el esfuerzo de imitar los tendones reales que son impulsados por los músculos.

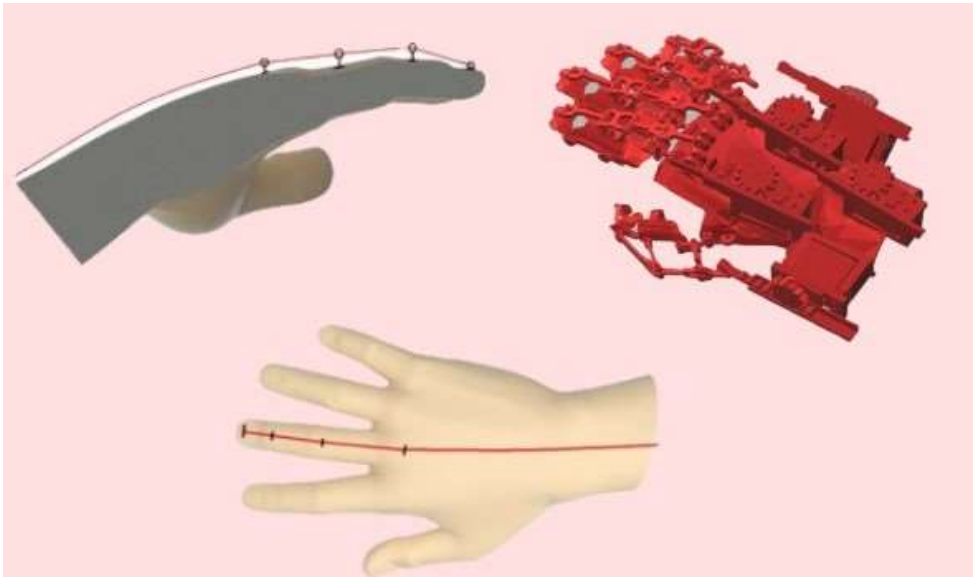


Figura 3. 1: Principio de funcionamiento del guante.
Elaborado por: Autora.

Para controlar cada dedo independientemente, se usaron cinco actuadores; esto permitió realizar una gran variedad de configuraciones y niveles de terapia.

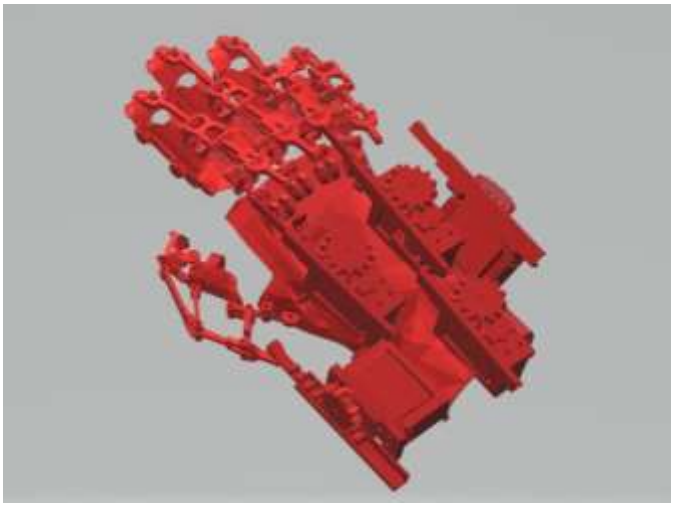


Figura 3. 2: Vista lateral-superior izquierda del guante.
Elaborado por: Autora.

Como se puede observar en la Figura 3. 2 los actuadores están colocados sobre una base sólida, ya que necesitan poder desarrollar un movimiento justo en la dirección deseada, una restricción suave daría como resultado movimiento no deseado o limitado de los actuadores. Para el correcto funcionamiento de los actuadores se adaptó un sistema de rieles y engranajes que producen un movimiento exacto.

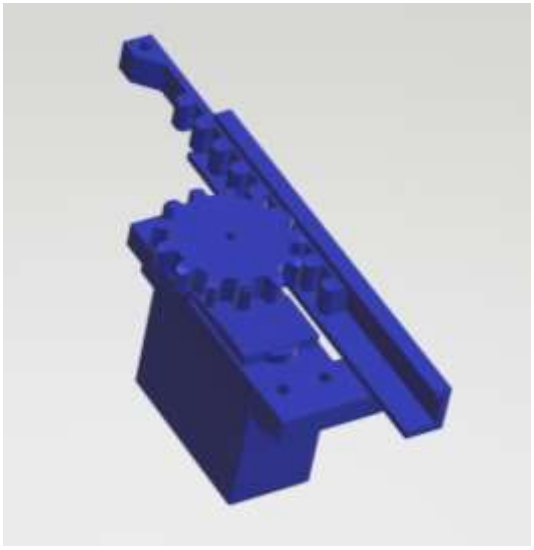


Figura 3. 3: Vista superior-lateral izquierda del montaje del servomotor.
Elaborado por: Autora.

El diseño del exoesqueleto es diferente para cada paciente ya que para la construcción de este se necesitan las dimensiones reales de la mano de quien se va a rehabilitar, estos valores varían para cada persona en longitud y ancho de los dedos y del dorso de la mano.

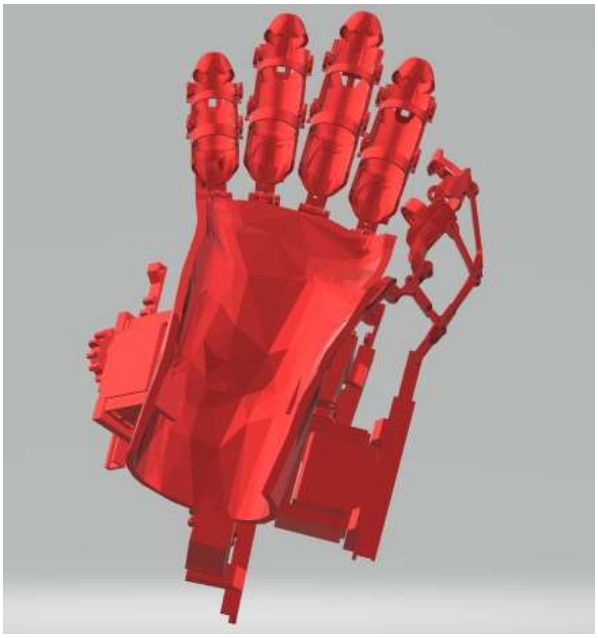


Figura 3. 4: Vista inferior del soporte del brazo y los dedos.
Elaborado por: Autora.

Todas las partes del exoesqueleto fueron hechas y ensambladas a partir de impresión 3D, el objetivo de usar esta técnica fue el de crear una montura y partes de la mano fáciles de usar y de ensamblar.

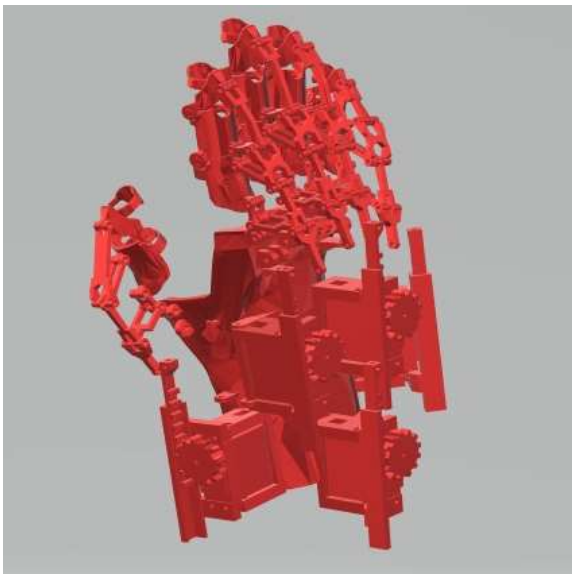


Figura 3. 5: Vista lateral izquierda de los dedos del guante.
Elaborado por: Autora.

3.2. Modelo matemático

El movimiento es conducido por un mecanismo de manivela, donde la manivela es el servomotor y el eje de accionamiento es una varilla impresa en 3D, conectada axialmente al dedo correspondiente.

El mecanismo de funcionamiento se explica en la siguiente figura:

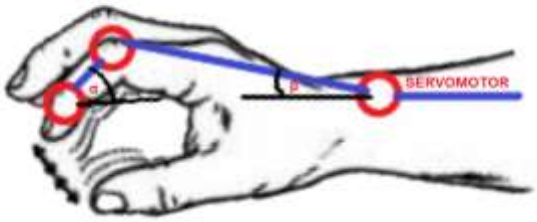


Figura 3. 6: Mecanismo de funcionamiento.
Elaborado por: Autora.

La cinemática del sistema es simple, llamando a λ la relación entre el servomotor (R) y la varilla (L):

$$\lambda = \frac{R}{L}$$

Se puede describir el sistema como:

$$\{s(t) = Lcos(\beta(t)) + Rcos(\alpha(t))Lsin(\beta(t)) = Rsin(\alpha(t) + d$$

La ecuación se puede escribir como:

$$s(t) = R\left(\cos(\alpha(t)) + \frac{1}{\lambda}\cos(\beta(t))\right)$$

El ángulo β se deriva de esta ecuación usando la relación λ:

$$\sin(\beta(t)) = \lambda \sin(\alpha(t)) + \frac{d}{L}$$

$$\sin^2(\beta(t)) = \lambda^2 \sin^2(\alpha(t)) + \left(\frac{d}{L}\right)^2$$

Usando una relación fundamental de seno y coseno:

$$\sin^2(\beta(t)) = 1\cos^2(\beta(t))$$

Se obtiene, con algunos reordenamientos:

$$\cos(\beta(t)) = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\alpha(t)) - \left(\frac{d}{L}\right)^2}$$

Después de la sustitución de cosβ:

$$s(t) = R(\cos\left(\alpha(t) + \frac{1}{\lambda}\sqrt{1-\lambda^2 \sin^2(\alpha(t)) - \left(\frac{d}{L}\right)^2}\right)$$

Esta ecuación describe el movimiento deslizante de la estructura, de acuerdo con el ángulo α, que es el parámetro de control del servomotor la velocidad se puede derivar a través de la diferenciación en el tiempo.

$$\frac{ds}{dt} = \dot{s} = R\left(-\alpha'(t)\sin(\alpha(t)) - \frac{\lambda\alpha'(t)\sin(\alpha(t))\cos(\alpha(t))}{\sqrt{1-\lambda^2\sin^2(\alpha(t)) - \left(\frac{d}{L}\right)^2}}\right)$$

Sin embargo, un servomotor puede controlarse directamente desde su posición, y no hay control directo sobre la velocidad. Por esta razón, un control de la velocidad debe implementarse a través de la codificación o programación y con el uso de la posición.

Tabla 3. 1: Amplitud de movimientos en cm.

Datos	Dedo 1	Dedo 2	Dedo 3	Dedo 4	Dedo 5
R	1,55	1,55	2	1,55	1,55
L	3,7	3,8	5,6	3,8	3,7
d	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
λ	0,42	0,41	0,36	0,41	0,42
α abierto	152º	126º	112º	126º	152º
α cerrado	65º	55º	52º	55º	65º
s1	2,19	2,5	2,76	2,5	2,19
s2	4,01	4,29	4,38	4,29	4,01
Δs	1,81	1,79	1,62	1,79	1,81

Fuente: Autora.

3.3. Materiales

Los materiales utilizados para la implementación y funcionamiento del dispositivo de rehabilitación fueron:

- 1 PIC 16F877: Microcontrolador encargado de almacenar la programación y ejecutar las funciones asignadas para el sistema.

Figura 3. 7: PIC 16F877.
Elaborado por: Autora.

- 5 servomotores MG995: Cumplen la función de actuadores, producen el movimiento de cada dedo.

Figura 3. 8: Servomotor MG995.
Elaborado por: Autora.

- 1 LCD 4X20: En ella se imprimen las órdenes que debe ejecutar el usuario y se muestran las opciones seleccionadas junto con el reloj.

Figura 3. 9: LCD 4X20.
Elaborado por: Autora.

- 1 Keyboard o teclado: A través de este se seleccionan las opciones o modos de trabajo y se ingresan los dígitos correspondientes a nivel y tiempo.

Figura 3. 10: Keyboard o teclado.
Elaborado por: Autora.

- 1 rollo de ácido poliláctico (PLA): Material utilizado para la impresión de las estructuras en 3D tanto del exoesqueleto como la caja de mando.

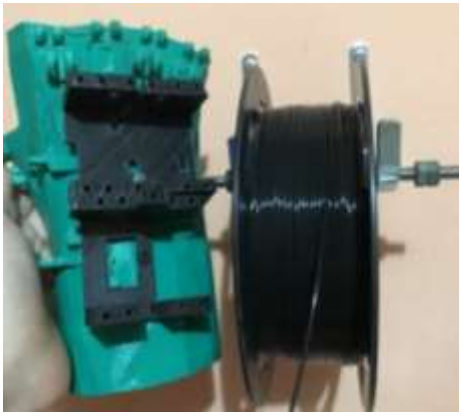


Figura 3. 11: Ácido poliláctico (PLA).
Elaborado por: Autora.

3.4. Diseño de la PCB

El diseño de la placa de circuito impreso para el sistema fue realizado en el software Proteus 8 Professional versión 8.7.

3.4.1. Diseño esquemático

El diseño esquemático de la placa consta de un microcontrolador PIC 16F877A, una pantalla LCD 4X20, un teclado matricial, reloj, resistencias, un potenciómetro, botón de start/reset y una bornera de 5 terminales (Terminal Block).

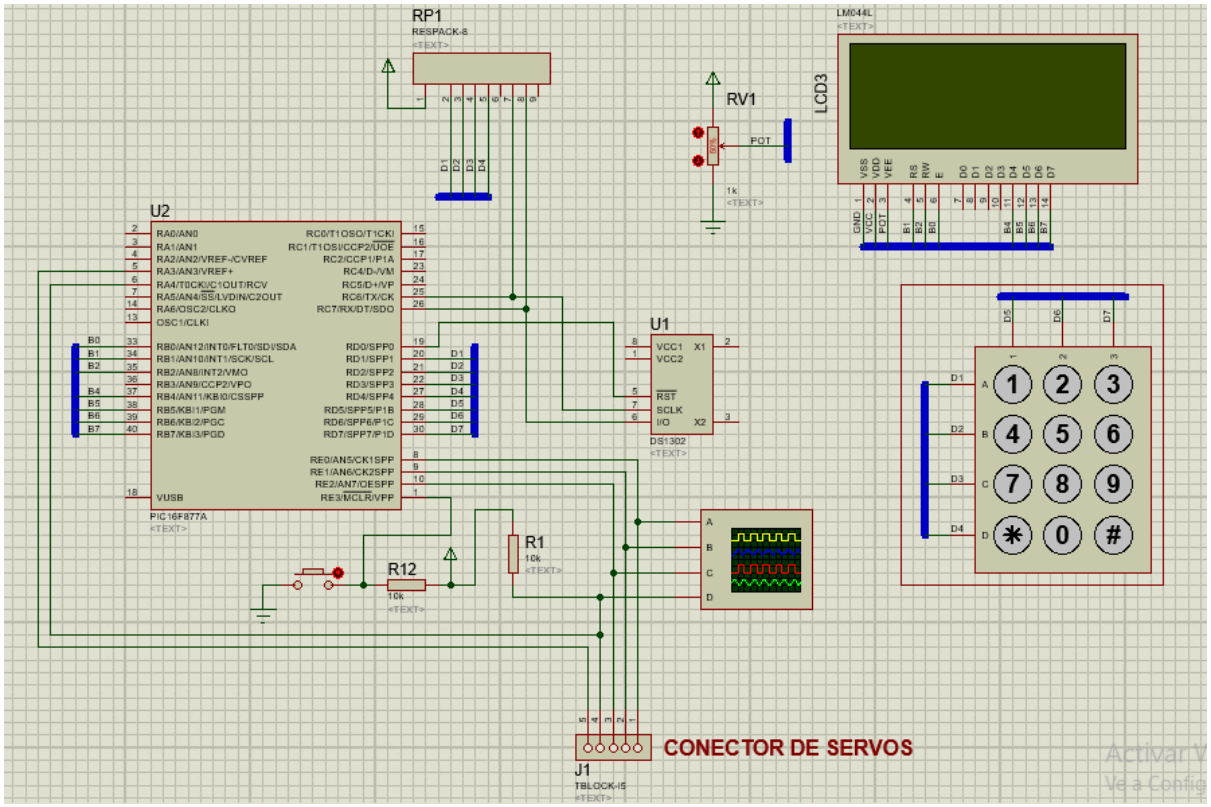


Figura 3. 12: Diseño de la PCB en Proteus.
Elaborado por: Autora.

La pantalla LCD 4X20 está conectada en los pines 33, 34, 35, 37, 38, 39 y 40 del PIC llamados B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6 y B7 en el mismo orden. B0 va conectado en el pin 6 de la LCD, B1 y B2 en los pines 4 y 5, así mismo los pines B4, B5, B6 y B7 van conectados en los pines 11, 12, 13 y 14. El pin 1 de la LCD va conectado a GND (tierra) y el pin 2 a VCC (positivo). Junto a la pantalla se ubica un potenciómetro que es el que regula el contraste de las letras que se muestran, este potenciómetro va conectado en el pin 3 de la LCD (véase la figura 3.13).

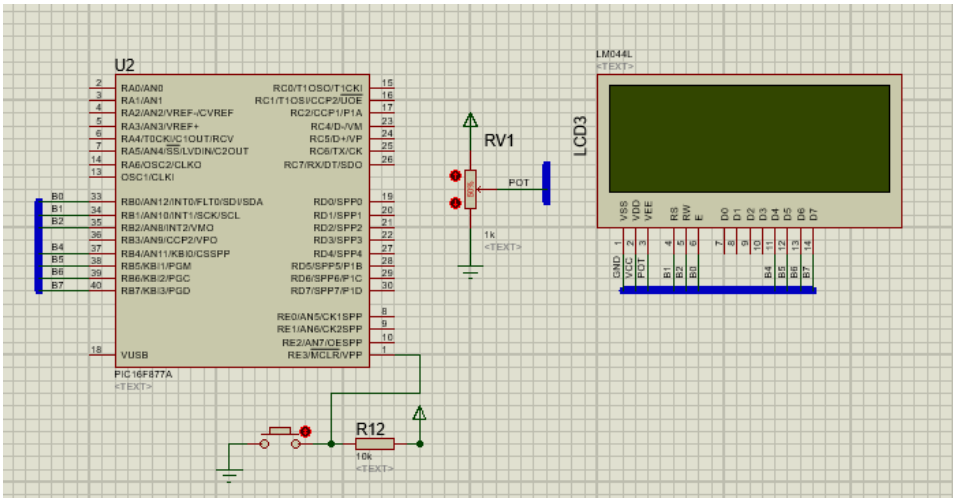


Figura 3. 13: LCD 4X20 y microcontrolador PIC.
Elaborado por: Autora.

El teclado matricial está conectado en los pines 20, 21, 22, 27, 28, 29 y 30 del microcontrolador (D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7). Las filas A, B, C y D del teclado van conectadas a D1, D2, D3 y D4 respectivamente, de la misma manera, las columnas 1, 2 y 3 van conectadas a D5, D6 y D7. Para el correcto funcionamiento del teclado se necesitan cuatro resistencias que se encuentran en D1, D2, D3 y D4 (véase la figura 3.14).

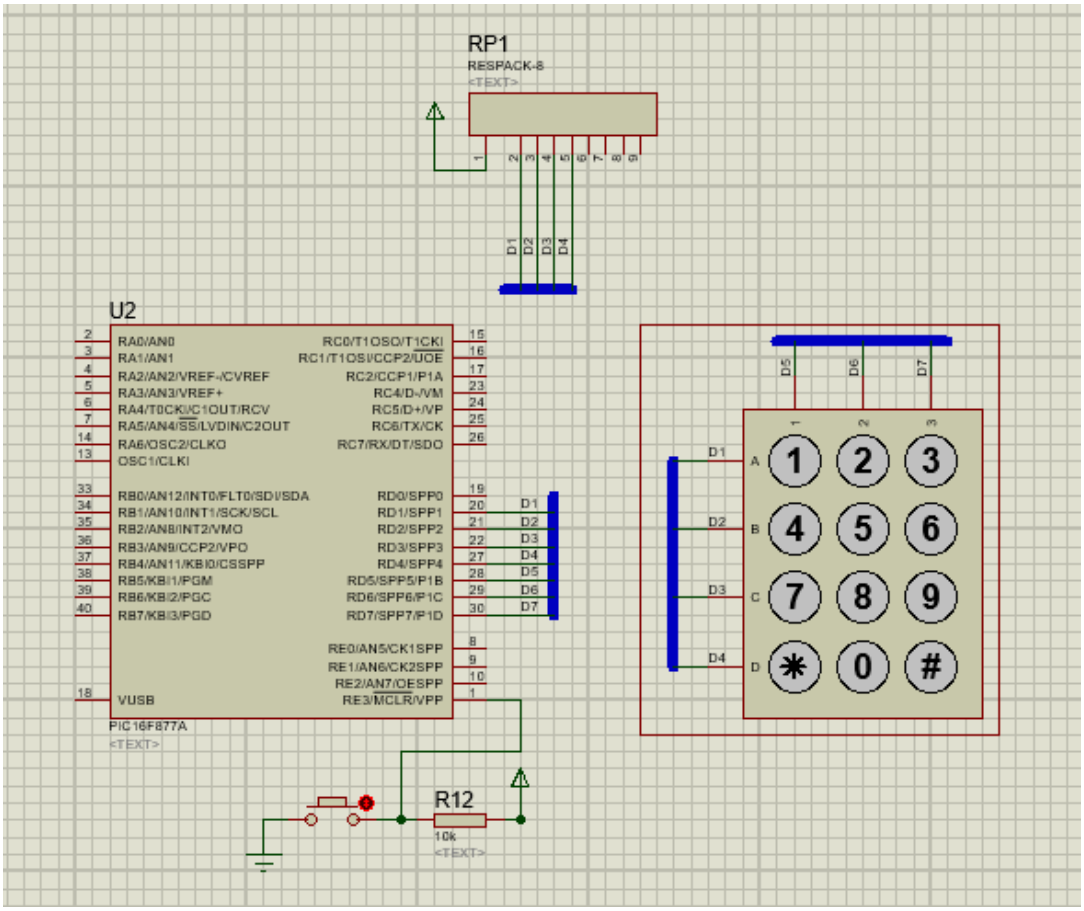


Figura 3. 14: Teclado matricial 3X4 y microcontrolador PIC.
Elaborado por: Autora.

El módulo RTC DS1302 (reloj) está conectado al microcontrolador en los pines 25, 26 y 19. Los pines usados en el reloj son el pin RST, SCLK y I/O que son los pines necesarios para la comunicación con la RAM y transmisión de datos (véase en la Figura 3.15). El pin RST del reloj está conectado al pin 19 del microcontrolador, el pin SCLK al pin 25 y el pin I/O en el pin 26. Para el correcto funcionamiento del reloj se necesitan 2 resistencias que va conectadas en las líneas que unen el pin 25 y el pin SCLK, y las que unen el pin 26 y el pin I/O.

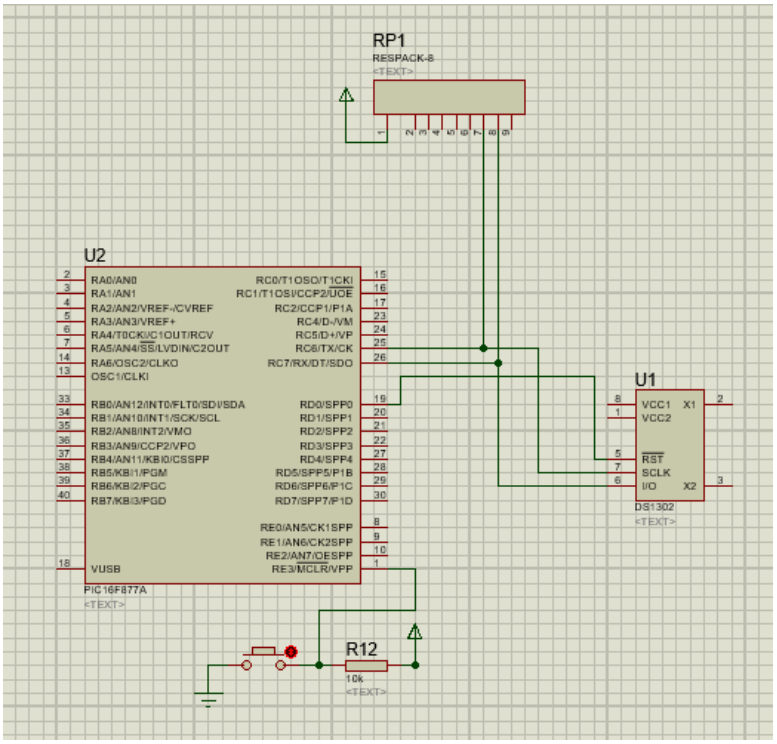


Figura 3. 15: Reloj DS1302 y microcontrolador PIC.
Elaborado por: Autora.

El botón master clear o reset está conectado a una resistencia (R12) y al microcontrolador en el pin 1, en el mismo pin se encuentra conectada otra resistencia (R1) por ser salida de colector abierto (véase en la Figura 3.16). El TBLOCK de 5 terminales está conectado en lo pines 8, 9, 10, 5 y 6 del microcontrolador, y este se colocó para la conexión de los 5 servomotores que producen el movimiento de los dedos.

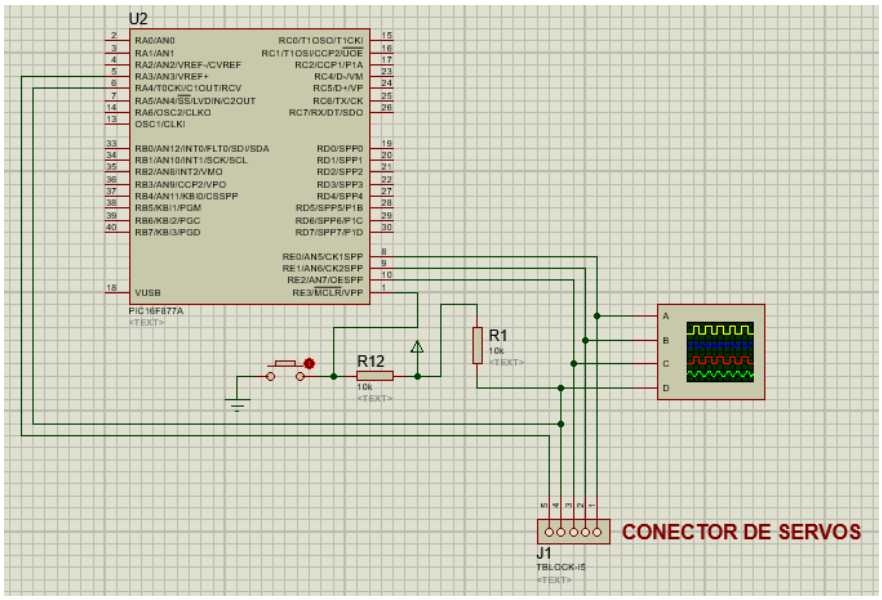


Figura 3. 16: Master Clear y microcontrolador PIC.
Elaborado por: Autora.

El cristal de cuarzo va ubicado en los pines 13 y 14 del microcontrolador PIC.

3.4.2. Diseño de Layout

Al ubicar y organizar todos los componentes necesarios, planteados en el Proteus, en la placa esta tuvo unas medidas de 16 cm de lardo por 12 cm de ancho.

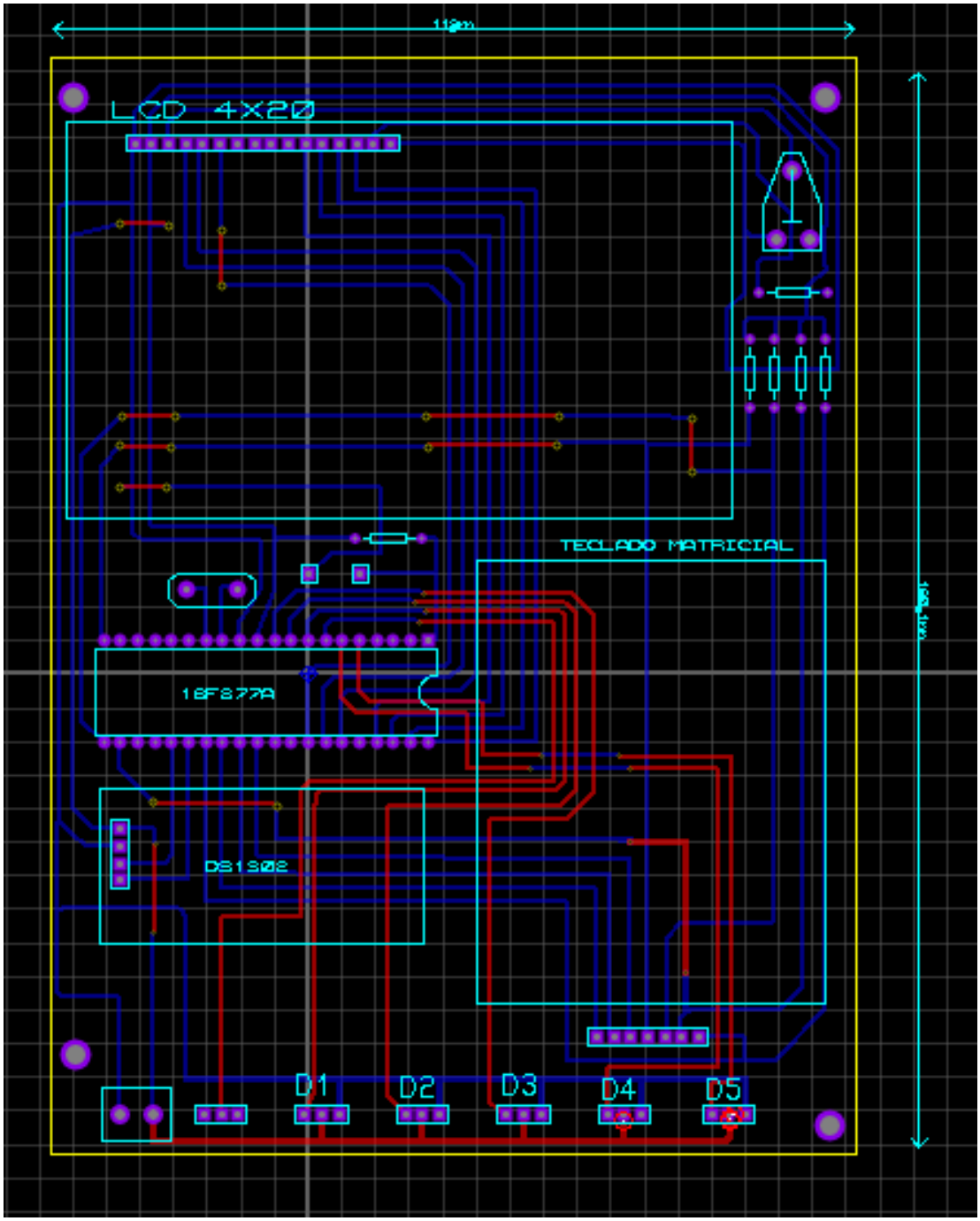


Figura 3. 17: Diseño Layout de la PCB
Elaborado por: Autora.

3.5. Diagrama de Flujo (Algoritmo)

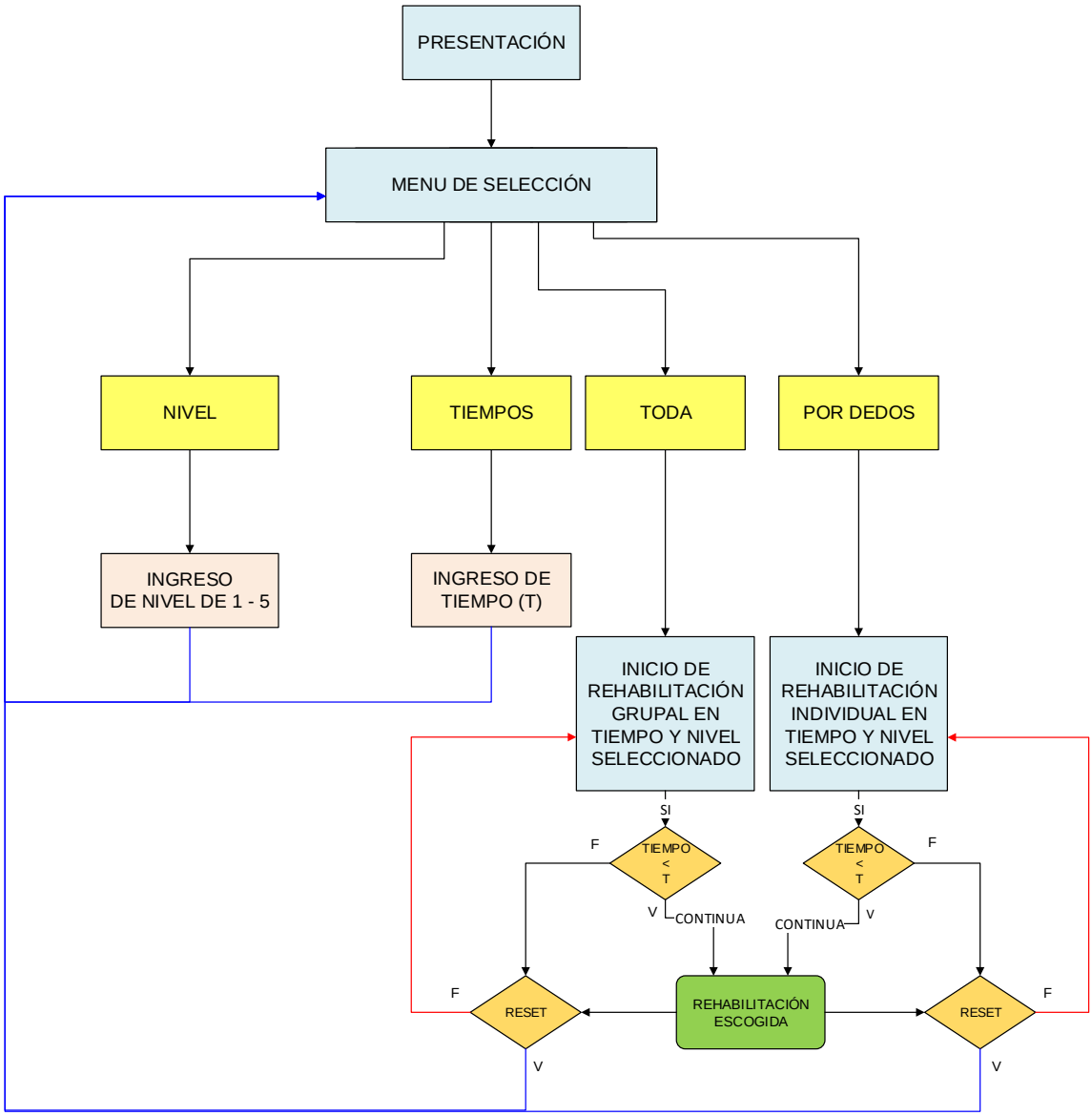


Figura 3. 18: Diagrama de flujo.
Elaborado por: Autora.

3.6. Programación del PIC 16F877

En el primer bloque de programación se establecieron las directivas, se detallaron en las líneas 5, 6 y 7 las librerías que se iban a emplear (#include < >), para el presente proyecto de tesis se utilizaron las librerías de una pantalla LCD 4X20, teclado y la librería estándar; posteriormente en las líneas 8, 9 y 10 se detallaron los pines que se utilizaron para el reloj (#define) y la librería del reloj en la línea 11 (#include < >). Por último, se configuraron los puertos f81 y f83 (#byte) en las líneas 12 y 14, y en las líneas 15, 16 y 17 se aplicó una librería (#use fast_io) para que los puertos trabajen rápidamente.

```
1  #include <16f877.h>
2  #use delay (clock=4000000)
3  #fuses HS,NOWDT
4
5  #include <LCD420.c>
6  #include <KBD.c>
7  #include <stdlib.h>
8  #define RTC_SCLK PIN_C6    //PIN25
9  #define RTC_IO   PIN_C7    //PIN26
10 #define RTC_RST  PIN_D0   //PIN9
11 #include <DS1302_v2.c>
12 #byte portb=0xf81
13 // Salida de los Servos A3,A4,E0,E1,E2
14 #byte portd=0xf83
15 #use fast_io(a)
16 #use fast_io(B)
17 #use fast_io(C)
```

Figura 3. 19: Directivas, librerías y puertos.
Elaborado por: Autora.

A continuación, en las líneas 19-31 se declararon las funciones que se emplearon (void) y algunas variables globales (int) en las líneas 33-36.

```
19 void configuracion(void);
20 void presentacion(void);
21 int16 teclado(int);
22 void ing_hor(int);
23 void dedo(void);
24 void toda(void);
25 void tiempos(void);
26 void nivel(void);
27 void dedo1(void);
28 void dedo2(void);
29 void dedo3(void);
30 void dedo4(void);
31 void dedo5(void);
32
33 int k;
34 int16 time;
35 int niv;
36 int tiempo;
```

Figura 3. 20: Declaración de funciones y variables globales.
Elaborado por: Autora.

En el punto de entrada al programa (void main()) se declararon algunas variables (int) en las líneas 245, 246 y 247, se programaron los puertos a, b, c, d y e (set_tris_) en las líneas 248-252, donde los puertos a, b, c y e actúan como salidas y únicamente el puerto d actúa como I/O del teclado; en la línea 253 los puertos b y d fueron puestos en 0 y en las líneas 254, 255 y 256 se inicializaron las librerías del LCD, el teclado y el reloj. Se establecieron las

funciones que serían llamadas al inicio, las cuales fueron presentación () y configuración ().

```
243  void main()
244  {
245  int sa,se;
246  int8 hr,min,sec;
247  int16 valor;
248   set_tris_a(0x00);
249   set_tris_b(0x00);
250   set_tris_c(0x00);
251   set_tris_d(0x1E);
252   set_tris_e(0x00);
253   portb=0; portd=0;
254   lcd_init();
255   kbd_init();
256   rtc_init();
257
258   presentacion();
259   configuracion();
260    lcd_putc("\f");
261
262    rtc_get_time(hr,min,sec);
263    sa=hr;
264    se=min;
265    time=(sa*60)+se;
266  /*
267  enable_interrupts(GLOBAL);
268  enable_interrupts(int_timer0);
269  setup_timer_0(T0_INTERNAL|T0_DIV_8);
270  set_timer0(100);
271  */
```

Figura 3. 21: Función void main ().
Elaborado por: Autora.

```
217
218  int16 teclado(int s){
219  int16 numero=0;
220  int cuent,qq;
221   k=0;
222   cuent=0;
223   while(k!=-13)
224       {
225        k=0;
226        while(k==0)
227        k=kbd_getc();
228        k=k-48;
229
230        if(k!=-13){
231          numero=numero*10+k;
232          cuent++;
233          if (cuent==s)
234          {
235
236          return(numero);
237          }
238        }
239        }
240  return(numero);
241  }
242
```

Figura 3. 22: Ingreso por teclado.
Elaborado por: Autora.

En la función presentación () se estableció que se muestre en el LCD el siguiente mensaje:

TRABAJO DE TITULACIÓN

LILENA PACHECO

EXO REHAB

Luego de llamar a la función presentación () se llamó a la función configuración (), ésta se configuró para que muestre en el LCD el texto:

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

MANO ROBÓTICA

```
107
108  void presentacion(void) {
109      lcd_gotoxy(5,1);
110      lcd_putc("TRABAJO DE");
111      lcd_gotoxy(5,2);
112      lcd_putc("TITULACIÓN");
113      lcd_gotoxy(4,3);
114      lcd_putc("LILENA PACHECO");
115      lcd_gotoxy(6,4);
116      lcd_putc("EXO REHAB");
117      delay_ms(2000);
118  }
119
120  void configuracion(void) {
121      lcd_putc("\fUNIVERSIDAD CATOLICA");
122      lcd_gotoxy(4,2);
123      lcd_putc("DE SANTIAGO DE");
124      lcd_gotoxy(7,3);
125      lcd_putc("GUAYAQUIL");
126      lcd_gotoxy(4,4);
127      lcd_putc("MANO ROBOTICA");
128      delay_ms(2000);
129      }
130
```

Figura 3. 23: Funciones de presentación y configuración.
Elaborado por: Autora.

Una vez que se ha llamado a estas dos funciones la información desaparece de la pantalla y se muestra un menú, el cual fue declarado en el main con un lazo while.

```
272  while(true)
273  {
274     lcd_putc("\fSELECCIONE");
275     lcd_gotoxy(1,2);
276     lcd_putc("1-NIVEL 2-TIEMPOS");
277     lcd_gotoxy(1,3);
278     lcd_putc("3-TODA 4-POR DEDOS");
279
280     lcd_gotoxy(10,4);
281     valor=teclado(1);
282        switch(valor){
283        case 1: lcd_putc("\f");nivel();break;
284        case 2: lcd_putc("\f");tiempos();break;
285        case 3: lcd_putc("\f");toda();break;
286        case 4: lcd_putc("\f");dedo();break;
287        default:return;}
288
289  }
290  }
291
```

Figura 3. 24: Programación del menú.
Elaborado por: Autora.

El menú configurado está dentro de un lazo while (true), esto significa que está en constante repetición, el usuario debe seleccionar mediante el teclado la opción que desea: 1 nivel, 2 tiempos, 3 toda y 4 dedos. En la línea 281, valor=teclado () muestra el número de dígitos que se deben ingresar, para este menú el número de dígitos a ingresar es 1.

```
130
131  void nivel(void)
132  {
133      lcd_putc("\fINGRESE NIVEL");
134      lcd_gotoxy(1,2);
135      lcd_putc("1 - 5");
136      niv=teclado(1);
137      write_eeprom (0,niv);
138      lcd_gotoxy(1,3);
139      printf(lcd_putc,"NIVEL = %d",niv);
140      delay_ms(1000);
141  }
142
143
```

Figura 3. 25: Función nivel.
Elaborado por: Autora.

Al seleccionar la opción número 1 entonces sería llamada la función nivel (), esta función se configuró para que borre la pantalla con el \f y muestre en el LCD el mensaje “INGRESE NIVEL”, se debe ingresar un valor del 1-5. En la línea 136, niv=teclado (), se estableció el número de dígitos que se pueden

ingresar, es decir, solo un dígito. El valor ingresado por teclado es guardado por la memoria EEPROM en la dirección 0 (write_eeprom), por consiguiente, si el nivel no es cambiado a futuro se mantendría el mismo valor ingresado. El nivel seleccionado por el usuario se mostrará en pantalla.

Si la opción 2 es seleccionada, la función tiempos () será llamada, así mismo como la función nivel borra la pantalla con el \f y muestra el mensaje "INGRESE TIEMPO (min)", el tiempo que se ingrese debe ser en minutos, en la línea 147, tiempo=teclado () se muestra el número de dígitos que se pueden ingresar por teclado, para esta función se pueden ingresar dos dígitos y éstos serán mostrados en pantalla. El tiempo ingresado se guarda en la memoria EEPROM en la dirección 1 (write_eeprom), entonces, se mantendrá el tiempo ingresado hasta que este sea cambiado.

```
143
144  void tiempos(void)
145  {
146    lcd_putc("\fINGRESE TIEMPO(min)");
147      tiempo=teclado(2);
148      write_eeprom (1,tiempo);
149      lcd_gotoxy(1,3);
150      printf(lcd_putc,"TIEMPO = %d",tiempo);
151      delay_ms(1000);
152
153  }
154
```

Figura 3. 26: Función tiempos.
Elaborado por: Autora.

Las opciones 3 toda y 4 por dedos son las que definen el tipo de movimiento a realizar, grupal (todos los dedos a la par) o individual (movimiento dedo por dedo). Al seleccionar la opción 4, que sería movimiento individual, sería llamada la función dedo ().

En la línea 157 de la función dedo se declararon los variables de hora, minutos, segundos, tiempo y nivel. La línea 158, rtc_set_datetime () le pide al reloj que se actualice y arranque con una fecha cualquiera (día, mes, año), un número de día cualquiera (lunes-domingo), pero con 0 horas, 0 minutos y 0 segundos; a partir de ahí comienza a correr el tiempo ingresado por teclado. El tiempo y nivel previamente asignados son leídos de la memoria EEPROM.

```
154
155 void dedo(void)
156 {
157 int x,h,m,s,niv2,tiempo2;
158   rtc_set_datetime(11,1,68,3,0,0,0);
159   m=0;
160   niv2=read_eeprom(0);
161   tiempo2=read_eeprom(1);
162 while(m<tiempo2){
163       rtc_get_time(h,m,s);
164       lcd_gotoxy(6,1);
165       printf(lcd_putc,"POR DEDOS");
166       lcd_gotoxy(1,2);
167       printf(lcd_putc,"Tiempo Asignado= %dM",tiempo2);
168       lcd_gotoxy(1,3);
169       printf(lcd_putc,"Nivel  Asignado= %d",niv2);
170       dedo1(); dedo2(); dedo3(); dedo4(); dedo5();
171   }
172     lcd_putc("\f");
173   for(x=1; x<=5; x++){
174       lcd_gotoxy(2,2);
175       lcd_putc("PROCESO COMPLETO!!");
176       delay_ms(600);
177       lcd_putc("\f");
178       delay_ms(400);}
179 }
180
```

Figura 3. 27: Función por dedos.
Elaborado por: Autora.

```
37
38 void dedo1(void){
39 int h,m,s,niv2,y;
40 niv2=read_eeprom(0);
41 for(y=1; y<=niv2*10; y++){
42   output_high(PIN_E0);
43   delay_us(1500);
44   output_low(PIN_E0);
45   delay_ms(20);
46 }
47       rtc_get_time(h,m,s);
48       lcd_gotoxy(1,4);
49       printf(lcd_putc,"%02d:%02d"m,s);
50 }
51
52 void dedo2(void){
53 int h,m,s,niv2,y;
54 niv2=read_eeprom(0);
55 for(y=1; y<=niv2*10; y++){
56   output_high(PIN_E1);
57   delay_us(1500);
58   output_low(PIN_E1);
59   delay_ms(20);
60 }
61       rtc_get_time(h,m,s);
62       lcd_gotoxy(1,4);
63       printf(lcd_putc,"%02d:%02d"m,s);
64 }
65
```

Figura 3. 28: Movimiento de cada dedo.
Elaborado por: Autora.

En la línea 162 se estableció una condición while () donde, si los minutos (0) son menores a los ingresados por teclado entonces se muestra en la LCD el mensaje “POR DEDOS”, también se muestran en pantalla el tiempo y nivel asignados y guardados en la EEPROM. Cuando el tiempo comienza a transcurrir el texto anterior se borra y comienzan a ejecutarse los movimientos (dedo 1, dedo 2, dedo 3, dedo 4 y dedo 5). En la línea 173 se empleó un lazo for() para que una vez terminado el tiempo se muestre parpadeando en pantalla “PROCESO COMPLETO”.

Si la opción 3 toda (movimiento grupal) es seleccionada entonces se llama a la función toda(), se declararon los variables de hora, minutos, segundos, tiempo y nivel en la línea 183; el reloj es llamado a actualizarse en la línea 184 con rtc_set_datetime() y al igual que en la función dedo() se utiliza una condición while(), es decir si los minutos (0) son menores a los guardados en la EEPROM se muestra en la LCD el mensaje “MANO COMPLETA”, junto con el tiempo y nivel asignados. El lazo for () de la línea 199 establece el movimiento grupal de los dedos por 1.5 ms, luego hace una pausa de 20ms y se repite el movimiento en forma sucesiva.

```
180
181  void toda(void)
182  {
183  int y,x,h,m,s,niv2,tiempo2;
184    rtc_set_datetime(11,1,68,3,0,0,0);
185    m=0;
186    niv2=read_eeprom(0);
187    tiempo2=read_eeprom(1);
188    while(m<tiempo2){
189       rtc_get_time(h,m,s);
190       lcd_gotoxy(4,1);
191       printf(lcd_putc,"MANO COMPLETA");
192       lcd_gotoxy(1,2);
193       printf(lcd_putc,"Tiempo Asignado= %dM",tiempo2);
194       lcd_gotoxy(1,3);
195       printf(lcd_putc,"Nivel  Asignado= %d",niv2);
196       lcd_gotoxy(1,4);
197       printf(lcd_putc,"%02d:%02d"m,s);
198   //*****************************//
199    for(y=1; y<=niv2*10; y++){
200    output_high(PIN_A3); output_high(PIN_A4); output_high(PIN_E0); output_high(PIN_E1); output_high(PIN_E2);
201    delay_us(1500);
202    output_low(PIN_A3); output_low(PIN_A4); output_low(PIN_E0); output_low(PIN_E1); output_low(PIN_E2);
203    delay_ms(20);
204  }
205       rtc_get_time(h,m,s);
206       lcd_gotoxy(1,4);
207       printf(lcd_putc,"%02d:%02d"m,s);
208    }
```

Figura 3. 29: Función toda la mano.
Elaborado por: Autora.

Una vez finalizado el tiempo almacenado aparecerá un mensaje parpadeante en la LCD con el texto “PROCESO COMPLETO”, así fue configurado en el lazo for () de la línea 210.

```
208   }
209    lcd_putc("\f");
210    for(x=1; x<=5; x++){
211      lcd_gotoxy(2,2);
212      lcd_putc("PROCESO COMPLETO!!");
213      delay_ms(600);
214      lcd_putc("\f");
215      delay_ms(400);}
216  }
217
```

Figura 3. 30: Proceso grupal completado.
Elaborado por: Autora.

3.7. Resultados de programación del PIC en Proteus

Se le cargó el archivo.hex de la programación al PIC 16F877 en el Proteus para simular y comprobar el correcto funcionamiento de los distintos menús y del sistema en general. Tal como se estableció en el main, al iniciar el programa aparece el mensaje configurado en la función presentación () seguido del mensaje definido en la función configuración ().

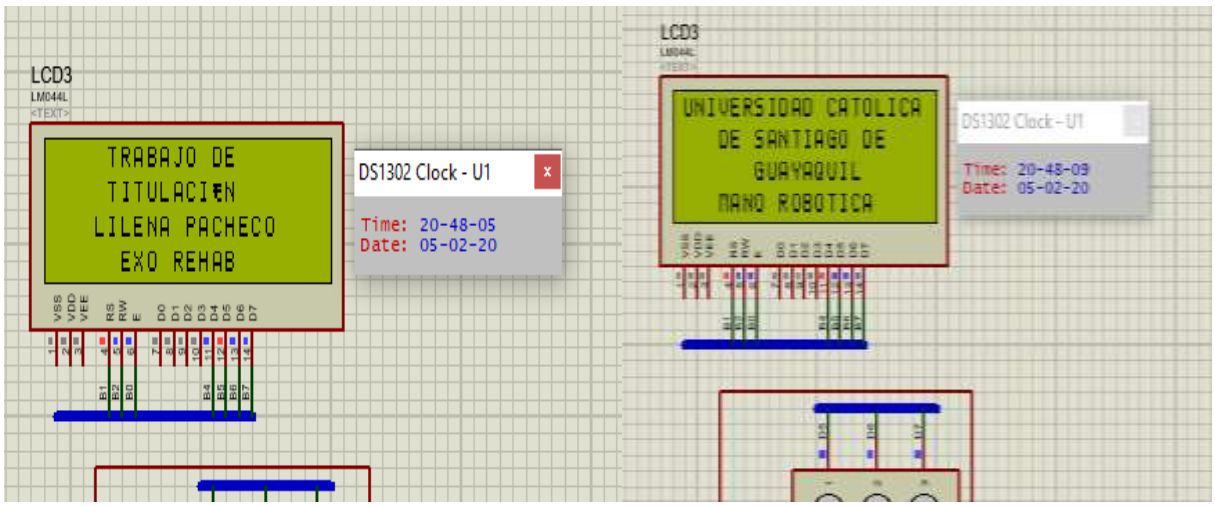


Figura 3. 31: Inicio del programa.
Elaborado por: Autora.

Posteriormente aparece el menú donde deben definirse a través del teclado los parámetros de tiempo, nivel y modo de operación (toda la mano o por dedos).

- Opción 1 – NIVEL

- Opción 2 – TIEMPOS
- Opción 3 – TODA
- Opción 4 – POR DEDOS

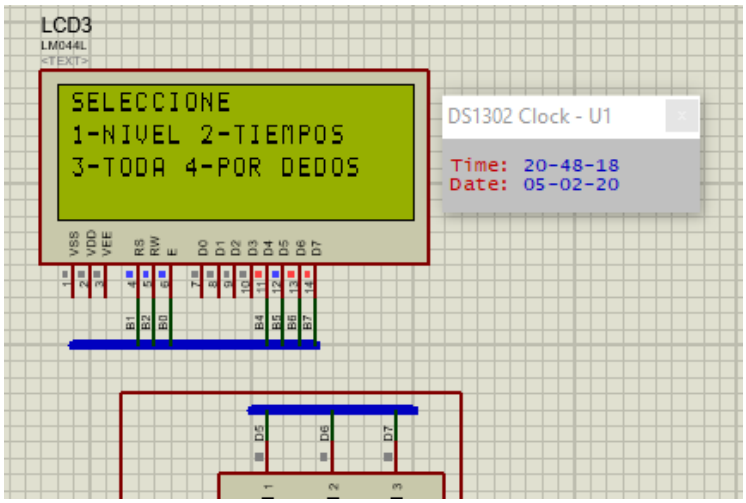


Figura 3. 32: Menú principal.
Elaborado por: Autora.

Después de ingresar el nivel y el tiempo de rehabilitación se debe escoger el modo de rehabilitación, si se escoge la rehabilitación por dedos cada dedo se moverá de forma independiente hasta que el tiempo ingresado finalice.

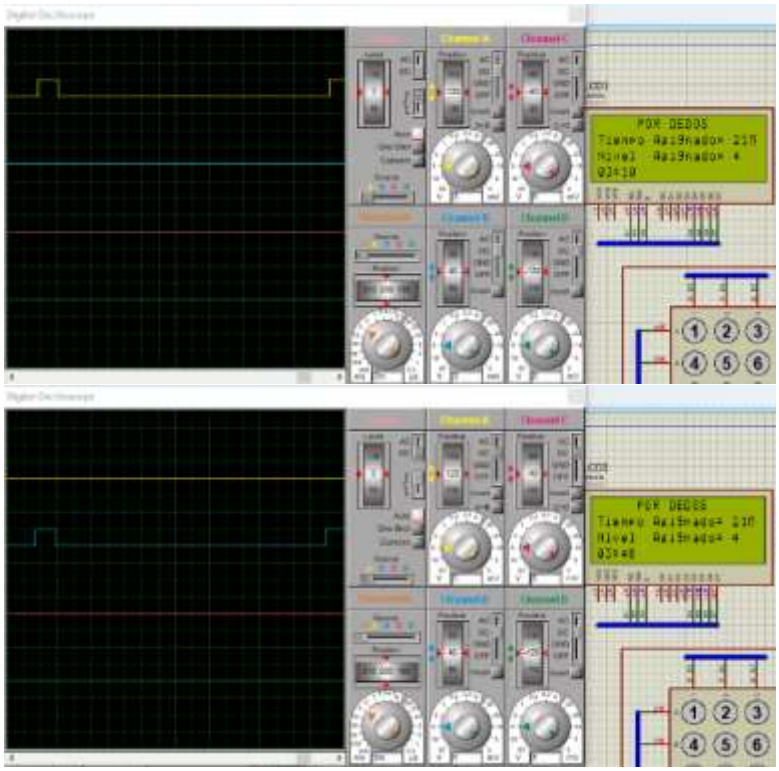


Figura 3. 33: Movimiento individual de dedos.
Elaborado por: Autora.

Si el modo de operación escogido es de toda la mano, se moverán todos los dedos a la par durante el tiempo asignado.

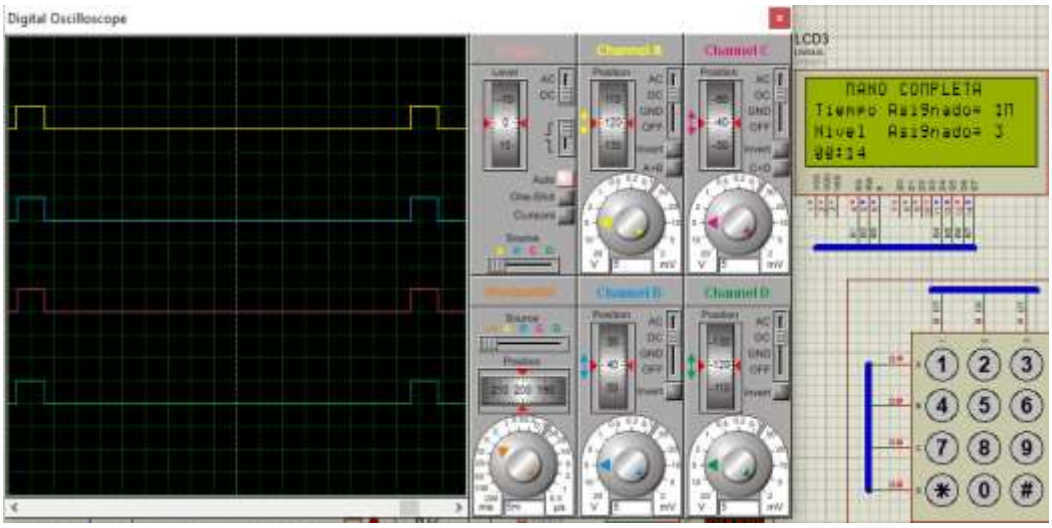


Figura 3. 34: Movimiento grupal de dedos (toda la mano).
Elaborado por: Autora.

Al finalizar el tiempo definido por el usuario aparece el mensaje en la pantalla “PROCESO COMPLETO”.

Figura 3. 35: Fin del proceso.
Elaborado por: Autora.

3.8. Validación del equipo por un profesional de salud

Con el fin de demostrar las virtudes del equipo, éste fue valorado en la consulta privada del Dr. Boris Zurita Cueva, especialista en neurocirugía en el Omnihospital, el mismo que validó la eficacia del funcionamiento del equipo y su potencial para la recuperación de los pacientes con afecciones motoras como secuelas de un infarto cerebral.

Como constancia de lo mencionado se adjunta carta de certificación del especialista.

OMNIHOSPITAL

Dr. Boris Zurita Cueva
NEUROCIRUJANO

Guayaquil, 30 de Enero de 2020.

A quien interese,

De mis consideraciones:

Certifico haber aprobado el diseño del sistema desarrollado por la señorita Lilena Yanelian Pacheco Vélez con C.I.: 0803861707, validando posteriormente el funcionamiento del equipo en mi consulta privada a mis pacientes con secuelas por infarto cerebral, así mismo, destaco la importancia del equipo para una mejor recuperación en pacientes con este tipo de secuelas.

Es todo lo que puedo decir respecto al caso.

Atentamente,

Dr. Boris Zurita Cueva
NEUROCIRUJANO
REG. PROF. MSP
Libro: 1 Folio: 1412 No. 3439

Dr. Boris Zurita Cueva
Neurocirujano

OmniHospital Torre Médica Vitalis 1 Av. Abel Romero Castillo y Av. Tanca Marengo
Piso 3 • Ofic.: 304 Telf.: 6025284 - Cel.: 0998 468410 • E-mail: drboriszurita@hotmail.com

TORRE MÉDICA VITALIS 1

Figura 3. 36: Validación por parte de un profesional.
Elaborado por: Autora.

3.9. Hardware ensamblado

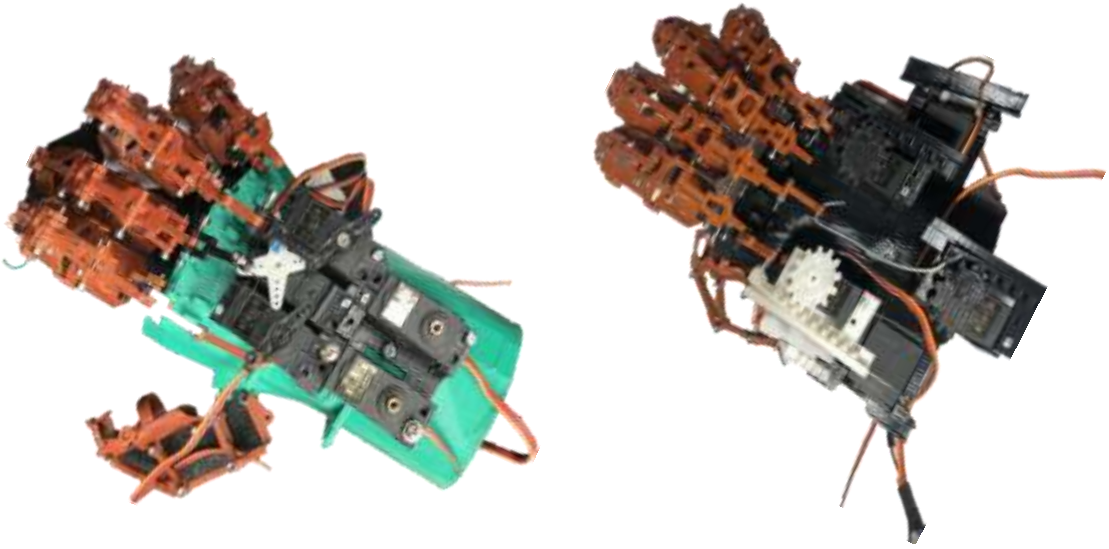


Figura 3. 37: Exoesqueleto ensamblado.
Elaborado por: Autora.

Figura 3. 38: Placa de circuito ensamblada.
Elaborado por: Autora.

Conclusiones.

- La descripción teórica de los microcontroladores, servomotores y de rehabilitación en problemas de infarto cerebral fue el soporte fundamental para el desarrollo del trabajo de titulación, con relación a los microcontroladores se pudo determinar el dispositivo idóneo para el control como sistema embebido, en el caso de los servomotores fue de gran utilidad conocer las especificaciones para así determinar los servomotores adecuados para el equipo de rehabilitación.

- El diseño del exoesqueleto se desarrolló de acuerdo con los parámetros validados por un profesional en el campo médico neurológico, se realizaron pruebas virtuales y se concluyó que las medidas del exoesqueleto varían según las características de cada paciente.

- Se desarrolló el algoritmo de la movilidad del exoesqueleto utilizando lenguaje de programación de alto nivel en el software PIC C Compiler, basándose en los estudios realizados se resolvió que debían declararse dos tipos de movimientos (flexión y extensión) con dos sincronías diferentes (dedo por dedo y grupal), así mismo, debía programarse un menú que permitiera el ingreso de las variables necesarias para efectuar los movimientos.

- Al evaluar el tiempo de funcionamiento del equipo de rehabilitación se infirió que este es flexible en horarios de funcionamiento, a diferencia de la rehabilitación tradicional, este sistema ofrece rehabilitación por tiempos establecidos por el paciente, es decir se adapta a las necesidades y requerimientos de este.

Recomendaciones.

- Tomar las medidas exactas de ancho y largo de cada dedo, mano y muñeca para que el exoesqueleto se acople correctamente al usuario.

- No dejar el equipo expuesto a altas temperaturas ya que su estructura está hecha de PLA y tiende a deformarse con el calor excesivo.

- Para la estructura de futuras versiones del equipo se recomienda usar un material que ofrezca mayor flexibilidad y comodidad al usuario.

Bibliografía

Agostini, M., Moja, L., Banzi, R., Pistotti, V., Tonin, P., Venneri, A., & Turolla, A. (2015). *Telerehabilitation and recovery of motor function: a systematic review and meta-analysis.* Venecia: Journal of Telemedicine and Telecare. doi:https://doi.org/10.1177/1357633X15572201

Angulo Usategui, J. M., & Angulo Martinez, I. (2006). *Microcontroladores* (3era ed.). (C. Fernandez Madrid, Ed.) Aravaca, Madrid, España: EDIGRAFOS, S. A. Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de https://es.scribd.com/document/362721853/Microcontroladores-PIC-Diseno-Practico-de-Aplicaciones-Segunda-Parte-PIC16F87X-PIC18FXXX-2-ed-Jose-Angulo

Angulo Usategui, J. M., & Martin Cuenca, E. (2001). *Microcontroladores PIC: La solución en un chip.* Madrid, España: S.A. EDICIONES PARANINFO. Recuperado el 09 de Diciembre de 2019

Arango Gómez, L. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de exoesqueleto para miembro inferior de infantes con discapacidad motriz.* Mixteca. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13515/1/UPS-CT006904.pdf

Barra Zapata , O., & Barra Zapata, F. (2015). *MICROCONTROLADORES PIC CON PROGRAMACION PBP.* Madrid, España: RA-MA. Recuperado el 06 de Diciembre de 2019

Barrios, M., Rodríguez, L., Pachón, C., Medina, B., & Sierra, J. (22 de Julio de 2019). Telerehabilitación funcional en entornos virtuales interactivos como propuesta de rehabilitación en pacientes con discapacidad. *Espacios, 40*(25). Recuperado el 04 de Diciembre de 2019, de http://www.revistaespacios.com/a19v40n25/a19v40n25p01.pdf

Brennan, D., Mawson, S., & Brownsell, S. (2009). *Telerehabilitation: enabling the remote delivery of healthcare, rehabilitation, and self management.* National Rehabilitation Hospital, Washington DC. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19592797

Carrasco, V. (21 de Septiembre de 2018). *Las funciones de los hemisferios del cerebro: Vica Servicios*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de Vica Servicios Web site: https://www.vicaservicios.es/2018/09/21/hemisferios-del-cerebro/

Colomer Romero, V. (2013). *Propuesta metodológica en el ámbito de la mecatrónica.* Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: Universitat Politècnica de València. Recuperado el 18 de Noviembre de 2019, de https://pdfs.semanticscholar.org/bab8/0def889a2a935b9811eb01b20cee2d41b167.pdf

Coupar, F., Pollock, A., Van Wijck, F., Morris, J., & Langhorne, P. (14 de Abril de 2010). Simultaneous bilateral training for improving arm function after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. doi:https://doi.org/10.1002/14651858.CD006432.pub2

Cruz Martínez, G., Vilchis González, H., Zúñiga Avilés, L., Ávila Vilchis, J., & Hernández Sánchez, A. (Abril de 2018). Diseño de exoesqueleto con base en cuatro casos de estudio de rehabilitación de miembro superior. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322018000100081

Cuzco Simbaña, W., & Illescas Arcentales, F. (2016). *Análisis del dimensionamiento electrónico y simulación en 3D de un exoesqueleto parte inferior para marcha bípeda.* Cuenca. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13515/1/UPS-CT006904.pdf

Dominguez Ramos, B. N. (2011). Control de Calidad de la Atención de Salud. (L. Cruz Valdés, Ed.) *Editorial Ciencias Médicas*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2019, de http://files.sld.cu/scap/files/2012/01/control_calidad.pdf

EcuRed contributors. (04 de Agosto de 2010). *Microcontroladores PIC: EcuRed*. (EcuRed, Editor) Recuperado el 13 de Noviembre de 2019, de EcuRed Web site: https://www.ecured.cu/index.php?title=Microcontroladores_PIC.&oldid=109795

expok. (14 de Agosto de 2013). *Indra presenta Toyra, sistema de Telerehabilitación en la nube: expok*. Recuperado el 04 de Enero de

2020, de expok Web site: https://www.expoknews.com/indra-presenta-toyra-sistema-de-telerehabilitacion-en-la-nube/

García González, A. (02 de Diciembre de 2016). *¿Qué es y cómo funciona un servomotor?: PANAMAHITEK*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2019, de PANAMAHITEK Web site: http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/

Geek Factory. (13 de Mayo de 2017). *PIC16F628 Microcontrolador 8 bits: Geek Factory*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de Geek Factory Web site: https://www.geekfactory.mx/tienda/componentes-electronicos/pic16f628-microcontrolador-8-bits-2

George Quintero, R. (2016). Costo-consecuencia de la rehabilitación en enfermedades. *Información Científica, 95*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2019, de http://www.revinfcientifica.sld.cu/index.php/ric/article/view/134/1434

Gonzáles, V. (2003). *Servomotores: OpenVRG*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2019, de Open VRG Web site: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm

Hernández Sampiere, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México. Recuperado el 18 de Noviembre de 2019, de http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf

Jeon, B.-J., Kim, W.-H., & Park, E.-Y. (21 de Enero de 2015). Effect of task-oriented training for people with stroke: a meta-analysis focused on repetitive or circuit training. *Topics in Stroke Rehabilitation, 22*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2019, de https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1179/1074935714Z.0000000035?scroll=top&needAccess=true

Kwakkel, G., Veerbeek, J., Van Wegen, E., & Wolf, S. (2015). Constraint-induced movement therapy after stroke. *The Lancet Neurology*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2019, de https://www.thelancet.com/journals/laneur/article/PIIS1474-4422(14)70160-7/fulltext

Langhorne, P., Bernhardt, J., & Kwakkel, G. (14 de Mayo de 2011). Stroke rehabilitation. *The Lancet*. Recuperado el 31 de Diciembre de 2019, de https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(11)60325-5/fulltext

Martínez Bea, J. (2016). *Diseño e implementación de un brazo robot para discapacitados.* Valencia. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67638/53357626H_TFG_1467568421627649867510167629397 1.pdf?sequence=3

Martínez Cruz, D. (2018). *Robonoide Bípedo Autónomo Realizado En Plataforma Arduino.* Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Guayaquil. Recuperado el 18 de Diciembre de 2019, de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/36172/1/TRABAJO%20DE

%20TITULACI%c3%93N_MARTINEZ%20CRUZ%20DARWIN%20AVELINO.pdf

Mayo Clinic. (14 de Septiembre de 2019). *Rehabilitación de accidente cerebrovascular: Mayo Clinic*. Recuperado el 08 de Diciembre de 2019, de Mayo Clinic Web site: https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/stroke/in-depth/stroke-rehabilitation/art-20045172

Mecafenix, F. (06 de Abril de 2017). *Microcontrolador PIC [Partes y aplicaciones]: Ingeniería Mecafenix.* Recuperado el 17 de Diciembre de 2019, de Ingeniería Mecafenix Web site: https://www.ingmecafenix.com/electronica/microcontrolador-pic-partes-aplicaciones/

Memorial Hospital. (2017). *Sings and symptoms of a Stroke*. Recuperado el 24 de Diciembre de 2019, de Care New England Health System: http://www.mhri.org/stroke-center/signs-andsymptoms-of-a-stroke.cfm

MIKROE. (25 de Agosto de 2010). *MIKRO ELEKTRONIKA*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/caracteristicas-basicas-del-pic16f887

Monge, H. E. (30 de Mayo de 2014). *Entrenamiento bilateral en el brazo hemiparético: Blog INEAVA*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2019, de Blog INEAVA Web site:

https://www.ineava.es/blog/ictus/entrenamiento-bilateral-en-el-brazo-hemiparetico

Organización Mundial de la Salud. (Noviembre de 2017). *10 datos sobre la discapacidad: World Health Organization*. Recuperado el 23 de Diciembre de 2019, de World Health Organization Web site: https://www.who.int/features/factfiles/disability/es/

Parra, A. L. (2010). *El Microcontrolador PIC16F877: Resumen de hoja de datos.* Recuperado el 19 de Diciembre de 2019, de https://www.academia.edu/12851095/El_Microcontrolador_PIC16F877_Resumen_de_hoja_de_datos

Physiopedia contributors. (19 de Enero de 2020). *Constraint-Induced Movement Therapy (CIMT): Physiopedia*. Recuperado el 22 de Enero de 2020, de Physiopedia Web site: https://www.physio-pedia.com/Constraint-Induced_Movement_Therapy_(CIMT)

Ramírez, L. (08 de Marzo de 2013). *Caracteristicas Del Pic 16F628A: Scribd.* Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de Scribd Web site: https://es.scribd.com/document/129220054/57381537-Caracteristicas-Del-Pic-16f628a

Reyes, C. A. (2008). *Microcontroladores PIC Programación en Basic* (3era ed., Vol. 1). Quito, Pichincha, Ecuador: RISPERGRAF. Recuperado el 24 de Noviembre de 2019, de https://es.slideshare.net/KevinAvilesTorres1/microcontroladores-pic-basic-carlos-a-reyes-70827706?from_action=save

Romero Roa, E. (2012). *Notas de Introducción a la Investigación.* CEIPA Business School. Recuperado el 22 de Octubre de 2019, de https://aplicaciones.ceipa.edu.co/biblioteca/biblio_digital/virtualteca/libros/notas_intro_investigacion_Elizabeth_Romero.pdf

Ruiz Olaya, A. F. (2008). *Sistema Robótico Multimodal para Análisis y Estudios en Biomecánica, Movimiento Humano y Control Neuromotor.* Universidad Carlos III De Madrid, Ingeniería de Sistemas y Automática, Leganés. Recuperado el 22 de Diciembre de 2019, de https://core.ac.uk/download/pdf/30041478.pdf

Serrano Iribarnegaray, L., & Martínez Román, J. (2017). *Máquinas Eléctricas* (4ta ed.). Valencia, Valencia, España: Universitat Politécnica de Valéncia. Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/372dc12e-bf0a-44e0-9a8c-98a3c5d35e45/TOC_0622_05_04.pdf?guest=true

Sheng, B., Zhang, Y., Tang, L., Xie, S. Q., & Deng, C. (03 de Septiembre de 2018). *A Bilateral Training System for Upper-limb Rehabilitation: IEEE Xplore.* Recuperado el 30 de Noviembre de 2019, de IEEE Xplore Web site: https://ieeexplore.ieee.org/document/8452419

State of the Nation. (Enero de 2016). Stroke statistics. *Stroke association*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2019, de https://www.stroke.org.uk/sites/default/files/stroke_statistics_2015.pdf

States, R. A., Pappas, E., & Salem, Y. (2009). Overground physical therapy gait training for chronic stroke patients with mobility deficits. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Recuperado el 31 de Diciembre de 2019, de https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD006075.pub2/full

Stevens, E., Emmett, E., Wang, Y., McKevitt, C., & DA Wolfe, C. (2015). El impacto del Ictus en Europa. (J. Korner, Ed.) *S-A-F-E*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2019, de http://www.strokeeurope.eu/downloads/TheBurdenOfStrokeInEuropeReport.pdf

Tenorio Castillo, O., & Mejía Quintero, D. (14 de Diciembre de 2012). *ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES: DOCPLAYER.* Recuperado el 25 de Noviembre de 2019, de DOCPLAYER Web site: https://docplayer.es/57412060-Escuela-de-ingenieria-electronica-y-telecomunicaciones.html#show_full_text

Thieme, H., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J., & Dohle, C. (14 de Marzo de 2012). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2019, de https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD008449.pub2/full

Thrift, A., Cadilhac, D., Thayabaranathan, T., Howard, G., Howard, V., Rothwell, P., & Donnan, G. (2014). *Global Stroke Statistics.* International Journal of Stroke. Recuperado el 18 de Diciembre de 2019, de https://journals.sagepub.com/doi/10.1111/ijs.12245

Valdés Pérez, F., & Pàllas Areny, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC.* Cataluña, España: MARCOMBO. Recuperado el 14 de Diciembre de 2019, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=ODenKGOHMRkC&oi=fnd&pg=PA9&dq=microcontroladores&ots=umvU3e9f-A&sig=gMC2JgKP-1Tni7UNM9bnxauJlvU#v=onepage&q=microcontroladores&f=false

Volpe, B. T., Krebs, H. I., Hogan, N., Edelstein, L., Diels, C., & Aisen, M. (2000). *A novel approach to stroke rehabilitation: Robot-aided sensorimotor stimulation.* New York: Department of Neurology and Neuroscience . doi:https://doi.org/10.1212/WNL.54.10.1938

Wittkopf, P. G., & Johnson, M. I. (Noviembre de 2017). Mirror therapy: A potential intervention for pain management. *Scielo*. Recuperado el 02 de Enero de 2020, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42302017001101000

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pacheco Vélez, Lilena Yanelian** con C.I: # 080386170-7 autora del Trabajo de Titulación: **Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral mediante el uso de microcontroladores PIC,** previo a la obtención del título de **INGENIERA 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, 28 de Febrero del 2020

f. _____

Nombre: Pacheco Vélez, Lilena Yanelian

C.C: 080386170-7

Presidencia de la República del Ecuador

Plan Nacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes

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

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral mediante el uso de microcontroladores PIC.		
AUTOR(ES)	PACHECO VÉLEZ, LILENA YANELIAN		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. LUIS S. CÓRDOVA RIVADENEIRA		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniera Electrónica en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	28 de Febrero del 2020	**No. DE PÁGINAS:**	88
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas Microcontroladores, Diseño Electrónico		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Ictus, rehabilitación, exoesqueleto, PIC, neuronal, automatización.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

Los infartos cerebrales, también conocidos como accidentes cerebrovasculares o ictus, corresponden al primer lugar en causantes de discapacidad, la recuperación motora y neuronal es un tema preocupante para los pacientes y el sistema hospitalario. El método más utilizado para tratar estos casos de discapacidad es la fisioterapia asistida, sin embargo, ésta suele estar condicionada o limitada por cortos tiempos de sesión, entre 20 a 60 minutos, lo que aplaza o extiende el tiempo de recuperación. El presente proyecto de tesis tiene como objetivo el diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral, mediante el uso de microcontroladores PIC, que promete al usuario acelerar el tiempo de recuperación a nivel motriz y neuronal, con relación a la terapia tradicional, ya que al ser un equipo automatizado ofrece al paciente rehabilitación diaria sin tiempo límite y con diferentes niveles de intensidad de acuerdo con los resultados que se vayan obteniendo.

ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	**Teléfono:** +593980523365	**E-mail:** lile-11pacheco@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	**Nombre:** Mendoza Merchán, Eduardo Vicente **Teléfono:** +593-9-85086815 **E-mail:** eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	