



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**Diseño y construcción de un equipo de rehabilitación tipo
tracción lumbar con terapia continua e intermitente**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de ingeniero
electrónico**

Autores:

**David Sebastián Fernández Parra
Esteban Javier Mora Tola**

Director:

Leonel Pérez Rodríguez

**Cuenca, Ecuador
2011**

DEDICATORIA

A nuestros padres:

Patricio Fernández y Raquel Parra

Diego Mora y Fanny Tola

que con su esfuerzo y dedicación han estado siempre a nuestro lado pendientes de nuestra formación académica y personal.

A nuestros hermanos:

Luis Fernández Parra

Juan Diego y Andrés Mora Tola

quienes siempre han sido un soporte en nuestro caminar y un ejemplo de superación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos vida e iluminar nuestro camino.

A todos nuestros familiares y en especial a nuestros abuelitos

Elina Torres y Teresa Albarracín
Vicente Tola y Leonor Hermida

Que con su ejemplo y cariño siempre nos motivaron a seguir adelante.

A nuestros compañeros y amigos Alexandra Bermeo, Verónica Bustamante, Mateo Encalada y Pablo Oleas por compartir junto a nosotros los mejores momentos de la universidad.

A nuestros amigos Jhonny Carmilema, Miguel Burneo, Oscar Cajamarca, Pedro León, Josué Ochoa, Sebastián Silva y Paul Verdugo por todo el apoyo compartido fuera de las aulas.

Al Ingeniero Leonel Pérez, nuestro profesor y director de tesis, quien nos guió con su experiencia y conocimientos en las aulas y a lo largo de este trabajo.

Al Ingeniero Patricio Campozano por su iniciativa, apoyo y colaboración a lo largo de este trabajo de graduación.

A la Licenciada María Eulalia Larriva por compartirnos sus conocimientos en fisioterapia y asesorarnos.

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño de un equipo para terapia por tracción en la zona lumbar de un paciente. El diseño puede subdividirse en las siguientes partes: hardware y firmware. El hardware se compone de un interfaz de usuario basado en LCD gráfico, pantalla táctil y los elementos de actuación neumáticos para brindar terapia. El firmware, que se ejecuta sobre un micro controlador PIC18F4550; controla el interfaz de usuario y la terapia que funciona en dos modos: continuo e intermitente. El diseño de la terapia se basó en opiniones clínicas de algunos fisiatras de Cuenca. Como resultado se implementó un equipo listo para su validación clínica.

ABSTRACT

This project presents the design of traction therapy equipment to be used in lumbar zone of a patient. The design can be divided as follow: hardware and firmware. The hardware is composed of a graphical LCD, Touch Screen and acting pneumatic elements to guarantee the therapy. The firmware running over a PIC18F4550 microcontroller controls the user interface and therapy. Therapy works in two modes: blinking and continuous. In order to design therapy specific modes, several clinical criteria were taking account within Cuenca Psychiatrists Community. As a result a ready to be validated equipment was implemented.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN TEÓRICA	
1.1 Tracción Lumbar	3
1.1.1 Patologías a tratar	3
1.1.2 Tipos de tracción lumbar	4
1.1.3 Efectos	5
1.1.4 Modo de aplicación de la terapia	5
1.2 Micro-controlador (μ C) pic18f4550	6
1.2.1 Generalidades sobre el micro-controlador (μ C)	6
pic18f4550	
1.2.2 Módulo convertidor analógico-digital (A/D)	7
de 10-bits incorporado en los micro-controladores 18f4550	
1.3 LCD Gráfico (GLCD)	12
1.4 Pantalla táctil	13
1.5 Sensor de presión	17
1.6 Descripción del diseño	18

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE HARDWARE

2.1.	Diseño esquemático del circuito electrónico. Generalidades	22
2.1.1	Interfaz con el/la fisiatra	27
2.2	Funcionamiento de periféricos	29
2.2.1	Manejo del GLCD	29
2.2.2	Circuito de Interfaz entre la Pantalla Táctil y el micro controlador	30
2.2.3	Sensor de Presión	31
2.2.4	Esquema y funcionamiento del circuito de control de electroválvulas	32
2.2.5	Esquema y funcionamiento del circuito que controla el compresor	33
2.3	Circuito neumático del equipo de tracción lumbar	34

CAPÍTULO 3: DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE FIRMWARE

3.1	Generalidades de programación	38
3.2	Condiciones iniciales del sistema	41
3.2.1	Inicialización de puertos	41
3.2.2	Condiciones iniciales para LCD gráfico	42
3.2.3	Condiciones iniciales para convertidor A/D	44
3.2.4	Variables del sistema y valores iniciales	45
3.3	Control del interfaz de usuario	46
3.3.1	Control del LCD gráfico	46

3.3.2	Atención a la pantalla táctil	49
3.4	Adquisición de valores del sensor de presión	50
3.5	Manejo de actuadores	51

CAPÍTULO 4: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1.	Protocolo para prueba de encendido	57
4.2.	Protocolo para prueba de pantalla táctil	58
4.3.	Protocolo para calibración de fuerza	59
4.4	Correcciones realizadas durante el desarrollo del equipo	64

CONCLUSIONES	66
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	66
------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	67
---------------------------	----

ANEXOS	69
---------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1:	Características del Sensor	18
Tabla 2.1:	Distribución de pines para los periféricos	23
Tabla 2.2:	Pines de Interfaz del GLCD	29
Tabla 3.1:	Condiciones iniciales de puertos	42
Tabla 3.2:	Variables importantes del programa	45
Tabla 3.3:	Tabla de Instrucciones para el Control del LCD gráfico	47
Tabla 3.4:	Modos de Operación del GLCD	47
Tabla 3.5:	Estados lógicos de los actuadores en modo intermitente	55
Tabla 3.6:	Estados lógicos de los actuadores en modo continuo	55
Tabla 4.1:	Valores horizontales de calibración	59
	para el botón INTERMITENTE.	
Tabla 4.2:	Valores verticales de calibración	59
	para el botón INTERMITENTE.	
Tabla 4.3:	Valores de Fuerza y Voltaje para la calibración	60
Tabla 4.4:	Valores teóricos decimales (resolución 8-bit)	62
Tabla 4.5:	Valores teóricos decimales (resolución 10-bit)	63
Tabla 4.6:	Valores para el convertidor A/D	64

Tabla A4.1:	Valores horizontales de calibración para el botón CONTINUO.	74
Tabla A4.2:	Valores horizontales de calibración para el botón CONTINUO.	74
Tabla A4.3:	Valores horizontales de calibración para el botón ENTER	74
Tabla A4.4:	Valores horizontales de calibración para el botón ENTER.	75
Tabla A4.5:	Valores horizontales de calibración para el botón ATRÁS.	75
Tabla A4.6:	Valores horizontales de calibración para el botón ATRÁS.	75
Tabla A4.7:	Valores horizontales de calibración para el botón DECREMENTAR.	76
Tabla A4.8:	Valores horizontales de calibración para el botón DECREMENTAR.	76
Tabla A4.9:	Valores horizontales de calibración para el botón INCREMENTAR.	76
Tabla A4.10:	Valores horizontales de calibración para el botón INCREMENTAR.	77
Tabla A4.11:	Valores horizontales de calibración para el botón PARO.	77
Tabla A4.12:	Valores horizontales de calibración para el botón PARO.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Diagrama de bloques del Conversor A/D	8
Figura 1.2:	Registro ADCON0	9
Figura 1.3:	Registro ADCON1	10
Figura 1.4:	Registro ADCON2	11
Figura 1.5:	Resultado de la conversión	12
Figura 1.6:	Partes de una pantalla táctil	15
Figura 1.7:	Esquema de una pantalla táctil al ejercerse presión sobre ella.	16
Figura 1.8:	Transductor de Presión	17
Figura 1.9:	Diagrama de bloques del funcionamiento del equipo	19
Figura 1.10:	Gráfica Tracción-Tiempo en modo intermitente	20
Figura 1.11:	Gráfica Tracción-Tiempo en modo continuo	21
Figura 2.1:	Circuito electrónico de control	24
Figura 2.2:	Tarjeta de Control	25
Figura 2.3:	Placa PCB de circuito de control	26
Figura 2.4:	Placa PCB de control con montaje de componentes	26
Figura 2.5:	Tarjeta de Interfaz con el/la fisioterapista	27
Figura 2.6:	Placa PCB de interfaz de GLCD	28
Figura 2.7:	Placa PCB de interfaz con montaje de GLCD	28
Figura 2.8:	Circuito Interfaz entre la Pantalla táctil y el micro controlador.	30

Figura 2.9:	Curva Presión-Voltaje del Sensor	31
Figura 2.10:	Circuito para la adquisición de voltaje del sensor	31
Figura 2.11:	Control de electroválvulas	33
Figura 2.12:	Control de Compresor	34
Figura 2.13:	Estado Inactivo	35
Figura 2.14:	Pistón lleno de aire	36
Figura 2.15:	Bloqueo del Compresor.	37
Figura 3.1:	Diagrama de flujo del programa de control	40
Figura 3.2:	Diagrama de flujo de inicialización del LCD Gráfico	43
Figura 3.3:	Pantalla de presentación	49
Figura 3.4:	Pantalla final (visualización de terapia)	52
Figura 3.5:	Diagrama de flujo del funcionamiento	53
	durante la terapia	
Figura 4.1:	Respuesta en Voltaje del sensor	61

Fernández Parra David Sebastián

Mora Tola Esteban Javier

Trabajo de Graduación

Ing. Leonel Pérez

Noviembre del 2011

Diseño y construcción de un equipo de rehabilitación tipo tracción lumbar con terapia continua e intermitente

INTRODUCCIÓN

La bioelectrónica es la rama de la Ingeniería Electrónica que aplica los conceptos, técnicas y tecnologías electrónicas al diseño, implementación y/o mantenimiento de equipos relacionados con el control de procesos biológicos, medio ambientales y dedicados a la medicina humana y/o animal (Electromedicina).

El avance de la bioelectrónica a nivel mundial, está determinado por la influencia anglosajona, europea y asiática, cuyo sustento tecnológico y científico es importante. En Sudamérica, Brasil y Argentina han sido los primeros países en incursionar en esta área. Ecuador en la actualidad ocupa un puesto más como consumidor que como productor de equipos bioelectrónicos; son pocos los profesionales que se han dedicado a esta área y aún no existe un incentivo por parte de centros de investigación para el desarrollo de proyectos en este ámbito.

Es esta realidad del Ecuador la que motiva a incursionar en este campo del área médica, contribuyendo con una versión modificada de los equipos de tracción lumbar para rehabilitación física existentes en el mercado. El equipo

de tracción lumbar es un aparato que utilizan los rehabilitadores físicos para el tratamiento de pacientes con conducto lumbar estrecho. Su función es tensionar la región lumbar por un tiempo predeterminado para lograr un aumento de los espacios intervertebrales, disminuyendo la sintomatología de los pacientes.

El diseño del equipo consiste en el control de las libras de tensión que se va aplicando al paciente, el tiempo que se somete a la rehabilitación, la manera de tensionar según se haya escogido el modo de terapia (continuo o intermitente) y la opción de suspensión emergente de la acción del equipo con un pulsante para el paciente y uno para el terapeuta. Su diseño consta de un hardware y un firmware de control basado en micro controladores (pic18f4550), visualización a través de LCD gráfico e interacción con el usuario mediante una pantalla táctil.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN TEÓRICA

En este capítulo se resumen los conceptos relacionados con el diseño y la construcción del equipo de rehabilitación. Dentro de los tópicos tratados se pueden mencionar los siguientes:

- Fisiopatología del dolor lumbar y efectos de la tracción lumbar.
- Descripción de dispositivos encargados del control y funcionamiento del equipo de tracción lumbar.
- Descripción del desarrollo del diseño del equipo de tracción lumbar.

1.1 Tracción Lumbar.

La tracción lumbar constituye un tratamiento que aumenta el espacio intervertebral, disminuyendo la presión intraarticular.

1.1.1 Patologías a tratar.

Las patologías más comunes a tratar son:

- Estenosis lumbar
- Patología degenerativa de disco intervertebral.
- Radiculopatía lumbar.

La Lumbalgia o síndrome doloroso lumbar, es causada por alteraciones de estructuras que forman parte de la columna vertebral como músculos, ligamentos, vértebras y discos vertebrales. Se caracteriza por dolor en la región baja de la columna con presencia de espasmo muscular, y alteraciones neurológicas si se asocia a compresión radicular por estenosis lumbar.

1.1.2 Tipos de tracción lumbar.

Existen algunos tipos de tracción lumbar, entre los que se puede citar a las técnicas usadas con mayor frecuencia:

Tracción mecánica o motorizada: la tracción es ejercida por una polea motorizada, solo en este tipo de tracción se puede estandarizar la fuerza aplicada al paciente.

Tracción manual: el terapeuta ejerce la tracción utilizando su peso corporal para aplicar la fuerza y dirección de la tracción.

Autotracción: El paciente controla la fuerza de tracción al tirar barras de cierto peso sobre la cabeza de la mesa de tracción.

“En la aplicación de la fuerza de tracción deben ser consideradas las fuerzas contrarias, como la tensión muscular lumbar, la tensión de la piel en la región lumbar y la presión abdominal, que dependen de la constitución física del paciente.” (Clarke JA, van Tulder MW, Blomberg SEI, de Vet HCW, van der Heijden GJMG, Bronfort G. Tracción para el dolor lumbar con o sin ciática. 2007)

1.1.3 Efectos.

Al ejercer tracción sobre el área lumbar del paciente, se producen los siguientes efectos:

1. **Reducción de protrusión:** Al separarse las superficies articulares se crea una presión subatmosférica que succiona el material protruido.
2. **Liberación de presión intradiscal:** Se produce al separar las vertebrae de la región lumbar al momento de ejercer la tracción.
3. **“Tensado de los ligamentos:** Al producirse un alejamiento entre las vertebrae, el ligamento longitudinal posterior se tensa lo suficiente como para ejercer una fuerza centrípeta sobre el material lesionado, devolviéndolo a su ubicación original dentro del espacio intervertebral.” (Torrado N. La correcta utilización de la tracción lumbar mecánica (TLM) en el tratamiento de la hernia discal. 2008).

1.1.4 Modo de aplicación de la terapia

La terapia emplea un arnés que se coloca al paciente en la zona dorsal, el mismo que va sujetado contra la camilla sobre la cual reposa para evitar deslizamiento el momento de tensionar. Un segundo arnés se coloca alrededor de la zona lumbar y va sujetado a la cuerda que se conecta al equipo para aplicar la tensión. Los tiempos y tensiones varían según el caso de cada persona, a pesar de que la experiencia de fisiatras locales sugiere que el tiempo sea de 15 minutos y que la tracción varíe entre 30 a 60 libras de tensión, aumentando en sesiones posteriores, ya que la tracción lumbar es un tratamiento progresivo.

Como en todas las terapias de rehabilitación, hay que tener en cuenta ciertos detalles antes, durante y después de la sesión:

- Antes de empezar con el tratamiento y aplicar la tensión, el paciente debe exponerse a un medio de calor (onda corta) en la zona lumbar.
- Durante la tracción, el paciente debe permanecer acostado en una posición cómoda y con el pulsante de interrupción emergente en la mano.
- Después de la terapia, el paciente debe seguir ciertas recomendaciones que el fisiatra determina, como: la forma de soltar los arneses, el tiempo de reposo después de acabar la sesión y el tipo de actividades que podría realizar posteriormente.

1.2 Micro controlador (μ C) pic18f4550

Un micro-controlador es un chip que integra la mayor cantidad de recursos en él y se comunica con el exterior a través de líneas de entrada/salida o líneas de puerto.

1.2.1 Generalidades sobre el micro-controlador (μ C) pic18f4550

Algunas razones que justifican la elección de un micro-controlador para este proyecto son las siguientes:

- **Bajo costo.** Puesto que integran muchos de los recursos que en un microprocesador aparecen de forma discreta y se miniaturizan los diseños, lo que abarata costos de fabricación.
- **Fiabilidad.** Un μ C integra la mayor parte de los recursos, por lo que se minimizan las interconexiones en la tarjeta de circuito impreso lográndose así un diseño más fiable.

- **“Ahorro de tiempo.** El tiempo de desarrollo es para los diseñadores de hoy muchas veces la variable que permite que sus productos lleguen oportunamente al mercado.” (PÉREZ, L. (2009). Curso de Microcontroladores. Universidad Del Azuay)

Para este proyecto se utiliza el PIC18F4550 el cual pertenece a la “gama alta” de micro controladores Microchip, específicamente a la familia 18FXXXX. Estos μ C integran una amplia gama de periféricos de los cuales resultan importantes para este proyecto los siguientes:

- Puertos entrada/salida
- Convertidor analógico/digital (A/D)

1.2.2 Módulo convertidor analógico-digital (A/D) de 10-bits incorporado en los micro-controladores 18f4550.

El convertidor integrado maneja una resolución de 10-bits y hasta 13 canales analógicos cuya adquisición se realiza de forma multiplexada. El diagrama de bloques del convertidor A/D se muestra en la **figura 1.1**:

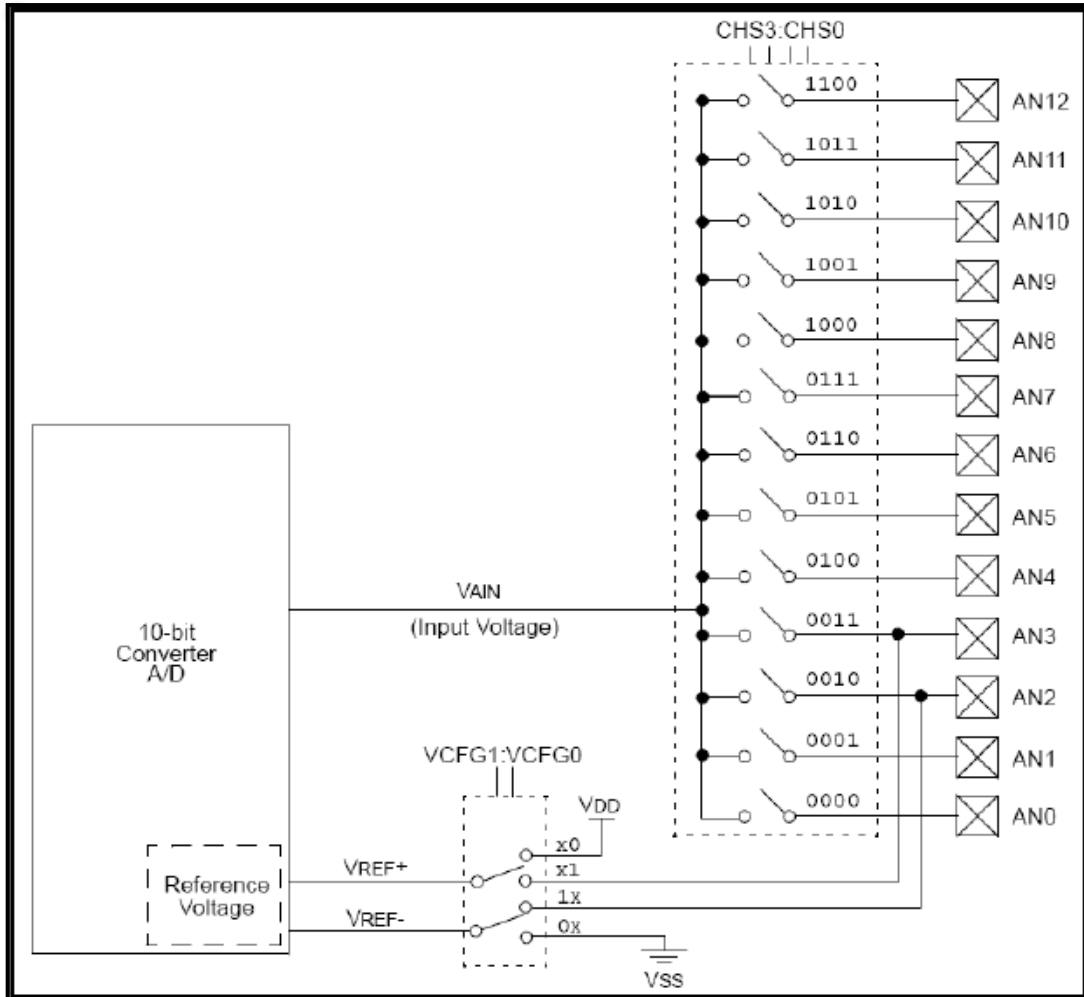


Figura 1.1: Diagrama de bloques del Conversor A/D.

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet (Microchip)

Control del A/D.

El convertidor A/D se controla a través de cinco registros: ADCON0, ADCON1, ADCON2, ADRESH y ADRESL, que se resumen a continuación:

ADCON0.

Utilizando el registro de control ADCON0 (mostrado en la **figura 1.2**) se realiza la selección del canal a convertir mediante los bits **<CHS3:CHS0>**, se inicia la conversión o se verifica si ha finalizado la misma chequeando el bit **GO/DONE** y se enciende o apaga el convertidor A/D a través del bit **ADON**.

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
bit 7							bit 0
bit 7-6	Unimplemented: Read as '0'						
bit 5-2	CHS3:CHS0: Analog Channel Select bits						
	0000 = Channel 0 (AN0)						
	0001 = Channel 1 (AN1)						
	0010 = Channel 2 (AN2)						
	0011 = Channel 3 (AN3)						
	0100 = Channel 4 (AN4)						
	0101 = Channel 5 (AN5) ^(1,2)						
	0110 = Channel 6 (AN6) ^(1,2)						
	0111 = Channel 7 (AN7) ^(1,2)						
	1000 = Channel 8 (AN8)						
	1001 = Channel 9 (AN9)						
	1010 = Channel 10 (AN10)						
	1011 = Channel 11 (AN11)						
	1100 = Channel 12 (AN12)						
	1101 = Unimplemented ⁽²⁾						
	1110 = Unimplemented ⁽²⁾						
	1111 = Unimplemented ⁽²⁾						
bit 1	GO/DONE: A/D Conversion Status bit						
	<u>When ADON = 1:</u>						
	1 = A/D conversion in progress						
	0 = A/D Idle						
bit 0	ADON: A/D On bit						
	1 = A/D converter module is enabled						
	0 = A/D converter module is disabled						

Figura 1.2: Registro ADCON0.

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet (Microchip)

ADCON1.

Utilizando el registro de control ADCON1 (mostrado en la **figura 1.3**) se define el rango de conversión mediante los bits **<VCFG1:VCFG0>** y se realiza la selección del modo de trabajo con los canales analógicos y/o digitales (bits **<PCFG3:PCFG0>**).

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0 ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾	R/W ⁽¹⁾
—	—	VCFG1	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	PCFG3	PCFG0
bit 7												bit 0	
bit 7-6 Unimplemented: Read as '0'													
bit 5 VCFG1: Voltage Reference Configuration bit (VREF- source) 1 = VREF- (AN2) 0 = VSS													
bit 4 VCFG0: Voltage Reference Configuration bit (VREF+ source) 1 = VREF+ (AN3) 0 = VDD													
bit 3-0 PCFG3:PCFG0: AD Port Configuration Control bits:													
PCFG3: PCFG0	AN12	AN11	AN10	AN9	AN8	AN7 ⁽²⁾	AN6 ⁽²⁾	AN5 ⁽²⁾	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
0000 ⁽¹⁾	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0010	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0011	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0100	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0101	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0110	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0111 ⁽¹⁾	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A
1000	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A
1001	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A
1011	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A
1100	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A
1101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
A = Analog input						D = Digital I/O							

Figura 1.3: Registro ADCON1.

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet (Microchip)

ADCON2.

Utilizando el registro de control ADCON2 (mostrado en la **figura 1.4**) se escoge la resolución de la conversión (8 o 10 bits), el formato en el cual se leerá el resultado de la cuantificación se selecciona con el bit **<ADFM>**, se define un múltiplo del tiempo de adquisición con los bits **<ACQT2:ACQT0>** y se selecciona el periodo del reloj de conversión mediante los bits **<ADCS2:ADCS0>**.

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	ACQT2	ACQT1	ACQT0	ADCS2	ADCS1	ADCS0
bit 7							bit 0
bit 7	ADFM: A/D Result Format Select bit 1 = Right justified 0 = Left justified						
bit 6	Unimplemented: Read as '0'						
bit 5-3	ACQT2:ACQT0: A/D Acquisition Time Select bits 111 = 20 T _{AD} 110 = 16 T _{AD} 101 = 12 T _{AD} 100 = 8 T _{AD} 011 = 6 T _{AD} 010 = 4 T _{AD} 001 = 2 T _{AD} 000 = 0 T _{AD} ⁽¹⁾						
bit 2-0	ADCS2:ADCS0: A/D Conversion Clock Select bits 111 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator) ⁽¹⁾ 110 = Fosc/64 101 = Fosc/16 100 = Fosc/4 011 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator) ⁽¹⁾ 010 = Fosc/32 001 = Fosc/8 000 = Fosc/2						

Figura 1.4: Registro ADCON2.

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet (Microchip)

Tratamiento del resultado. Registros ADRESH y ADRESL.

El resultado de la conversión se carga en un par de registros denominados: ADRESH y ADRESL. El orden de cómo se almacena este resultado depende del valor asignado al bit **<ADFM>** del registro de control ADCON2. El resultado se puede formatear de dos formas (**figura 1.5**): justificado a la izquierda, **ADFM = 0** y justificado a la derecha, **ADFM = 1**. El formato en que se obtenga el resultado se relaciona con la resolución que se desea trabajar: para lograr 10 bits se justifica a la derecha y para lograr 8 bits (resolución truncada) se justifica a la izquierda.

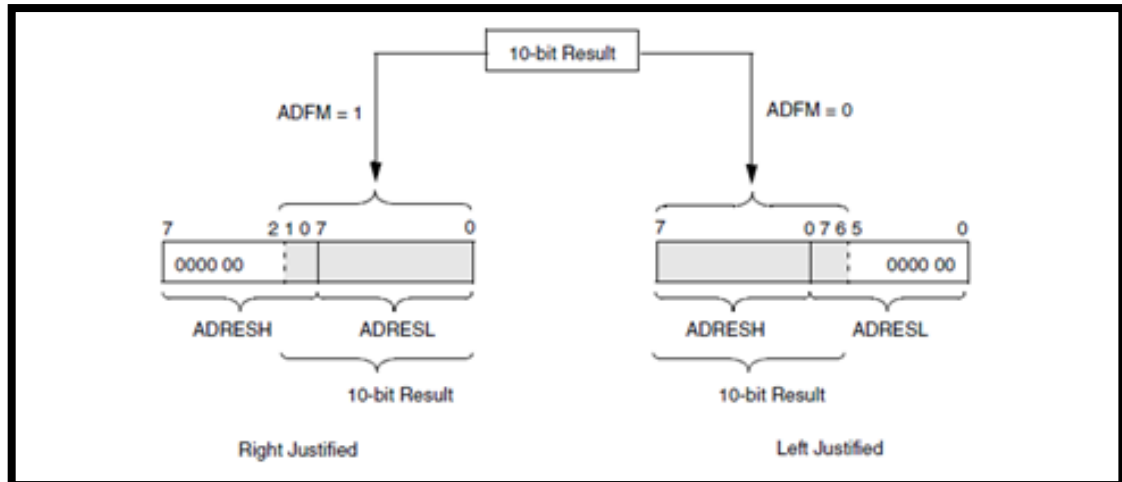


Figura 1.5: Resultado de la conversión.

Fuente: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet (Microchip)

1.3 LCD Gráfico (GLCD).

Los GLCD (*Graphical Liquid Crystal Display*) permiten la visualización de caracteres arbitrarios dentro de un área definida por una resolución de MxN píxeles. Dentro de las resoluciones más comunes se pueden citar: 96x64, 128x64, 128x128 y 240x128. La mayoría de LCD gráficos usan uno o varios controladores inteligentes, estos controladores o drivers actúan como interfaz entre el GLCD y el μC interpretando varios comandos. La resolución de las pantallas está relacionada con la memoria RAM del GLCD y también con el precio.

Los controladores más populares en el mercado son:

- KS0108
- T6963C
- HD66206
- NT7108C

Los tipos de interfaz más utilizados son:

- Paralelo
- RS232C
- I2C

Para este proyecto se utiliza un LCD Gráfico con controlador NT7108C e interfaz paralela de resolución 128x64 monocromático, el control de este display se realiza con dos controladores inteligentes que tienen sus pines de habilitación independientes, CS1 para la mitad derecha y CS2 para la mitad izquierda.

1.4 Pantalla táctil

Las pantallas táctiles sirven de interfaz para que los usuarios se comuniquen con el equipo mediante la selección de opciones en la propia pantalla. Las tecnologías para pantallas táctiles existentes en el mercado son las siguientes:

Pantallas táctiles capacitivas

Las pantallas con tecnología capacitiva tienen la ventaja de presentar mayor resistencia y precisión así como una mejor calidad de imagen, pero también presentan inconvenientes tales como su costo elevado y que no es posible utilizar punteros inertes, ya que es necesario, para su funcionamiento, que exista una carga eléctrica entre la superficie de la pantalla y el puntero.

Pantallas táctiles resistivas

Las pantallas táctiles de este tipo son las más populares debido a su bajo costo y porque se puede utilizar cualquier tipo de puntero para su funcionamiento. Existen dos tipos: las pantallas táctiles resistivas de cuatro hilos y las pantallas táctiles resistivas de cinco hilos; la diferencia entre los dos tipos de pantallas táctiles es que la de cinco hilos presenta una mayor precisión.

El tipo de pantalla escogida para esta tesis es de cuatro hilos. Esta pantalla está compuesta por dos membranas, las cuales, tienen sobre su superficie un material resistivo distribuido de manera uniforme: la primera es rígida, está adherida al display y tiene la resistencia distribuida uniformemente sobre ella de manera vertical; la segunda es flexible, con su resistencia distribuida de manera horizontal. Las dos membranas tienen un recubrimiento interno resistivo, por lo que su resistencia de contacto es muy elevada, al presionar la membrana superior sobre la inferior la resistencia de contacto entre ellas se reduce.

En la **figura 1.6** constan las partes descritas de una pantalla táctil; como se puede observar, cada membrana es en sí una resistencia distribuida longitudinalmente, cuyos terminales son las barras conductoras colocadas a los extremos; dos terminales corresponden a la membrana que tiene su resistencia distribuida sobre el eje "X" mientras los dos terminales restantes corresponden a la membrana que tiene su resistencia distribuida sobre el eje "Y"; por esta razón se dice que ésta es una pantalla táctil de cuatro hilos.

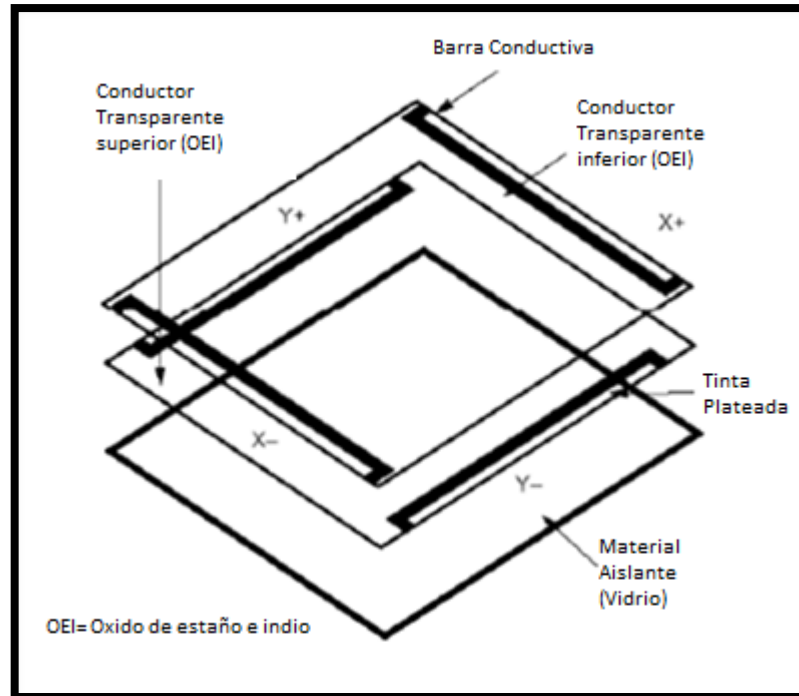


Figura 1.6: Partes de una pantalla táctil.

Fuente: Nota de aplicación CAN-015 "Lectura de touch screen resistivo" (Cika Electronica)

En la **Figura 1.7** se representa esquemáticamente lo que sucede cuando se ejerce presión sobre la pantalla. Se supone que el punto de contacto es el sitio donde se encuentra R_{touch} , la cual es la resistencia de contacto entre ambas membranas, que al presionarla se reduce hasta provocar el contacto entre ellas. Para obtener las coordenadas del punto presionado se polariza la membrana "Y" y se toma el valor de voltaje en "X+", el voltaje capturado es el valor producido por el partidor de tensión de la membrana "Y" en el punto R_{touch} ; si bien la resistencia X_+ queda en serie con la medición, su valor es pequeño, por lo cual la caída de tensión provocada puede ser despreciada, siendo éste valor el correspondiente a la coordenada "Y". Para conseguir la coordenada "X" se realiza el mismo procedimiento, polarizando esta vez la membrana "X" y tomando el valor de tensión en el terminal Y_+ , obteniendo así el valor del punto deseado.

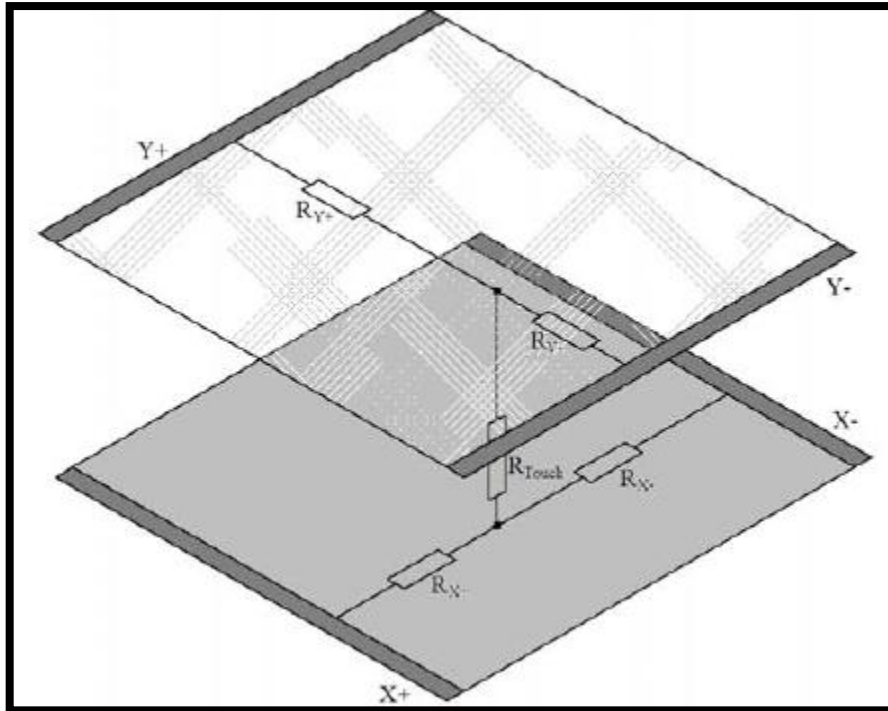


Figura 1.7: Esquema de una pantalla táctil al ejercerse presión sobre ella.

Fuente: Nota de aplicación AVR341 "Four and five-wire Touch Screen Controller" (Atmel)

Otras tecnologías

Aunque las tecnologías capacitiva y resistiva son las más utilizadas en el mercado existen otros tipos de tecnología muy apreciados en ciertos lugares de la industria donde las capacitivas o las resistivas no se utilizan ya sea por su costo o por sus características. Existen pantallas que usan tecnología de reconocimiento de pulso acústico, tecnología infrarroja, tecnología de ondas de superficie y por último están las pantallas multi-táctiles que son muy utilizadas en los móviles celulares últimamente.

1.5 Sensor de presión

La función de los sensores de presión es convertir la presión en una señal eléctrica, ya sea esta analógica o digital. Hay muchas tecnologías que pueden ser usadas para realizar esta función; el sensor utilizado para este trabajo de graduación (**figura 1.8**) posee la tecnología de galgas extensométricas (*strain gages*), que es la más popular.



Figura 1.8. Transductor de Presión

Fuente: Catálogo "Model DCT Pressure Transducers" (AMETEX)

Una galga extensométrica es un sensor basado en el efecto piezorresistivo. La presión deforma la galga, lo cual varía su resistencia y por lo tanto el voltaje entregado. Las características del sensor dct g 0160 d pt 01 1 se especifican en la **tabla 1.1** que se indica a continuación:

Dct	Transductor Digital Compensado (<i>Digital Compensated Transducer</i>)
G	Medidor de Presión (<i>Gauge Pressure</i>)
0160	Rango de 0 a 160 psi
D	Alimentación de 9-30V / Salida de 1-5V
Pt	Cable 24 AWG de 18 pulg de largo como máximo.
01	Conector de presión 1/8 pulg NPT
1	El material del conector de presión es de acero inoxidable 316L

Tabla 1.1: Características del Sensor.

1.6 Descripción del diseño.

Para que el equipo realice las funciones que la terapia exige, se tienen los siguientes dispositivos de mayor importancia:

- Compresor de aire
- Pistón de simple efecto
- Electroválvulas normalmente abiertas
- Micro-controlador PIC
- LCD Gráfico con pantalla táctil

El compresor de aire está conectado a la electroválvula 1 (**figura 2.10**) que controla la gran presión de arranque y la presión sobrante de paro, esta se conecta a un regulador de flujo calibrado para una tracción lenta. El regulador está conectado a la electroválvula 2, cuya salida se conecta al pistón neumático y al sensor de presión. El circuito de control está retroalimentándose por la señal que entrega el sensor de presión al micro controlador. El circuito también está conectado al compresor y a las electroválvulas como se explica en el diagrama de bloques presentado a continuación en la **figura 1.9**.

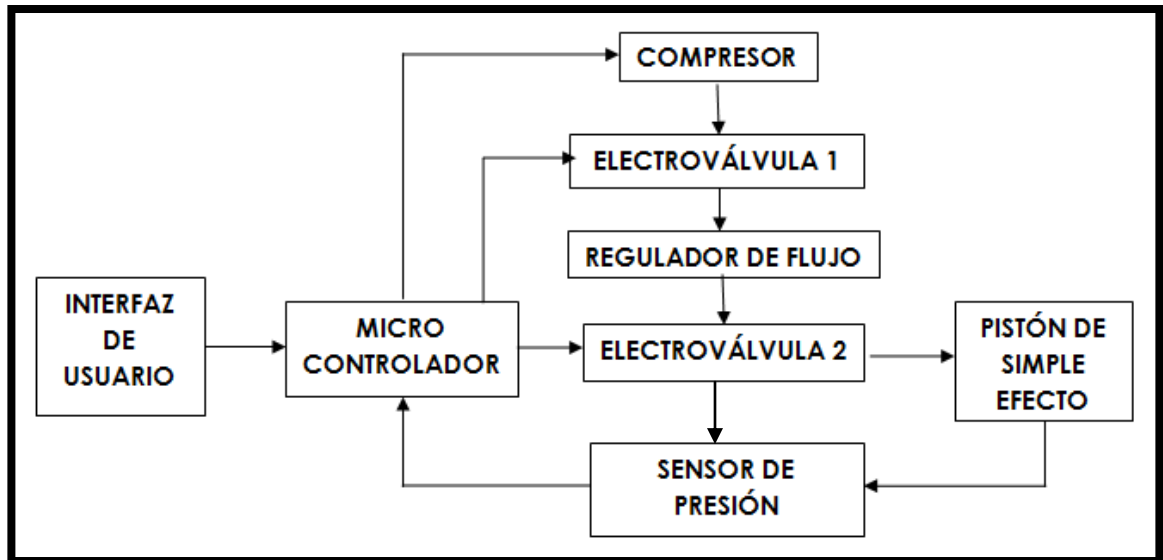


Figura 1.9: Diagrama de bloques del funcionamiento del equipo.

En el proceso de seteo, luego de que el usuario ha escogido el modo, el tiempo y las libras de tracción, la terapia se realiza de la siguiente manera:

Modo intermitente: Este modo se programa para ir aumentando la tensión en tramos hasta llegar a la seteada y entre cada incremento pausa el valor de tensión por un pequeño tiempo. Una vez que la tensión haya llegado al valor escogido, permanece ahí por un tiempo mayor; posteriormente, la tensión va disminuyendo en tramos hasta llegar a cero y entre cada decremento pausa el valor de tensión por un pequeño tiempo. En la **figura 1.10** se representa la tracción que ejerce el equipo en modo intermitente a lo largo del tiempo:

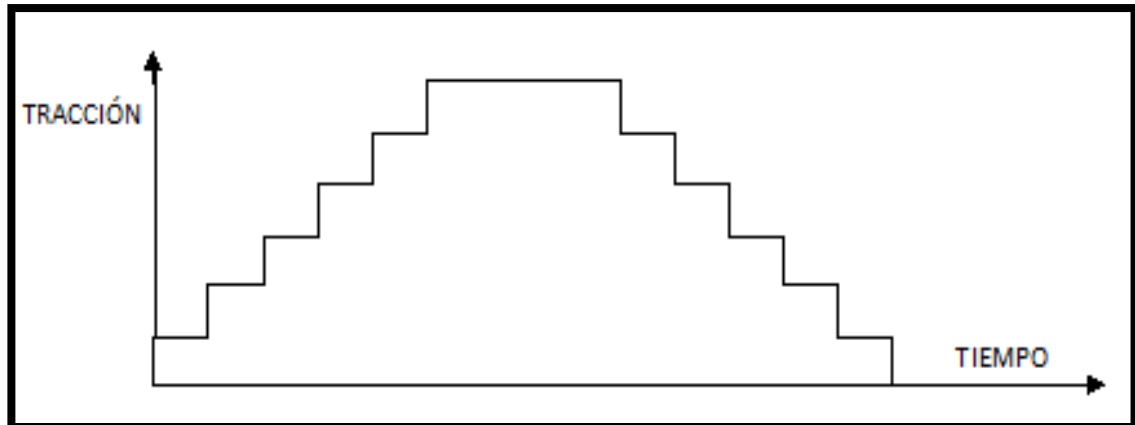


Figura 1.10: Gráfica Tracción-Tiempo en modo intermitente

El equipo trabaja en modo intermitente de la siguiente manera:

1. Para aplicar tensión, se enciende el compresor para iniciar el proceso de llenado de aire al pistón.
2. Se cierra las electroválvulas para que no escape el aire.
3. Se mantiene el estado anterior durante el tiempo establecido en el programa para el tramo de incremento de tensión.
4. Se desactiva la electroválvula 1 para que el aire del compresor no llegue al pistón.
5. Se mantiene el estado anterior durante el tiempo establecido en el programa para el pausado de tensión.
6. Se repite los pasos 2 al 5 hasta que la tensión llegue al valor seteado.
7. Se mantiene la tensión por el tiempo establecido en el programa.
8. Se abre la electroválvula 2 para que escape el aire.
9. Se mantiene el estado anterior durante el tiempo establecido en el programa para el tramo de disminución de tensión.
10. Se cierra las electroválvulas para que no escape el aire.
11. Se mantiene el estado anterior durante el tiempo establecido en el programa para el tramo de decremento de tensión.
12. Se repite los pasos 8 al 11 hasta que ya no haya aire en el pistón y exista tensión 0.

Modo continuo: Este modo se programa para que la tensión aumente directamente desde 0 hasta el valor seteado; una vez ahí, se mantiene por casi la totalidad del tiempo de terapia, únicamente varía al final para terminar la tracción en donde todo el aire escapa y la tensión disminuye a 0. En la **figura 1.11** se representa la tracción que ejerce el equipo en modo continuo a lo largo del tiempo:

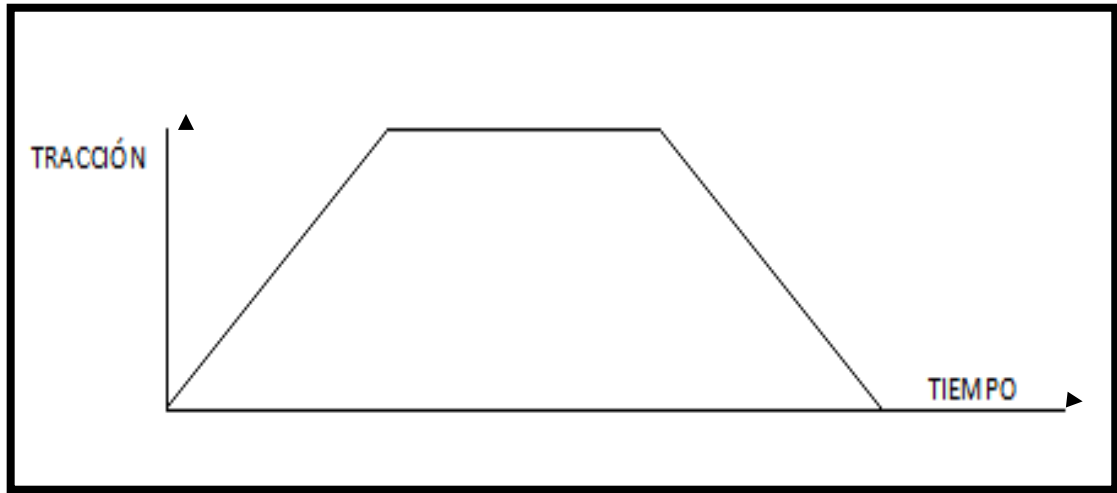


Figura 1.11: Gráfica Tracción-Tiempo en modo continuo.

El equipo trabaja de la siguiente manera:

1. Para aplicar tensión, se enciende el compresor para llenar de aire el pistón.
2. Se activan las electroválvulas para que no escape el aire.
3. Una vez que la tensión ha llegado al valor seteado, se apaga el compresor.
4. Se mantiene el estado anterior durante el tiempo programado para conservarse en el valor de tensión seteado (aproximadamente el tiempo total de la terapia).
5. Se abre las electroválvulas dejando escapar el aire hasta que se vacíe el pistón y exista tensión 0.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE HARDWARE

En este capítulo se realiza una descripción del desarrollo del diseño y construcción del hardware del equipo. Dentro de los tópicos tratados se pueden mencionar los siguientes:

- Diseño esquemático de los circuitos electrónicos.
- Paso de los diseños electrónicos a una placa PCB, donde se montan todos los componentes del circuito.
- Modo de funcionamiento de los periféricos comandados por el microcontrolador.
- Diseño del circuito neumático.

2.1. DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO. GENERALIDADES

Para el diseño y la construcción del hardware del equipo de tracción lumbar, se necesita un circuito electrónico capaz de:

1. Comandar dos electroválvulas de corriente continua que controlan el paso de aire en el circuito neumático.
2. Controlar el encendido o apagado de un compresor de corriente alterna.
3. Recibir una señal analógica del sensor de presión.
4. Comunicarse con él/la fisiatra a través de un interfaz (LCD Gráfico con pantalla táctil) que le permita establecer los parámetros de la terapia.

En este equipo, el pic18f4550 es el encargado de comandar todo lo mencionado anteriormente, por lo tanto, la distribución de pines del microcontrolador está especificada en la **tabla 2.1** que se indica a continuación:

Distribución de Pines del PIC según su función	
LCD Gráfico	
RA4	D/I
RA5	Backlight
RC0	R/W
RC1	E
RC2	RST
RD0 – RD7	Bus de datos
RE0	CS1
RE1	CS2
Pantalla táctil	
RA0	Adquisición Vertical
RA1	Adquisición Horizontal
RA3	Votaje de Referencia
RB0	Selector Vertical
RB1	Selector Horizontal
Control Neumático	
RA2	Retroalimentación del Sensor
RB2	Pulsante de Paro Emergente
RB5	Control del Compresor
RB6	Control de la Electroválvula 2
RB7	Control de la Electroválvula 1
Oscilador Externo	
OSC1	Entrada para el Oscilador
OSC2	Entrada para el Oscilador
Buzzer	
RB4	Alarma y notificación de Pulso de la Pantalla Táctil

Tabla 2.1: Distribución de pines para los periféricos.

Con todas estas especificaciones, se diseñó el circuito que se muestra en la **figura 2.1**. En la **figura 2.2** se representa el modelo de la placa PCB que implementa el diseño del circuito esquemático, en la **figura 2.3** y la **figura 2.4** se indica el resultado final de lo diseñado y construido:

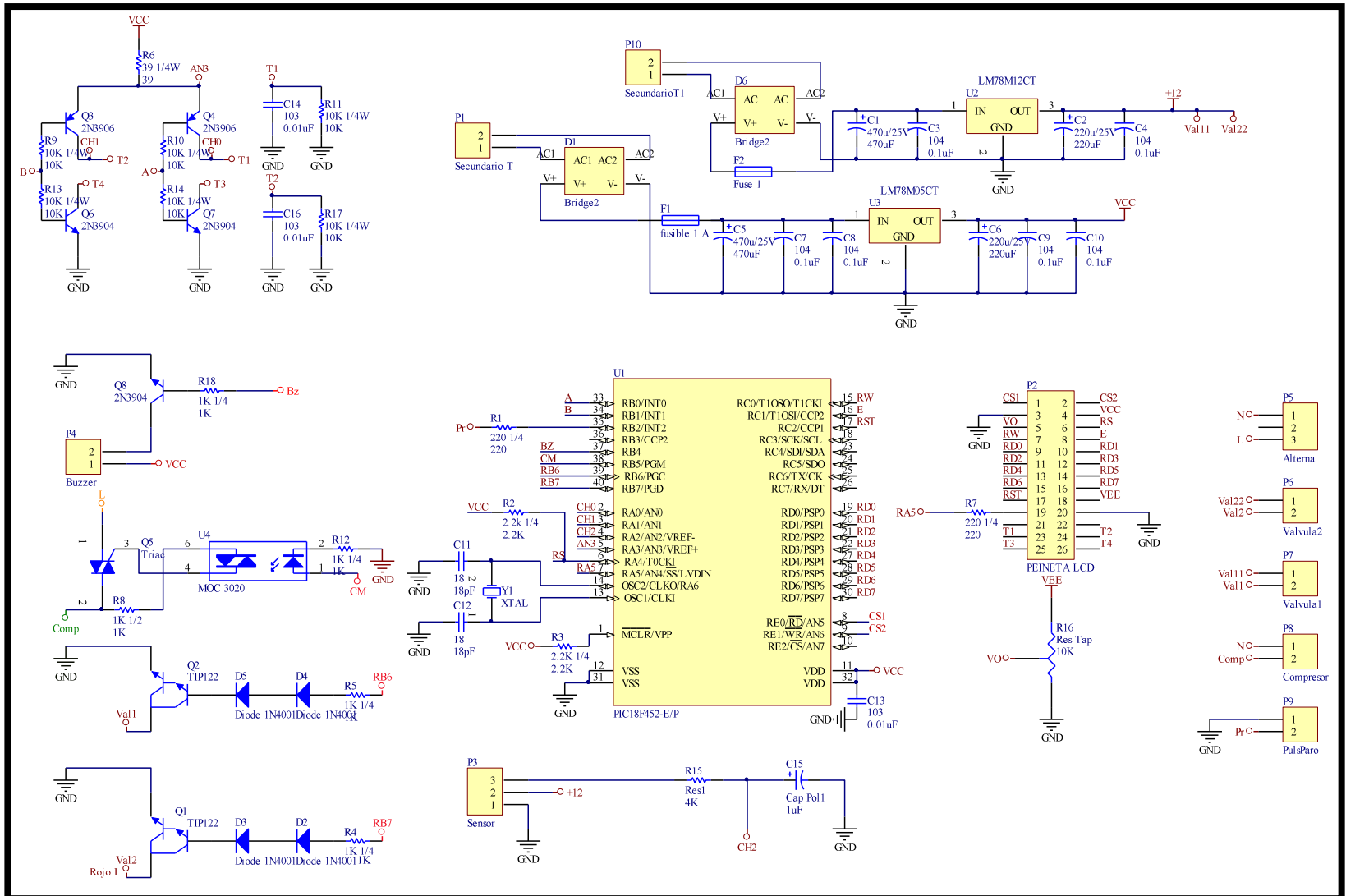


Figura 2.1: Circuito electrónico de control.

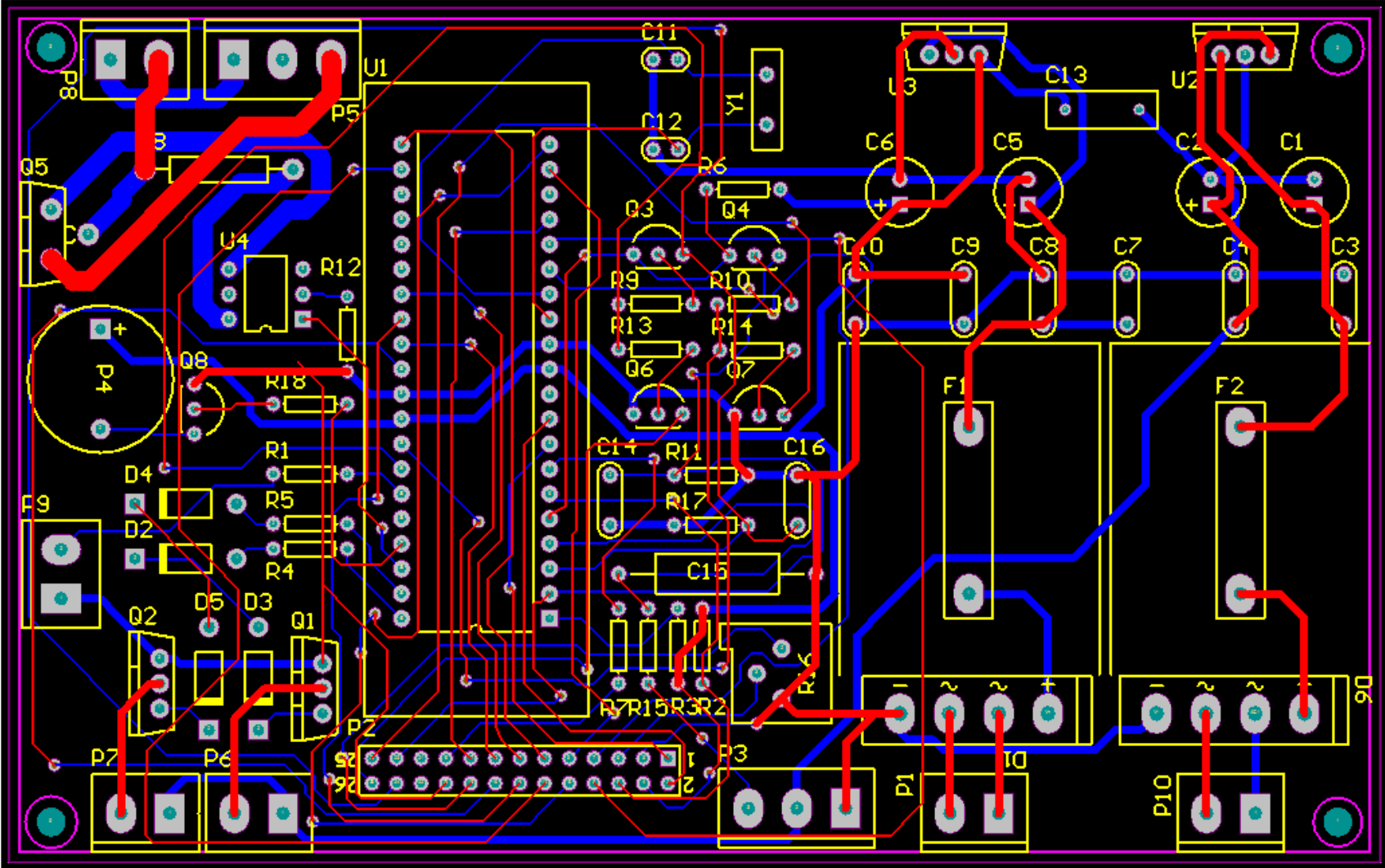


Figura 2.2: Tarjeta de Control.

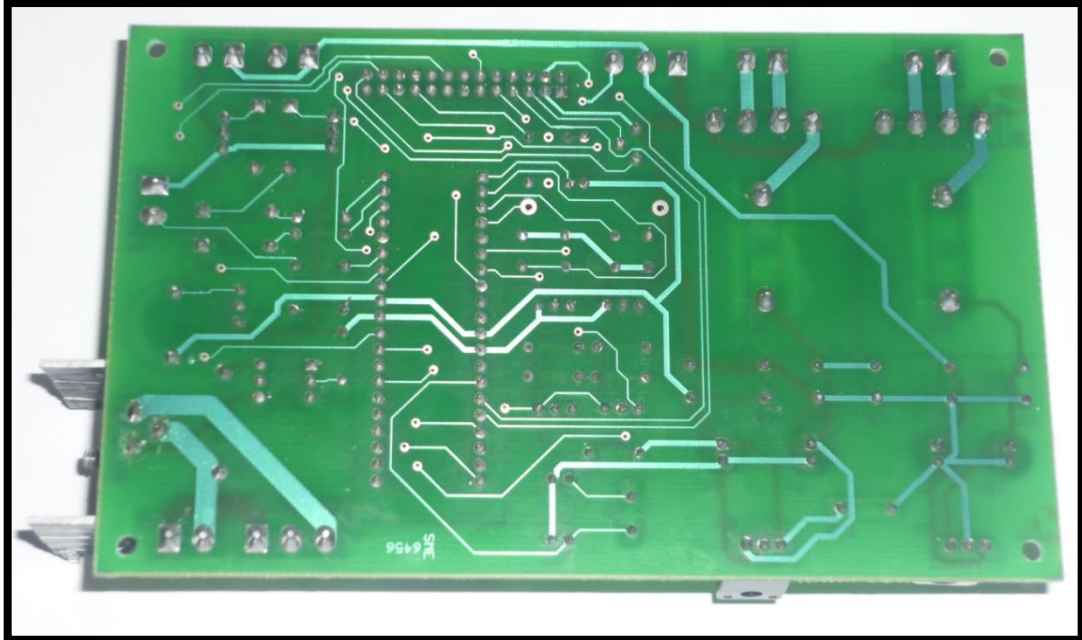


Figura 2.3: Placa PCB de circuito de control.

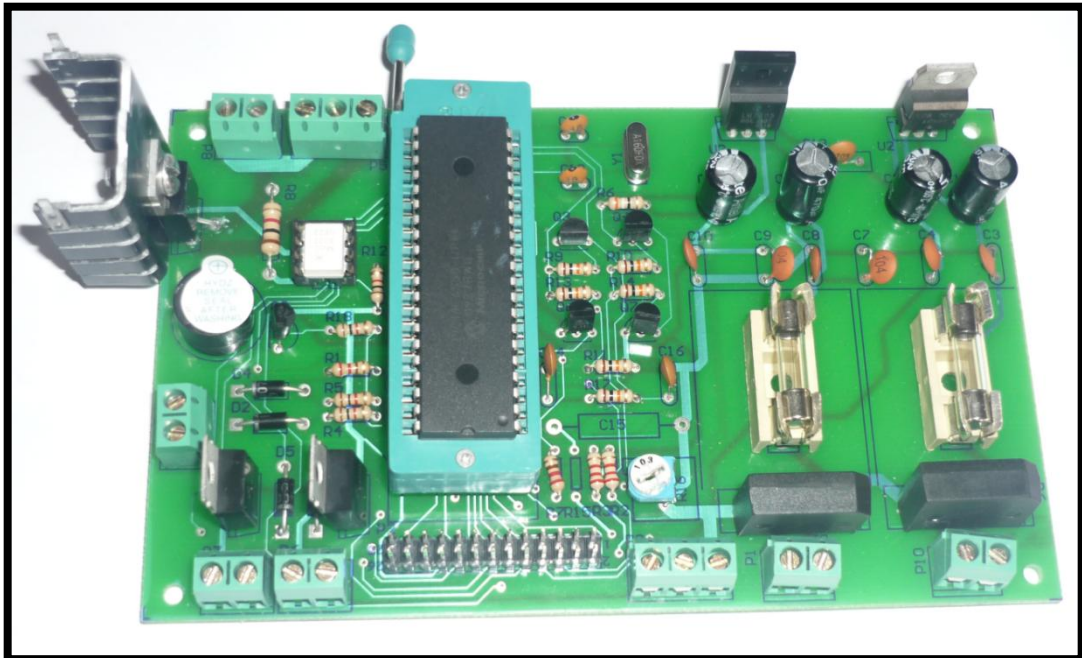


Figura 2.4: Placa PCB de control con montaje de componentes.

2.1.1 Interfaz con el/la fisiatra

El PIC controla un LCD Gráfico de marca WINSTAR modelo WDG0151-TMI-V#N00 y una pantalla táctil resistiva acoplada al GLCD; en él se muestran todos los parámetros necesarios para la terapia, los mismos que se seleccionan a través de la pantalla táctil. La tarjeta de interfaz que se indica en la **figura 2.5** se conecta con la tarjeta de control (**figura 2.2**) a través del conector "P2"; los pines **P2<1:20>** son utilizados para comandar el GLCD, mientras los pines **P2<23:26>** se utilizan para recibir los datos entregados por la pantalla táctil.

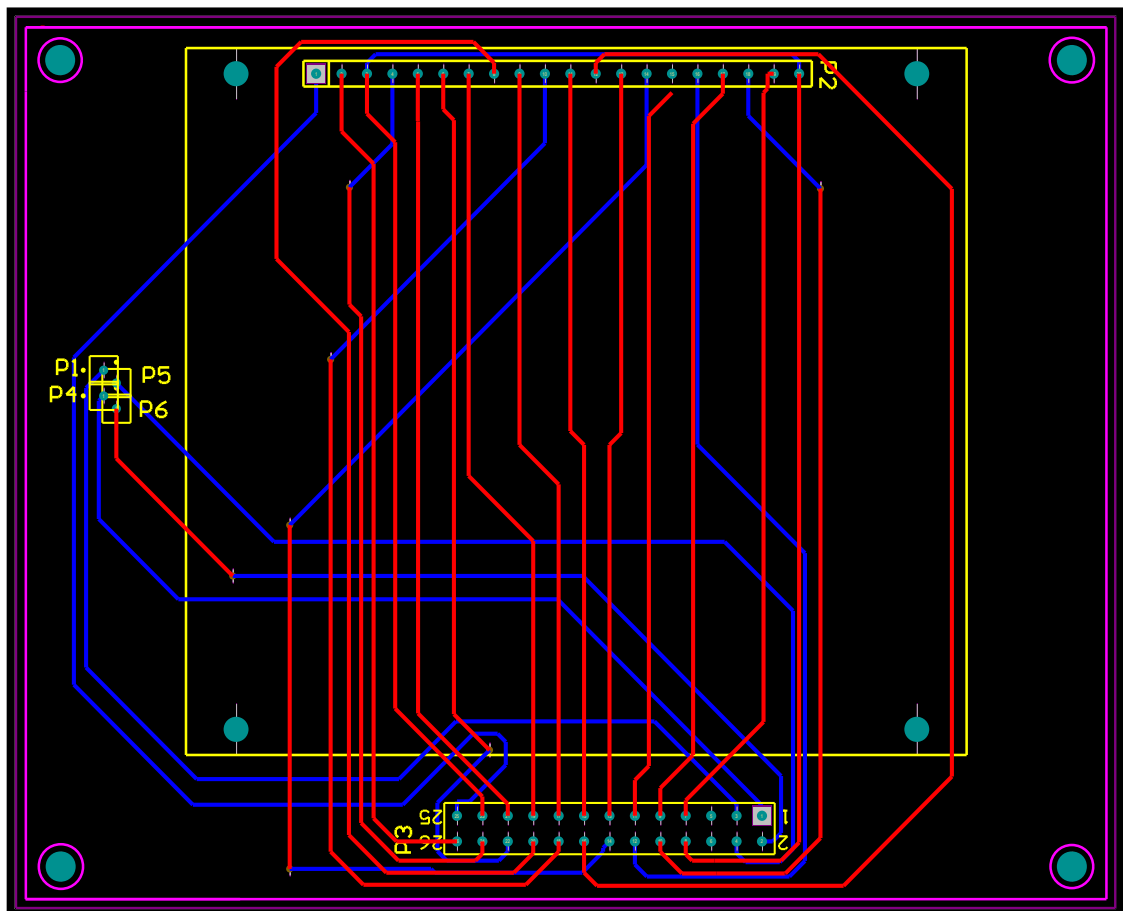


Figura 2.5: Tarjeta de Interfaz con el/la fisioterapeuta.

En la **figura 2.6** y la **figura 2.7** se indica el resultado final de la placa de interfaz del LCD Gráfico con su respectivo montaje:

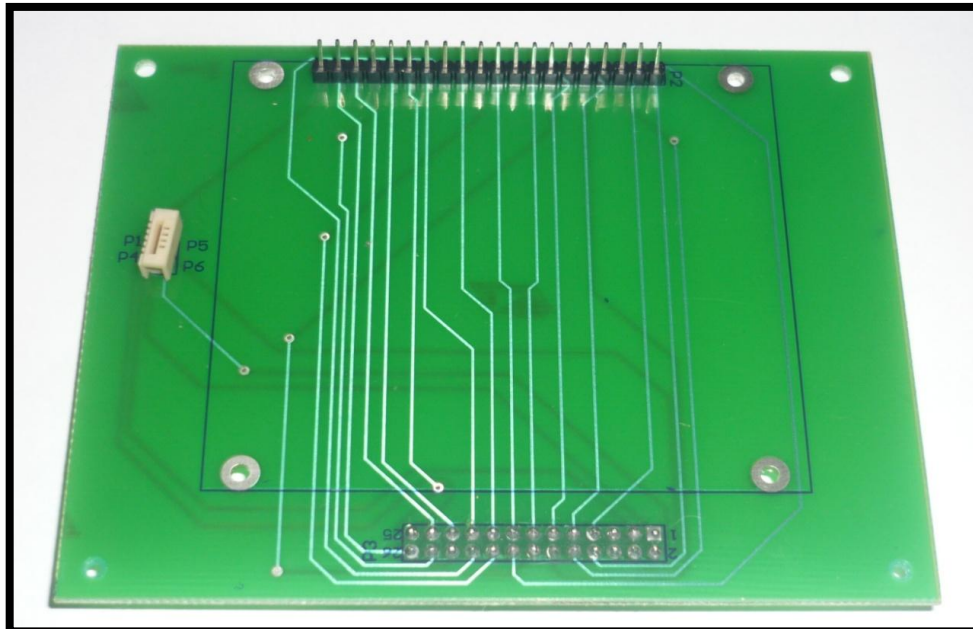


Figura 2.6: Placa PCB de interfaz de GLCD.

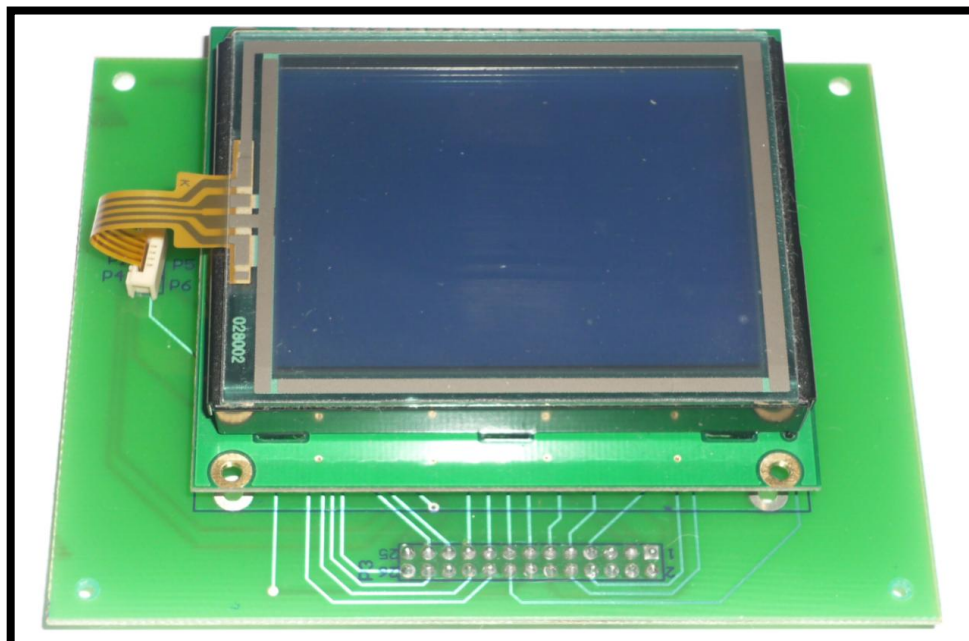


Figura 2.7: Placa PCB de interfaz con montaje de GLCD.

2.2 FUNCIONAMIENTO DE PERIFÉRICOS

Se refiere al funcionamiento y a la forma de manejar cada periférico (actuadores) para ejecutar de manera correcta las órdenes del micro-controlador.

2.2.1 Manejo del GLCD

El LCD Gráfico marca Winstar cuenta con un controlador NT7108C. Este GLCD se comunica con el micro controlador a través de 20 pines, los cuales se describen en la **tabla 2.2** que se indica a continuación:

Pin N°	Denominación	Nivel Lógico	Descripción
1	CS1	L	Selector del Chip 1 que controla el segmento de las columnas 1-64
2	CS2	L	Selector del Chip 2 que controla el segmento de las columnas 64-128
3	V _{SS}	0V	Tierra
4	V _{DD}	5V	Fuente de Alimentación del GLCD
5	V _o	(Variable)	Fuente de voltaje variable 0-5V que controla la operación del circuito de contraste del GLCD
6	D/I	H/L	Controla si el GLCD va a recibir datos o instrucciones: 1: Datos 0: Instrucciones
7	R/W	H/L	Controla si el GLCD va a leer datos del Micro Controlador o va a escribir datos hacia éste: 1: Lee 0: Escribe
8	E	H	Habilita el GLCD
9-16	DB0-DB7	H/L	Bus de datos del GLCD
17	RST	L	Reset del GLCD
18	VEE		Salida de voltaje negativo para controlar el circuito de contraste del GLCD
19	A		Fuente de Voltaje Positivo para el LED de backlight
20	K		Fuente de Voltaje Positivo para el LED de backlight

Tabla 2.2: Pines de Interfaz del GLCD.

2.2.2 Circuito de Interfaz entre la Pantalla Táctil y el Microcontrolador

En la **figura 2.8** se muestra el circuito de interfaz, en donde los terminales A y B son controlados por los pines RB0 y RB1 del microcontrolador, de tal manera que sus estados lógicos sean complementarios. Cuando el terminal A se encuentra a potencial positivo y el terminal B a masa, el terminal T2 se coloca a potencial positivo por medio del transistor Q3, mientras que el terminal T3 a masa por medio del transistor Q7 polarizando el “eje X”, dando paso a la lectura de la información presente en T1 a través del canal analógico CH1. Cuando el terminal B se encuentra a potencial positivo y el terminal A a masa, T1 se coloca a potencial positivo por medio del transistor Q4 y T4 a masa mediante el transistor Q6 polarizando el “eje Y”, dando paso a la lectura de la información presente en T2 a través del canal analógico CH0. Se hace coincidir el punto X=0 e Y=0 del display con el estado mínimo de potencial en ambos ejes.

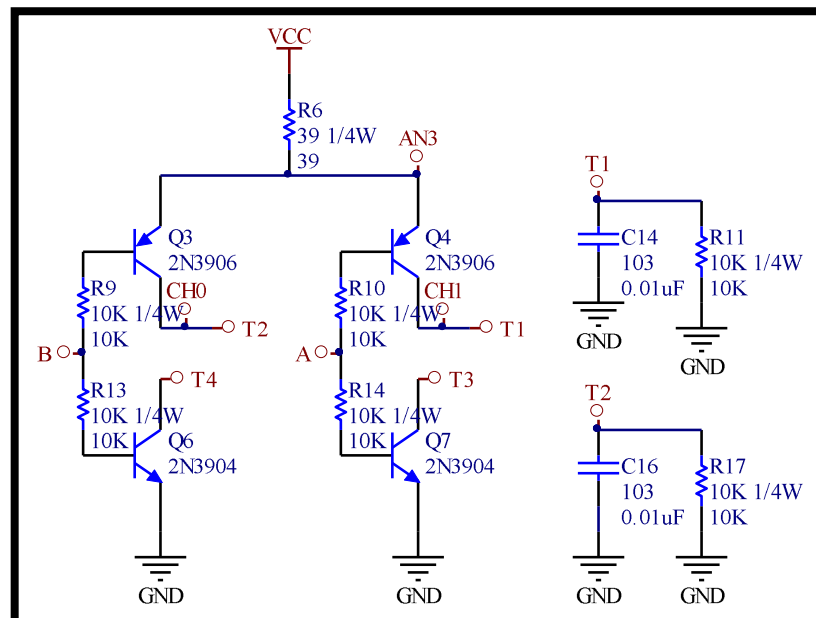


Figura 2.8: Circuito Interfaz entre la Pantalla táctil y el Micro-Controlador.

2.2.3 Sensor de Presión

El sensor de presión devuelve un voltaje con un bajísimo porcentaje de error cuando se le aplica una determinada presión, la **figura 2.9** muestra la grafica presión-voltaje correspondiente a la curva de calibración del sensor

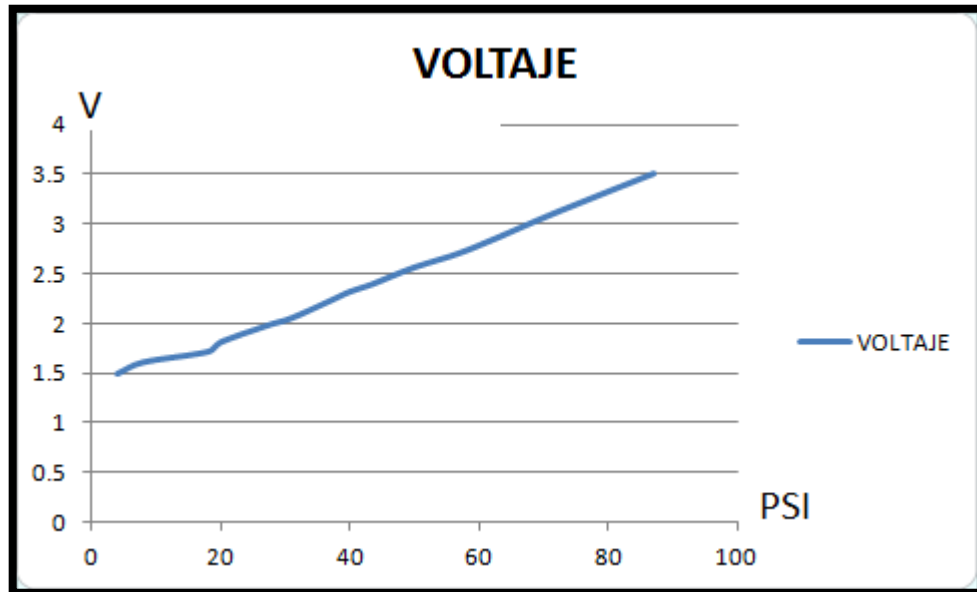


Figura 2.9: Curva Presión-Voltaje del Sensor.

El voltaje que da el sensor es retroalimentado hacia el PIC, esta señal analógica puede venir acompañada de ruido por lo que antes de que la señal ingrese al pin RA2 (CH2), para ser convertida, pasa por un filtro pasa bajos RC como se representa en la **figura 2.10** que se indica a continuación:

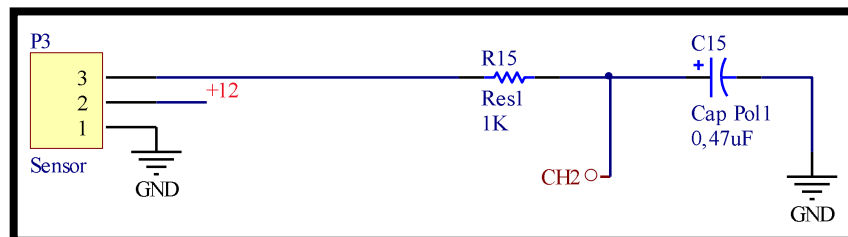


Figura 2.10: Circuito para la adquisición de voltaje del sensor.

2.2.4 Esquema y funcionamiento del circuito de control de electroválvulas

Las electroválvulas son válvulas electro mecánicas que pueden controlar el paso de un fluido a través de ellas, gracias a la corriente eléctrica aplicada sobre un solenoide que convierte la corriente eléctrica en energía mecánica para permitir o prohibir el paso de aire a través de la válvula.

Al ser el PIC el cerebro del equipo, éste debe gobernar cada una de sus partes, por lo tanto el PIC también se encarga de controlar la activación o desactivación de las electroválvulas según sea necesario. La **figura 2.11** muestra parte del circuito utilizado para gobernar las electroválvulas, la primera que controla la gran presión de arranque del compresor y el flujo de aire sobrante al detenerlo, y la segunda que controla el llenado, mantenimiento y desfogue de aire en el pistón. Los pines RB6 y RB7 están destinados al control de los dos transistores Q1 y Q2; cuando dichos pines del PIC pasan a estado lógico alto, los transistores NPN se activan uniendo las electroválvulas a tierra, provocando su activación. Cuando las electroválvulas se activan y cambian de posición, la primera permite el paso del aire desde el compresor hacia el regulador; la segunda deja que el aire pase desde el regulador hacia el pistón o mantiene el aire depositado en el pistón (dependiendo del proceso que esté cumpliendo el programa en ese momento), provocando o manteniendo la respectiva tracción. Cuando los transistores Q1 y Q2 están desactivados, también lo están las electroválvulas; este estado provoca el escape de aire que se necesita en determinadas etapas de la terapia.

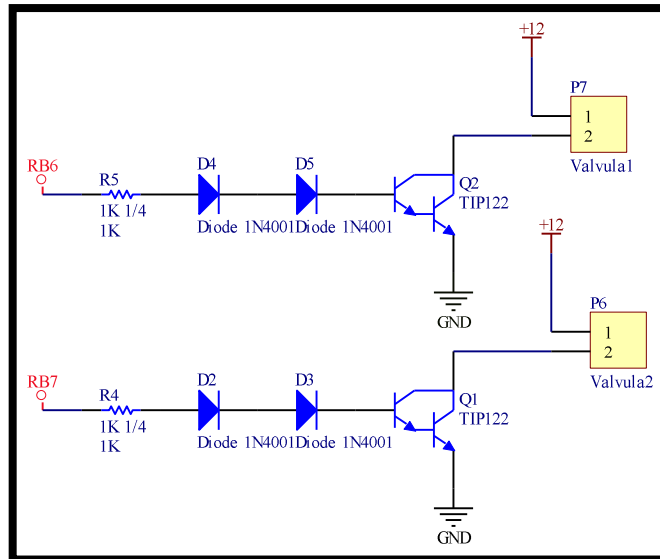


Figura 2.11: Control de electroválvulas.

2.2.5 Esquema y funcionamiento del circuito que controla el compresor

El equipo realiza la tracción mediante el llenado de aire de un pistón a través de un compresor; dicho compresor (Dyn Air de 1HP) es de aire seco libre de aceite, soporta hasta 100PSI de presión y tiene un flujo de 165 l/m, el mismo que se regula con una válvula, ya que este flujo está directamente relacionado con la velocidad con la que se vaya a traccionar al paciente, por lo tanto no puede ser muy rápida porque podría causar algún tipo de lesión o agravar la que ya presenta; tampoco puede ser muy lenta porque resultaría muy incómodo para el paciente estar demasiado tiempo esperando a que el equipo llegue a la tensión seteada dentro del tratamiento.

La **figura 2.12** representa el circuito que comanda el encendido y apagado del compresor; el PIC se encarga de dar la orden para que el compresor se encienda cuando la terapia así lo necesite. Cuando el pin RB5 (mostrado en la figura como CM) pasa a estado lógico alto, éste activa el opto acoplador u4,

el mismo que en ese instante activa al triac Q5 con un pulso alto al gate, provocando que el compresor se conecte a línea y cierre el circuito. El compresor se mantendrá funcionando hasta que RB5 pase a estado lógico bajo nuevamente.

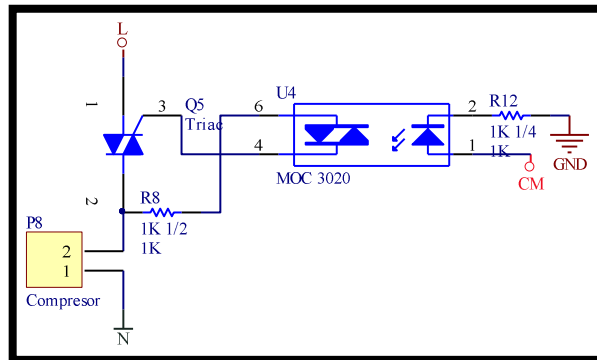


Figura 2.12: Control de Compresor.

2.3 CIRCUITO NEUMÁTICO DEL EQUIPO DE TRACCIÓN LUMBAR

En las tres figuras siguientes se muestra el modo de trabajo del circuito neumático simulado en el programa **AUTOMATION STUDIO 5.0**. Este circuito es el encargado de realizar la tracción ya que está directamente conectado con el paciente, en donde las cañerías azules indican que no hay presión y las cañerías rojas que sí existe presión.

La **figura 2.13** muestra el circuito neumático inactivo, estado en que el paciente está recostado sobre la camilla sin recibir ningún tipo de tracción (posición inicial y final del tratamiento).

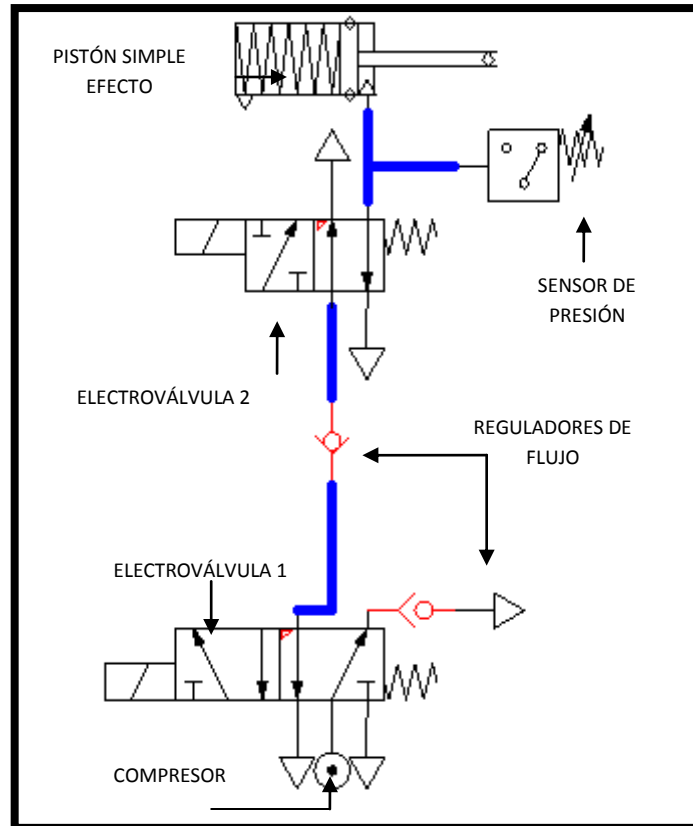


Figura 2.13: Estado Inactivo.

Para iniciar la terapia, el PIC envía la orden de encender el compresor de la manera antes citada; éste empieza a enviar aire sin llenar el pistón, ya que inicialmente el aire del compresor es desviado por la electroválvula 1 hacia el ambiente por un tiempo programado en el PIC; esto se hace debido a que en el momento del arranque el compresor envía el aire con mucha presión y fuerza, el sensor detecta esta presión que es mayor a la seteada y apagaría el compresor en determinados casos (libras de tensión bajas).

La **figura 2.14** muestra el circuito funcionando, en donde las electroválvulas 1 y 2 pasan a la posición dos dejando libre el paso de aire hacia el pistón para que éste, conforme se vaya llenando de aire, vaya ejecutando la tracción sobre el paciente. El transductor se mantiene sensando la presión dentro del pistón y retro alimentando esa información al PIC durante toda la terapia.

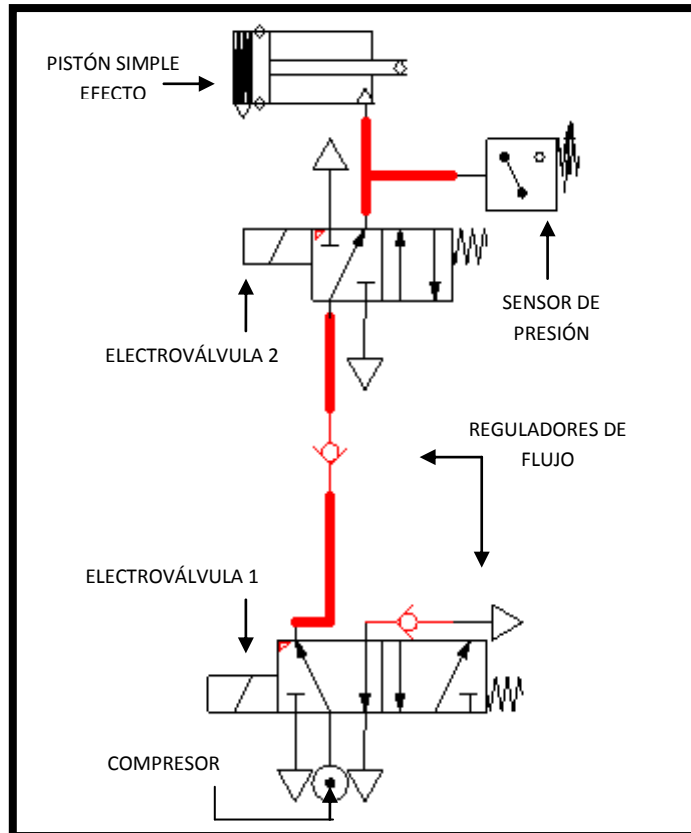


Figura 2.14: Pistón lleno de aire.

En la **figura 2.15** se puede observar que la electroválvula 1 ha vuelto a su posición inicial, estado que se presenta cuando la presión dentro del pistón ha llegado a la seteada; cuando esto se produce, el PIC ordena que se apague el compresor, la electroválvula 1 vuelve a la posición uno y el aire sobrante es despedido al ambiente, lo cual no causa ninguna alteración en el tratamiento. La electroválvula 2 cambia de la posición 2 a la 1 para dejar escapar el aire del pistón cuando la terapia empieza su etapa de relajación de manera continua o intermitente, según haya escogido el terapeuta.

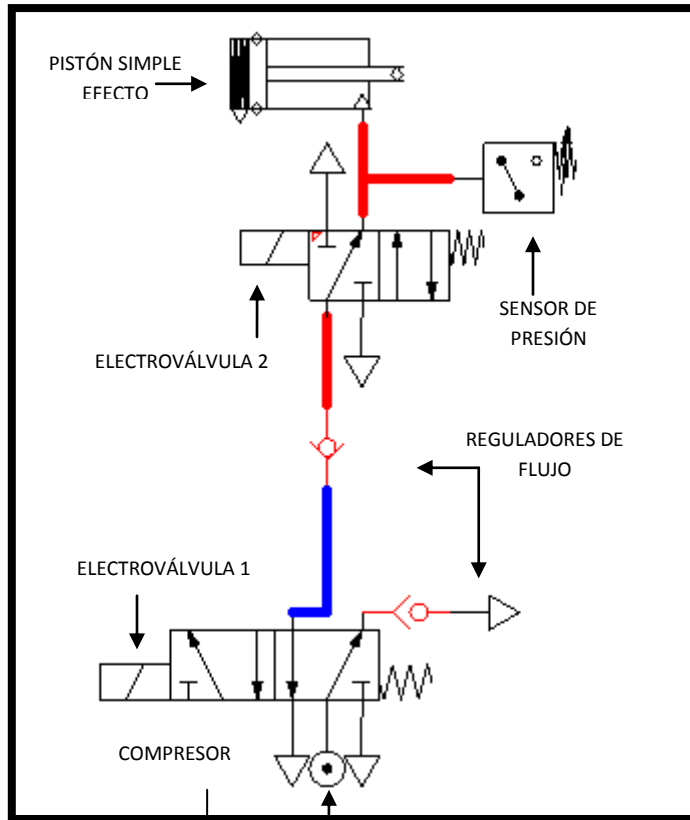


Figura 2.15: Bloqueo del Compresor.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE FIRMWARE

En este capítulo se describe la programación del firmware de control para el equipo de tracción lumbar realizada en lenguaje ensamblador. El firmware de control se puede dividir en los siguientes módulos principales:

- Inicialización de hardware.
- Digitalización de la señal de la pantalla táctil.
- Digitalización de la señal del sensor de presión.
- Señal de control de actuadores.

3.1 GENERALIDADES DE PROGRAMACIÓN

A continuación se destacan las generalidades más importantes del programa:

- El código que controla el funcionamiento del equipo fue programado en MPLAB IDE versión 8.20 en 4360 líneas de lenguaje ensamblador.
- Para dibujar las pantallas que se visualizan en el GLCD se utiliza el programa **FastLCD.exe**. Este programa transforma la imagen en una tabla de valores hexadecimales utilizados en el segmento de programa encargado de la escritura en el GLCD.
- En el proceso de digitalización de las señales entregadas por el sensor de presión y la pantalla táctil, se verifica que la conversión ha terminado mediante encuesta.

El programa desarrollado en lenguaje ensamblador, está estructurado de la manera que se indica en el diagrama de flujo presentado en la **figura 3.1** a continuación:

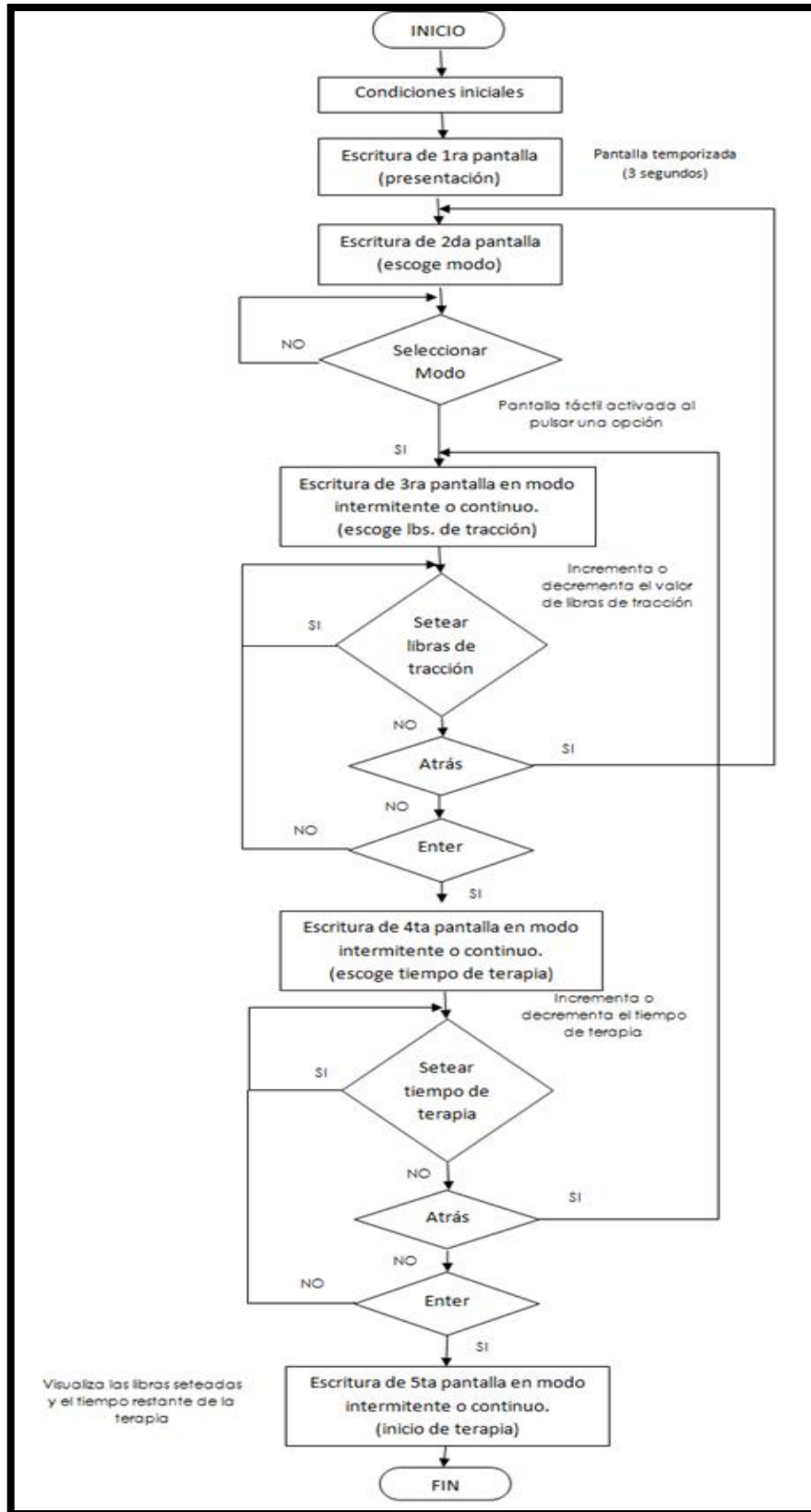


Figura 3.1: Diagrama de flujo del programa de control.

3.2 CONDICIONES INICIALES DEL SISTEMA

Las condiciones iniciales del sistema se establecen programando valores preliminares para puertos, registros de control y periféricos internos y externos al micro controlador. Tales condiciones se establecen al inicio del código.

3.2.1 Inicialización de puertos.

Para iniciar los puertos se toman en cuenta los siguientes criterios:

- Si el pin es digital o analógico.
- Si el pin es de entrada o salida.
- Considerar la función específica del pin dentro del hardware (**tabla 2.1**)

En la **tabla 3.1** se resumen las condiciones iniciales basadas en los dos primeros criterios.

PUERTO	PIN	STATUS Entrada/Salida	TIPO Analógico/Digital
PUERTO A	0	Entrada	Analógico
	1	Entrada	Analógico
	2	Entrada	Analógico
	3	Entrada	Analógico
	4	Salida	Digital
	5	Salida	Digital
PUERTO B	0	Salida	Digital
	1	Salida	Digital
	2	Entrada	Digital
	4	Salida	Digital
	5	Salida	Digital
	6	Salida	Digital
	7	Salida	Digital
PUERTO C	0	Salida	Digital
	1	Salida	Digital
	2	Salida	Digital
PUERTO D	0-7	Salida	Digital
PUERTO E	0	Salida	Digital
	1	Salida	Digital

Tabla 3.1: Condiciones iniciales de puertos.

3.2.2 Condiciones iniciales para LCD gráfico.

El procedimiento que se sigue para la inicialización del LCD Gráfico se muestra en el diagrama de flujo de la **figura 3.2** que se indica a continuación:

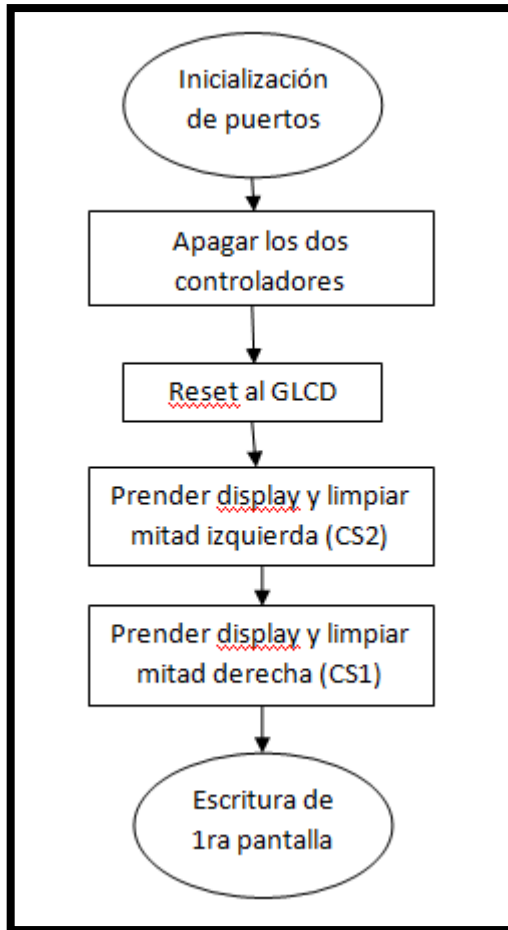


Figura 3.2: Diagrama de flujo de inicialización del LCD Gráfico.

El proceso se describe literariamente de la siguiente manera:

1. Se apagan los dos controladores.
2. Se da un pulso al pin Enable.
3. Se resetea el dispositivo mediante un pulso al pin RESET y se deja en nivel alto durante todo el programa.
4. Se escoge el controlador CS2.
5. Se apaga el display con la instrucción ON/OFF anotada en la **tabla 3.3** ($rs = rw = 0$ y $PORTD = 0011\ 1110$).
6. Se escribe el comando con la subrutina wrCMD descrita en el **Anexo1**.

7. Se carga a w el valor 0011 1111 (instrucción ON/OFF) para prender el display.
8. Se escribe el comando con la subrutina wrCMD descrita en el **Anexo1**.
9. Se escoge el controlador CS2 .
10. Se repiten los pasos del 5 al 8.

3.2.3 Condiciones iniciales para convertidor A/D.

Los pasos para establecer las condiciones iniciales para el convertidor A/D se resumen a continuación:

1. Escribir '0000 0000' en el registro de control ADCON0. Este valor permite escoger el canal 0 como canal inicial. Al canal 0 se conecta la señal primaria de la Pantalla Táctil que será adquirida en todo momento (fuera y dentro de la terapia). Al inicio el convertidor permanecerá apagado.
2. Escribir '0001 1011' en el registro de control ADCON1 con el objetivo de escoger el voltaje de referencia y la configuración analógica/digital de los puertos A/D (AN0, AN1, AN2 y AN3 analógicos).
3. Escribir '0011 1110' en el registro ADCON2. Este valor permite justificar inicialmente el resultado de la conversión a la izquierda (8 bits de resolución para pantalla táctil), escoger el tiempo de adquisición y el reloj de conversión.
4. Por seguridad, inicialmente se limpian los registros ADRESH y ADRESL para evitar errores en la adquisición de datos

3.2.4 Variables del sistema y valores iniciales.

La **tabla 3.2** detalla las variables más importantes utilizadas en el programa. Considérese que todos los valores iniciales de las variables son cero.

VARIABLE	FUNCIÓN
modo	Modo escogido (intermitente o continuo)
c_x	Contador de páginas del GLCD
c_y	Contador de Columnas del GLCD
hrzl	Valor digital de la pantalla táctil horizontal
vertl	Valor digital de la pantalla táctil vertical
param	Parámetro escogido (Lbs. de Tracción o Tiempo)
puesto	Puesto para escritura de numeros (unidades y decenas)
c_lyt	Contador de libras y tiempo para seteo de parámetros
un_m	Contador de unidades de minutos (tiempo de terapia)
dc_m	Contador de decenas de minutos (tiempo de terapia)
un_s	Contador de unidades de segundos (tiempo de terapia)
dc_s	Contador de decenas de segundos (tiempo de terapia)
Regr	Indica a que pantalla regresa al pulsar el botón ATRÁS
c_llena	Contador de segundos para el tiempo de llenado del pistón (modo Intermitente)
c_pausa	Contador de segundos para el tiempo de pausa de llenado y descarga del pistón (modo intermitente)
c_fuga	Contador de segundos para el tiempo de descarga de aire del pistón (modo intermitente)
c_sens	Valor digital bajo del sensor de presión
C_sensh	Valor digital alto del sensor de presión
val_sens	Valor bajo de seteadado para comparar con valor del sensor
val_sensh	Valor alto de seteadado para comparar con valor del sensor

Tabla 3.2: Variables importantes del programa.

3.3 CONTROL DEL INTERFAZ DE USUARIO

La comunicación entre el usuario y el equipo de rehabilitación se realiza mediante el LCD Gráfico y la pantalla táctil. En el LCD Gráfico se muestran los parámetros que se necesitan en la terapia y se setean sus respectivos valores interactuando con la Pantalla Táctil.

3.3.1 Control del LCD gráfico

Para operar el LCD Gráfico se utiliza una serie de comandos resumidos en la **tabla 3.3** que se utilizan en la ejecución de distintas instrucciones para la inicialización, para la escritura y otras funciones:

Instrucción	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Función
Display On/Off	L	L	L	L	H	H	H	H	H	L/H	Controla el encendido y apagado de la pantalla: L: Apagado H: Encendido
Establecer la dirección "Y"	L	L	L	L	Direccion Y (0-63)					Selecciona la dirección "Y" en el contador	
Establecer Página "X"	L	L	H	L	H	H	H	Página (0-7)			Selecciona la dirección "X" en el registro de direcciones
Primera página primera columna	L	L	H	H	Línea de partida (0-63)					Muestra el dato de la RAM en la primera columna y página	
Chequeo del Estado	L	H	Ocupado	L	On/Off	Reset	L	L	L	L	Ocupado L: Listo H: Ocupado On/Off L: On H: Off Reset L: Normal H: Reset
Escribir un dato a la Pantalla	H	L	Escribir un Dato								Escribe un dato de 8 bits (DB0:7) en la RAM de la Pantalla
Leer un dato de la Pantalla	H	H	Leer un Dato								Lee un dato en el bus de datos (DB0:7) desde la RAM del display

Tabla 3.3: Tabla de Instrucciones para el Control del LCD gráfico.

La **Tabla 3.4** indica las combinaciones de los pines D/I y R/W para el control del LCD Gráfico.

D/I	R/W	Modo de Operación de la Pantalla
0	0	Escritura de comandos hacia la pantalla desde el micro controlador
0	1	Lectura del estado de la Pantalla
1	0	Escritura de datos en la Pantalla desde el Micro controlador
1	1	El micro controlador lee un dato desde la RAM de la Pantalla

Tabla 3.4: Modos de Operación del GLCD.

La escritura en el LCD Gráfico se hace individualmente con cada controlador, mediante el siguiente proceso:

1. Se escoge el controlador CS1.
2. Se selecciona al Puerto D como salida (Bus de Datos).
3. Se activa modo comandos.
4. Se carga el valor de la página a la variable c_x .
5. Se carga el valor de la columna a la variable c_y .
6. Se carga en w el byte que se desea escribir (valor obtenido en tablas).
7. Se direcciona la página en la que se va a escribir como se indica en la **tabla 3.3** (valor de c_x al bus de datos).
8. Se direcciona la columna en la que se escribirá como se indica en la **tabla 3.3** (valor de c_y al bus de datos).
9. Se envía el valor de w al bus de datos
10. Se repiten los pasos 4 al 9 hasta escribir las 64 columnas de las 8 páginas.
11. Se escoge el controlador CS2.
12. Se repiten los pasos 2 al 10 para escribir la segunda mitad del GLCD.

En la **figura 3.3** se indica la escritura de la pantalla de presentación del equipo:



Figura 3.3: Pantalla de presentación.

3.3.2 Atención a la pantalla táctil.

Como se indicó en el Capítulo 1, para adquirir un dato proporcionado por la pantalla táctil, hay que polarizarlo 2 veces para obtener los valores de las 2 pantallas que posee este dispositivo resistivo. En el programa, se realizan los siguientes pasos para obtener los valores entregados por la pantalla táctil:

1. Se polariza la pantalla táctil ($RB0 = 1$, $RB1 = 0$) para recibir el valor de la pantalla Vertical.
2. Se escoge el canal 0 para recibir el valor Vertical.
3. Se prende el convertidor y se inicia la conversión.
4. Se testea si terminó la conversión.
5. Se guarda el valor de la conversión en la variable **vert**.
6. Se limpia la bandera de conversión y se apaga el convertidor.

7. Se polariza la pantalla táctil (RB0 = 0, RB1= 1) para recibir el valor de la pantalla Horizontal.
8. Se escoge el canal 1 para recibir el valor Horizontal.
9. Se repiten los pasos del 3 al 6, teniendo en cuenta que en el paso 5, el valor de la conversión se guarda en la variable **hrz**.

El siguiente paso es comparar si los valores guardados de la pantalla táctil coinciden con los valores de las posiciones de los distintos botones a seleccionar en cada momento del seteo o de la terapia; en caso de estar en los respectivos rangos, se ejecutará la acción que el botón pulsado indique, caso contrario, el programa se encuentra en un bucle esperando que el usuario realice una acción lógica. La subrutina de conversión y comparación se muestra en el **Anexo 2**.

3.4 ADQUISICIÓN DE VALORES DEL SENSOR DE PRESIÓN

El momento de la terapia el microcontrolador recibe la señal de voltaje que entrega el sensor de presión, la misma que llega al canal analógico AN2 para realizar la conversión. La adquisición de esta señal se hace con una resolución de 10 bits, por lo tanto, se toman en cuenta los valores cargados en ADRESH y ADRESL. En el programa, se realizan los siguientes pasos para obtener los valores entregados por el sensor de presión:

1. Se escoge resolución de conversión de 10 bits (justificación a la derecha en el registro ADCON1 <ADFM>).
2. Se escoge el canal analógico 2 para recibir el valor del sensor.
3. Se prender el convertidor y se inicia la conversión.
4. Se revisa finalización de conversión por Testeo.

5. Se guarda el valor de la conversión en las variables **cn_sens** y **cn_sensh**.
6. Se limpia bandera de conversión y se apaga el convertidor.

El siguiente paso es comparar los valores guardados del sensor de presión con los valores de seteo para comprobar si el equipo ha llegado a la tensión deseada, en caso de ser menor, el programa continúa con el llenado del pistón, caso contrario, se detiene el ingreso de aire. En el programa, la subrutina que recibe el valor de presión se muestra en el **Anexo 3**.

3.5 MANEJO DE ACTUADORES

Después de haber seteado los parámetros necesarios para cumplir con la terapia, se dibuja la última pantalla como se muestra en la **figura 3.4** que se indica a continuación:



Figura 3.4: Pantalla final (visualización de terapia).

En la **figura 3.4** se visualiza el tiempo (tiempo restante para completar la terapia que varía de forma descendente), las libras de tracción que se seleccionaron para dar el tratamiento y un botón de paro emergente. En esta etapa del programa es donde se realiza el proceso de rehabilitación propiamente dicho al paciente como se muestra en el diagrama de flujo de la **figura 3.5** presentado a continuación:

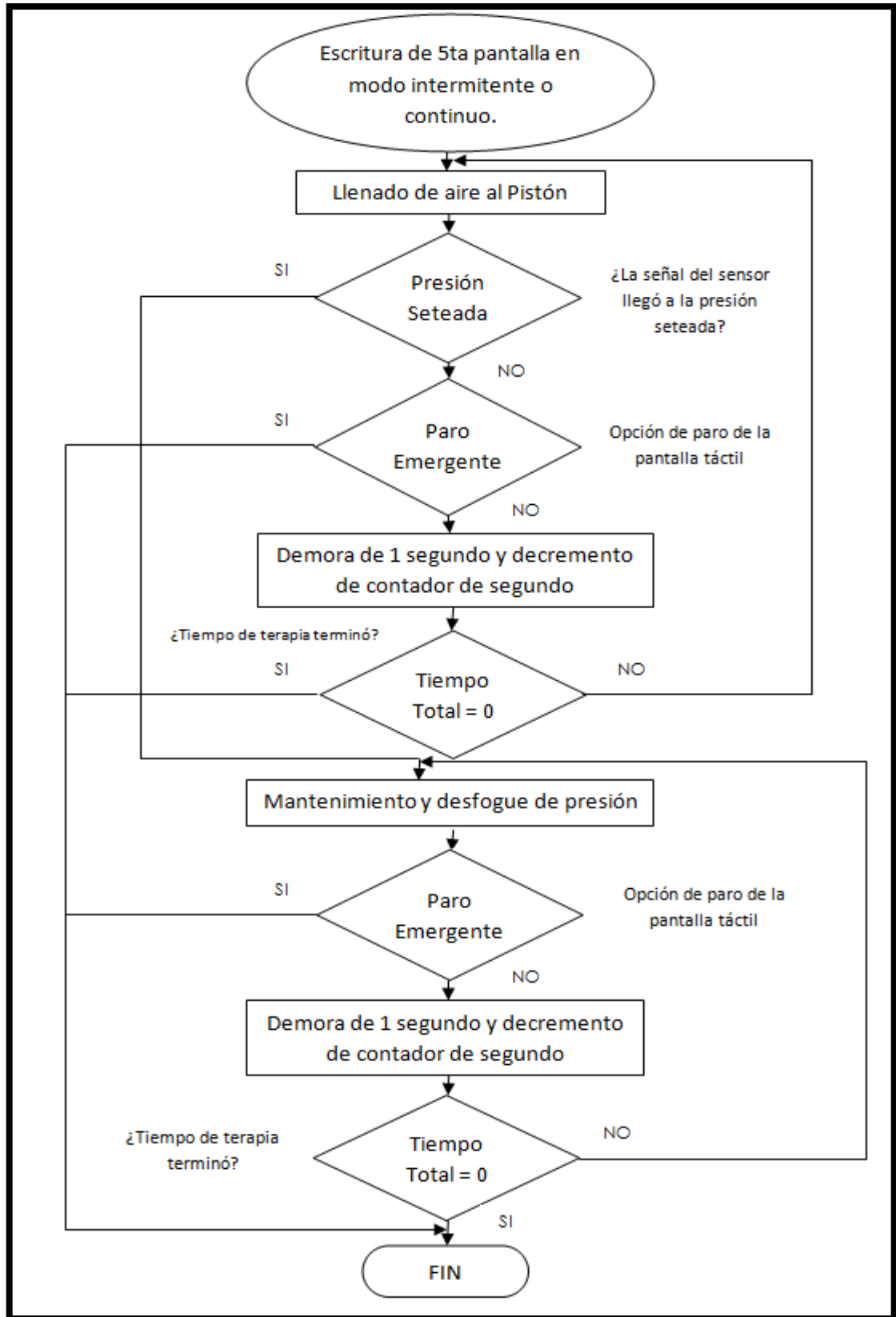


Figura 3.5: Diagrama de flujo del funcionamiento durante la terapia.

Los 2 parámetros que se manejan en la terapia son retroalimentados constantemente para que el pic pueda ir cumpliendo con cada especificación de seteo en los 2 modos de terapia:

Modo Intermitente

Se programan tiempos para:

- Llenado de aire.
- Pausa entre tramos de llenado de aire.
- Mantenerse en la tensión seteada.
- Descarga de aire.
- Pausa entre tramos de descarga de aire.
- Fin de terapia.

En cada una de estas etapas de rehabilitación en modo intermitente, el programa debe activar o desactivar el compresor y las electroválvulas según el proceso en el que se encuentre, tomando los siguientes niveles lógicos:

	Compresor	Electroválvula 1	Electroválvula 2
	RB5	RB6	RB7
Llenado de aire	1	1	1
Pausa entre tramos de llenado	1	0	1
Mantenerse en tensión seteada	0	1	1
Descarga de aire	0	1	0
Pausa entre tramos de descarga	0	1	1
Fin de programa	0	0	0

Tabla 3.5: Estados lógicos de los actuadores en modo intermitente.

Modo Continuo

Tiempos programados para:

- Llenado de aire.
- Mantenerse en la tensión seteada.
- Descarga de aire.

En cada una de estas etapas de rehabilitación en modo continuo, el programa debe activar o desactivar el compresor y las electroválvulas según el proceso en el que se encuentre, tomando los siguientes niveles lógicos:

	Compresor	Electroválvula 1	Electroválvula 2
	RB5	RB6	RB7
Llenado de aire	1	1	1
Mantenerse en tensión seteada	0	1	1
Descarga de aire	0	1	0
Fin de programa	0	0	0

Tabla 3.6: Estados lógicos de los actuadores en modo continuo.

Tensión:

El valor entregado por el convertidor se compara con el valor que fue seteado para saber si se ha llegado o no a la tensión de terapia, una vez que sean iguales, se mantiene esta tensión por los tiempos que se han programado.

Tiempos:

La programación de los tiempos depende del tipo de terapia que se haya escogido (continuo o intermitente) con respecto a la demora en el aumento de tensión o en mantenerse en la tensión seteada. Los tiempos se controlan con contadores que van disminuyendo cada segundo y para cada demora que se tiene en el programa (tiempo de llenado, pausa y fuga de aire) se tiene un contador distinto.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se resumen los resultados de las pruebas de funcionamiento y calibraciones realizadas para verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos para la terapia.

4.1. Protocolo para prueba de encendido.

A continuación se describen los pasos para realizar la prueba de encendido del equipo:

1. Conectar el equipo a la red 110V y verificar que no exista ningún incidente (cortocircuito eléctrico).
2. Verificación de voltajes:
 - Medir que en las borneras P1 y P10 el voltaje sea de 12V ca.
 - Medir que los reguladores U2 y U3 proporcionen 12V cc y 5V cc respectivamente.
 - Verificar que el PIC esté alimentado midiendo 5V cc en el pin 11 con respecto a tierra.
3. Una vez comprobado lo anterior, apagar el equipo, colocar el PIC y encender nuevamente el equipo.
4. Comprobar que el LCD gráfico muestre la primera pantalla.
5. Cuando en el LCD gráfico aparezca la pantalla de modos, seleccionar uno de ellos y setear los parámetros.
6. Comprobar que el compresor se encienda.

4.2. Protocolo para prueba de pantalla táctil

A continuación se describen los pasos para calibrar la pantalla táctil:

1. Colocar un papel cuadriculado sobre la pantalla táctil y trazar un sistema de coordenadas sobre él.
2. Señalar la ubicación de los botones en el papel cuadriculado.
3. Polarizar la pantalla horizontal.
4. Pulsar los cuadros pertenecientes a la zona de cada botón y medir su voltaje.
5. El paso 4 se repite 5 veces para sacar un valor de voltaje promedio perteneciente a cada cuadro del botón.
6. Polarizar la pantalla vertical.
7. Pulsar los cuadros pertenecientes a la zona de cada botón y tomar sus valores de voltajes
8. El paso 7 se repite 5 veces para sacar un valor de voltaje promedio perteneciente a cada cuadro del botón.
9. Programar los valores de voltaje en rangos de bits para los valores entregados por el convertidor A/D.
10. Correr el programa y comprobar que los valores del convertidor están correctos para cada botón.

Un ejemplo de la recolección de valores de voltajes y el cálculo del rango en bits para la calibración de la pantalla táctil se realiza de la manera que se muestra en la **tabla 4.1** (rango horizontal) y **tabla 4.2** (rango vertical) para el botón que escoge el modo intermitente. En el **Anexo 4** se encuentran las tablas de calibración para todos los botones dibujados en el GLCD.

Coordenada		Botón: INTERMITENTE					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
6	10	1,12	1,11	1,14	1,14	1,1	1,122	57,4464	
6	11	1,14	1,14	1,12	1,14	1,12	1,132	57,9584	
6	12	1,17	1,17	1,15	1,16	1,15	1,16	59,392	57
7	10	1,27	1,26	1,26	1,26	1,26	1,262	64,6144	67
7	11	1,32	1,29	1,29	1,32	1,29	1,302	66,6624	
7	12	1,31	1,27	1,31	1,32	1,26	1,294	66,2528	

Tabla 4.1: Valores horizontales de calibración para el botón INTERMITENTE.

Coordenada		Botón: INTERMITENTE					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
6	10	1,93	1,96	1,99	1,99	1,95	1,964	100,5568	
6	11	2,01	2,04	2,03	2	2,03	2,022	103,5264	
6	12	2,06	2,09	2,08	2,11	2,11	2,09	107,008	100
7	10	2,06	2,04	2,04	2	2,05	2,038	104,3456	110
7	11	2,1	2,12	2,09	2,09	2,14	2,108	107,9296	
7	12	2,15	2,1	2,13	2,16	2,17	2,142	109,6704	

Tabla 4.2: Valores verticales de calibración para el botón INTERMITENTE.

4.3. Protocolo para calibración de fuerza

A continuación se describen los pasos para calibrar la fuerza del equipo:

1. Comprobar q el dinamómetro marque cero libras.
2. Encender el equipo hasta que el dinamómetro marque cinco libras más que la anterior medida.
3. Medir el voltaje del transductor.

4. Repetir los pasos 2 y 3 hasta que el dinamómetro marque cien libras, los valores de fuerza y voltaje se muestran en la **tabla 4.1** con su respectiva curva mostrada en la **figura 4.1**.

VOLTAJE	FUERZA
1.097	5
1.152	9
1.21	14
1.278	21
1.326	25
1.381	30
1.433	35.5
1	39.5
1.52	44.5
1.571	49
1.629	55
1.674	60.5
1.722	64.5
1.772	69.5
1.818	74.5
1.873	81
1.923	85.5
1.973	90.5
2.019	94.5
2.08	99

Tabla 4.3: Valores de Fuerza y Voltaje para la calibración.

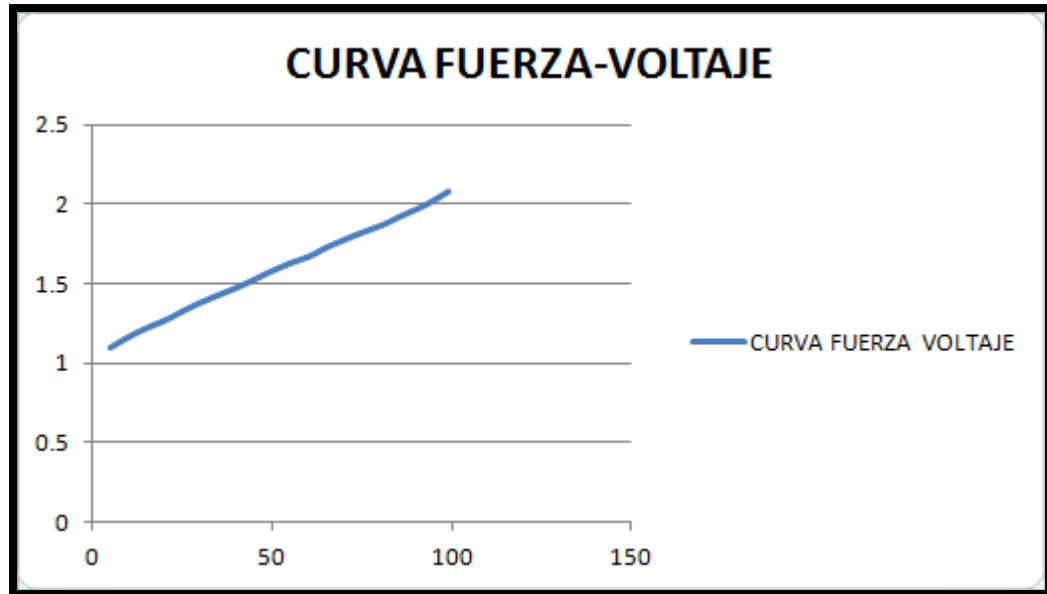


Figura 4.1: Respuesta en Voltaje del sensor.

5. Partiendo de los valores de voltaje de la **tabla 4.1** y con ayuda de la **ecuación 4.1** calcular los valores en bits correspondientes a cada voltaje. Los valores correspondientes a este cálculo se muestran en la **tabla 4.3** y la **tabla 4.4**, la primera está calculada para valores con una resolución de 8 bits y la segunda para valores con una resolución de 10 bits. Para esta investigación se escogieron los valores de la **tabla 4.4** porque se gana en precisión.

$$\text{Bits Para Conversor} = \frac{\text{Voltaje}}{\frac{\text{rango de conversión}}{2^{\text{resolución}-1}}} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

VOLTAJE	FUERZA	BITS PARA CONVERTIDOR
1.097	5	56
1.152	9	59
1.21	14	62
1.278	21	65
1.326	25	68
1.381	30	70
1.433	35.5	73
1	39.5	51
1.52	44.5	78
1.571	49	80
1.629	55	83
1.674	60.5	85
1.722	64.5	88
1.772	69.5	90
1.818	74.5	93
1.873	81	96
1.923	85.5	98
1.973	90.5	101
2.019	94.5	103
2.08	99	106

Tabla 4.4: Valores teóricos decimales (resolución 8-bit).

VOLTAJE	FUERZA	BITS PARA CONVERTIDOR
1.097	5	224
1.152	9	236
1.21	14	248
1.278	21	261
1.326	25	271
1.381	30	283
1.433	35.5	293
1	39.5	205
1.52	44.5	311
1.571	49	321
1.629	55	333
1.674	60.5	343
1.722	64.5	352
1.772	69.5	363
1.818	74.5	372
1.873	81	383
1.923	85.5	393
1.973	90.5	404
2.019	94.5	413
2.08	99	426

Tabla 4.5: Valores teóricos decimales (resolución 10-bit).

6. Cargar los valores de la **tabla 4.4** en el programa.
7. Realizar el paso 1.
8. Encender el equipo, seleccionar el modo.
9. Setear la fuerza a cinco libras más que la anterior prueba, seleccionar el tiempo y mandar a correr el programa.
10. Cuando la tracción automáticamente se detenga tomar el valor de fuerza medido por el dinamómetro.
11. Si el valor de fuerza no es el seteado ajustar el valor de los bits para convertidor de la **tabla 4.4**.

12. Repetir los pasos del 8 al 11 hasta haber ajustado todos los valores de bits para el convertidor. La **tabla 4.5** muestra los valores de fuerza con su respectivo valor en bits ajustado.

FUERZA SETEADA	FUERZA MEDIDA	BITS PARA CONVERSION
5	8	222
10	9	233
15	14.5	244
20	21	255
25	26	266
30	31	277
35	36	288
40	40	296
45	45	307
50	50	317
55	54.5	328
60	60	338
65	67	347
70	69.5	357
75	74.5	367
80	80.5	378
85	86	388
90	90.5	399
95	96	409
100	99.5	420

Tabla 4.6: Valores para el convertidor A/D.

4.4 Correcciones realizadas durante el desarrollo del equipo.

Debido a la potencia excedente del compresor se hizo lo siguiente:

- Se colocó un regulador de flujo a la salida del compresor para que el pistón se llene lentamente evitando que la terapia actúe de manera brusca.

- Se colocó una electroválvula entre la salida del compresor y la entrada del regulador de flujo, para permitir el escape de aire excedente debido a la gran presión que existe en la entrada del regulador.
- Por último por seguridad se colocó válvulas normalmente abiertas para que permitan el escape del aire dentro circuito neumático evitando que el paciente quede traccionado en el caso de existir una falla eléctrica.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un firmware y un hardware capaces de automatizar el proceso de terapia mediante el control de periféricos como:
 - Compresor de corriente alterna
 - Electrovalvulas de corriente continua
 - Comunicación con el operador mediante un interfaz gráfico con pantalla táctil.
 - Retroalimentación de la señal analógica entregada por el sensor de presión.
- Se diseñó y construyó un equipo digital capaz de controlar los parámetros (tiempo y tensión) de la terapia tipo tracción lumbar, mejorando la presentación y precisión de los equipos analógicos con los que cuentan algunas clínicas de fisioterapia locales.

RECOMENDACIONES

- Ocupar un compresor de menos potencia para que el ruido y la vibración disminuyan.
- Cambiar la resolución del A/D en el caso de tener botones más pequeños en el GLCD.
- Validar el Equipo.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CLARKE JA; et al. Tracción para el dolor lumbar con o sin ciática. Biblioteca Cochrane Plus, 2006, Número 4
2. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. (2006). "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB microcontrollers with nanoWatt Technology."
3. PALAZZESI, A., (2009) "librería de gráficos para GLCD en C" en *UControl*. Año 2, número 6. Septiembre 2009, pp. 24-33.
4. PÉREZ, L. (2009). Curso de Microcontroladores. Universidad Del Azuay.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. AMETEK. (2005). "Model DCT Pressure Transducers". [En Línea]. Disponible en: <http://pdf.directindustry.com/pdf/ametek-pmt-products/model-dct-pressure-transducers/14272-31170.html> [Accesado el día 20 de Septiembre del 2011].
2. ATMEL. (2007). "AVR341: Four and five-wire Touch Screen Controller". [En Línea]. Disponible en: <http://www.adafruit.com/datasheets/AVR341.pdf> [Accesado el día 14 de junio de 2011].
3. CAPRILE, S. (s.a). "Lectura de Touch Screen resistivo" en *Nota de Aplicación CAN-015*. [En línea]. Disponible en: http://www.cika.com/soporte/AppNotes/CAN-015_TouchScreen.pdf [Accesado el día 14 de junio de 2011].
4. FESTO. (2008). "Válvulas Electroneumáticas". [En línea]. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=A0xX2zORIQY> [Accesado el día 6 de agosto de 2011].

5. TORRADO, C (2008) "Correcta utilización de la tracción lumbar mecánica (TLM) en el tratamiento de la hernia discal" [En línea], Fisioterapeutas de Venezuela, disponible en: <http://fisioterapeutas.wordpress.com/2008/06/22/correcta-utilizacion-de-la-traccion-lumbar-mecanica-tlm-en-el-tratamiento-de-la-hernia-discal/> [Accesado el día 27 de julio de 2011].

Anexo 1**Subrutina para escribir un comando en el LCD Gráfico**

```
movlw    b'00111110'           ; dato para apagar el display
wrCMD
    movwf LCDTemp              ;valor de w a variable temporal
    bcf   PORTC,rw             ; LISTO EN
    bcf   PORTA,rs             ; MODO COMANDO
    clrf  TRISD                 ;Puerto D como salida
    movf  LCDTemp,w
    movwf PORTD                 ;Valor de w al Bus de Datos
    call  pulse
    return
```

Anexo 2**Subrutina de atención a la pantalla táctil**

```
;CONVERSIÓN VERTICAL
```

```
    bsf        PORTB,0
    bcf        PORTB,1
    bcf        ADCON0,CHS0        ;canal 0 con RB0 activado
    bsf        ADCON0,ADON        ;PRENDO CONVERTIDOR A/D
    bsf        ADCON0,1          ;INICIO CONVERSIÓN
    nop
    nop
```

```
conv
```

```
    btfss     PIR1,ADIF          ; interrupción de la conversión
    goto      conv
    movff     ADRESH,vertl
    bcf       PIR1,ADIF
    bcf       ADCON0,1
    call      dem_50ms
```

```
;CONVERSIÓN HORIZONTAL
```

```
    bcf        PORTB,0
    bsf        PORTB,1
    bsf        ADCON0,CHS0        ;canal 1 con RB1 activado
    bsf        ADCON0,ADON        ;PRENDE CONVERTIDOR A/D
    nop
    nop
```

```

    bsf      ADCON0,1      ;INICIA CONVERSIÓN
    nop
    nop
convh
    btfss   PIR1,ADIF      ; interrupción de la conversión
    goto    convh
    movff   ADRESH,hrzl
    bcf     PIR1,ADIF
    bcf     ADCON0,1
    call    dem_50ms

                ; INTERMITENTE

;VERTICAL
    movlw   d'110'
    CPFSLT  vertl
    goto    m2
    movlw   d'100'
    CPFSGT  vertl
    goto    m2

;HORIZONTAL
    movlw   d'67'
    CPFSLT  hrzl
    goto    m2
    movlw   d'57'
    CPFSGT  hrzl

```

```

        goto        m2
        goto        intermitente
m2                                ;modo 2 (m2) CONTINUO
;VERTICAL
        movlw      d'51'          ;valor a comparar
        CPFSLT     vertl
        goto       ini
        movlw      d'27'          ;valor a comparar
        CPFSGT     vertl
        goto       ini
;HORIZONTAL
        movlw      d'33'          ;valor a comparar
        CPFSLT     hrzl
        goto       ini
        movlw      d'23'          ;valor a comparar
        CPFSGT     hrzl
        goto       ini
        goto       continuo

```

Anexo 3**Subrutina de atención al sensor de presión**

```

cnv_sens
;   CONVERSIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN
    bsf      ADCON2,ADFM      ;res de 10 bits (sensor de presión)
    bsf      ADCON0,CHS1     ;escoge canal analógico 2
    bcf      ADCON0,CHS0     ; escoge canal analógico 2
    bsf      ADCON0,ADON     ;PRENDE CONVERTIDOR A/D
    bsf      ADCON0,1       ;INICIA CONVERSIÓN
    nop
    nop

cnv_sns
    btfss   PIR1,ADIF       ; interrupción de la conversión
    goto    cnv_sns
    movff   ADRESL,cn_sens
    movff   ADRESH,cn_sns
    bcf     PIR1,ADIF
    bcf     ADCON0,1
    movf    val_sns,w       ; valor de presión seteado (parte alta)
    CPFSEQ  cn_sns
    goto    contin
    movf    cn_sens,w
    CPFSGT  val_sens       ; valor de presión seteado (parte baja)
    goto    ap_cmp         ; a apagar compresor
    goto    contin        ; a continuar con llenado de pistón

```

Anexo 4

Tablas de calibración para botones de la pantalla táctil

Coordenada		Botón: CONTINUO					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
3	2	0,46	0,47	0,47	0,45	0,45	0,46	23,552	
3	3	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,476	24,3712	
3	4	0,49	0,5	0,48	0,49	0,5	0,492	25,1904	23
4	2	0,57	0,55	0,58	0,57	0,58	0,57	29,184	33
4	3	0,58	0,61	0,6	0,58	0,6	0,594	30,4128	
4	4	0,62	0,64	0,63	0,64	0,67	0,64	32,768	

Tabla A4.1: Valores horizontales de calibración para el botón CONTINUO.

Coordenada		Botón: CONTINUO					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
3	2	0,52	0,55	0,55	0,54	0,53	0,538	27,5456	
3	3	0,77	0,79	0,71	0,72	0,76	0,75	38,4	
3	4	0,92	0,93	0,91	0,92	0,93	0,922	47,2064	27
4	2	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,542	27,7504	51
4	3	0,78	0,76	0,77	0,77	0,72	0,76	38,912	
4	4	0,99	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	50,176	

Tabla A4.2: Valores horizontales de calibración para el botón CONTINUO.

Coordenada		Botón: ENTER					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
2	11	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,518	26,5216	
2	12	0,57	0,55	0,55	0,58	0,54	0,558	28,5696	
3	11	0,67	0,67	0,68	0,67	0,68	0,674	34,5088	18
3	12	0,7	0,72	0,73	0,7	0,7	0,71	36,352	37
1	11	0,37	0,36	0,36	0,36	0,37	0,364	18,6368	
1	12	0,38	0,37	0,37	0,38	0,38	0,376	19,2512	

Tabla A4.3: Valores horizontales de calibración para el botón ENTER

Coordenada		Botón: ENTER					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
2	11	1,81	1,82	1,84	1,82	1,82	1,822	93,2864	
2	12	1,92	1,94	1,93	1,91	1,95	1,93	98,816	
3	11	1,82	1,88	1,84	1,88	1,88	1,86	95,232	93
3	12	1,97	1,94	1,95	1,96	1,97	1,958	100,2496	101
1	11	1,75	1,71	1,75	1,73	1,76	1,74	89,088	
1	12	1,8	1,8	1,85	1,81	1,85	1,822	93,2864	

Tabla A4.4: Valores horizontales de calibración para el botón ENTER.

Coordenada		Botón: ATRÁS					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
2	2	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,348	17,8176	
2	3	0,36	0,36	0,36	0,34	0,35	0,354	18,1248	17
3	2	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,458	23,4496	25
3	3	0,48	0,48	0,46	0,48	0,48	0,476	24,3712	

Tabla A4.5: Valores horizontales de calibración para el botón ATRÁS.

Coordenada		Botón: ATRÁS					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
2	2	0,54	0,53	0,56	0,55	0,53	0,542	27,7504	
2	3	0,67	0,7	0,71	0,74	0,71	0,706	36,1472	27
3	2	0,56	0,53	0,54	0,54	0,54	0,542	27,7504	38
3	3	0,73	0,74	0,74	0,74	0,73	0,736	37,6832	

Tabla A4.6: Valores horizontales de calibración para el botón ATRÁS.

Coordenada		Botón: DECREMENTAR					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
4	3	0,6	0,61	0,6	0,6	0,62	0,606	31,0272	
4	4	0,63	0,62	0,64	0,63	0,63	0,63	32,256	
5	3	0,7	0,69	0,71	0,7	0,71	0,702	35,9424	31
5	4	0,73	0,74	0,74	0,72	0,72	0,73	37,376	41
4	5	0,73	0,74	0,74	0,7	0,71	0,724	37,0688	
5	5	0,81	0,8	0,78	0,8	0,81	0,8	40,96	

Tabla A4.7: Valores horizontales de calibración para el botón DECREMENTAR.

Coordenada		Botón: DECREMENTAR					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
4	3	0,79	0,76	0,8	0,78	0,79	0,784	40,1408	
4	4	1,02	0,98	1	0,99	0,99	0,996	50,9952	
5	3	0,79	0,82	0,81	0,82	0,85	0,818	41,8816	40
5	4	0,98	0,99	1	1	0,99	0,992	50,7904	59
4	5	1,14	1,13	1,14	1,14	1,15	1,14	58,368	
5	5	1,15	1,14	1,16	1,17	1,12	1,148	58,7776	

Tabla A4.8: Valores horizontales de calibración para el botón DECREMENTAR.

Coordenada		Botón: INCREMENTAR					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
4	9	0,79	0,77	0,76	0,77	0,76	0,77	39,424	
4	10	0,83	0,79	0,79	0,81	0,79	0,802	41,0624	
5	9	0,91	0,9	0,9	0,9	0,93	0,908	46,4896	39
5	10	0,95	0,82	0,91	0,97	0,95	0,92	47,104	48
4	8	0,77	0,79	0,77	0,79	0,78	0,78	39,936	
5	8	0,92	0,93	0,9	0,93	0,9	0,916	46,8992	

Tabla A4.9: Valores horizontales de calibración para el botón INCREMENTAR.

Coordenada		Botón: IINCREMENTAR					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
4	9	1,74	1,74	1,75	1,73	1,75	1,742	89,1904	
4	10	1,85	1,81	1,84	1,85	1,86	1,842	94,3104	
5	9	1,77	1,76	1,78	1,78	1,8	1,778	91,0336	81
5	10	1,84	1,85	1,85	1,92	1,87	1,866	95,5392	96
4	8	1,59	1,61	1,59	1,62	1,59	1,6	81,92	
5	8	1,65	1,67	1,67	1,69	1,66	1,668	85,4016	

Tabla A4.10: Valores horizontales de calibración para el botón INCREMENTAR.

Coordenada		Botón: PARO					Pantalla Horizontal		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
2	11	0,55	0,5	0,55	0,54	0,54	0,536	27,4432	
2	12	0,53	0,55	0,5	0,54	0,56	0,536	27,4432	
3	11	0,7	0,7	0,68	0,7	0,68	0,692	35,4304	27
3	12	0,74	0,73	0,7	0,74	0,73	0,728	37,2736	45
4	11	0,84	0,78	0,83	0,84	0,81	0,82	41,984	
4	12	0,87	0,83	0,87	0,88	0,87	0,864	44,2368	

Tabla A4.11: Valores horizontales de calibración para el botón PARO.

Coordenada		Botón: PARO					Pantalla Vertical		
Y	X	Valores de voltaje					Promedio	Valor en Bits	Rango en Bits
2	11	1,8	1,77	1,81	1,82	1,76	1,792	91,7504	
2	12	1,88	1,92	1,85	1,88	1,84	1,874	95,9488	
3	11	1,84	1,82	1,85	1,81	1,87	1,838	94,1056	91
3	12	1,92	1,86	1,95	1,93	1,84	1,9	97,28	101
4	11	1,9	1,85	1,87	1,9	1,79	1,862	95,3344	
4	12	1,96	1,95	1,97	1,97	1,97	1,964	100,5568	

Tabla A4.12: Valores horizontales de calibración para el botón PARO.