



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**

**Diseño y construcción de un prototipo de Caña de Pescar  
Electrónica tipo mochila**

**Tesis previo la obtención del título de  
Ingeniero Electrónico**

**Autores:**

**Herman Stalin Herrera Herrera**

**César Andrés Palacios Crespo**

**Director:**

**Leonel Pérez Rodríguez**

**Cuenca, Ecuador**

**2011**

## **DEDICATORIA:**

### ***Stalin***

Todo el esfuerzo y dedicación que he puesto en esta tesis, va con mucho cariño a mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanas, a mi esposa, y en especial a mi hijo Mateo que merece lo mejor de mí.

### ***Andrés***

A Dios por haberme dado la capacidad y sabiduría para cumplir con mis metas, a mis padres que por su sacrificio y amor supieron guiarme en mi formación personal y académica, logrando así mi obtención del título como Ingeniero Electrónico. Para ellos esta tesis les dedico con mucho cariño.

### **AGRADECIMIENTO:**

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad del Azuay, a la Escuela de Ingeniería Electrónica, a nuestros docentes y amigos; de manera especial a nuestro Director de Tesis Ing. Leonel Pérez y a nuestro colaborador Ing. Hugo Torres, por su apoyo en el transcurso de nuestra formación académica y en la realización del presente trabajo. Al Biólogo Edwin Zárate, director de la Escuela de Biología, por el apoyo brindado.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado hace referencia al diseño y construcción de un equipo para pesca eléctrica tipo mochila controlado electrónicamente por un microcontrolador PIC16F871. El equipo incluye una fuente conmutada de alta frecuencia que convierte de 12 voltios de la fuente de alimentación a otra fuente de corriente continua pulsada de alto voltaje (alrededor de 500 voltios) para aplicarlo a un electrodo activo de pesca que está referido a otro electrodo fijado a tierra. El equipo es capaz de crear un campo eléctrico que paraliza al pez sin causarle daño, resultando la pesca fácil y rápida.

## **ABSTRACT**

The present work makes reference about the design and build of backpack electrofishing equipment, electronically controlled through a PIC16F871 microcontroller. The equipment includes a High Frequency Switching Source that convert a Voltage Source (12 volts) to other Pulsed Direct Current Source (around 500 volts) in order to apply the generated voltage to a fishing active electrode referred to another electrode attached to soil. The equipment will be capable to create an electrified zone to stun fish without damaging it, resulting in quick and easy fishing.

## INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Resumen .....	iv
Abstract .....	v
Indice de Contenidos .....	vi
Indice de Ilustraciones .....	ix
Indice de Tablas .....	xii

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

### **CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO**

Introducción .....	3
1.1. Pesca eléctrica. Generalidades .....	3
1.1.1. Ictiofauna. Áreas de Aplicación .....	8
1.1.2. Ventajas y limitaciones .....	9
1.1.3. Diagrama de bloques general de un <i>Electrofisher</i> .....	10
1.1.4. Equipos para pesca eléctrica .....	12
1.1.4.1. Equipo de electropesca tipo mochila .....	12
1.1.4.2. Equipo de electropesca para remolque en canoa .....	12
1.1.4.3. Equipos de electropesca instalados en botes tripulados .....	13
1.2. Microcontroladores .....	14
1.2.1. Generalidades .....	15
1.2.2. Tipos de microcontroladores .....	16
1.2.3. Microcontrolador PIC16F87X de MICROCHIP .....	16
1.2.4. Programación de Microcontroladores MICROCHIP (Serie 87X) .....	18
1.2.4.1. Tipos de lenguaje .....	18
1.2.4.2. Herramientas de desarrollo .....	19
1.2.4.3. Proceso de desarrollo de una aplicación basada en microcontrolador .....	23
1.2.5. Arquitectura Interna y Programación del microcontrolador PIC16F871 .....	26
1.2.6. Pines del microcontrolador PIC16F871 .....	31

1.2.7. Módulo LCD .....	32
1.3. Convertidores. Generalidades y clasificación .....	33
1.3.1. Fuentes de poder. ....	34
1.3.2. Fuentes conmutadas. ....	36

## **CAPITULO 2: HARDWARE**

Introducción. ....	39
2.1. Descripción general del <i>hardware</i> .....	39
2.2. Diagrama de bloques general del <i>hardware</i> .....	40
2.2.1. Bloque de alimentación.....	41
2.2.2. Bloque generador de alta frecuencia .....	41
2.2.3. Interruptor electrónico.....	42
2.2.4. <i>Buffers</i> Darlington.....	43
2.2.5. Bloque de transformación de voltaje .....	44
2.2.6. Bloque rectificador y filtro de salida.....	45
2.2.7. Bloque de control de sobrecorriente .....	46
2.2.8. <i>Hardware</i> de control e interfaz de usuario .....	48
2.3. Interconexión total y diseño del PCB.....	49

## **CAPÍTULO 3: FIRMWARE**

Introducción .....	51
3.1. Programa principal. Funcionamiento .....	51
3.2. Subrutinas secundarias. Funcionamiento .....	53
3.2.1. Subrutinas para incrementar y decrementar frecuencia .....	53
3.2.2. Subrutinas para aumentar y disminuir ciclo útil de trabajo .....	54
3.2.3. Subrutina de control de sobrecorriente .....	55
3.2.4. Subrutina de atención de interrupción externa del puerto RB0 .....	56
3.3. <i>Firmware</i> en proceso de trabajo.....	58

## **CAPÍTULO 4: PRUEBAS FUNCIONALES**

Introducción. ....	68
4.1 Pruebas de laboratorio.....	68
4.2 Pruebas de campo.....	72

## **CAPÍTULO 5: MANUAL DE USUARIO**

Introducción .....	74
5.1 Panel de control y configuraciones .....	75
5.2 Fuente de energía y conexiones .....	80
5.3 Caña: montaje y conexiones.....	81
5.4 Consideraciones para antes de usar el equipo .....	81
5.5 Consideraciones para antes, durante y despues del apesca .....	82
5.6 Configuración del equipo (opcional) .....	83
<b>CONCLUSIONES</b> .....	84
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Campo eléctrico para aturdir de peces.....	4
Figura 1.2. Comportamiento del campo eléctrico causado por un pez .....	5
Figura 1.3. Galvanotaxia en el pez, efecto producido con corriente continua pulsada. 7	7
Figura 1.4. Efectos que provoca un campo eléctrico en el pez.....	7
Figura 1.5. Efectos de cercanía del pez al ánodo .....	8
Figura 1.6. Quemaduras en una persona producto de pesca eléctrica artesanal .....	9
Figura 1.7. Daños en el pez producto de una excesiva corriente eléctrica.....	10
Figura 1.8. Diagrama de bloques de un equipo de pesca eléctrica .....	11
Figura 1.9. Caña de pescar electrónica tipo mochila .....	12
Figura 1.10. Equipo de electropesca transportado en canoa .....	13
Figura 1.11. Equipos de electropesca instalados en botes .....	13
Figura 1.12. Diagrama de bloques de un sistema microcontrolado .....	14
Figura 1.13 Representación esquemática de la estructura de un microcontrolador ..	15
Figura 1.14. Pantalla de trabajo en ISIS PROTEUS™ .....	20
Figura 1.15. Pantalla de trabajo en MPLAB IDE™ .....	21
Figura 1.16. Pantalla de trabajo en MICROCODE STUDIO .....	22
Figura 1.17. Tarjeta de entrenamiento para microcontroladores .....	23
Figura 1.18. Proceso de emulación .....	23
Figura 1.19. Proceso de desarrollo de una aplicación basada en microcontrolador ..	24
Figura 1.20. Esquema de señales del oscilador externo y ciclo de máquina .....	26
Figura 1.21. Configuración del Oscilador externo.....	29
Figura 1.22. Pines del PIC16F871 .....	31
Figura 1.23. LCD 2x16 con <i>backlight</i> .....	32
Figura 1.24. Convertidor CC/CA utilizando un transformador en <i>push-pull</i> .....	37
Figura 2.1. Conversión de energía empleada en la fuente elevadora de voltaje .....	39
Figura 2.2. Diagrama de bloques del <i>Hardware</i> del equipo .....	40
Figura 2.3. Circuito oscilador de pulsos cuadrados de 4.4 KHz.....	42
Figura 2.4. Señales del oscilador 556 .....	42
Figura 2.5 Comportamiento del circuito integrado CD4066. ....	43
Figura 2.6 <i>Buffers</i> Darlington. Distribución de pines del integrado TD62003.....	44
Figura 2.7. Convertidor CC/CA en modo <i>push-pull</i> .....	45
Figura 2.8. Circuito de rectificación y filtrado.....	46

Figura 2.9. Circuito limitador de corriente.....	47
Figura 2.10. Transformador de corriente utilizado para limitar la corriente.....	48
Figura 2.11. <i>Hardware</i> de control.....	49
Figura 2.12. Vista superior del PCB .....	50
Figura 3.1. Diagrama de flujo general del <i>firmware</i> .....	52
Figura 3.2. Cartel de inicio en el LCD .....	52
Figura 3.3. Subrutinas para incrementar y decrementar la frecuencia.....	54
Figura 3.4. Subrutinas para aumentar y disminuir el ciclo útil de una señal PWM...	55
Figura 3.5. Subrutina para controlar una sobrecorriente entre los electrodos.....	56
Figura 3.6. Subrutina de atención a interrupción externa RB0 .....	57
Figura 3.7. Código del <i>firmware</i> , parte 1 .....	59
Figura 3.8. Código del <i>firmware</i> , parte 2 .....	61
Figura 3.9. Código del <i>firmware</i> , parte 3 .....	62
Figura 3.10. Código del <i>firmware</i> , parte 4 .....	63
Figura 3.11. <i>Hardware</i> de interfaz de usuario .....	65
Figura 3.12. Simulación del <i>firmware</i> .....	65
Figura 3.13. Señal PWM vista en el osciloscopio.....	66
Figura 3.14. Simulación de varias señales PWM.....	66
Figura 3.15. Simulación de cortocircuito y sistema bloqueado .....	67
Figura 4.1. Onda cuadrada generada por el oscilador 556.....	69
Figura 4.2. Valores de frecuencia y ciclo útil iniciales mostradas en el LCD .....	69
Figura 4.3. Señal PWM generada por el PIC16F871 .....	69
Figura 4.4. Señal generada en el colector del transistor Dárlinton .....	70
Figura 4.5. Señal de salida conectada a una carga de aprox. 180Ω .....	70
Figura 4.6. Conexión para pruebas de laboratorio .....	71
Figura 4.7. Mensaje en LCD después de un cortocircuito .....	71
Figura 4.8. Pruebas de campo con resultados positivos.....	73
Figura 5.1. ELECTROFISHER UDA tipo mochila.....	74
Figura 5.2. Parte frontal y lateral derecha del equipo .....	75
Figura 5.3. Pantalla LCD y panel de control.....	76
Figura 5.4. Pantalla LCD visualizando valores de frecuencia y ciclo útil .....	76
Figura 5.5. Generación de diferentes señales de ciclo útil para una señal de 50Hz...	77
Figura 5.6. Panel lateral derecho.....	78
Figura 5.7. Panel lateral izquierdo .....	79

Figura 5.8. Compartimento en la mochila para la batería y el equipo .....	80
Figura 5.9. Caña del ELECTROFISHING UDA.....	81

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cuadro demostrativo de los niveles de programación de un PIC .....	18
Tabla 1.2. Descripción y conexión de pines del PIC16F871 utilizado .....	32
Tabla 1.3. Descripción y conexión de pines del módulo LCD .....	33
Tabla 3.1. Comandos utilizados en PicBasicPro para manejar un LCD .....	60

Herrera Herrera, Herman Stalin

Palacios Crespo, César Andrés

Trabajo de Grado

Ing. Pérez Leonel

Junio del 2011

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAÑA DE PESCAR ELECTRÓNICA TIPO MOCHILA**

### **INTRODUCCIÓN**

Desde hace muchos años se ha generado gran interés en realizar estudios a la diversidad biológica en nuestro país que cuenta con una gran diversidad de especies del planeta. Con frecuencia esta riqueza de biodiversidad de hábitats se encuentra seriamente alterada, amenazada e incluso destruida por la intervención de actos irresponsables del ser humano. Este escenario motiva a desarrollar urgentemente técnicas de estudio que faciliten la adquisición rápida de información preliminar del estado medioambiental de áreas naturales poco o casi nada conocidas, en especial donde existe, inevitablemente la presencia del hombre.

Ecuador a pesar de poseer una extensión menor del 1% de la superficie de nuestro continente, posee una mega diversidad biológica, sin embargo la literatura biológica ecuatoriana casi siempre comunica gran diversidad en términos de especies de flora y fauna, excluyendo en gran parte el campo de la Ictiología<sup>1</sup>, aunque reconoce la existencia de altos índices de variedad de peces sin mayor detalle.

El cuidado de la fauna acuática se la realiza mediante el muestreo de peces, pero utilizar métodos tradicionales de pesca no ha dado los resultados esperados, demostrando la mala inversión de recursos materiales, humanos y económicos, por esto se ha considerado la idea de implementar el uso de equipos tecnológicos que permitan solucionar contratiempos en este tipo de estudios.

---

<sup>1</sup> La ictiología es una rama de la zoología que se ocupa del estudio del ciclo vital de los peces en sus diferentes aspectos, tales como anatomía, fisiología, comportamiento, hábitat, crecimiento, reproducción, entre otros.

Es así que la Escuela de Biología con ayuda de la Escuela de Electrónica de la Universidad del Azuay, continuamente realizan esfuerzos para colaborar con el desarrollo de estudios medioambientales.

El trabajo que a continuación se expone trata sobre la aplicación que se da a los microcontroladores para generar señales moduladas en ancho de pulso (PWM) capaces de controlar un campo eléctrico de alto voltaje (500 V aprox.) que aplicado en el agua estimula los músculos del pez provocándole parálisis temporal e inofensiva, con el objetivo de que la pesca para estudios científicos sea rápida y con mayor número de muestras.

Para generar el alto voltaje se ha desarrollado una fuente conmutada de alta frecuencia utilizando un transformador elevador y transistores de potencia, elementos comúnmente utilizados en procesos industriales modernos de conversión de energía eléctrica. La electrónica de potencia mediante dispositivos semiconductores se constituyen herramientas necesarias para cumplir con este propósito.

## **CAPITULO 1**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **Introducción**

En este capítulo se da a conocer los conceptos y teorías básicas necesarias que relacionen temas de ictiología, electrónica de potencia y sistemas microcontrolados, un análisis previo la elaboración de cada etapa con que se desarrolla el equipo.

#### **1.1 Pesca eléctrica. Generalidades**

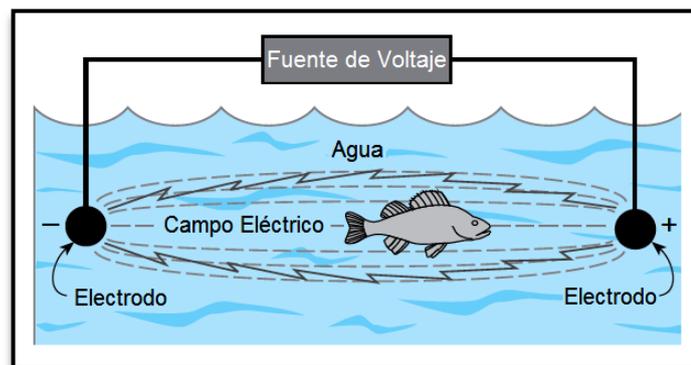
La electricidad en la pesca se usó por primera vez en 1863 cuando fue concedida una patente Británica, mayores esfuerzos se realizaron con el pasar del tiempo pero no se vieron resultados hasta después de 1950, desde entonces los estudios se han enfocado en los efectos fisiológicos que podrían tener los organismos acuáticos.

La pesca eléctrica utilizada con fines científicos ayuda en la recolección rápida de peces a través de la acción de un campo eléctrico creado en el agua, que provoca en el mejor de los casos, la orientación del ejemplar hacia su captura sin causarle daños.

Actualmente, en países en los que está permitida este tipo de pesca, ésta cumple con normas de operación y seguridad, y se considera como el método más adecuado para el muestreo de peces en estudios biológicos. Con el muestreo de peces se puede determinar, entre lo más importante: cantidad, densidad y variedad de especies existentes en aguas saladas o dulces, aguas estancadas o ríos poco corrientosos.

## Respuesta de los peces a la electricidad

Para capturar peces con energía eléctrica se debe crear una zona suficientemente electrificada (figura 1.1), donde el pez forme parte de ésta y le provoque el efecto esperado, la diferencia de potencial que se forma a su alrededor hace que nade involuntariamente en dirección del flujo de corriente que lo atraviesa, esto es, hacia el electrodo positivo.



**Figura 1.1.** Campo eléctrico para aturdir peces

Fuente: Smith-Root Company. 2011. "User's guide type-VI-A Electrofisher".  
[Disponible en: [www.smith-root.com](http://www.smith-root.com)]

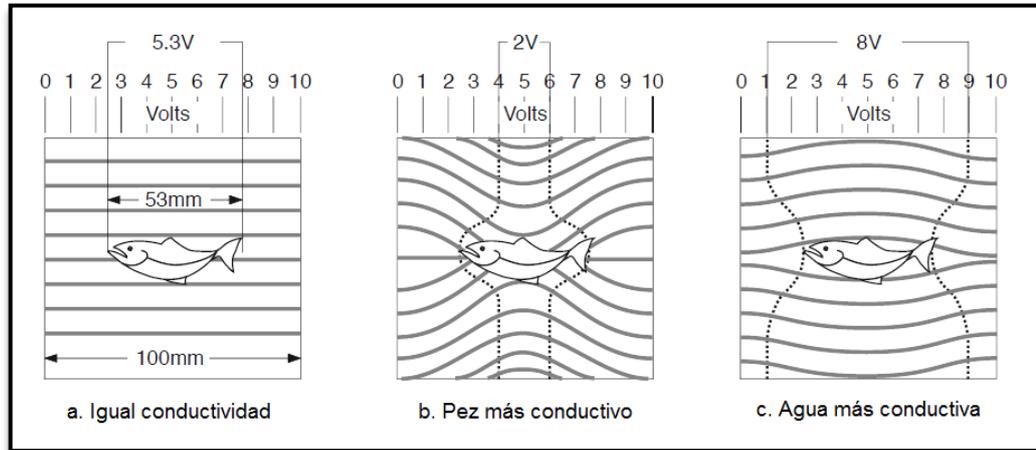
Los efectos que la corriente eléctrica controlada provoca en el pez son reversibles, luego del minuto o dos de haberle aplicado la dosis se recuperan, estos efectos son:

- Electrotaxis o galvanotaxia.
- Electrotétano o contracción muscular.
- Electronarcosis o relajación muscular.

La eficacia de la pesca eléctrica se ve afectada por algunos factores físicos y biológicos propios del pez. En primer lugar, el efecto provocado se intensifica exponencialmente con la especie y masa corporal; por ejemplo, entre peces de la misma especie, los más grandes son más sensibles a corrientes eléctricas.

Otros factores que afectan a la pesca, aunque en menor grado son: la conductividad y temperatura del agua, tamaño y material del electrodo, temporada del año y cambios climáticos.

- La conductividad del agua depende de la cantidad de sales y minerales disueltos, y la conductividad del pez de su tamaño y edad. La figura 1.2 muestra el comportamiento del campo eléctrico en función de estos dos factores.



**Figura 1.2.** Comportamiento del campo eléctrico causado por un pez

Fuente: Smith-Root Company. 2011. "User's guide type-VI-A Electrofisher".  
[Disponible en: [www.smith-root.com](http://www.smith-root.com)]

En (a) ninguna distorsión es causada debido a que ambos son equipotenciales; en (b), en aguas de baja conductividad la distorsión del campo eléctrico provoca que el voltaje cerca del pez sea menor que en (a); lo contrario ocurre en (c), cuando la conductividad del agua es mayor que la del pez, en este caso la distorsión es causada por la corriente concentrada en el agua que rodea al pez. En ambos casos (b) y (c), no se transfiere tanta potencia en el cuerpo del pez como en (a).

La corriente que circula a través del pez disminuye a medida que disminuye el flujo de potencia y para que los peces respondan igual, se debe mantener el flujo de corriente incrementando el voltaje aplicado. Como regla general, se debe considerar siempre que la corriente que fluye a través de un cuerpo está directamente relacionada con el voltaje aplicado, es decir, cuanto mayor sea el voltaje, mayor será la corriente que fluya.

Cuando se trata de aguas bastante conductivas, sobre los 2000 microSiemens / cm, y se aplica un alto voltaje, mayor corriente fluye por el líquido y los peces se verán menos afectados, esto se debe a que la corriente eléctrica sigue el camino que presenta menor resistencia (el camino más fácil), por esto no se debe utilizar

voltajes elevados pero sí corrientes lo suficientemente altas (su limitante son las fuentes que las controlen).

Lo contrario ocurre cuando se trata de aguas poco conductivas, el agua destilada por ejemplo, que tiene una conductividad de 0.5 a 5 microsiemens / cm., al aplicarle voltaje, el flujo de corriente no es bueno al igual que la pesca.

Un aumento considerable de temperatura en el agua implica también un incremento de conductividad del agua y del pez. Existe una reducción del 40% de conductividad cuando la temperatura del agua disminuye de 20°C a 0°C.

- La elección del material y el tamaño de los electrodos también influyen en la pesca, una zona mejor electrificada se obtiene aumentando el tamaño de éstos, pero no en gran magnitud porque dificultaría su maniobrabilidad. Mayor tamaño implica menos daños en el pez, y cuando se trate de corriente continua pulsada, se recomienda que el tamaño del electrodo negativo (cátodo) sea tres veces mayor que la del positivo (ánodo).

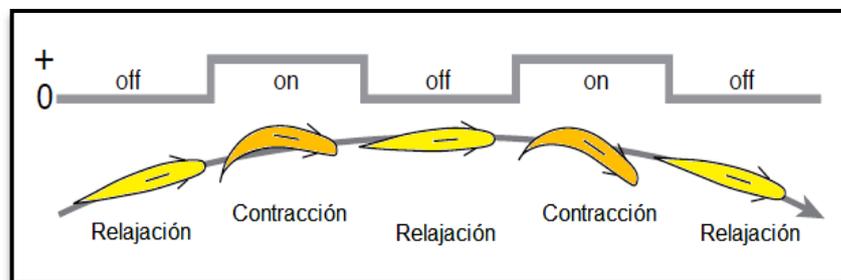
### **Tipos de corriente**

Existen dos tipos de corriente que se pueden utilizar para pescar con electricidad, estos inciden en el efecto fisiológico y en el comportamiento de los peces.

- **La corriente alterna (CA).**- Es una corriente eléctrica en la que invierte la dirección del flujo de corriente una determinada cantidad de veces por segundo. En un campo eléctrico de este tipo, el pez reacciona transversalmente a las líneas de campo generadas por los electrodos. Al aumentar la intensidad del campo produce tétano y el pez se paraliza (contracciones en sus músculos). Utilizar elevados voltajes de alterna puede provocar la muerte del pez debido a que estas contracciones son tan intensas que daña su cerebro y vértebras. Por lo tanto, la pesca con corriente alterna sólo tiene éxito con peces pequeños y en aguas de baja conductividad.

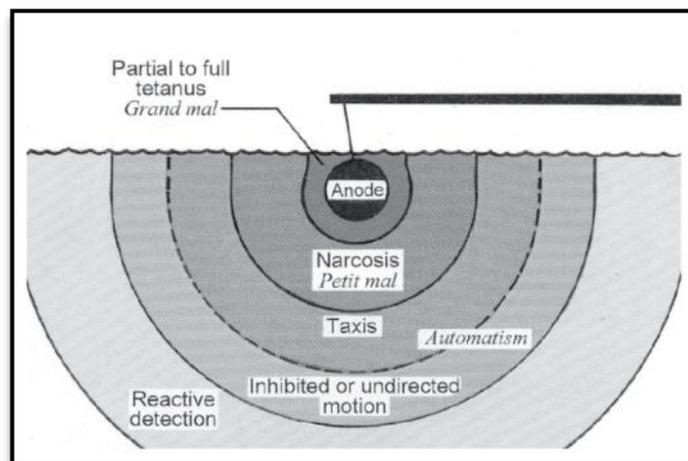
- **La corriente continua (CC).**- Es el término dado a la corriente eléctrica que fluye en un mismo sentido desde el electrodo negativo (cátodo) hacia el electrodo positivo (ánodo). La reacción de los peces a esta corriente aplicada de manera intermitente (PDC), es diferente a la de corriente alterna.

En la figura 1.3 se muestra el efecto producido al utilizar corriente continua pulsada (PDC), la contracción y relajación de los músculos provocados con cada impulso hace que el pez nade involuntariamente hacia el ánodo, este efecto se lo conoce también como galvanotaxia o galvanonarcosis. La frecuencia de los impulsos es factor determinante para producir el efecto esperado en el pez.



**Figura 1.3.** Galvanotaxia en el pez, efecto producido con corriente continua pulsada

Fuente: Smith-Root Company. 2011. "User's guide type-VI-A Electrofisher".  
[Disponible en: [www.smith-root.com](http://www.smith-root.com)]

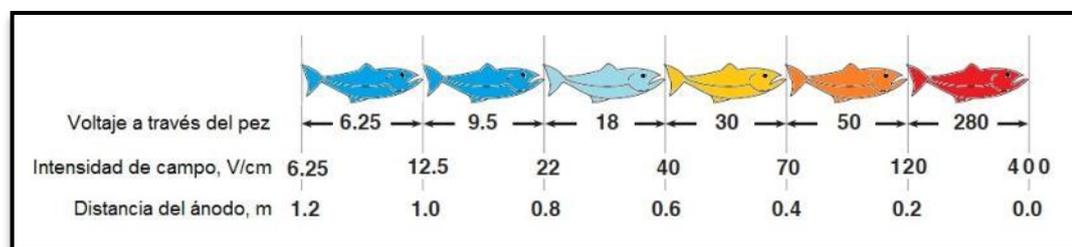


**Figura 1.4.** Efectos que provoca un campo eléctrico en el pez. Diferentes zonas de respuesta: *taxis*, *narcosis* y *tetanus* representan rangos efectivos para capturar al pez

Fuente: Snyder D. 2003. *Electrofishing and its harmful effects on fish*. p: 24. [Disponible en: [www.fort.usgs.gov/products/publications/21226/21226.pdf](http://www.fort.usgs.gov/products/publications/21226/21226.pdf)]

La figura 1.4 muestra las zonas de respuesta que los peces experimentan a los diferentes niveles de intensidad del campo generado. La zona periférica externa es un campo débil que en el pez no tiene efecto; la zona intermedia tiene un campo eléctrico fuerte aunque no lo suficiente como para aturdirlo pero sí para provocarle una acción involuntaria de nado hacia el ánodo; en la zona más interna, el campo es tan fuerte que los peces se paralizan. El tamaño de estas zonas dependerá de los factores antes mencionados.

Cuanto más cerca esté el pez al ánodo, mayor voltaje recibirá de la cabeza a la cola (figura 1.5), pero puede disminuir, reduciendo el tiempo de aplicación del impulso.



**Figura 1.5.** Efectos de cercanía del pez al ánodo

Fuente: Smith-Root Company. 2011. "*User's guide type-VI-A Electrofisher*".  
[Disponible en: [www.smith-root.com](http://www.smith-root.com)]

Hoy en día existen a nivel mundial empresas con tecnología de punta, recursos y personal técnico capacitado para la fabricación de estos equipos, cumpliendo normas de funcionamiento y seguridad que el organismo medioambiental del lugar exige.

### 1.1.1 Ictiofauna. Áreas de aplicación

La Ictiofauna es la ciencia derivada de la zoología que se ocupa del estudio del ciclo vital de los peces en sus diferentes aspectos (anatomía, fisiología, comportamiento, hábitat, crecimiento, reproducción, entre otros). Este concepto muestra el objetivo claro de una disciplina que ha desarrollado sus métodos y bases de estudio, formando en la actualidad un cuerpo científico importante que trata de recoger todo conocimiento para afrontar los distintos aspectos que hoy la sociedad demanda en este grupo de vertebrados.

Los procedimientos de muestreo tienen como objetivo dar directrices metodológicas que permitan obtener datos de composición, abundancia y estructura de la población (edad y tamaño) de las especies ícticas utilizando la pesca eléctrica, redes y otras artes de pesca.

### 1.1.2 Ventajas y limitaciones

La utilización de electricidad en estos equipos optimiza tiempo y recursos en la culminación de los estudios ícticos, es una técnica creada para facilitar la captura de muestras de peces en comunidades acuáticas, permitiendo, descubrir el inicio de nuevos hábitats y conocer su composición, abundancia, aspectos biométricos, estado sanitario, entre otros, importantes para determinar el estado e impacto ecológico del lugar de muestreo.

### Daños en el Cuerpo Humano

Se ha evidenciado que la pesca eléctrica utilizada de manera irresponsable y sin los conocimientos básicos de electricidad, puede provocar lesiones corporales leves así como traumatismos eléctricos graves que lastiman las extremidades a tal punto que podría llevar a la amputación de las mismas e inclusive a la muerte del individuo si llegara a afectar órganos vitales.



**Figura 1.6.** Quemaduras en una persona producto de pesca eléctrica artesanal

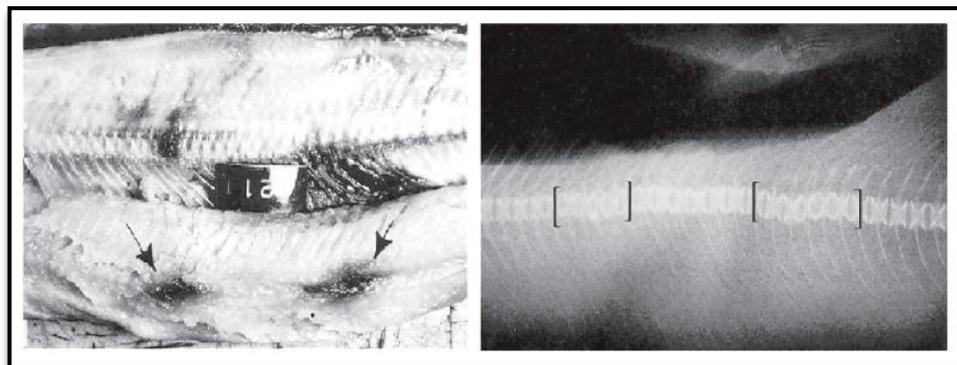
Fuente: Docampo N., et al. 2006. *La pesca ¿un deporte de riesgo? Traumatismo eléctrico*. p: 261.  
[Disponible en: [http://www.semes.org/revista/vol18\\_4/14.pdf](http://www.semes.org/revista/vol18_4/14.pdf)]

La figura 1.6 muestra el caso de un paciente que acude al servicio de urgencias tras sufrir quemaduras eléctricas de alto voltaje producidas al manipular su caña de pescar eléctrica artesanal utilizando la red eléctrica de alta tensión como fuente de energía.

Punto de entrada de la corriente, el antebrazo derecho (izquierda), y punto de salida en la planta de ambos pies (derecha).

### **Daños en el Pez**

Al utilizar altas frecuencias el pez también se ve afectado con daños parecidos a los provocados en el cuerpo humano (figura 1.7), romperse su espina dorsal como consecuencia de la excesiva contracción muscular, daños a la carne en su entorno, quemaduras y coágulos internos.

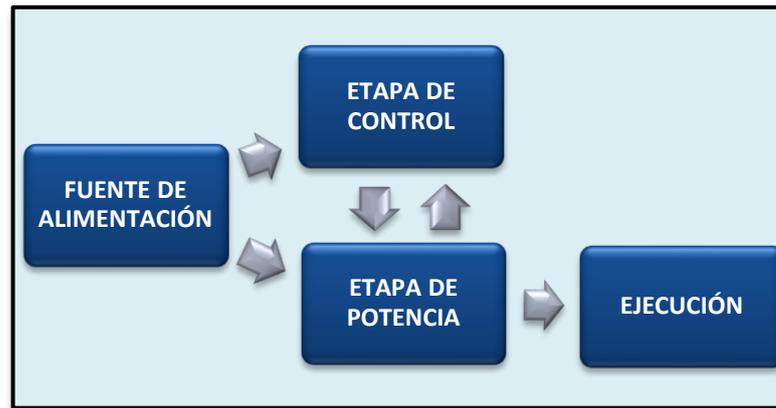


**Figura 1.7.** Daños en el pez producto de una excesiva corriente eléctrica. Fotografía izquierda, quemaduras y coágulos en la carne. Fotografía derecha, vista lateral con Rayos-X del daño provocado a la columna espinal

Fuente: Snyder D. 2003. *Electrofishing and its harmful effects on fish*. p: 12. [Disponible en: [www.fort.usgs.gov/products/publications/21226/21226.pdf](http://www.fort.usgs.gov/products/publications/21226/21226.pdf)]

### **1.1.3 Diagrama de bloques general de un *Electrofisher***

En la figura 1.8 se muestra un diagrama de bloques general con las etapas que conforman un equipo de pesca eléctrica.



**Figura 1.8.** Diagrama de bloques de un equipo de electropesca

- **La fuente de alimentación**

Puede ser una batería de 12 o 24 voltios de CC, o un generador de voltaje de CA que funcione con combustible, y es quien proporciona la energía necesaria a todo el sistema.

- **Etapa de control**

Está conformada de microcontroladores u otro tipo de circuitería lógica. Dependerá de cuán sofisticado sea el equipo para establecer los componentes necesarios. Cuenta también con una interfaz de usuario para configurar parámetros de funcionamiento (teclado, pulsantes de emergencia, etc.), y para la comunicación con el operario (pantallas LCD, *Displays* de 7 segmentos, LEDs, etc.).

- **Etapa de potencia**

Es una fuente controlada que eleva el voltaje de alimentación a otro voltaje de mayor magnitud. La cantidad de corriente que genere será el indicador para que la etapa de control establezca las seguridades del equipo.

- **Etapa de ejecución**

Se refleja en los electrodos conductores (positivo y negativo) que permiten el paso de la energía eléctrica para crear el campo eléctrico en el agua.

### 1.1.4 Equipos para pesca eléctrica

Existen tres tipos de equipos para pesca eléctrica, desde el más básico hasta el más complejo, el adecuado dependerá de las necesidades y del lugar de aplicación.

#### 1.1.4.1. Equipo de electropesca tipo mochila (*back pack model*)

El modelo a utilizar en este proyecto se muestra en la figura 1.9, su elección se justifica porque es un equipo portátil, de fácil manejo y ligero. Su estructura en forma de mochila facilita transportarlo por ríos, riachuelos, estanques y demás lugares donde se necesite buena maniobrabilidad o en tramos donde tenga difícil acceso. Es un equipo que cuenta con una fuente de alimentación (una batería recargable de 12 V en este caso) y dos electrodos: el positivo, instalado en la caña y manipulado por el operador, y el negativo es un cable que cuelga del equipo y se fija al fondo del agua.

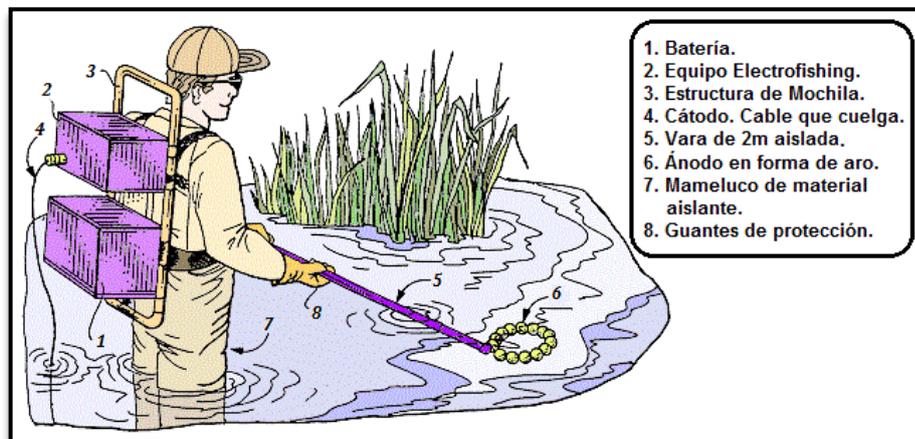


Figura 1.9. Caña de pescar electrónica tipo mochila

#### 1.1.4.2. Equipo de electropesca para remolque en canoa (*towed barge model*)

La figura 1.10 muestra otro tipo de montaje para estos equipos que generalmente se sitúan en la orilla del río por ser muy pesados, para transportarlo se utiliza un pequeño bote que sirve como remolque, cuentan con un generador eléctrico de corriente alterna a base de combustible fósil (gasolina) que entrega potencias de

alrededor de 3000 Vatios (600 voltios y hasta 2.5 amperios) que trabajan mientras exista combustible.



**Figura 1.10.** Equipo de electropesca transportado en canoa

Fuente: Smith-Root Company. 2011. “*Smith-Root Catalog*”.  
[Disponible en: [www.smith-root.com](http://www.smith-root.com)]

#### 1.1.4.3. Equipos de electropesca instalados en botes tripulados (*boat mounted model*)

Se los conoce también como “*stunboat*” (figura 1.11), son equipos instalados fijamente en grandes botes o embarcaciones, su fuente de energía es un generador de voltaje propio o el del mismo barco. Se utilizan en aguas más profundas y con mayores superficies.



**Figura 1.11.** Equipos de electropesca instalados en botes (*stunboat*)

Fuente: Smith-Root Company. 2011. “*Smith-Root Electrofisher Boats*”.  
[Disponible en: [www.smith-root.com](http://www.smith-root.com)]

## 1.2 Microcontroladores ( $\mu C$ )

Los microcontroladores están presentes en casi todos los equipos electrónicos de hoy. Aprender a diseñar aplicaciones basadas en microcontrolador se ha convertido en un importante indicador de competitividad en profesionales de Ingeniería Electrónica.

Existen en el mercado diferentes tecnologías de microcontroladores, la tendencia actual deriva hacia la globalización de las arquitecturas primarias de dichas tecnologías. Entiéndase por globalización de las arquitecturas primarias como la compatibilización de los diferentes diseños tecnológicos de microcontroladores. En este sentido los diseñadores que comiencen en este mundo fascinante deben considerar que su preparación debe estar enfocada al empleo (en principio) de cualquier tipo microcontrolador; lo que se logra aprendiendo macro conceptos relacionados con todos los microcontroladores, o sea los conceptos aplicables a cualquier tecnología aunque los primeros pasos en el aprendizaje se apoyen en una tecnología específica.

En el siguiente diagrama de bloques (figura 1.12) se presenta de manera general un sistema microcontrolado.



**Figura 1.12.** Diagrama de bloques de un sistema microcontrolado

Los dispositivos de entrada pueden ser un teclado, un interruptor, un sensor, etc., y los de salida, pantallas LCD, LEDs, pequeños parlantes, zumbadores, interruptores de potencia (tiristores, optoacopladores), entre otros.

### 1.2.1 Generalidades

Un microcontrolador ( $\mu C$ ) es un dispositivo que integra la mayor cantidad de recursos en un solo chip (figura 1.13) y se comunica con el exterior solamente a través de líneas de entrada / salida o líneas de puerto.

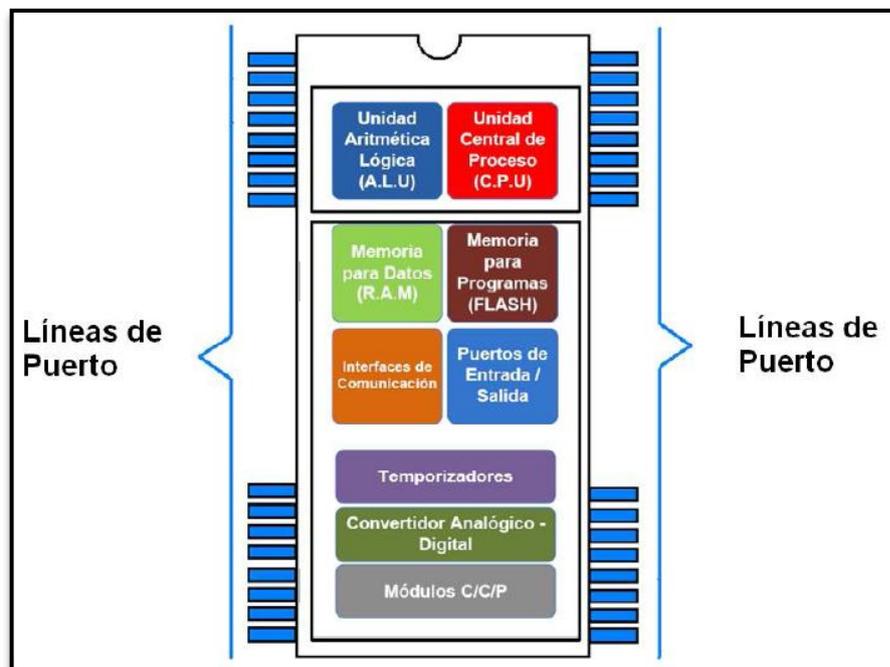


Figura 1.13. Representación esquemática de la estructura de un microcontrolador

Fuente: Pérez L. 2010. Anotaciones de cátedra Microcontroladores 1. *Introducción a los microcontroladores*

Algunas razones que justifican la elección de un microcontrolador para un proyecto son las siguientes:

- **Utilidad.-** Su reducido tamaño y bajo costo permiten incorporarlos en sistemas que antes no tenían controladores.
- **Fiabilidad.-** Puesto que un microcontrolador integra muchos recursos puede reemplazar a un número mayor de elementos, minimizando las interconexiones en la tarjeta de un circuito impreso y con ello el riesgo de fallas.
- **Flexibilidad.-** Como el control se realiza mediante un programa, su modificación solo precisa cambios de programación.
- **Aplicabilidad.-** Por ejemplo, en periféricos y dispositivos auxiliares de computadoras, electrodomésticos, equipos portátiles y de bolsillo, juguetes,

equipos de instrumentación, automotores, control industrial y robótica, sistemas de navegación espacial, seguridad, alarmas y más.

- Ahorra tiempo en el desarrollo de los diseños.
- Reduce el tamaño en el producto acabado: la integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen y la mano de obra.

### 1.2.2 Tipos de microcontroladores

Se fabrican dos tipos de microcontroladores actualmente:

- Los microcontroladores estándares. Se caracterizan por la total flexibilidad de su arquitectura. Se pueden desarrollar múltiples tipos de aplicaciones dependiendo de sus posibilidades y/o limitaciones.
- Los microcontroladores hechos a la medida. Se caracterizan por manejar una arquitectura cerrada. Casi siempre son pre-programados desde la fábrica o manejan un sistema de programación cerrado (no conocido comercialmente).

Algunas casas fabricantes de microcontroladores son:

- Microchip.
- ATMEL.
- Motorola.
- Texas Instruments.
- Siemens.

### 1.2.3 Microcontrolador PIC16F87X de MICROCHIP

Microchip<sup>TM</sup> es la casa fabricante que más variedad de microcontroladores oferta (más de 190). Sus microcontroladores PIC (*Peripheral Interface Controller*) se agrupan en familias o gamas (baja, media y alta) que se caracterizan por su

versatilidad, velocidad, bajo costo, bajo consumo de potencia, y variedad de herramientas para su programación. Cada familia de micros oferta diferentes series.

Microchip es una empresa revolucionaria dentro de la era del microcontrolador moderno, actualmente fabrica microcontroladores de 32 bits de alta tecnología. La familia 16F87X (microcontroladores de 8bits) es una familia moderna y muy vendida a nivel mundial que está integrada por PICs que combinan especificaciones muy poderosas: bajo costo, versatilidad, arquitectura interna de fácil comprensión e integración en chips de pocos pines de gran cantidad de periféricos.

Esta familia que pertenece a la gama media de microcontroladores PIC dispone de una variedad de características y funciones especiales, algunas de ellas son:

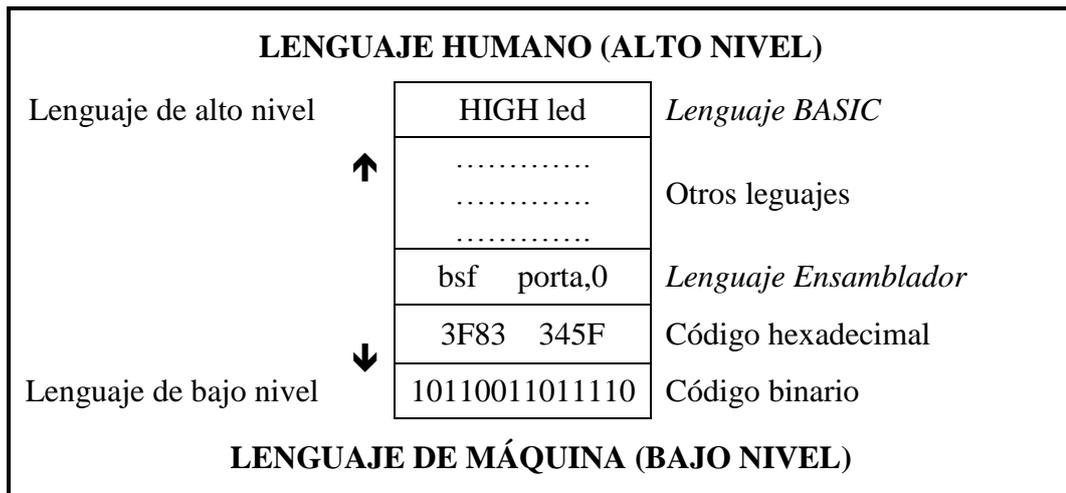
- 33 pines de propósito general.
- Manejan velocidades de hasta 20 MHz.
- Sus pines manejan hasta 25 mA de corriente, como fuente o sumidero, esto hace que sean capaces de manejar LEDs sin necesidad de *Buffers*, además, pueden ser configurables individualmente como entradas o salidas y en ciertos casos como analógicos, digitales o funciones específicas. Todas las líneas tienen protección contra descargas electrostáticas.
- Trabajan con tensiones desde 2V hasta 5.5V.
- Su procesador es de arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*: Computador con Set de Instrucciones Reducido) avanzada, pocas instrucciones pero muy poderosas.
- Dispone de un juego de 35 instrucciones de 14 bits de longitud. Cada una de ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
- La memoria de programa es de tipo FLASH de hasta 2K (2048) instrucciones.
- La memoria de datos tiene capacidad de hasta 128 bytes.
- Posee una memoria adicional de tipo EEPROM de hasta 64 bytes.
- Posee tres temporizadores o *Timers* programables.
- Tiene un Conversor Analógico-Digital de 8 canales con resolución de 10 bits.
- Posee un modulo CCP (Compara / Captura / PWM).
- Tiene un puerto de comunicaciones serial de tipo USART.

- Modos de direccionamiento directo e indirecto.
- Pila de 8 niveles.
- Modo *sleep* de bajo consumo.
- Técnica llamada de “Interrupciones” que pueden ser internas o externas.

### 1.2.4 Programación de Microcontroladores MICROCHIP (Serie 87X)

#### 1.2.4.1. Tipos de lenguaje

Se han desarrollado todo tipo de lenguajes de programación para PICs, los más usados son el Ensamblador, Basic y C, que se clasifican según su nivel (tabla 1.1).



**Tabla 1.1.** Cuadro de los niveles de programación de un PIC

El lenguaje mejor entendido por los microcontroladores es el código máquina formado por ceros (0) y unos (1) del sistema binario. El lenguaje ensamblador (de bajo nivel) expresa las instrucciones de una forma muy desmenuzada para el hombre pero a la vez muy cercana al microcontrolador, ya que cada una de las instrucciones se corresponde con otra en código máquina. Este lenguaje trabaja con nemónicos, que son grupos de caracteres alfanuméricos que expresan órdenes y tareas a realizar por el PIC, este es el código fuente que se genera en un archivo con extensión \*.asm; la traducción de los nemónicos a código máquina la realiza el mismo programa

ensamblador, este resultado se denomina código máquina y tiene una extensión \*.hex. Los programas realizados en ensamblador resultan un tanto complejos para el principiante, pero a su vez le permite desarrollar programas óptimos con el dominio absoluto del sistema, optimizando el tamaño de la memoria que ocupa y su ejecución es más rápida.

Utilizar lenguajes de alto nivel es otra opción para la edición y compilación del programa (*firmware*) del PIC de manera fácil, rápida y con menos líneas de programación debido a que tiene un parecido al lenguaje humano, su desventaja radica en que los dispositivos a utilizarse necesitan mayor espacio de memoria, pero esto cada vez deja de ser un problema porque hoy en día se fabrican microcontroladores con mayores capacidades y a menores precios.

#### **1.2.4.2. Herramientas de desarrollo**

Las Herramientas de Desarrollo son el conjunto de recursos necesarios para desarrollar aplicaciones basadas en microcontrolador.

##### **Herramientas de *software***

Son las herramientas necesarias para crear el *firmware* que será grabado en la Memoria de Programas del chip para hacer funcionar el *hardware*. Un microcontrolador de fábrica no realiza tarea alguna, este debe ser programado para que haga algo.

Dentro de las Herramientas de Desarrollo de *Software* se tienen las siguientes:

- **Editor, compilador y simulador.-** El editor permite escribir el programa. Los programas deben escribirse en un orden lógico y siguiendo una sintaxis determinada. Los compiladores permiten verificar si los comandos de un programa han sido escritos de manera correcta (sin errores de sintaxis). Un programa que compile correctamente no necesariamente funciona. Los

simuladores permiten verificar de manera virtual el funcionamiento de los programas antes de probarlos sobre el hardware. Una herramienta de simulación gráfica para microcontroladores es el ISIS PROTEUS™ (figura 1.14).

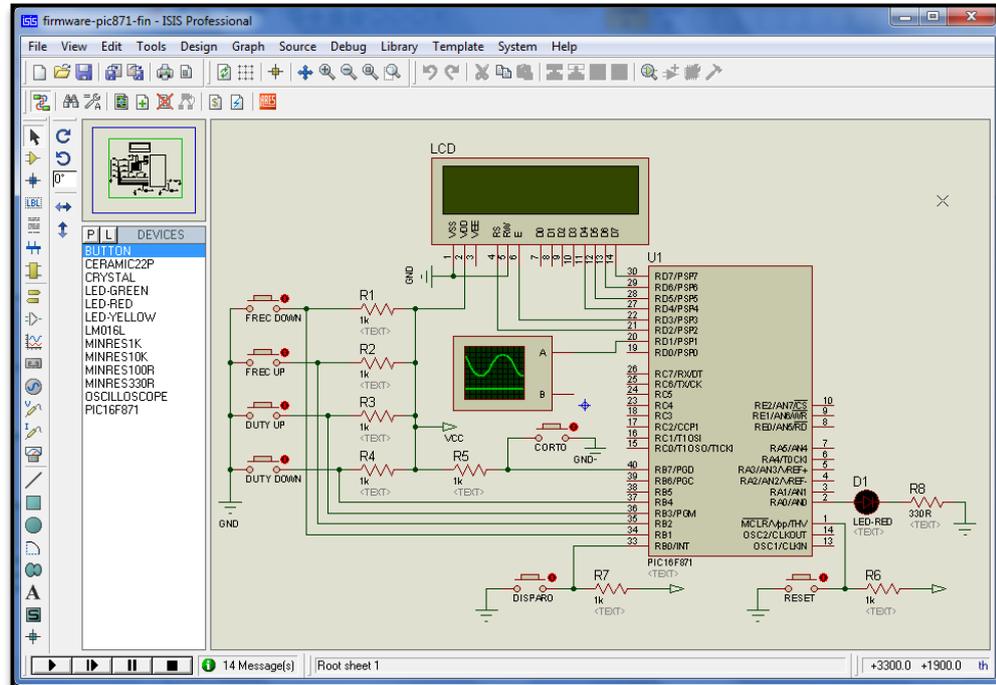


Figura 1.14. Pantalla de trabajo en ISIS PROTEUS™

- **Herramientas I.D.E (Integrated Development Environment o Ambientes Integrados de Desarrollo).**- Son paquetes de aplicación que integran todas o la mayoría de las funciones de una Herramienta de Desarrollo de *software*. Un paquete de este tipo es MPLAB (Microchip Pic LABORatory) I.D.E. MPLAB posee editor, compiladores, simulador y manejadores para diferentes herramientas de desarrollo de *hardware*. El simulador MPLAB no es basado en captura esquemática como el ISIS PROTEUS, MPLAB (figura 1.15) es gratis.

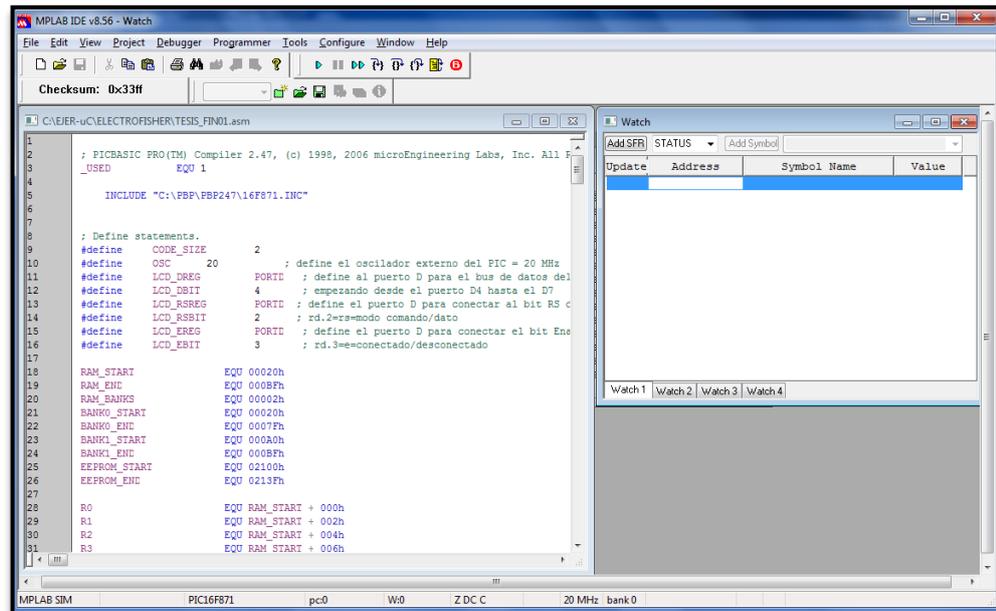


Figura 1.15. Pantalla de trabajo en MPLAB IDE™

El *firmware* desarrollado para este proyecto, se lo realizó en lenguaje de alto nivel, en Basic. PICBasicPro de *MicroEnginery Labs* (figura 1.16) es un *software* desarrollado bajo la plataforma de *MicroCode Studio* de *Mecanique*, y es un programa editor de texto como el Bloc de notas de Windows, con la diferencia que está diseñado exclusivamente para facilitar la programación de los microcontroladores PIC, si el programa está bien escrito y sin errores, compilará y generará automáticamente tres archivos con extensiones *.mac*, *.asm* y *.hex*, este último es el más importante y sirve para grabarlo en el PIC.

- **Bootloaders.-** Son pequeños programas que se graban en el microcontrolador con el objetivo de comunicarlo con una PC a través de alguna interface de comunicación y un *software* para descargar el programa de la aplicación concreta sobre su Memoria de Programa.

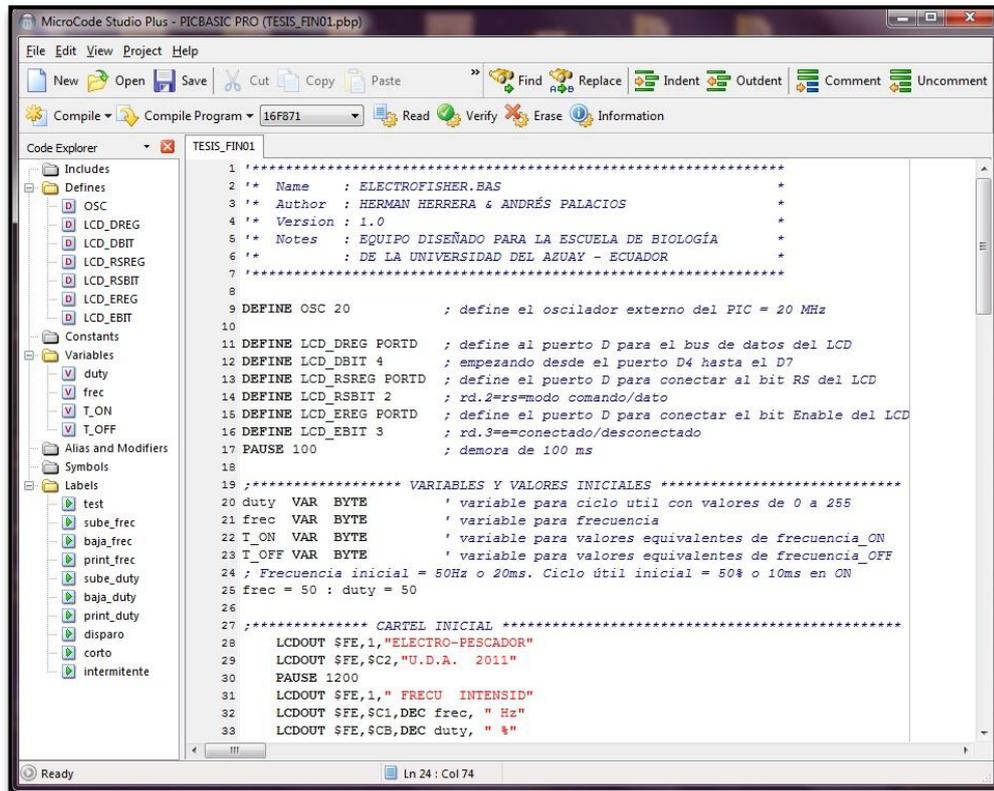


Figura 1.16. Pantalla de trabajo en MICROCODE STUDIO

### Herramientas de *hardware*

- **Computador personal.-** Herramienta necesaria para utilizar los utilitarios de *software*.
- **Programador.-** Permite grabar el programa compilado y simulado desde la computadora personal hacia la Memoria de Programas del *chip* microcontrolador.
- **Tarjeta de entrenamiento.-** Está constituida por un *hardware* de relativo uso general, lo que significa que con una Tarjeta de Entrenamiento se puede probar el funcionamiento de muchos proyectos antes de decidir su fabricación en grandes series (figura 1.17).

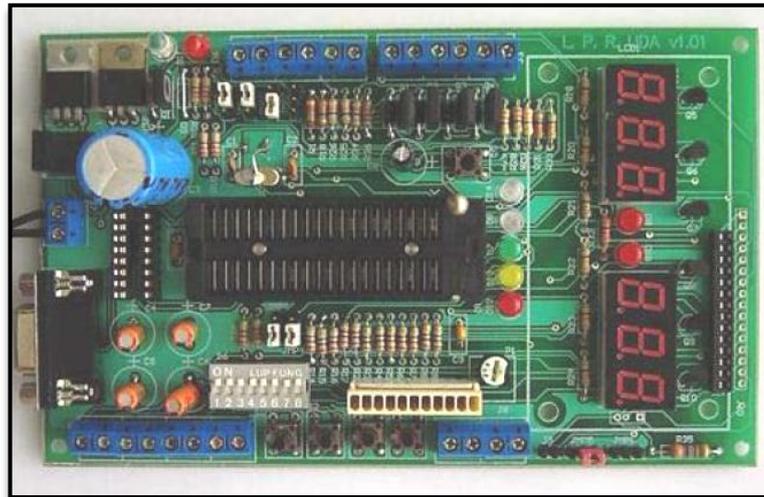


Figura 1.17. Tarjeta de entrenamiento para microcontroladores (UDA\_RS232C\_V1.01)

- **Emuladores.-** Son herramientas de *hardware* que simulan el comportamiento físico del microcontrolador sobre el *hardware* a medida que el programa se ejecuta, en tiempo real o paso a paso desde una PC (figura 1.18).

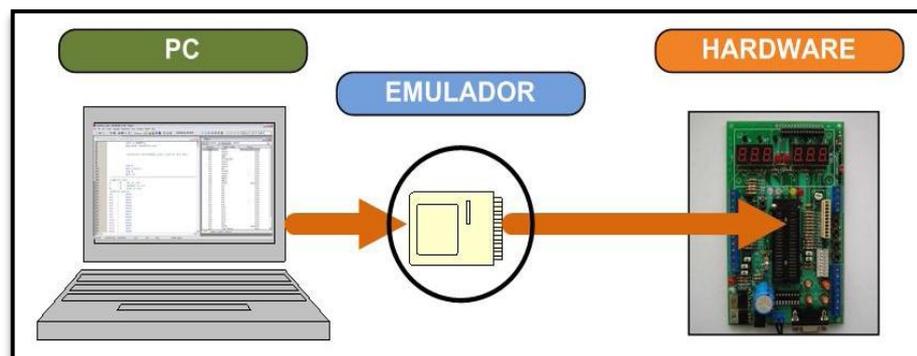
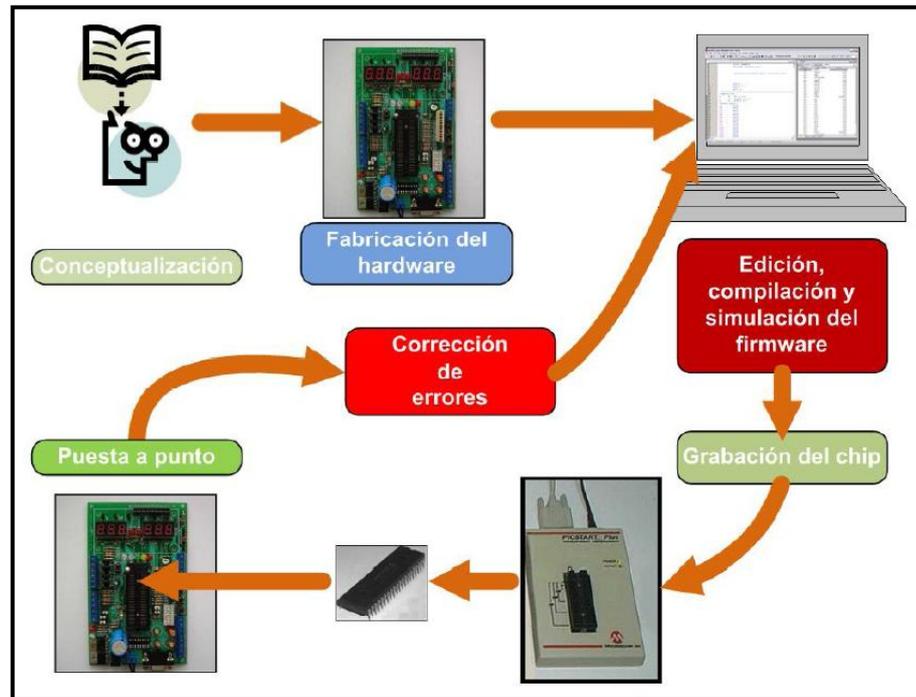


Figura 1.18. Proceso de emulación

### 1.2.4.3. Proceso de desarrollo de una aplicación basada en microcontrolador

En la figura 1.19 se esquematiza de manera general los pasos para el desarrollo de una aplicación basada en microcontrolador.



**Figura 1.19.** Proceso de desarrollo de una aplicación basada en microcontrolador (esquema)

Fuente: Pérez L. 2010. Anotaciones de cátedra Microcontroladores 1. *Introducción a los microcontroladores*

- **Conceptualización.-** Conceptualizar es la etapa más importante, en ella se definen las siguientes ideas:
  - ¿Qué funciones ejecutará el proyecto (en su primera versión)?
  - Distribución de las líneas de puerto de la manera más eficiente para el control de los dispositivos que formarán el *hardware*.

Muchos proyectos fracasan porque el diseñador no posee una idea clara de cuáles son sus límites (objetivos).

- **Fabricación del *hardware*.**- El diseño y fabricación de un hardware de calidad garantizan que el *firmware* pueda ser probado en base a sus errores solamente sobre una tarjeta confiable, lo que facilita enormemente la puesta a punto.
- **Edición, compilación y simulación del código.-** Se escribe el programa (edición), se compila para comprobar que sus instrucciones o comandos han sido escritas correctamente y se simula (virtualmente) o se emula (físicamente) para comprobar su funcionamiento. Se debe considerar que no siempre una

compilación exitosa garantiza que el código funcione correctamente sobre la tarjeta.

- **Grabación del *chip*.**- Una vez simulado el programa, se procede a descargar el programa desde la PC hacia la Memoria de Programa del microcontrolador. El proceso de grabado puede llevarse a cabo utilizando un *bootloader* o un programador (en circuito o externo).
- **Puesta a punto.**- La puesta a punto es un proceso realimentado que consiste en la observación del funcionamiento físico del microcontrolador en el *hardware* y la corrección de posible errores en el programa, hasta que el diseñador quede satisfecho con los resultados obtenidos.

En realidad lo que se diseña en un micro es algo muy personal, hecho a la medida, donde se ven reflejadas todas nuestras ideas y conceptos, para conseguirlo se recomienda seguir los siguientes pasos:

- a.) Planear el comportamiento del circuito, un esbozo, considerando los elementos que serán controlados.
- b.) Elaborar un diagrama de flujo del comportamiento del programa.
- c.) Diseñar el circuito eléctrico tomando en cuenta características eléctricas (capacidades de voltaje y corrientes, velocidades, seguridades, etc.).
- d.) Escribir el programa (tomando en cuenta el diagrama de flujo).
- e.) Compilar el código del programa para comprobar errores
- f.) Simular el código compilado para verificar su buen funcionamiento.
- g.) Pasar el programa al microcontrolador.
- h.) Montar los componentes del esquema eléctrico en el *protoboard*.
- i.) Montar el PIC y probar el proyecto.
- j.) De ser necesario, repetir el procedimiento hasta obtener el funcionamiento esperado.

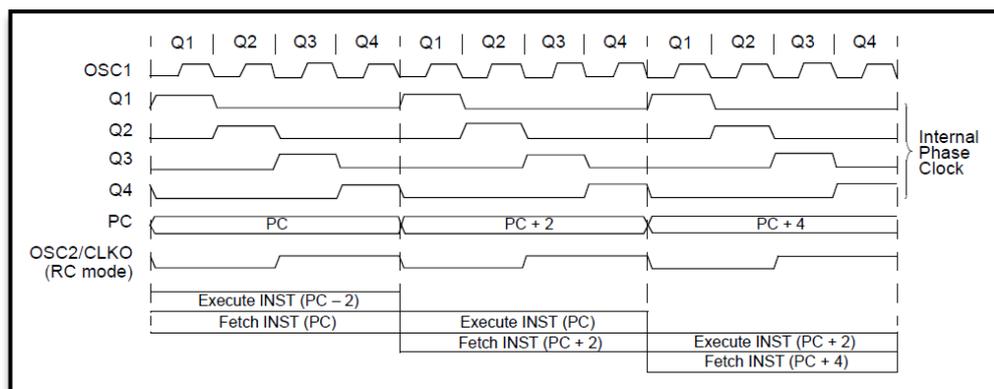
k.) Superando las etapas anteriores, diseñar y construir el circuito impreso final.

### 1.2.5 Arquitectura Interna y Programación del microcontrolador PIC16F87X

El término Arquitectura Interna se refiere en general a la estructura interna del microcontrolador. Específicamente se refiere a estructuración de las memorias (de datos y de programas) y de los puertos y demás periféricos integrados al microcontrolador, así como también al método de manejo de las memorias y recursos integrados en general. Conocer profundamente la Arquitectura Interna facilita enormemente la creación de programas (*firmware*) de manera rápida y eficiente.

Los conceptos que a continuación se exponen constituyen el pilar fundamental para entender la esencia de un microcontrolador y por consiguiente poder programarlo con eficiencia.

- **Ciclo de Máquina (CM).**- Es el espacio de tiempo mínimo que tarda en realizar una acción el microcontrolador. Un CM puede o no ser suficiente para ejecutar un comando (instrucción) completo. En los PICs un ciclo de máquina dura cuatro periodos del oscilador externo (figura 1.20).



**Figura 1.20.** Esquema de señales del oscilador externo y su relación con el Ciclo de Máquina

Fuente: Pérez L. 2010. Anotaciones de cátedra Microcontroladores 1. *Introducción a los microcontroladores*

- **Ciclo de Instrucción (CI).**- Es el tiempo que demora la ejecución de una instrucción completa. Un CI puede requerir de uno o más CM en función de las características de cada instrucción.

- **Registros.-** Hace referencia a un almacenador binario de  $n$  bits. En el caso específico de los micros de la familia 16F87X un registro para guardar datos (registro de datos) o información de control (registro de control) es de 8 bits, porque el procesamiento y el transporte de datos se realiza en cantidades de 8 bits. Los bits de un registro se enumeran de derecha a izquierda comenzando desde el cero hasta el 7, siendo el bit 0 el menos significativo y el bit 7 el más significativo.
- **Registro de Datos.-** O de propósito general, es un registro que almacena datos necesarios para que el programa se ejecute correctamente. Estos registros se encuentran en la Memoria de Datos (tipo R.A.M.) o en cualquier memoria auxiliar permanente (tipo FLASH).
- **Registro de Control.-** O de propósito específico, es un registro que almacena información necesaria para que el micro funcione correctamente. Estos registros se encuentran en la Memoria de Datos (tipo R.A.M.) del microcontrolador.
- **Memorias.-** Una memoria está formada por un conjunto organizado de registros (de  $n$  bits). En las memorias modernas los registros normalmente están agrupados en bancos o páginas. Cada registro ocupa una dirección específica dentro de la memoria.
- **Memoria de Datos.-** Espacio de memoria dentro del microcontrolador destinado a almacenar información en dos tipos de registro: de propósito general, donde se almacenan datos necesarios para ejecutar el programa, y de propósito específico, donde se almacenan datos para controlar el funcionamiento del microcontrolador.

Desde el punto de vista tecnológico, las Memoria de Datos pueden ser:

- Volátiles (como la R.A.M.).
- Permanentes (como la E.E.P.R.O.M. o las de tipo Flash)

- **Memoria para Programas.-** Espacio de memoria dentro del microcontrolador destinado a almacenar, ya sea: los códigos de las instrucciones o comandos o en

algunas aplicaciones también datos permanentes, en las localizaciones que no son ocupadas por los códigos de los comandos. Las memorias de programas son memorias siempre permanentes, porque en un microcontrolador el programa debe ejecutarse una y otra vez.

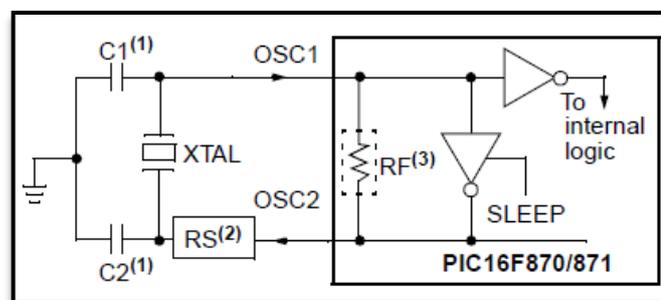
- **Memorias segmentadas.-** Existe una tendencia moderna a dividir las memorias (de datos o programas) en segmentos denominados bancos o páginas. Esta división se hace con el objetivo de hacer más rápida la búsqueda de información dentro de la memoria.
- **Direccionado de memoria.-** Direccionar una memoria o algún recurso específico en el microcontrolador significa apuntar, señalar o seleccionar electrónicamente a la dirección que define el lugar de un registro dentro de la memoria o algún recurso en específico fuera de ella. La dirección de un recurso es un número único y constituye una especie de I.D. para él. Pudiera hacerse una analogía elemental con la acción de buscar la dirección de un lugar.
- **Registro tipo puntero.-** Un registro tipo puntero almacena el valor de una dirección. En programación una dirección es un número (usualmente expresado en hexadecimal) que señala el lugar donde se encuentra un registro dentro de una memoria cualquiera o un recurso específico. Ejemplos de registros tipo puntero son los F.S.R. (*File Select Register*) que apoyan el direccionado de la Memoria de Datos y el P.C. (*Program Counter*) que apoya el direccionado de la Memoria de Programas.
- **Programa.-** Secuencia lógica de comandos correctamente escritos.
- **Compilar un programa.-** Acción de verificar si la sintaxis de los comandos escritos es correcta.
- **Simular un programa.-** Acción para verificar paso a paso o por partes la ejecución correcta de los comandos propuestos para un programa. La simulación puede ser virtual o física (emulación).

- **Comandos o instrucciones.-** Un comando es una orden (literalmente) que se da al C.P.U. del microcontrolador dentro de un programa. Los programadores modernos utilizan diversas formas o lenguajes para escribir los comandos. Independientemente del lenguaje utilizado el C.P.U. sólo entiende códigos binarios. La traducción a código binario se realiza mediante la compilación.
- **Subrutina, subprograma o función.-** Conjunto de comandos que se ejecutan siempre que sean invocados. Una subrutina realiza por lo general uno o varios procesos que dentro de un programa deben repetirse muchas veces, por ejemplo: refrescar la información en *Displays* de 7 segmentos, una demora diseñada por *software*; entre otros procesos.

### Características y ventajas utilizadas

De las características y ventajas que ofrecen estos dispositivos, las utilizadas en este proyecto son:

- Su gran velocidad es sin duda una de las ventajas que más evidencia el potencial de este integrado. El microcontrolador PIC16F871 utilizado en este proyecto trabaja con un oscilador externo de 20 MHz (figura 1.21), esta es la mayor velocidad a la que puede trabajar, gracias a ello, se creó dentro del *firmware* una función matemática que realiza cálculos y genera diferentes demoras con las que se crearon las señales PWM de baja frecuencia que el equipo necesita.



**Figura 1.21.** Configuración del Oscilador externo

Fuente: Hoja de datos del PIC16F871

- Las señales PWM (*Pulse Width Modulation* - modulación por ancho de pulso) generadas van desde los 10 Hz (ciclos por segundo) hasta los 100 Hz con variaciones de 5 Hz, con variaciones de ciclo útil desde el 10% hasta el 90% con rangos de 5%.

No se utilizó el módulo PWM que incorpora el PIC porque las frecuencias que necesita el equipo están entre 10 Hz y 100 Hz, y este módulo sólo genera frecuencias mayores a 245 Hz (Hertz).

- Atiende una interrupción externa generada por el puerto RB0, pin 33 del PIC, este pin está conectado al interruptor de disparo de alto voltaje que va instalado en la caña, y mientras el equipo no se encuentre en corto circuito, este pulsante permitirá dar paso a los pulsos de alto voltaje que serán entregados al agua a través de los electrodos.
- Seguridad, el PIC permite controlar la etapa de seguridad que necesita el equipo y el operador. El pin RB7 continuamente monitorea el estado de sobrecorriente que se pudiera generar en los electrodos cuando estén activos. Normalmente esta línea de entrada, el pin 40, se encuentra en un estado lógico 1 (+5V) y cuando ocurre una sobrecorriente o cortocircuito, el microcontrolador deja de funcionar inmediatamente y en caso de volver presionar el pulsante de la caña, el PIC no aceptará ninguna señal, excepto la de *Reset* (pin MCLR – *Master Clear*, pin 1 del PIC) o reinicio general del sistema.
- Maneja la interfaz de usuario (teclado y LCD). Atiende las señales del teclado y visualiza información a través de un módulo LCD alfanumérico de 2 líneas por 16 caracteres. El teclado permite al operario configurar el funcionamiento del equipo (cambiar frecuencia y ciclo útil dentro de los rangos antes mencionados). Un total de cinco pulsantes conforman el teclado del panel frontal, dos son para incrementar o decrementar la frecuencia, otros dos para ampliar o reducir la intensidad del pulso o ciclo útil de la forma de onda y otro para reiniciar el sistema (*reset*). Los cambios que provoquen las teclas se verán reflejadas en la pantalla del LCD, al igual que cuando ocurre un cortocircuito. Existen también

avisos visuales con luz a través de LED's, uno de ellos indica que se está generando la señal de PWM.

### 1.2.6 Pines del microcontrolador PIC16F871

Como se indicó en la figura 1.20, el oscilador externo se conecta a un cristal de 20 MHz que da la señal de reloj al PIC entre los pines 13 y 14 y establece un ciclo de máquina igual a 200 ns (nano segundos). Los pines 11 y 32 son entradas de alimentación positiva (+5V) así como 12 y 31 son de referencia o tierra (0V). El pin número 1 está conectado a través de un pulsante a un uno lógico que resetea los procesos cuando cambia a cero lógico.

En la tabla 1.2 se muestra otras conexiones que el PIC utilizado (figura 1.22) controla.

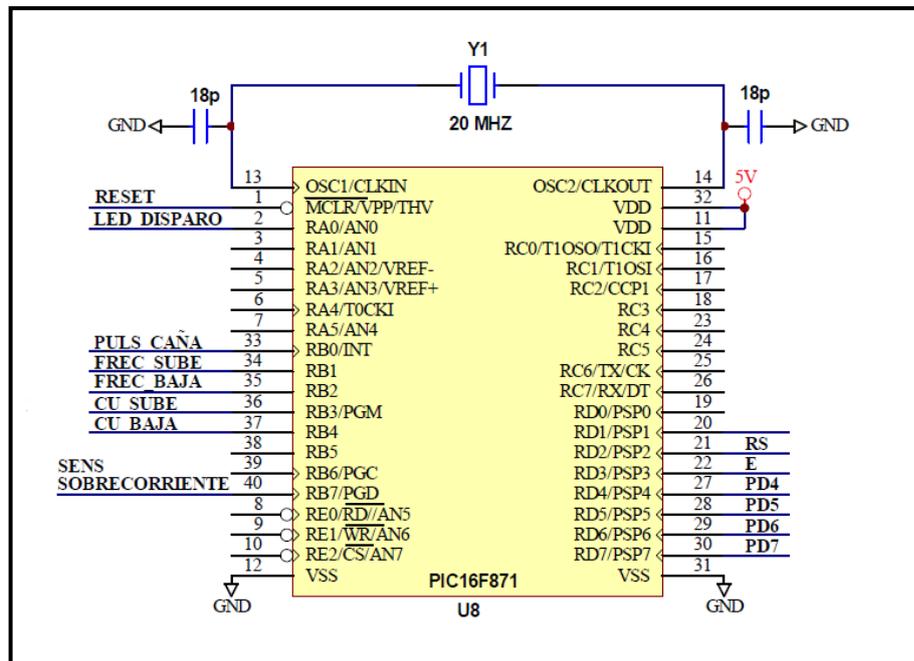


Figura 1.22. Pines del PIC16F871

Puerto	Pin	Conexión / Descripción
Puerto A	RA0	Al LED color azul en el panel de control para indicar electrodos activos con alto voltaje.
Puerto B	RB0	Atiende interrupción externa provocada por el pulsante de la caña.
	RB1	Al pulsante que incrementa frecuencia
	RB2	Al pulsante que decrementa frecuencia
	RB3	Al pulsante que aumenta ciclo útil
	RB4	Al pulsante que disminuye ciclo útil
	RB7	Sensa sobrecorriente y bloquea el PIC
Puerto D	RD1	Genera señal de PWM de baja frecuencia
	RD2	Conexión al pin 4 (RS) del LCD
	RD3	Conexión al pin 6 (E) del LCD
	RD4	Conexión al bus de datos del LCD
	RD5	
	RD6	
RD7		

**Tabla 1.2.** Descripción y conexión de pines del PIC16F871

### 1.2.7 Módulo LCD



**Figura 1.23.** LCD 2x16 con *backlight* azul utilizado en este proyecto

El módulo LCD (*Liquid Cristal Display* - Pantalla de Cristal Líquido) es un módulo microcontrolado capaz de mostrar mensajes que indican al operador el estado de la máquina o para visualizar configuraciones de operación. El LCD permite una comunicación visual entre máquinas y humanos, visualiza códigos ASCII<sup>2</sup> a través de 2 líneas de 16 caracteres cada una, sin *backlight* (14 pines) o con *backlight* (16

<sup>2</sup> Acrónimo inglés de *American Standard Code for Information Interchange* - Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información, es una representación numérica de caracteres como 'a' o '@'. [Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/ASCII>]

pinos, iluminado de pantalla), el LCD utilizado en este proyecto es el de 2x16 con *backlight* de color azul y letras blancas, como el de la figura 1.23.

En el LCD a través de sus 8 líneas de datos permite visualizar información, con otras tres señales adicionales se puede controlar el flujo de información entre el módulo LCD y el equipo que lo gestiona. A continuación en la tabla 1.3, se presenta la descripción de pines del módulo LCD.

Pin No.	Símbolo	Conexión en el PIC	Descripción
1	Vss	Tierra (0 V)	Pin de tierra de alimentación (GND)
2	Vdd	Alimentación (+5V)	Pin de alimentación de +5V (VCC)
3	Vee	Tierra (0 V)	Ajuste de contraste del cristal líquido (0 a +5V). Normalmente se conecta a un potenciómetro para que sea variable.
4	RS	RD1	Selección de registro de control/datos: RS = 0, como registro de control RS = 1, como registro de datos
5	R/W	Tierra (0 V)	Señal de lectura/escritura en LCD: R/W = 0, LCD en escritura ( <i>Read</i> ) R/W = 1, LCD en lectura ( <i>Write</i> )
6	E	RD2	Señal de activación del módulo LCD: E = 0, Módulo desconectado E = 1, Módulo conectado
7-14	D0 - D7 (LSB – HSB)	LCD a PIC D4 a RD4 D5 a RD5 D6 a RD6 D7 a RD7	Bus de datos bidireccional
15	A	Alimentación (+5V)	Alimentación de <i>backlight</i> a +5V (VCC)
16	K	Tierra (0 V)	Tierra del <i>backlight</i> (GND)

**Tabla 1.3.** Descripción y conexión de pines del módulo LCD

### 1.3. Convertidores. Generalidades y clasificación

Los convertidores son circuitos eléctricos que aseguran la transformación de las características de energía eléctrica de un determinado tipo de señal (voltaje y corriente), a otra señal con diferentes características, utilizando generalmente, elementos de potencia como inductancias, capacitancias y elementos de estado sólido.

Los convertidores elevadores de voltaje permiten cambiar el voltaje de una fuente de alimentación primaria en un factor  $n > 1$ , a una fuente de alimentación secundaria mayor a la inicial,  $V_s > V_i$ . En muchas aplicaciones eléctricas, en la industria por ejemplo, es necesario convertir una fuente de poder de corriente continua de voltaje medio fijo a otra de voltaje mayor fijo o variable. Este convertidor se puede considerar como el equivalente a un transformador de corriente alterna (CA) con una relación de vueltas que varía en forma continua.

Los convertidores se pueden clasificar en cinco grandes grupos:

- **Rectificadores CA/CC.-** Producen una salida continua a partir de una entrada alterna.
- **Onduladores CC/CA.-** Producen una tensión alterna a partir de una entrada continua.
- **Inversores.-** Funcionan indistintamente como rectificadores o como onduladores.
- **Convertidores CA/CA.-** Entre ellos se encuentran:
  - Los transformadores, que permiten la transformación (amplificación o reducción) de voltaje en corriente alterna.
  - Los convertidores de frecuencia, que permiten suministrar una señal alterna de frecuencia diferente a la de la red. Cambian la frecuencia de una señal alterna.
- **Convertidores CC/CC.-** Convierten el voltaje continuo de una fuente de alimentación, generalmente una batería, en otro voltaje continuo pero de distinto valor.

### 1.3.1 Fuentes de poder

En equipos industriales y de instrumentación es común que se incluya una fuente conmutada o SMPS (*Switched Mode Power Supply*). Éstas se caracterizan por no realizar la transferencia de energía en forma continua sino en forma de paquetes mediante elementos reactivos, actuando como acumuladores de energía o también llamados circuitos altamente inductivos.

Las fuentes de poder utilizadas en este tipo de aplicaciones a menudo requieren cumplir con todas o la mayor parte de las siguientes especificaciones:

- Aislamiento de fuente y carga.
- Una alta densidad de potencia a fin de reducir su tamaño y peso.
- Dirección controlada del flujo de potencia.
- Alta eficiencia de conversión.
- Formas de onda de entrada y de salida con baja distorsión armónica total.

Los convertidores de una etapa CA/CC, CA/CA, CC/CC o CC/CA analizados por separado no cumplen con la mayor parte de estas especificaciones, por lo que normalmente requieren de conversiones en varios pasos. Existen algunas topologías para este tipo de conversiones que dependen de la complejidad y de los requisitos del proyecto. Dependiendo de tipo y magnitud de voltaje de salida, las fuentes de poder se clasifican básicamente en dos categorías:

- Fuentes de poder de Corriente Continua (CC).
- Fuentes de poder de Corriente Alterna (CA).

La práctica más común cuando se trata de fuentes de continua es utilizar dos convertidores por pasos: CC a CA y CA a CC a la vez. En el caso de que la entrada sea alterna la conversión se realizaría en tres pasos: CA a CC, luego CC a CA y por último CA a CC nuevamente; la conversión CC/CA se puede llevar a cabo mediante un transformador y un inversor PWM o resonante.

El diseño y fabricación de transformadores también han mejorado con la implementación de materiales electromagnéticos a base de ferrita obteniendo mejor permeabilidad, reducción de reluctancia y menores pérdidas de potencia, destacándolos por su eficiencia y mayor capacidad de trabajo.

En el caso de Fuentes de Poder de Corriente Continua (CC) en función del tipo de conversión y de dirección del control de potencia que se elija, se pueden subdividir en tres tipos:

- Fuentes de poder conmutadas.
- Fuentes de poder resonantes.
- Fuentes de poder bidireccionales.

### 1.3.2 Fuentes conmutadas

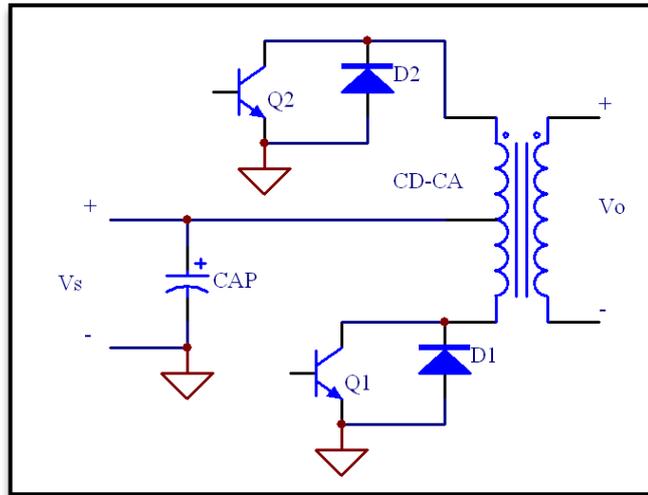
Son circuitos electrónicos que permiten transformar la energía eléctrica utilizando elementos de estado sólido (BJT, UJT, SCR, DIAC, TRIAC) en conmutación de alta frecuencia. Tiempo atrás, el transformador era el elemento de mayor volumen y peso en un equipo, ahora, utilizar elevadas frecuencias ha permitido que estos elementos sean más compactos y ligeros, esto justifica su utilización si se comparan con las fuentes lineales.

Para la etapa de inversión CC/CA se utilizan señales en modo conmutación de alta frecuencia, y para este caso existen cuatro tipos de configuraciones posibles:

- *Flyback*.
- *Push-pull* o en contrafase.
- Medio puente.
- Puente completo.

#### **Descripción de un convertidor CC/CA en operación *push-pull***

Un convertidor conectado en configuración *push-pull* (o contrafase), se muestra en la figura 1.24, su principal requerimiento es un transformador con toma central en el primario que permitirá la conexión de dos arreglos *Darlington*. La conmutación de estos transformadores se realiza utilizando elevadas frecuencias.



**Figura 1.24.** Convertidor CC/CA utilizando un transformador en *push-pull*

La principal ventaja de este convertidor es que tiene un único transistor en la trayectoria de la corriente de entrada. Esta característica es importante cuando se trabaja con bajos voltajes de entrada, como son los sistemas alimentados con paneles solares o baterías. Otra característica importante es que los dos transistores tienen la fuente conectada al mismo punto con lo cual facilita la implementación de la fuente de alimentación del circuito de activación. El aspecto más crítico de este tipo de convertidores es la inductancia de dispersión asociada al primario del transformador, debido a que en cada periodo de conmutación la corriente por cada devanado se ve interrumpida, lo cual hace necesario la utilización de circuitos de recuperación de energía.

Teóricamente este circuito funciona de la siguiente manera: cuando Q1 se activa, en Q2 no hay señal y  $V_s$  aparece a través de una mitad del primario. Cuando Q2 se activa, Q1 se apaga y  $V_s$  es aplicado a través de la otra mitad del transformador. El voltaje del bobinado primario oscila entre  $-V_s$  y  $+V_s$ . La corriente promedio ideal a través del transformador debería ser cero. Tomando en cuenta que  $N_p$  es el número de espiras del primario y  $N_s$  del secundario, el voltaje promedio de salida es:

$$V_o = \frac{N_s}{N_p} V_1 = a V_s$$

**Ecuación 1.1**

Los transistores Q1 y Q2 operan con un ciclo de trabajo del 50% en contrafase. El voltaje en circuito abierto, es  $V_{oc} = 2V_s$ , la corriente promedio de un transistor,  $I_A = I_s/2$  y la corriente pico del transistor,  $I_p = I_s$ . Dado que el voltaje en circuito abierto del transistor es dos veces el voltaje de suministro, esta configuración es adecuada para aplicaciones de bajo voltaje, además de las bajas corrientes por el transistor.

Algunas desventajas que presentan este tipo de fuentes son: complejidad de diseño, emisión de señales indeseables (ruido) que provocarían interferencias a sistemas cercanos y menor velocidad de respuesta ante bruscas variaciones de carga; las dos últimas pueden ser superadas con un diseño apropiado.

El avance de nuevas tecnologías ha permitido fabricar nuevos y poderosos dispositivos semiconductores de potencia, elementos como el MOSFET (Transistor Semiconductor de Oxido Metálico de Efecto de Campo), que por sus características de conmutación con frecuencias elevadas y junto a los diodos de alta velocidad, se han convertido en base elemental en el diseño y utilización de este tipo de fuentes; están también los elementos activos y pasivos que ahora son más pequeños, potentes y de variada aplicación, reducen el tamaño y abaratan el costo total de un proyecto.

## CAPITULO 2

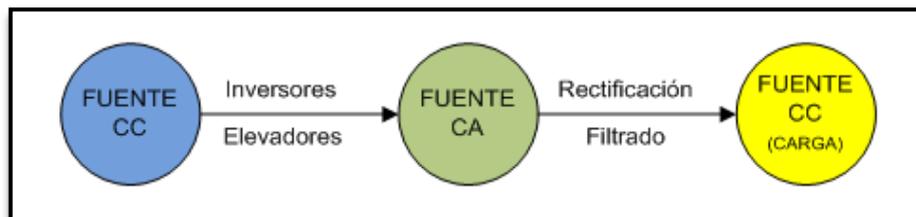
### HARDWARE

#### Introducción

En este capítulo se describe el diseño y fabricación del *hardware* del equipo, entendiendo como *hardware* al conjunto de circuitos electrónicos que integran tanto la fuente conmutada de alto voltaje (500V aprox.) como los que soportan el trabajo de una aplicación basada en microcontrolador.

#### 2.1 Descripción general del *hardware*

En el capítulo 1 se menciona los conceptos y teorías de potencia suficientes para continuar con el desarrollo del proyecto. En la figura 2.1 se muestra un diagrama de bloques del proceso de conversión de energía de alto voltaje a utilizar.



**Figura 2.1.** Conversión de energía utilizada en la fuente elevadora de voltaje

Este proceso comprende dos tipos de conversión: la primera, convierte el voltaje de una fuente de alimentación de corriente continua a otro voltaje de mayor magnitud de corriente alterna a través de circuitos inversores-elevadores; y la segunda, toma conversión resultante para transformarla a su vez en corriente continua a través circuitos de rectificación y filtrado.

## 2.2 Diagrama de bloques general del *hardware*

La figura 2.2 muestra el diagrama de bloques representativo de la fuente conmutada de alto voltaje utilizada en este equipo.

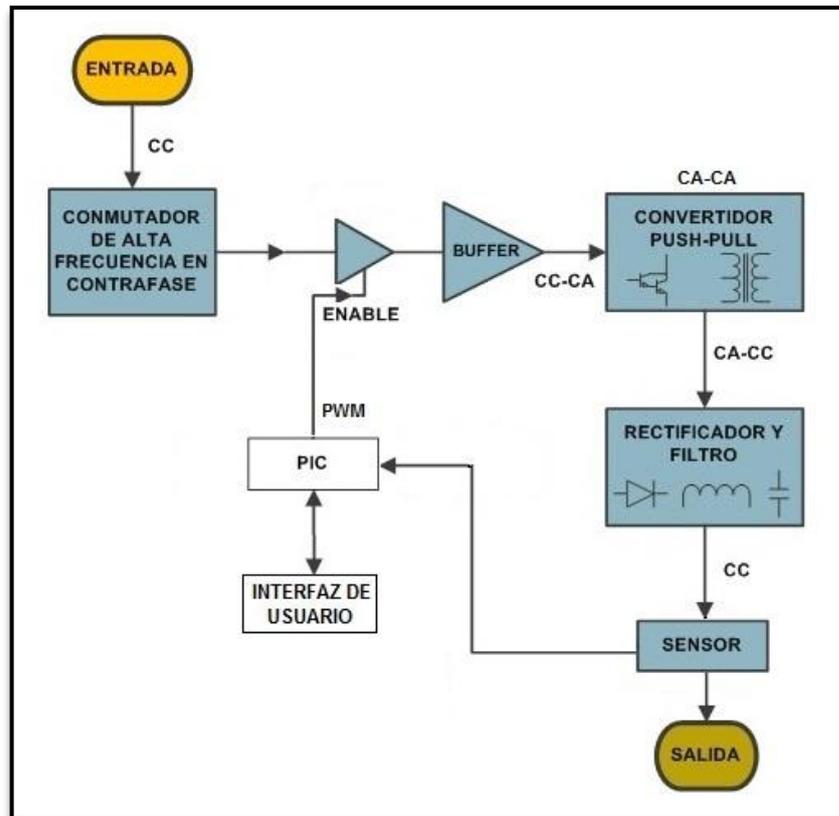


Figura 2.2. Diagrama de bloques del *hardware* del equipo

El *hardware* está compuesto de:

- Una batería de 12V de corriente continua.
- Fuente osciladora de alta frecuencia, onda cuadrada de 4.4 KHz.
- Interruptor electrónico, que permite el paso de alta frecuencia en función de una señal PWM de baja frecuencia.
- *Drivers* o *buffers*, que suministran la corriente necesaria para comandar los transistores Darlington.
- Bloque elevador de voltaje, contiene una fuente conmutada con un transformador elevador y arreglos Darlington en configuración *push-pull*.
- Bloque de rectificación y filtrado.

- Bloque limitador de sobrecorriente.
- *Hardware* de la etapa de control, incluye la conexión del PIC16F871 con su interfaz de usuario: pulsantes y pantalla LCD.
- Bloque de salida con los electrodos.

### **2.2.1 Bloque de alimentación**

Todo dispositivo electrónico que requiera para su funcionamiento de energía necesita de una fuente de alimentación. Para este equipo como fuente de energía se utilizó una batería de 12V y 35 A/h, un regulador de voltaje LM7805 (entre 4.9V y 5.1V a 25°C) para el microcontrolador que puede suministrar hasta 1A de salida.

### **2.2.2 Bloque generador de alta frecuencia**

Como se mencionó anteriormente, las fuentes conmutadas funcionan de mejor manera con altas frecuencias, el objetivo de esta etapa es alimentar al transformador con una señal que permita trabajar al núcleo sin saturarlo obteniendo mayor densidad de potencia. Como el equipo requiere de dos señales que conmuten a la misma frecuencia en contrafase, se utilizó un dispositivo electrónico de variada aplicabilidad conocido como multivibrador 556 que incluye dos temporizadores 555 en su interior, que conectados en cascada conforman un multivibrador astable dual (figura 2.3), este circuito consta de la hoja de datos del fabricante, el ECG978.

En la figura se muestra el primer 555 (U1A) que proporciona la primera señal de alta frecuencia (salida 1), y el segundo 555 (U1B) es el que entrega la otra señal (salida 2) desfasada 180° de la primera, ambas señales generan una señal cuadrada de 4.4 KHz.

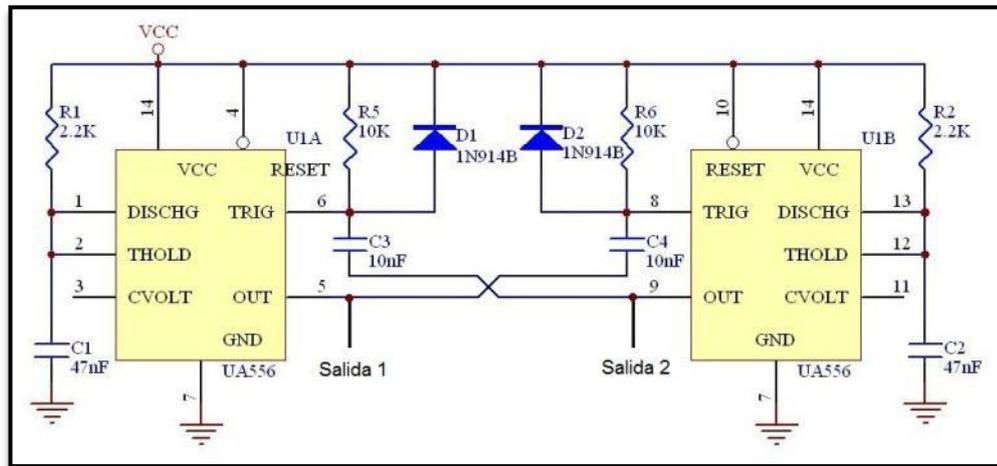


Figura 2.3. Circuito oscilador de pulsos cuadrados de 4.4 KHz

En la figura 2.4 se muestra la simulación de estas dos señales con la ayuda del simulador ISIS PROTEUS.

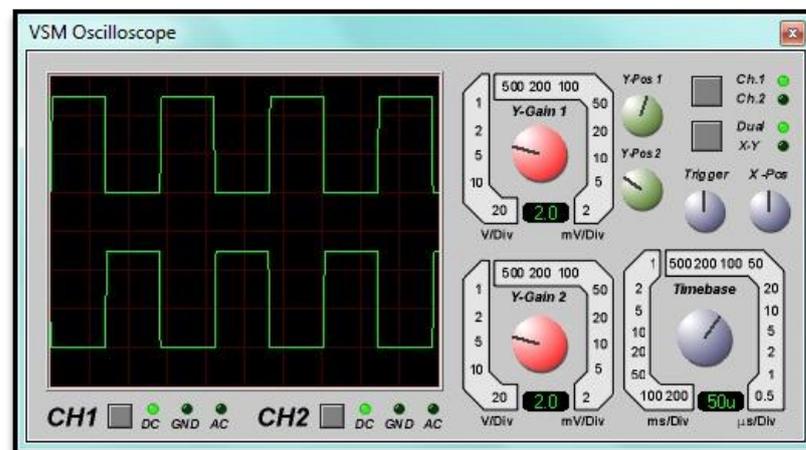
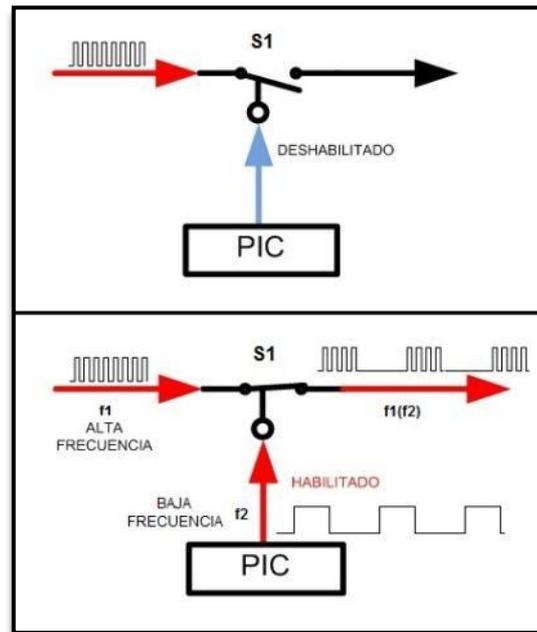


Figura 2.4. Señales del oscilador 556

### 2.2.3 Interruptor electrónico

El circuito integrado CD4066, de 14 pines, es un relé electrónico de tecnología CMOS que se compone de 4 conmutadores bilaterales que transmiten o multiplexan señales digitales o analógicas controladas independientemente. Cada terminal de control se activa con un 1 lógico y para su funcionamiento se requiere polarizarlos con un voltaje de alimentación comprendido entre 3V y 15V, y tierra 0V.

Este interruptor electrónico presenta en su salidas dos estados: activado (ON) y desactivado (OFF), en él convergen dos señales muy importantes: la del oscilador de alta frecuencia del 556 y la del PWM del PIC (figura 2.5). Cuando el pescador presiona el pulsante de disparo (instalado en la caña), el PIC activa a los pines de control del CD4066 permitiendo el paso de alta frecuencia ( $f1$ ) en función de la señal del micro ( $f2$ ).

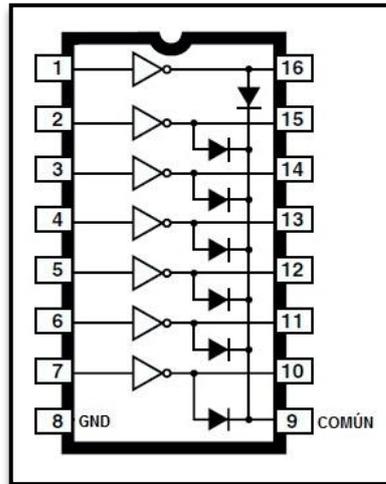


**Figura 2.5.** Comportamiento del circuito integrado CD4066

Cabe resaltar que la señal de baja frecuencia del PIC da paso a la señal de alta frecuencia permitiendo al transformador elevar el voltaje.

#### 2.2.4 Buffers Darlington

El circuito integrado TD62003 de 16 pines incluye un arreglo de 7 *buffers* (figura 2.6) de elevados voltajes y altas corrientes de uso exclusivo para arreglos Darlington en conmutación, cada uno contiene un diodo de conmutación de cargas inductivas, además, permiten aislar los circuitos de alta y baja corriente. Las salidas del TD62003 son de colector abierto por lo que es necesario utilizar resistencias de *pull-up*.



**Figura 2.6.** *Buffers* Darlington. Distribución de pines del integrado TD62003

Fuente: Hoja de datos TD62003

### 2.2.5 Bloque de transformación de voltaje

La primera etapa de conversión, consiste en tomar la señal de continua y realizar la inversión a alterna utilizando alta frecuencia en conmutación utilizando un transformador que a su vez permite aislar galvánicamente la etapa de alta frecuencia y el filtro de salida. La característica de un transformador es que permite tener múltiples voltajes de salida, de esta forma cubre las limitaciones de algunos convertidores no aislados para elevar o reducir el voltaje. La razón de transformación,  $rt$ , se define como la razón entre el número de vueltas del secundario y del primario. Las topologías que utiliza un transformador de alta frecuencia permiten trabajarlos sin saturarlos.

La figura 2.7 muestra el convertidor elevador *CC/CA push-pull* utilizado en este proyecto. Al primario del transformador se conecta la fuente de alimentación que conmuta a 4.4 KHz a través de dos arreglos Darlington referidos a tierra, provocando flujo magnético en el núcleo del transformador que induce al secundario a generar un voltaje proporcional al número de vueltas que posee.

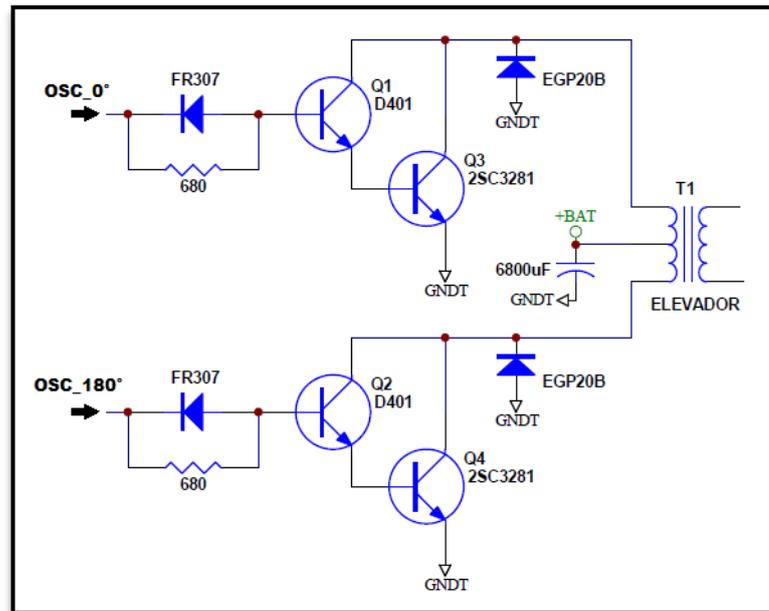


Figura 2.7. Convertidor CC/CA en modo *push-pull*

El principio de funcionamiento de este circuito consiste en excitar el primario del transformador durante el primer intervalo de trabajo, y después restablecerlo durante el siguiente intervalo, de tal forma que el transformador no se sature. Es importante mencionar que el ciclo de trabajo de los dos intervalos no necesariamente debe tener la misma duración. En los arreglos Darlington, los colectores unidos entre sí y el primer emisor, provocarán que la base del segundo transistor conmute alternadamente, es decir, funciona uno a la vez; los diodos en antiparalelo sirven de protección para manejar la reversión de energía reactiva que pudieran crear el transformador, el filtro de salida o la carga.

### 2.2.6 Bloque rectificador y filtro de salida

Los circuitos rectificadores utilizados a la salida de fuentes alternas presentan requerimientos especiales en el diseño de fuentes conmutadas, utilizando diodos especiales de alta velocidad que trabajen con tiempos cortos de conmutación minimizando pérdidas. La figura 2.8 muestra el circuito que permite rectificar y filtrar la señal elevada que genera el secundario del transformador, en este caso particular se utilizó el diodo FR305.

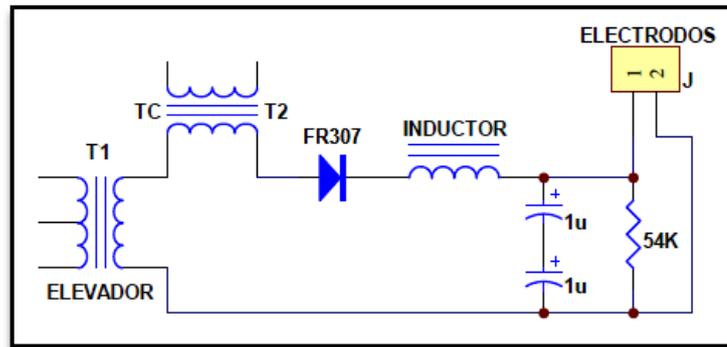


Figura 2.8. Circuito de rectificación y filtrado

La energía transformada por el secundario conserva características de la señal cuadrada de conmutación, por tal razón, se utiliza un rectificador de media onda suficiente para minimizar el rizado generado. Utilizando un inductor a la salida del rectificador permite resistir los cambios de corriente que se generan por la conmutación del transformador, este bobinado trabaja en el intervalo de conducción del diodo aumentando la corriente que por él circula y almacenando energía en forma de campo magnético para luego cederla en el intervalo de no conducción del diodo. Además cuenta con un condensador a la salida que proporciona una tensión casi constante a la carga.

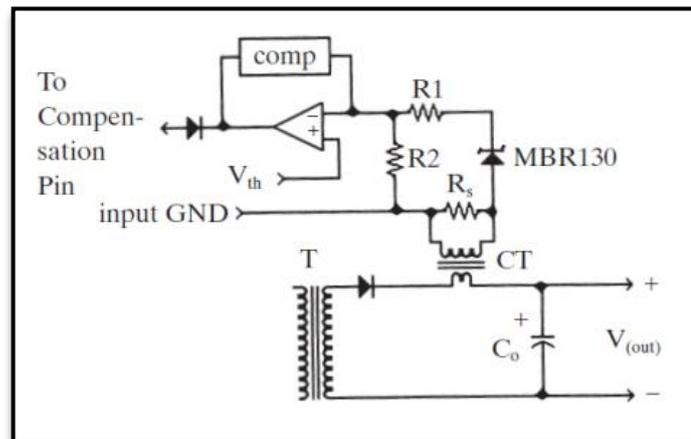
### 2.2.7 Bloque de control de sobrecorriente

Los sistemas de protección implementados en este equipo fueron cuidadosamente desarrollados para proporcionar sus garantías de uso y funcionalidad sin provocar daños al operador o al equipo. A pesar de que estos circuitos se utilizan sólo en caso de sobrecorriente, las protecciones de carga y de fuente de alimentación, hacen que el diseño sea más sólido y seguro. Estos sistemas de protección son:

- **El fusible.-** Es el elemento de protección que conectado en serie a la fuente de alimentación tiene como objetivo cortar el paso de corriente del circuito al que está conectado cuando sobrepasa un determinado valor de corriente.
- **Transformadores de corriente.-** El uso de transformadores de corriente es común en circuitos de alta potencia, tienen como principio medir una fracción de

corriente que pasa por él utilizando las propiedades de inductancia mutua de un transformador.

El circuito de la figura 2.9 utiliza un transformador de corriente para protección de sobrecorrientes. Cuando el voltaje a través de la resistencia de detección  $R_s$  sobrepasa un nivel de voltaje de referencia, el comparador emite la señal correspondiente.



**Figura 2.9.** Circuito limitador de corriente

Fuente: Brown M. 2001. "Power Supply Cookbook". 2da Edición. p: 85

El circuito de la figura 2.10 permite limitar sobrecorrientes que se puedan generar en los electrodos. El comparador de retroalimentación positiva lo detecta y lo transmite al PIC con un nivel lógico cero (0) que genera el transistor.

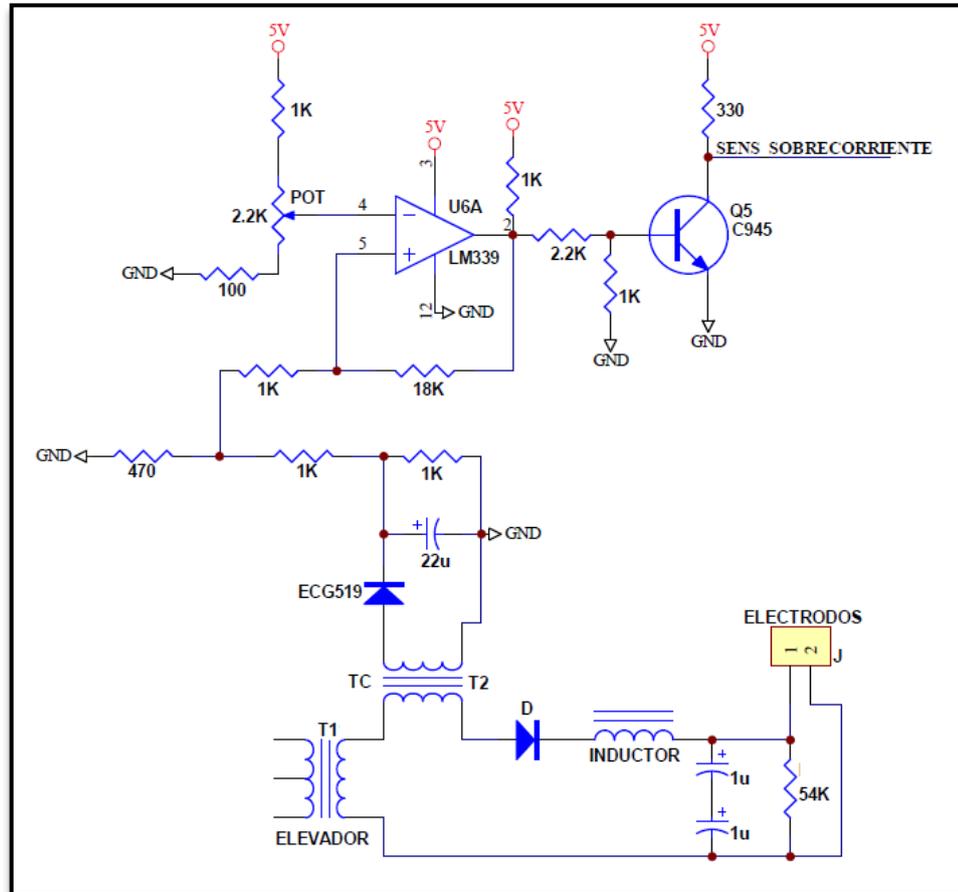


Figura 2.10. Transformador de corriente utilizado para limitar corriente

### 2.2.8 Hardware de control e interfaz de usuario

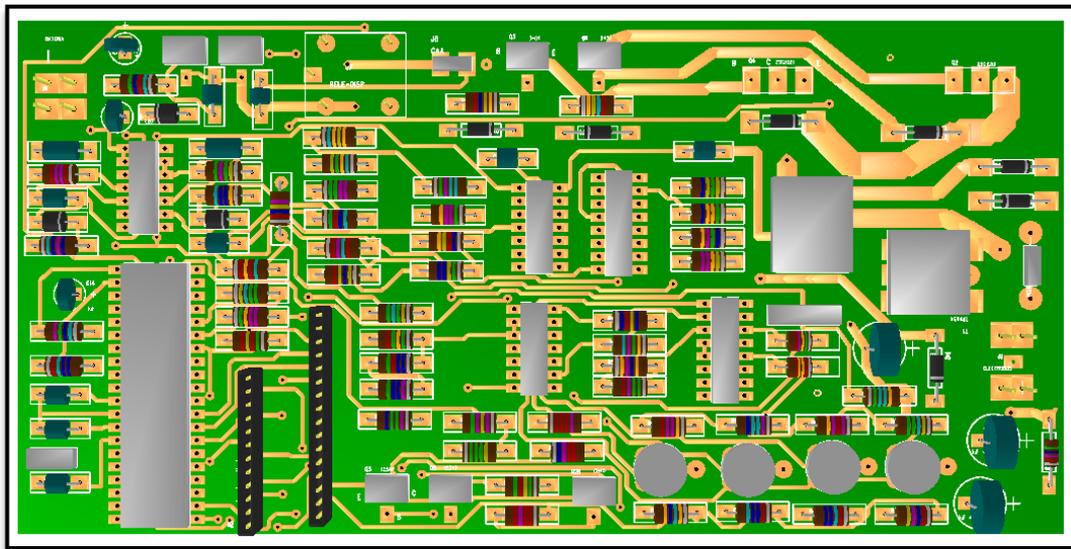
La figura 2.11 muestra el *hardware* de control, es decir, los elementos y señales que conectados al PIC permiten vigilar y dominar al sistema, estos son: el módulo LCD, los pulsantes del panel frontal, el pulsante de *reset*, el pulsante de disparo, un LED indicador de disparo de alto voltaje, y las señales de PWM y de sensado de corriente.

En el capítulo 3 describe detalladamente la conexión y comportamiento de cada uno de los pines que se conectan al PIC.



que sirven de comunicación con el PIC, para que no se vean afectados por interferencias.

Al terminar el posicionado de los elementos se da inicio al ruteo de los mismos. En la figura 2.12, se muestra el diseño terminado del PCB (vista en 3D).



**Figura 2.12.** Vista capa superior del PCB

Para separar los elementos que manejan altas corrientes del resto de componentes sensibles a estas señales, se debe evitar planos comunes para ambos o simplemente no colocarlos. La creación de los planos es el detalle constructivo final, quedando terminado y listo para su elaboración.

## CAPITULO 3

### FIRMWARE

#### Introducción

El propósito de este capítulo es explicar ¿qué controla el equipo? ¿qué herramientas fueron utilizadas para desarrollar del *software* del microcontrolador o *firmware*? ¿por qué se utilizó el microcontrolador PIC16F871?

#### 3.1 Programa principal. Funcionamiento

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo principal y los niveles que lo componen para administrar el comportamiento del sistema. A continuación se describe la lógica del flujograma.

En primer lugar se configuran los puertos y pines conectados al módulo LCD presentando el mensaje de bienvenida (figura 3.2). En el PIC el puerto D tiene 8 líneas digitales de entrada o salida, estos son: RD0, RD1, RD2, RD3, RD4, RD5, RD6 y RD7; cuatro de estos puertos, RD4 a RD7 (pines 27 al 30 del PIC), a través de un bus de datos se conectan al puerto de datos del LCD, D4 a D7 (pines 11 al 14 del LCD); el puerto RD2 (pin 21 del PIC) se conecta al pin RS (pin 4, Selección de Registro de modo dato o modo comando del LCD), y el puerto RD3 (pin 22 del PIC) que sirve para habilitar o no al LCD, puerto E (pin 6 del LCD).

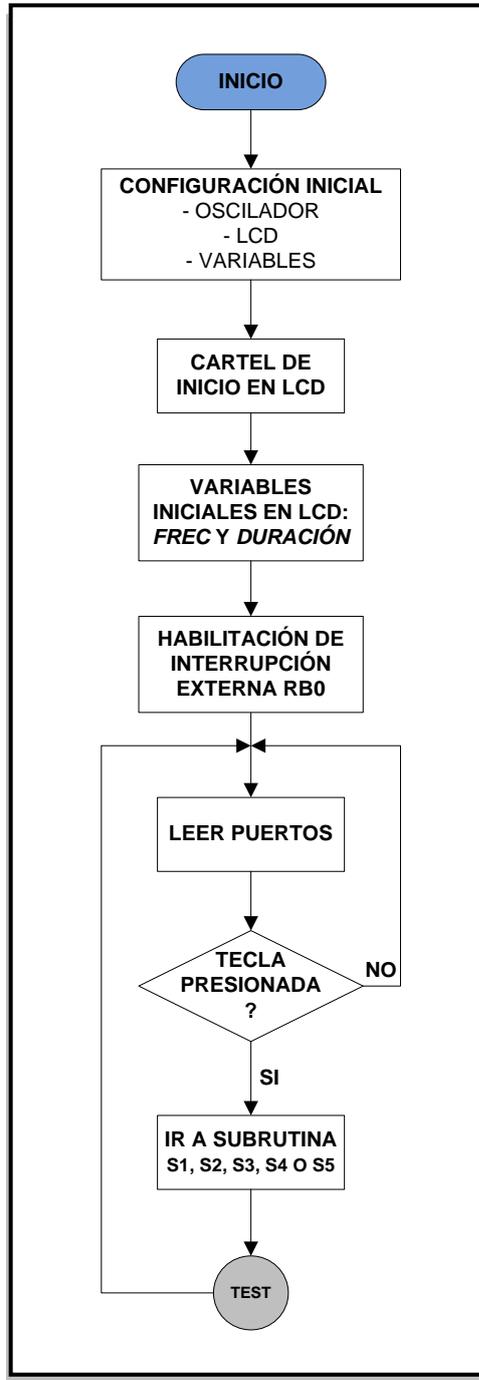


Figura 3.1. Diagrama de flujo general del *firmware*



Figura 3.2. Cartel de inicio en el LCD. Simulación con PROTEUS

Luego se visualizan los valores iniciales de operación tanto en frecuencia como en intensidad del pulso (ciclo útil), este último se muestra como un valor porcentual. Estos valores iniciales son: 50 Hz de frecuencia y 50% del ciclo útil.

El puerto B tiene 8 líneas de entrada o salida, es ideal para conectar pulsantes y trabajar de manera digital, posee un pin de entrada de interrupción externa, el puerto RB0 (pin 33). La siguiente tarea del programa es configurar y habilitar esta interrupción externa para cuando se presione el pulsante de disparo. Luego se escanean el resto de pulsantes (incrementar frecuencia, decrementar frecuencia, subir intensidad y bajar intensidad de pulso que están conectados a los pines RB1, RB2, RB3 y RB4, respectivamente), todos estos pines se activan cuando se encuentren en un estado bajo (0V). Cuando ocurre alguna interrupción en alguno de estos pines, automáticamente el programa va a atender la correspondiente subrutina.

### **3.2 Subrutinas secundarias. Funcionamiento**

Este es el primer contacto del PIC con el mundo exterior, espera un cambio de estado lógico de algún pin del puerto B. A continuación se describen cada una de las subrutinas del sistema.

#### **3.2.1. Subrutinas para incrementar y decrementar frecuencia**

El diagrama de flujo correspondiente a esta etapa del programa se muestra en la figura 3.3. Los puertos RB1 y RB2 sirven para incrementar y decrementar la frecuencia, respectivamente; cuenta con una protección contra rebotes que ocurren normalmente cuando se suelta un pulsante, es una demora de 100 ms (milisegundos), de no ser así, el programa no continúa hasta ser soltado. A continuación, el programa pregunta si se encuentra en el valor máximo en el caso de aumentar la frecuencia, o si está en el nivel mínimo en el caso de disminuir la frecuencia; en ambos casos, si ha llegado al límite, el programa da por atendido esta subrutina. En cada paso, el valor modificado es visualizado en la pantalla del LCD.

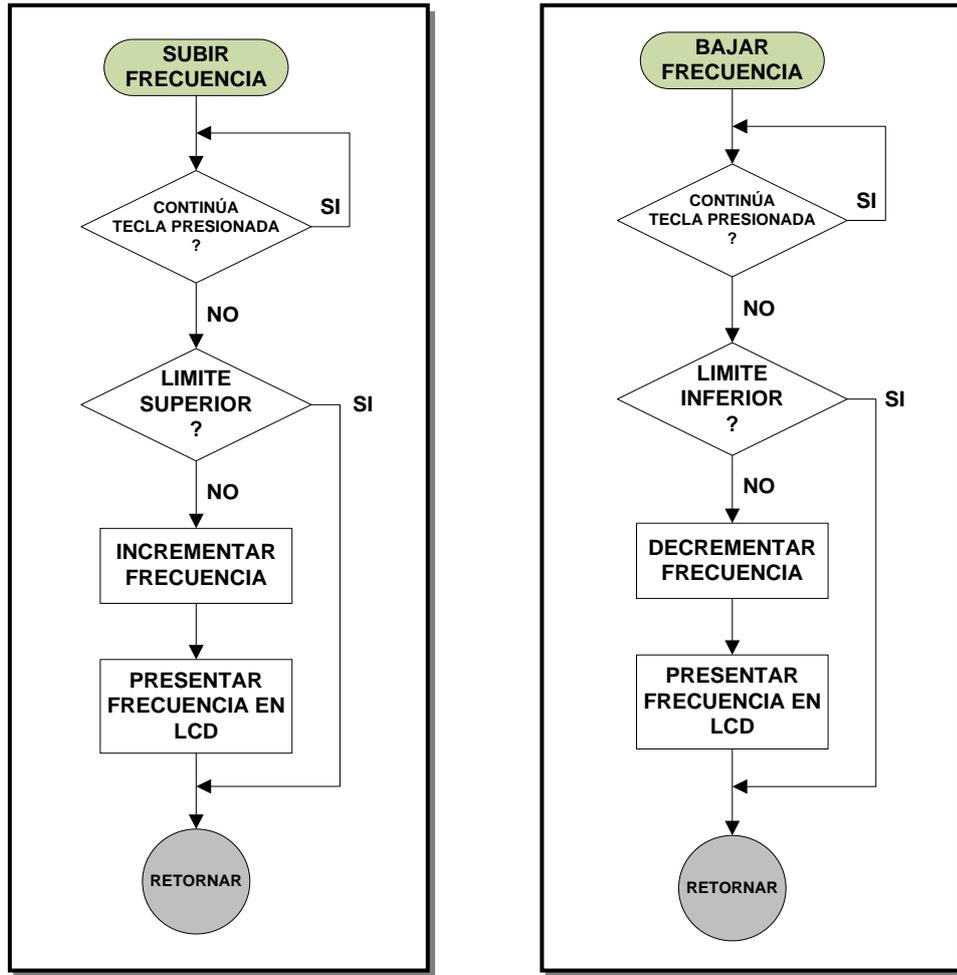


Figura 3.3. Subrutinas para incrementar y decrementar la frecuencia

### 3.2.2. Subrutinas para aumentar y disminuir ciclo útil de trabajo

El proceso es muy parecido al anterior como lo muestra la figura 3.4, la diferencia es que ahora el programa atiende el cambio de estado lógico de los pines RB3 y RB4 para aumentar y disminuir, respectivamente, el ciclo útil de la frecuencia antes seleccionada, y visualiza el valor de esta variable en el LCD.

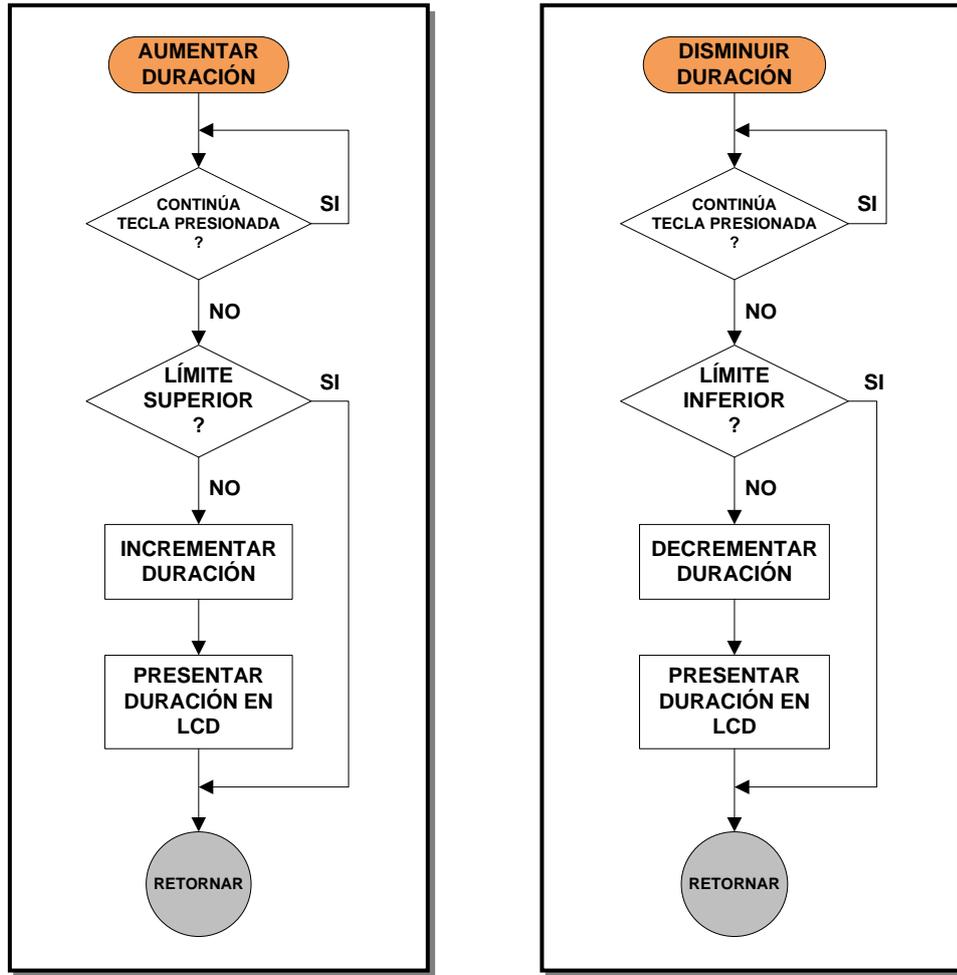
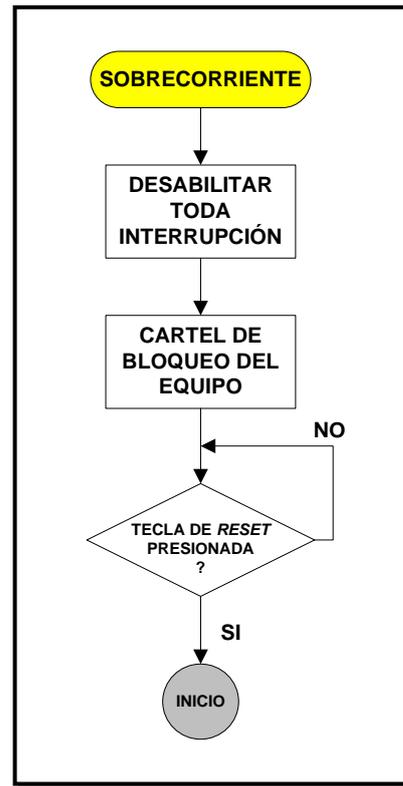


Figura 3.4. Subrutinas para aumentar y disminuir el ciclo útil de una señal PWM

### 3.2.3. Subrutina de control de sobrecorriente

Esta etapa es importante, brinda seguridad al operador y al equipo. Cuando ocurre una sobrecorriente o cortocircuito entre los electrodos, el programa se encarga de deshabilitar cualquier interrupción y se encierra en un lazo donde visualiza un mensaje indicando bloqueo y lo que tiene que hacer el operador para continuar (figura 3.5).



**Figura 3.5.** Subrutina controlar una sobrecorriente entre los electrodos

### 3.2.4. Subrutina de atención de interrupción externa del puerto RB0

Es la parte más importante del *firmware* porque genera señales de PWM con los parámetros de frecuencia y ciclo útil que el operador previamente seleccionó.

Como el programa principal habilitó una de las interrupciones que posee, la de interrupción externa del puerto RB0, cuando se presiona el pulsante de disparo ocurre un cambio de nivel (de 1 a 0) en el pin RB0, entonces el programa inmediatamente deja de hacer lo que estaba haciendo y atiende la llamada a esta subrutina que básicamente deshabilita otras interrupciones que pudieran ocurrir, calcula los tiempos de encendido y apagado que sumados conforman el inverso del periodo ( $1/T = F$ ), estos valores ponen en 5V y en 0V el pin RB0 repetidamente hasta dejar de presionar o que la señal de sobrecorriente se active. Un LED conectado al puerto RA0 indica este evento encendiéndose, cuando se suelta el disparador o exista una sobrecorriente se apaga y el programa retorna a la línea

siguiente de donde se produjo la interrupción, habilitando nuevamente la interrupción externa RB0. En la figura 3.6 se muestra esta lógica.

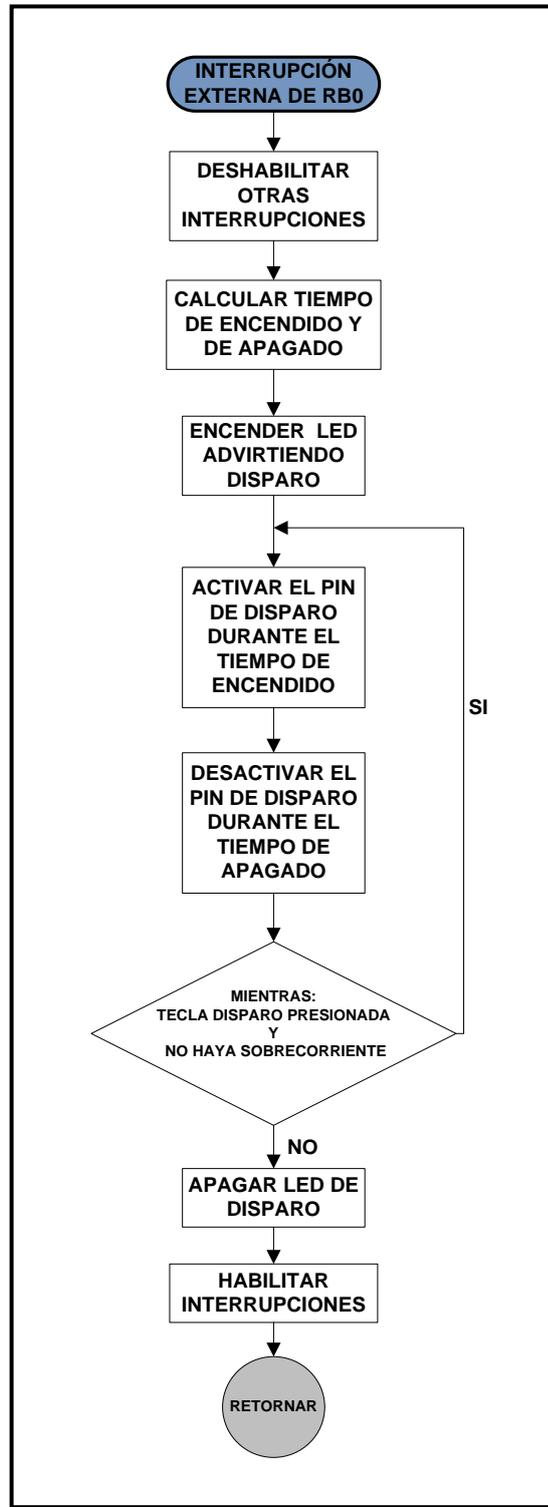


Figura 3.6. Subrutina de atención a interrupción externa RB0

### 3.3 *Firmware* en proceso de trabajo

A continuación se explica el proceso de desarrollo y ejecución del *firmware* para el microcontrolador utilizando el programa MicroCode Studio con su compilador PICBASIC PRO y el simulador ISIS PROTEUS.

Para empezar a programar en MicroCode Studio se debe seleccionar el modelo del PIC a utilizar, en este caso el 16F871. MicroCode reconoce palabras clave como VAR, HIGH, LOW, PAUSE, entre otras, y los pinta con mayúsculas y negrillas, por lo que no se deben utilizar como nombres de subrutinas o variables. Existen 83 instrucciones que PicBasic Pro (PBP) tiene reservado para realizar tareas específicas y cada una de ellas realiza varias tareas de fondo, por ejemplo, la instrucción “HIGH portb.3”, MicroCode reconoce a HIGH y la coloca en mayúscula y negrilla, y los procesos que realiza de fondo y de manera automática son: cambiarse al segundo banco de la RAM, colocar como salida el puerto B en TRISB y luego regresa al primer banco de la RAM para poner a 1 el PortB.3, todo este proceso lo realiza también el programa Ensamblador pero MicroCode lo hace en una sola instrucción.

La instrucción útil para la creación de demoras es “PAUSE”, por ejemplo, “*PAUSE 1000*” provoca una pausa o retardo de 1000 milisegundos, que equivale a 1 segundo. Las demoras que se pueden utilizar en MicroCode son de 1 a 65535, lo que quiere decir que, “*PAUSE 65535*” equivale a más de un minuto y 5.5 segundos, y “*PAUSE 1*” equivale a 0.001 segundo o 1 milisegundo. La precisión de esta instrucción y la rapidez con que se ejecutan las instrucciones en PicBasic Pro, ayudaron a desarrollar la etapa de generación de señales PWM de baja frecuencia que necesita el equipo.

A continuación se muestran en las figuras 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 las capturas de pantalla que contienen la continuidad del *firmware* desarrollado en MicroCode Studio.

En la figura 3.7 se tiene:

```

1  *****
2  ** Name   : ELECTROFISHER.BAS
3  ** Author : HERMAN HERRERA & ANDRÉS PALACIOS
4  ** Version : 1.0
5  ** Notes  : EQUIPO DISEÑADO PARA LA ESCUELA DE BIOLOGÍA
6  **        : DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY - ECUADOR
7  *****
8
9  DEFINE OSC 20           ; define el oscilador externo del PIC = 20 MHz
10
11 DEFINE LCD_DREG PORTD   ; define al puerto D para el bus de datos del LCD
12 DEFINE LCD_DBIT 4      ; empezando desde el puerto D4 hasta el D7
13 DEFINE LCD_RSREG PORTD ; define el puerto D para conectar al bit RS del LCD
14 DEFINE LCD_RSBIT 2     ; rd.2=rs=modo comando/dato
15 DEFINE LCD_EREG PORTD  ; define el puerto D para conectar el bit Enable del LCD
16 DEFINE LCD_EBIT 3     ; rd.3=conectado/desconectado
17 PAUSE 100             ; demora de 100 ms
18
19 ;***** VARIABLES Y VALORES INICIALES *****
20 duty VAR BYTE         ' variable para ciclo util con valores de 0 a 255
21 frec VAR BYTE         ' variable para frecuencia
22 T_ON VAR BYTE        ' variable para valores equivalentes de frecuencia_ON
23 T_OFF VAR BYTE       ' variable para valores equivalentes de frecuencia_OFF
24 ; Frecuencia inicial = 50Hz o 20ms. Ciclo util inicial = 50% o 10ms en ON
25 frec = 50 : duty = 50
26
27 ;***** CARTEL INICIAL *****
28 LCDOUT $FE,1,"ELECTRO-PESCADOR"
29 LCDOUT $FE,$C2,"U.D.A. 2011"
30 PAUSE 1200
31 LCDOUT $FE,1," FRECU INTENSID"
32 LCDOUT $FE,$C1,DEC frec, " Hz"
33 LCDOUT $FE,$C3,DEC duty, " %"

```

Figura 3.7. Código de *firmware*, parte1. Programación con MicroCode Studio

- El encabezado del programa, que son comentarios que incluye: nombre, fecha, autor y una breve explicación del programa. Estos comentarios se crean anteponiendo un punto y coma ( ; ) o un apóstrofe ( ' ), nótese que el texto cambia de color negro a azul y de letra tipo cursiva.
- Un conjunto de instrucciones con DEFINE, sirve para definir el oscilador que ocupará el PIC (en este caso de 20 MHz), y para configurar los pines del PIC que el LCD utilizará.

Los LCDs se conectan con el PIC a través de un bus de 4 u 8 bits, la diferencia está en el tiempo de demora al transmitir datos. Para una comunicación a 4 bits, primero envía los 4 bits más altos y luego los 4 bits más bajos, mientras que la de 8 bits envía todo al mismo tiempo, esto no es inconveniente si se considera que el LCD trabaja en microsegundos. La ventaja de hacer la comunicación a 4 bits, son los pocos cables que se conectan: el de bit de Registro (RS), el bit de *Enable* (E)

y los 4 bits de bus del LCD. Además, es importante saber que los 4 bits de datos solo se pueden configurar en los 4 bits más bajos del puerto (RD0 al RD3) o los 4 bits más altos (RD4 al RD7); si se quiere hacer la comunicación a 8 bits deben estar en un solo puerto del PIC y definir en PBP que se hará una comunicación a 8 bits.

- Declaración de variables. Es es la primera parte donde se comienza a escribir el programa principal, como se programa en alto nivel es normal utilizar variables, en este caso se declaran para almacenar datos de forma temporal y se las crea anteponiendo la palabra VAR. Pueden ser de tipo bit, byte o word. La manera de declarar una variable es el siguiente, “Etiqueta VAR tipo”, donde “Etiqueta” es el nombre de la variable, una secuencia de letras, dígitos y/o símbolos, aunque no deben comenzar con un dígito. PBP no distingue las letras minúsculas de las mayúsculas, es decir que, Etiqueta, ETIQUETA, etiQUETA son tratadas como equivalentes.

Los valores iniciales del equipo se almacenan en dos variables “frec = 50 : duty = 50” (lo que encierra las comillas es lo que se declara en el programa). La instrucción LCDOUT sirve para mostrar elementos alfanuméricos en el LCD, se utiliza escribiendo: “LCDOUT \$FE,” seguido de uno de los comandos de la tabla 3.1.

COMANDO	OPERACIÓN
\$FE, 1	Limpiar el visor del LCD
\$FE, 2	Vuelve al inicio (comienzo de la primera línea)
\$FE, \$0C	Apagar el cursor
\$FE, \$0E	Subrayado del cursor activo
\$FE, \$0F	Parpadeo del cursor activo
\$FE, \$10	Mover el cursor una posición a la izquierda
\$FE, \$14	Mover el cursor una posición a la derecha
\$FE, \$80	Mover el cursor al comienzo de la 1ra línea
\$FE, \$C0	Mover el cursor al comienzo de la 2da línea
\$FE, \$94	Mover el cursor al comienzo de la 3ra línea
\$FE, \$D4	Mover el cursor al comienzo de la 4ta línea

Tabla 3.1. Comandos más utilizados en PicBasicPro para manejar un LCD

En la figura 3.8 se tiene:

```

34
35 ;***** CONFIGURACIÓN DE INTERUPCION POR RB.0 *****
36 ON INTERRUPT GOTO disparo ; en caso de interrupción ir a "disparo"
37 OPTION_REG.6 = 0 ; modifica el bit 6 del registro OPTION activando en
38 ; flanco de bajada a B.0
39 INTCON = %10010000 ; habilitar la interrupcion por RB.0
40
41 ;***** ESCANE0 DE PULSANTES *****
42 test:
43 IF portb.7 = 0 THEN corto ; B.7 = Ir a Corto circuito
44 IF portb.1 = 0 THEN sube_frec ; B.1 = Ir a Incrementa frecuencia
45 IF portb.2 = 0 THEN baja_frec ; B.2 = Ir a Decrementa frecuencia
46 IF portb.3 = 0 THEN sube_duty ; B.3 = Ir a Incrementa ciclo util
47 IF portb.4 = 0 THEN baja_duty ; B.4 = Ir a Decrementa ciclo util
48 GOTO test ; preguntar nuevamente por los pulsantes
49
50 ;***** Subrutina para SUBIR la frecuencia *****
51 sube_frec:
52 PAUSE 100 ; espera para soltar el pulsante
53 IF portb.1 = 0 THEN sube_frec ; si no suelta este pulsante no continuará
54 IF frec = 70 THEN test ; 70 es el valor máximo de frecuencia
55 frec = frec + 5 ; incrementos de 5
56 GOSUB print_frec ; Ir a imprimir el valor de frecuencia
57 GOTO test
58
59 ;***** Subrutina para BAJAR la frecuencia *****
60 baja_frec:
61 PAUSE 100 ; espera para soltar el pulsante
62 IF portb.2 = 0 THEN baja_frec ; si no suelta este pulsante no continuará
63 IF frec = 20 THEN test ; 20 es el valor mínimo de frecuencia
64 frec = frec - 5 ; decrementos de 5
65 GOSUB print_frec ; Ir a imprimir el valor de frecuencia
66 GOTO test

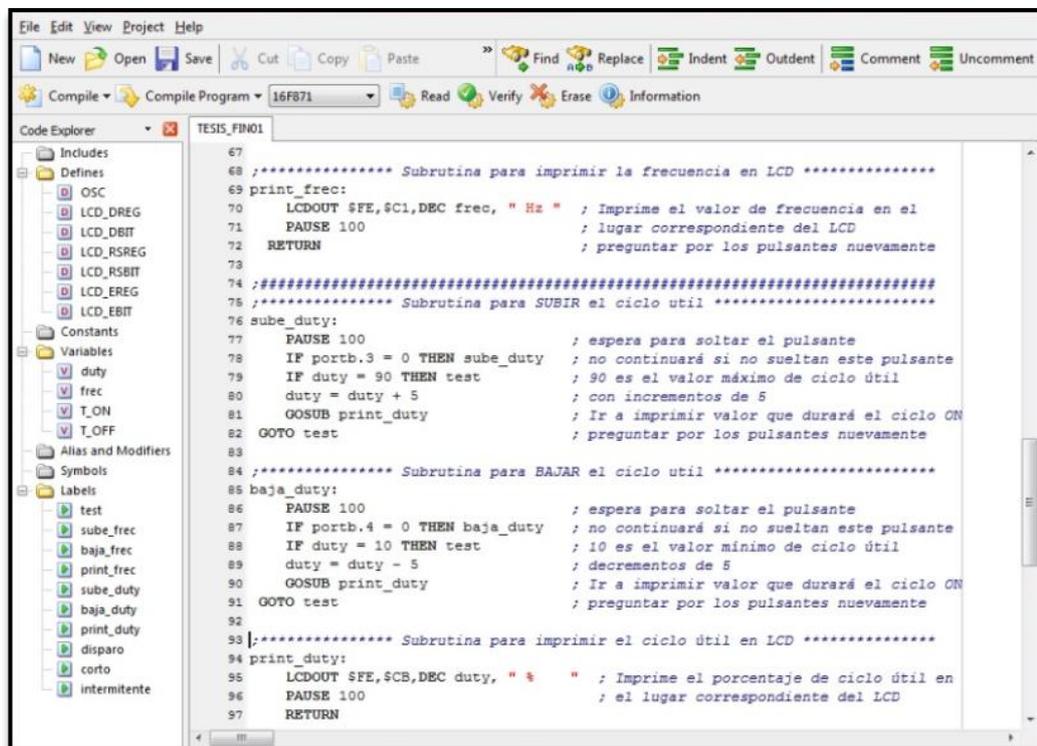
```

**Figura 3.8.** Código de *firmware*, parte 2. Programación con MicroCode Studio

- Configuración para interrupción externa del puerto RB0. Existen aplicaciones en donde un evento es más importante que otro y hay que atenderlo, en este caso cuando se presiona el pulsante de disparo de alto voltaje el PIC sensa un cambio de nivel y deja de hacer lo que estaba haciendo, este evento es provocado por un *Handler* (subrutina) que contiene un programa para generar señales de PWM en el pin 20 del PIC. Una vez atendido este programa de interrupción, retorna al programa principal en el mismo lugar donde fue interrumpido.
- Escaneo de pulsantes. Esto conforma el programa principal que consiste en vigilar continuamente el estado de los pulsantes conectados en los puertos RB1, RB2, RB3 y RB4 del PIC, para modificar frecuencia y ciclo útil, y el puerto RB7 para cuando se active el sensor de sobrecorriente, el cambio de estado de uno de estos puertos provocará al programa a dirigirse a la subrutina correspondiente.

- Lo que hacen las subrutinas para incrementar y decrementar frecuencia es sumar y restar, respectivamente, 5 unidades a la variable “frec”, siempre y cuando no hayan llegado a sus correspondientes límites superior e inferior, luego se va a imprimir este valor en el lugar correspondiente del LCD. Esto sucede solo si se suelta la tecla presionada. Cuando termina cada subrutina, el sistema vuelve una línea de código después de donde fue interrumpido.

En la figura 3.9 se tiene:



```

67
68 ;***** Subrutina para imprimir la frecuencia en LCD *****
69 print_freq:
70   LCDOUT $FE,$C1,DEC freq, " Hz " ; Imprime el valor de frecuencia en el
71   PAUSE 100 ; lugar correspondiente del LCD
72   RETURN ; preguntar por los pulsantes nuevamente
73
74 ;***** Subrutina para SUBIR el ciclo util *****
75 ;***** Subrutina para SUBIR el ciclo util *****
76 sube_duty:
77   PAUSE 100 ; espera para soltar el pulsante
78   IF portb.3 = 0 THEN sube_duty ; no continuará si no sueltan este pulsante
79   IF duty = 90 THEN test ; 90 es el valor máximo de ciclo útil
80   duty = duty + 5 ; con incrementos de 5
81   GOSUB print_duty ; Ir a imprimir valor que durará el ciclo ON
82   GOTO test ; preguntar por los pulsantes nuevamente
83
84 ;***** Subrutina para BAJAR el ciclo util *****
85 baja_duty:
86   PAUSE 100 ; espera para soltar el pulsante
87   IF portb.4 = 0 THEN baja_duty ; no continuará si no sueltan este pulsante
88   IF duty = 10 THEN test ; 10 es el valor mínimo de ciclo útil
89   duty = duty - 5 ; decrementos de 5
90   GOSUB print_duty ; Ir a imprimir valor que durará el ciclo ON
91   GOTO test ; preguntar por los pulsantes nuevamente
92
93 ;***** Subrutina para imprimir el ciclo útil en LCD *****
94 print_duty:
95   LCDOUT $FE,$CB,DEC duty, " % " ; Imprime el porcentaje de ciclo útil en
96   PAUSE 100 ; el lugar correspondiente del LCD
97   RETURN

```

Figura 3.9. Código de *firmware*, parte 3. Programación con MicroCode Studio

- Subrutina para imprimir en el LCD el nuevo valor de frecuencia.
- Subrutinas para cambiar el valor de ciclo útil de la señal PWM. Es el mismo principio de la subrutina para incrementar y decrementar el valor de frecuencia, hay que aumentar o disminuir un valor de 5 a la variable de ciclo útil “duty” siempre y cuando se deje de presionar la tecla y no se encuentre en los valores límites. Luego se llama a la subrutina de impresión del nuevo valor de ciclo útil para visualizar en el LCD ese valor.

En la figura 3.10 se tiene:

```

98
99 ;***** Subrutina de interrupción por RB.0 *****
100 ; Handler para generar el PWN
101 DISABLE ; deshabilitar cualquier tipo de interrupción que pueda existir
102 disparo:
103 ; Cálculo del tiempo de para ciclo en alto y para el ciclo en bajo
104 T_ON = (duty * (1000 / frec)) / 100 ; valor de ciclo en alto
105 T_OFF = (1000 / frec) - T_ON ; valor de ciclo en bajo
106 PAUSE 20
107 HIGH porta.0 ; encender el LED que indica disparo,
108 WHILE (portb.0 = 0 AND portb.7 = 1)
109 ; mientras se presione el disparador Y no esté en corto circuito,
110 HIGH portd.1 ; poner en alto este pin
111 PAUSE T_ON ; el tiempo cargado en T_ON
112 LOW portd.1 ; luego apagar este pin
113 PAUSE T_OFF ; el tiempo cargado en T_OFF
114 WEND
115 LOW porta.0 ; apagar el LED de disparo
116 IF portb.7 = 0 THEN corto ; si fue por sobrecorriente vamos a corto
117 RESUME ; retorna al programa principal donde ocurrió la interrupción
118 ENABLE ; habilitando nuevamente las interrupciones despues del handler
119
120 ;***** Subrutina de Sobrecorriente *****
121 corto:
122 DISABLE ; deshabilitar cualquier tipo de interrupción
123 LCDOUT $FE,1,"EQUIPO BLOQUEADO" ; cartel indicando bloqueo del equipo
124 intermitente:
125 LCDOUT $FE,$CO," PRESIONE RESET " ; cartel indicando que debe hacer el operador
126 PAUSE 450
127 LCDOUT $FE,$CO," " ; detalle apra verlo de manera intermitente
128 PAUSE 200
129 GOTO intermitente ; y se repite esta operación indefinidamente
130 END
  
```

Figura 3.10. Código de *firmware*, parte 4. Programación con MicroCode Studio

- Subrutina que atiende la interrupción externa provocada por el puerto RB0. Primero se necesita deshabilitar cualquier otro tipo de interrupción que pueda existir en el PIC y la instrucción DISABLE nos permite hacer eso. El objetivo de este subprograma es generar en el pin RD1 la señal de PWM en función de los valores almacenados en las variables de frecuencia y ciclo útil, siendo necesario calcular los tiempos de encendido y apagado que permitan crear las señales requeridas con las siguientes ecuaciones: Ec. 3.1 y Ec. 3.2.

Considerando que “frec” es la variable que contiene el valor de frecuencia y “duty” el valor de ciclo útil, se tiene que:

$$T_{ON} = \frac{duty \cdot \left(\frac{1000}{frec}\right)}{100}$$

Ecuación 3.1

$$T_{OFF} = \frac{1000}{frec} - T_{ON}$$

Ecuación 3.2

Con estos valores calculados y cargados en las respectivas variables, se enciende y apaga el puerto RD1 los tiempos equivalentes a los valores de  $T_{ON}$  y  $T_{OFF}$ . La de PWM se genera si se cumplen dos condiciones: la primera, que se mantenga presionada la tecla de disparo, y la segunda, que no se haya generado una sobrecorriente o cortocircuito entre los electrodos.

Cuando se suelta el pulsante de disparo, el PIC deja de generar PWM, se apaga el LED indicando que en los electrodos no se está generando nada y el programa retorna con RESUME a la siguiente línea de donde se produjo la interrupción, no sin antes habilitar nuevamente las interrupciones con la instrucción ENABLE. Cuando se activa el sensor de sobrecorriente, el sistema deja de generar PWM, se apaga la luz azul del LED y se bloquea el microcontrolador.

- Para que el programa llegue a atender la subrutina de protección contra sobrecorriente fue porque en el puerto RB7 se activó indicando alguna anomalía en los electrodos, por tanto el sistema se bloquea y se visualiza en la pantalla del LCD.

A continuación se muestran algunas imágenes de simulaciones realizadas con ISIS PROTEUS, un programa sencillo de manejar y muy práctico a la hora de comprobar el *firmware*. Una vez armado el *hardware* de control: el PIC, pulsantes, resistencias, LEDs, el LCD, terminales de +5V, tierra (0V) y el osciloscopio. Con el esquema correctamente conectado se proceder a simular el *firmware* que luego será cargado al PIC. En la figura 3.11 se muestra el circuito sobre el panel frontal para simular el *firmware* del proyecto. Como se puede ver, posee lo necesario para probar cualquier circuito, incluido un pulsante que simula el cortocircuito entre electrodos, otra tecla para el *reset* y el LED que indica la existencia de voltaje en los electrodos.

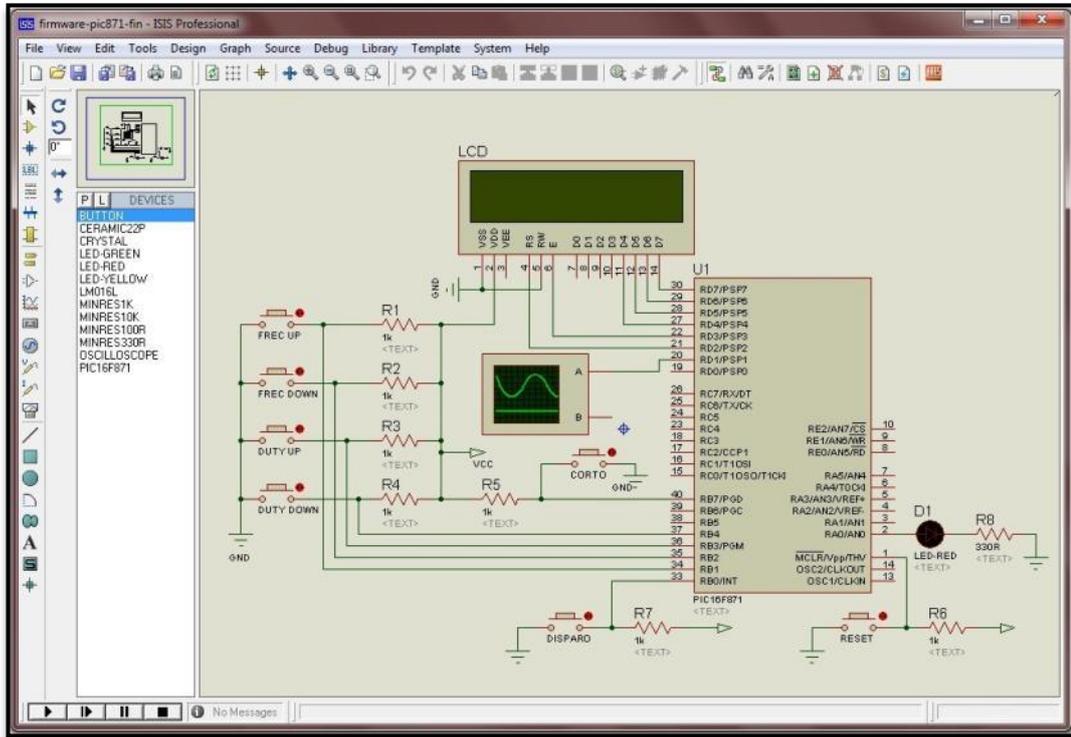


Figura 3.11. Hardware de interfaz de usuario

Al iniciar la simulación, primero se muestra la pantalla de bienvenida, figura 3.2, luego de 1.2 segundos carga el programa con los valores iniciales de frecuencia y ciclo útil y los visualiza en el LCD (figuras 3.12 y 3.13).

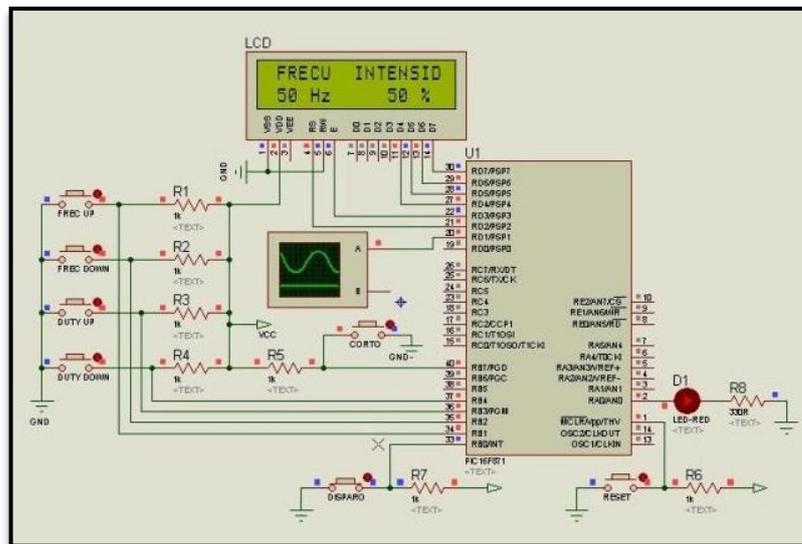
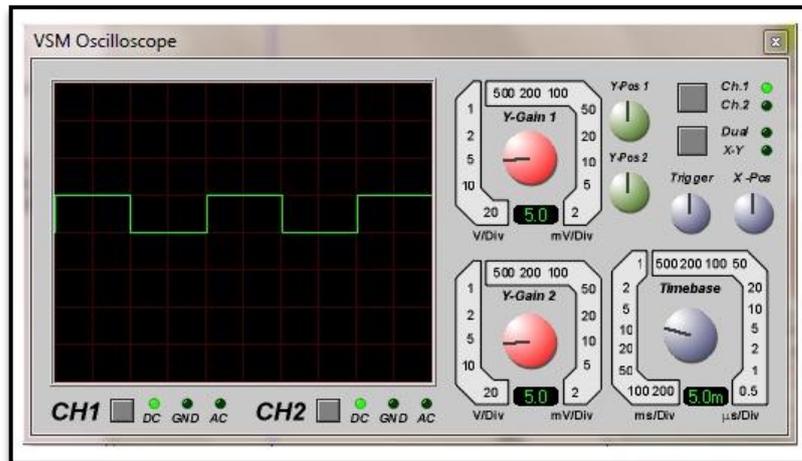
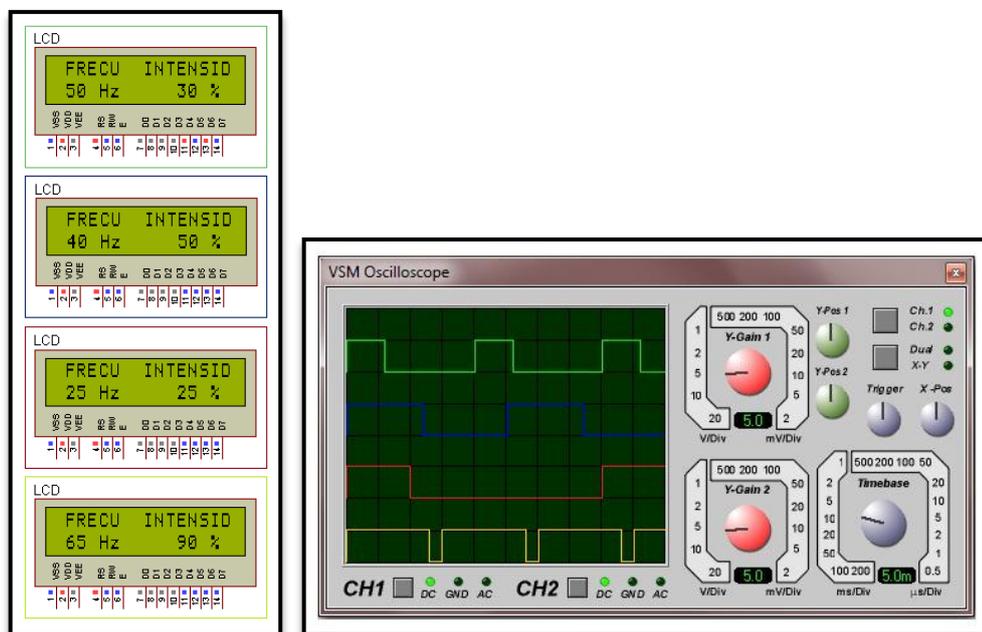


Figura 3.12. Simulación del *firmware* en ISIS PROTEUS. Valores iniciales: Frecuencia = 50 Hz e intensidad del 50%



**Figura 3.13.** Señal PWM vista en osciloscopio de simulación No. 1. Frecuencia de 50 Hz y ciclo útil de 50%. Cuando el pulsante de disparo está presionado

Con los pulsantes que están conectados a la izquierda del circuito de la figura 3.11 se puede cambiar los valores de frecuencia y ciclo útil, conforme se presione cada uno de ellos se irá visualizando en el LCD el cambio correspondiente. A continuación, en la figura 3.14, se muestran algunos ejemplos más.



**Figura 3.14.** Simulaciones de varias señales PWM. Vistas en LCD y osciloscopio (en el orden correspondiente, de arriba hacia abajo)

La figura 3.15 muestra la simulación de cuando ocurre un cortocircuito entre los electrodos durante la generación de alto voltaje. El sensor encargado genera un cambio de nivel en el pin 40 de PIC, se utilizó un pulsante para simular este efecto.

Luego el sistema se bloquea y lo visualiza en el LCD, para superar este trance se presiona la tecla de *reset* (pin 1 del PIC), como lo indica el LCD.

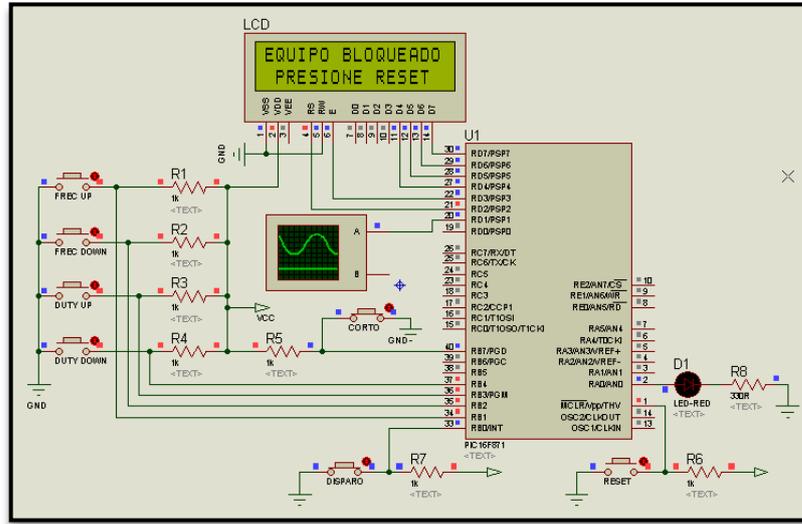


Figura 3.15. Simulación de cortocircuito y sistema bloqueado

## CAPITULO 4

### PRUEBAS FUNCIONALES

#### Introducción

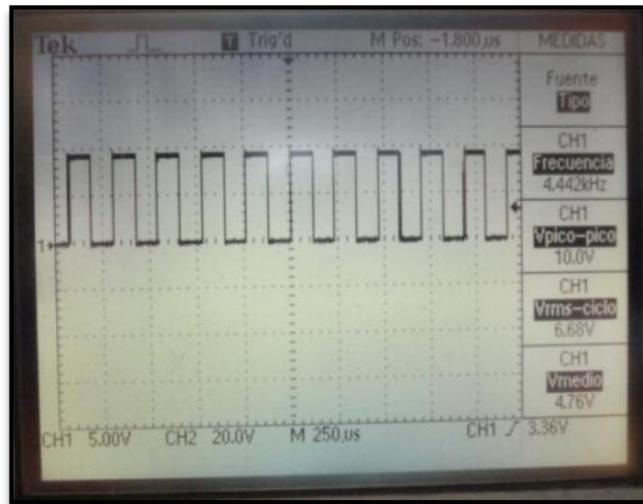
En este capítulo se presentan las pruebas a las que ha sido sometido el equipo, esto es, pruebas de laboratorio utilizando equipos de medición como el osciloscopio, y algunas pruebas de campo realizadas en ríos de la ciudad de Cuenca. Todo esto para demostrar la operatividad del equipo y así ofrecer garantías de su correcto funcionamiento.

#### 4.1. Pruebas de laboratorio

Las pruebas prácticas del equipo se realizaron en el Laboratorio de Electrónica de Potencia de la Universidad del Azuay bajo la supervisión y guía del Ing. Leonel Pérez, cuando el circuito final aún se encontraba conectado en el *protoboard*, luego cuando el equipo estuvo terminado (en PCB) se confirmó su correcto funcionamiento.

Las siguientes imágenes muestran el funcionamiento del equipo por etapas, estos resultados fueron obtenidos a través del osciloscopio, y los mensajes del *firmware* de control se visualizan a través de la pantalla LCD.

La figura 4.1 muestra la generación de la señal cuadrada de alta frecuencia (4.4 KHz) del temporizador 556.



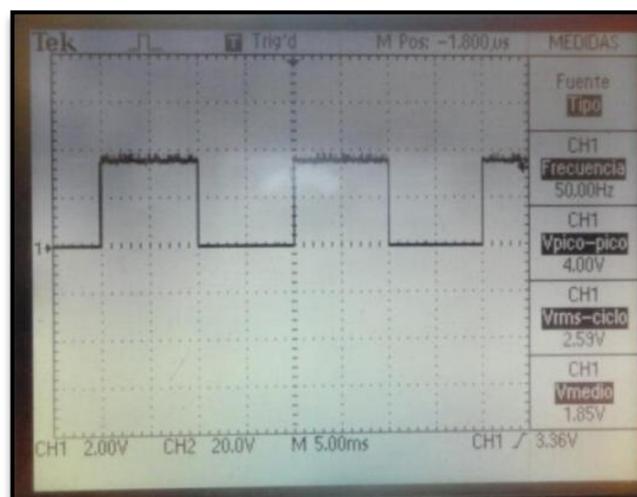
**Figura 4.1.** Onda cuadrada de 4.4 KHz generada por el oscilador 556

La figura 4.2 muestra la pantalla LCD con los valores iniciales de señal PWM: 50 Hz y 50% de ciclo útil.



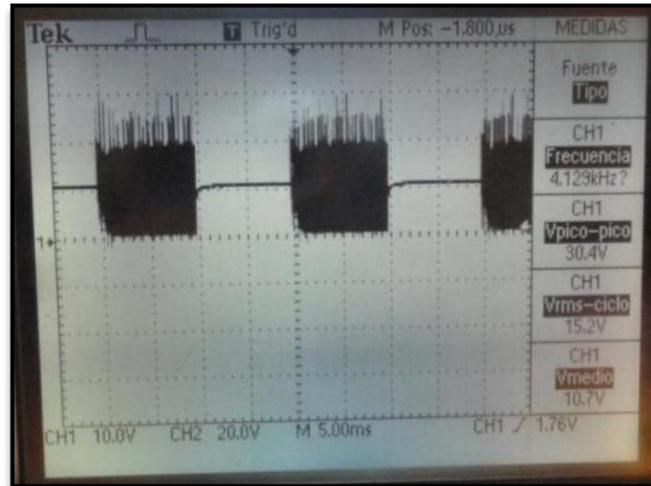
**Figura 4.2.** Valores de frecuencia y ciclo útil iniciales mostradas en el LCD

La figura 4.3 muestra la señal PWM de 50 Hz y 50% (valores iniciales) generada por el PIC.



**Figura 4.3.** Señal PWM inicial generada por el PIC16F871

En la figura 4.4 se presenta la señal que permite conmutar al transformador elevador de voltaje, es decir, la señal del colector de un transistor Darlington a 50 Hz y 50% de ciclo útil.



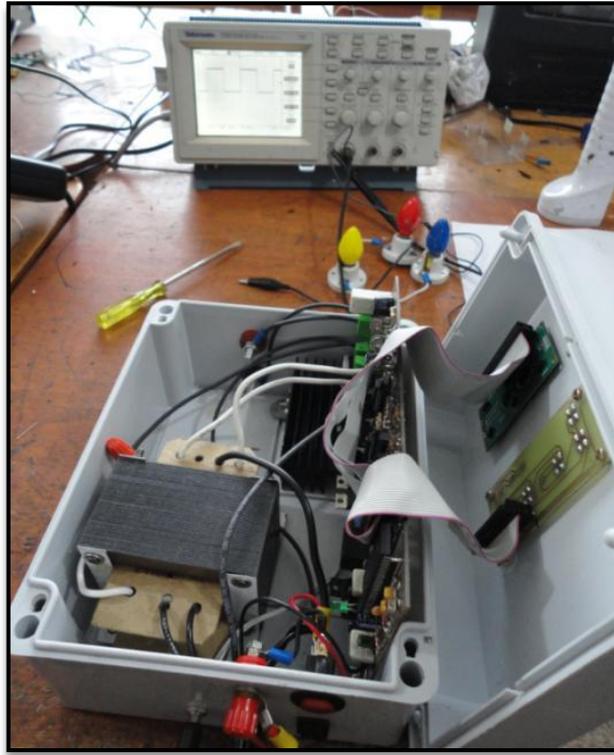
**Figura 4.4.** Señal generada en el colector del transistor Darlington

La figura 4.5 muestra el comportamiento a la salida de todo el circuito, esto es, amplificada, rectificadora y filtrada. Se utilizó como carga de prueba tres focos de 110V CA, conectados en serie que sumaron aprox.  $540\Omega$ . Se debe considerar que la medición fue tomada en uno de ellos obteniéndose un voltaje de 136 V aprox.



**Figura 4.5.** Señal de salida conectada a una carga de aprox.  $180\Omega$

En la figura 4.6 se muestra el equipo final conectado al osciloscopio.



**Figura 4.6.** Conexión para pruebas de laboratorio

Para probar la etapa de protección contra sobrecorrientes se unió ambos electrodos y se comprobó la correcta funcionalidad de esta etapa visualizando el mensaje correspondiente en el LCD (figura 4.7).



**Figura 4.7.** Mensaje en LCD después de un cortocircuito

## 4.2. Pruebas de campo

En las pruebas de campo realizadas, el equipo estaba conectado en *protoboard*. La primera prueba se llevó a cabo en una vertiente de las lagunas del Cajas en las afueras de la ciudad de Cuenca con la presencia del biólogo Edwin Zárate. En la orilla del río se realizaron las conexiones correspondientes al circuito, se extendieron un par de cables (ánodo y cátodo) dentro del agua y se procedió a energizar los electrodos. Las pruebas se realizaron durante una hora aprox. pero no se obtuvieron los resultados esperados, y por situaciones de mal clima se pospusieron las pruebas para una nueva oportunidad.

El siguiente día se probó el equipo en una pileta utilizando una trucha para las pruebas. Una vez conectado el equipo con los electrodos extendidos en la pileta, se dio inicio a la pesca. En esta ocasión, el pez reaccionó con un veloz movimiento seguido de una parálisis instantánea, al minuto aprox. el pez fue recobrando su movimiento.

La siguiente prueba se realizó en otro río a 2 km. del perímetro urbano de Cuenca (sector Sayausí). Se preparó el equipo pero esta vez utilizando la propia caña del equipo (para un mejor manejo del ánodo) y el cable colgando de equipo (el cátodo). De las pruebas realizadas se pescaron tres truchas (una de 15 cm y las otras dos de 10 cm, aprox.), se paralizaron y al minuto recobraron su movilidad.

En la figura 4.8 se presenta una recopilación de imágenes que muestran esta vivencia.



**Figura 4.8.** Pruebas de campo con peces capturados. Momentos durante la pesca y dos de tres truchas que se pudieron pescar, vivas y sin daños

Datos correspondientes al funcionamiento del equipo no se han establecido aún, pero de las pruebas realizadas con éxito se ha comprobado que el equipo funciona correctamente en determinados rangos de operación, esto es: frecuencias entre 30 Hz y 40 Hz con ciclos útiles de 15% al 45 %. Se recomienda realizar más pruebas acompañados de otros equipos como conductímetros, termómetros, medidores de PH, entre otros, necesarios para reforzar los resultados y rangos de operación del equipo. Seguramente la Escuela de Biología y sus estudiantes estarán gustosos de probar el equipo en futuros estudios.

## CAPITULO 5

### MANUAL DEL USUARIO

#### Introducción

En este capítulo se diseña un pequeño manual de manejo del equipo, consta una breve descripción de su funcionamiento y algunas consideraciones que se deben tomar antes, durante y después de ir a pescar.

El **ELECTROFISHER UDA** es el primer prototipo de caña de pescar electrónica, pequeño, ligero, fácil de transportar (en una mochila), diseñado y fabricado por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay (figura 5.1). Es un proyecto que nació con la finalidad de apoyar tecnológicamente en proyectos que realiza la Escuela de Biología; específicamente, el equipo es de uso exclusivo para el muestreo de peces porque crea un campo eléctrico entre dos electrodos que los paraliza, sin provocarles daño alguno. Esto permite a los Biólogos hacer estudios Ícticos sin necesidad de sacrificar innecesariamente a las muestras.



**Figura 5.1.** ELECTROFISHER UDA tipo mochila

### 5.1. Panel de control y configuraciones del equipo

La figura 5.2 muestra la parte frontal y lateral derecha de la caja que contiene el equipo electropescador.

- **Vista frontal.-** Consta el panel de control y el LCD.
- **Vista lateral derecha.-** Consta el interruptor de encendido, las borneras de alimentación (donde se conecta la batería), el conector para el pulsante de disparo (se conecta el terminal del pulsante de la caña), el selector de nivel de voltaje de salida (nivel alto es de aprox. 550 V y el nivel bajo de aprox. 450 V) y el fusible de protección.
- **Vista lateral izquierda.-** Consta las borneras de alto voltaje (se conectan los electrodos de alto voltaje).

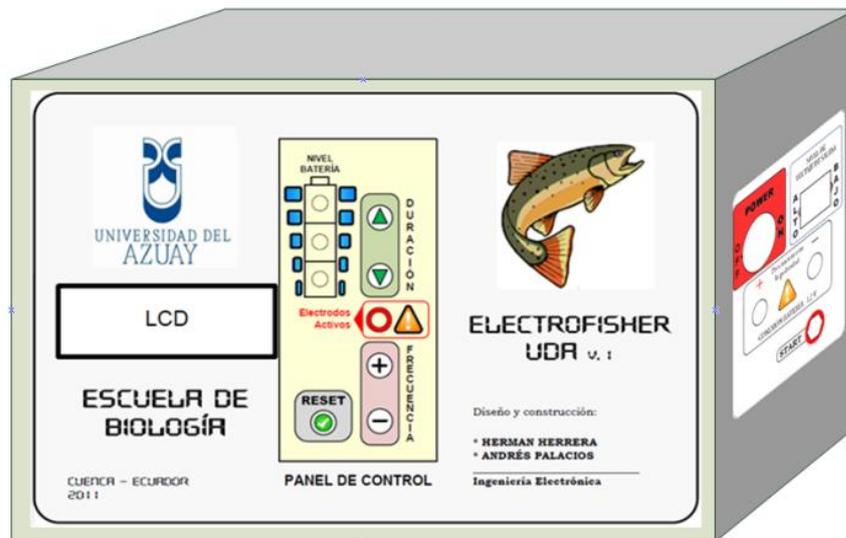
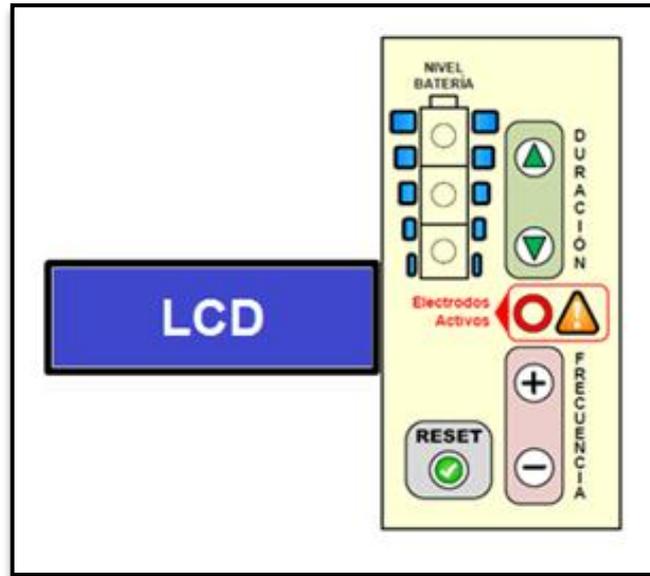


Figura 5.2. Vista frontal del equipo.

A continuación se describe con más detalle cada una de las partes que conforma la interfaz del usuario, las conexiones que debe hacer antes de utilizar el equipo y algunas consideraciones antes de la pesca.

La figura 5.3 muestra las partes del panel frontal o interfaz de usuario.



**Figura 5.3.** Pantalla LCD y panel de control

- **Pantalla LCD**

A través de esta pantalla (figura 5.4) el operador podrá saber con qué parámetros de frecuencia (FRECU) y ciclo útil (INTENSID) el equipo comenzara a funcionar, o si el equipo se encuentra bloqueado. Al arrancar el equipo se visualiza un mensaje de inicio “ELECTROPESCADOR U.D.A. 2011” (figura 5.4 arriba), luego muestra los valores de frecuencia y ciclo útil iniciales (figura 5.4 abajo). En el caso de que el equipo esté bloqueado, la pantalla indica lo que el operador debe hacer.



**Figura 5.4.** Pantalla LCD con mensajes iniciales

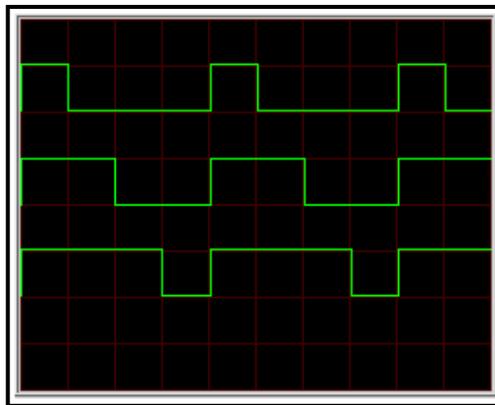
- **Pulsantes de Frecuencia**

Con dos pulsantes del panel de control se puede seleccionar la frecuencia en la que operará del equipo, este rango de selección está entre 10 Hz y 100 Hz, con variaciones de 5 Hz controladas a través de las teclas (+) y (-).

- **Pulsantes de Ciclo Útil o duración del pulso**

Presionando las teclas de duración (ciclo útil o intensidad) del pulso, el operador selecciona el porcentaje de tiempo comprendido entre el 10% y 90% con variaciones de 5% para que permanezca encendido el pulso correspondiente a la frecuencia preseleccionada. Presione (▲) o (▼) para aumentar o disminuir la intensidad del pulso, respectivamente.

La figura 5.5 muestra un ejemplo de tres diferentes señales de ciclo útil utilizando la misma frecuencia.



**Figura 5.5.** Tres señales de ciclo útil para una frecuencia de 50 Hz. Desde arriba: 25%, 50% y 75% de la señal

- **Tecla de RESET**

El equipo posee una tecla (✓) que permite al operador reiniciar el sistema. Ésta será necesaria cuando el sistema se encuentre bloqueado. Al reiniciar el sistema el equipo carga los valores de frecuencia y duración inicial (50 Hz y 50%, respectivamente).

- **LED de disparo**

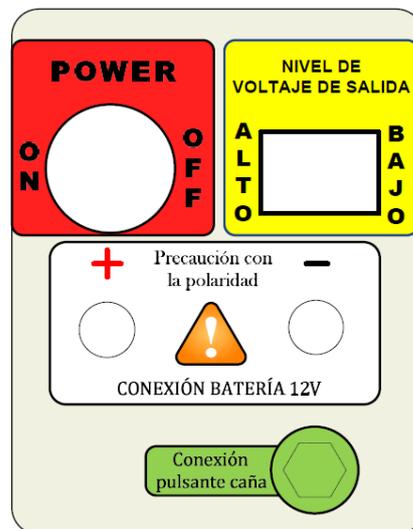
Una luz de color azul se observará al presionar el pulsante de la caña, esto advierte que los electrodos de alto voltaje están activos y por tanto que se debe tener cuidado con el manejo de los mismos.

- **LEDs indicadores de nivel de batería**

Existen tres LEDs que indican el nivel de voltaje de la batería: bajo, medio y alto que son de color rojo, amarillo y verde, respectivamente.

- Voltaje de batería mayor a 11.7V se mantiene encendido el LED verde, si es menor a éste se apaga.
- Valores comprendidos entre 11.7 y 11V se enciende el LED amarillo, valores menores a 11V se apaga y se enciende el LED rojo.
- Valores menores a 9.5 se apaga el LED rojo.

A continuación se describen los componentes del panel lateral derecho (figura 5.6).



**Figura 5.6.** Panel lateral derecho

- **Interruptor general de encendido (*POWER*)**

Es el interruptor que permite energizar y apagar totalmente el equipo.

- **Interruptor de selección de nivel de voltaje de salida**

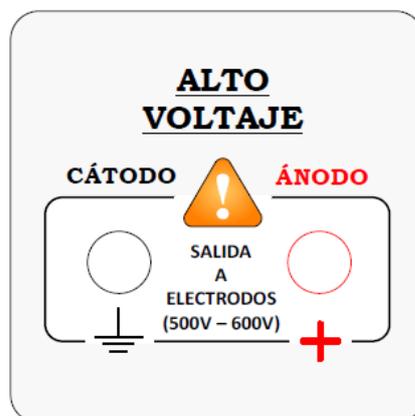
Existen dos niveles de voltaje que dispone el equipo en su salida (para los electrodos), el nivel bajo que proporciona un valor de aprox. 450 V de corriente continua pulsada, y el nivel alto de aprox. 550 V de corriente continua pulsada. Se recomienda operar el equipo configurando el equipo en el nivel bajo. El nivel alto se podría ocupar cuando los peces sean grandes y requieran esta dosis.

- **Borneras para conexión de batería**

En ellas se conectan los terminales que unen los bornes positivo y negativo de la batería. Aunque el equipo cuenta con protección contra polarización inversa, se debe tener cuidado con la polaridad de la batería al momento de conectarla (se puede ayudar con el color de los cables o con la simbolización de la etiqueta para evitar equivocaciones).

- **Conector del pulsante de la caña**

Este elemento permite conectar el pulsante que está instalado en la caña. La correcta conexión de este elemento permitirá producir el alto voltaje en los electrodos; si el equipo no responde a este pulsante mientras el equipo se encuentra energizado, probablemente esta falla se deba a la mala conexión en este punto.



**Figura 5.7.** Panel lateral izquierdo.

La figura 5.7 muestra las partes que componen el panel lateral izquierdo:

- **Borneras para conexión de electrodos de alto voltaje**

La ubicación de estas borneras evita confusión con las borneras de la batería. Aquí se conectan los electrodos de alto voltaje, el que va a la caña (positivo) y el que cuelga del equipo (negativo). Se debe tener cuidado al conectarlos con la ayuda de la etiqueta impresa o de los colores de las borneras. Recuerde que el ánodo se conecta al electrodo que está instalado al extremo de caña, y el cátodo se conecta a un cable con cubierta aislante que cuelga del equipo.

## 5.2. Fuente de energía y conexiones

La mochila cuenta con dos compartimentos: arriba para el equipo y abajo para la batería, cuenta con una cubierta total para proteger del agua y al abrirla se puede identificar cada ubicación de estos elementos. La mochila cuenta, además, con las facilidades para utilizar el panel de control, ver el LCD y hacer las conexiones de los cables (figura 5.8). La mochila está diseñada para montar en la parte baja una batería de medidas máximas: 200 mm x 190 mm x 140 mm. Se recomienda utilizar una batería seca (no de ácido porque puede derramarse) para no dañar la mochila.



**Figura 5.8.** Compartimento en la mochila para la batería y el equipo

### 5.3. Caña: montaje y conexiones

La caña es el dispositivo que transporta el cable positivo (ánodo) de alto voltaje, este cable se conecta de la bornera en el lado izquierdo del equipo hasta el electrodo en forma de anillo instalado en el extremo de la caña (figura 5.9). La caña cuenta con un pulsante electrónico que activa, desde el sistema de control, la salida de alto voltaje, este pulsante se conecta a través de un *plug* al conector en el lado derecho del equipo. El electrodo en forma de anillo es de material conductor, aunque puede tener otra forma.



**Figura 5.9.** Caña del ELECTROFISHER UDA

La caña está hecha de varias secciones de material resistente, liviano y buen aislante eléctrico llamado Grillón, y puede llegar a medir hasta 2 metros, incluido el electrodo que mide 30 cm de diámetro.

### 5.4. Consideraciones antes de usar el equipo

- La interfaz de usuario (teclado y LCD) ha sido diseñada para facilitar el manejo del equipo. El equipo cuenta con protecciones de sobrecorriente de salida para protección del pescador y acompañantes que estén cerca del equipo en funcionamiento, protecciones de conexión inversa de los bornes de la batería y un fusible para proteger el equipo.
- El equipo cuenta con una mochila impermeable, se recomienda no exponerla mucho tiempo a la humedad.

- Se requiere de un mínimo de dos personas para pescar, una opera el equipo y otra u otras se encargan de recoger los peces; cada una debe utilizar un traje y guantes de material aislante antes de ingresar al agua, y así evitar un *electroshock* y sus consecuencias.
- Antes de colocarse la mochila para pescar, el operador debe asegurarse de:
  - La batería debe tener un nivel de carga máximo, las borneras limpias y ajustadas, así como también la batería al momento de montarla en la mochila.
  - El equipo debe estar limpio y seco, y chequear que estén bien sujetos a la mochila.
  - Los interruptores del equipo y de la caña estén en buen estado y funcionando adecuadamente.
  - Todas las conexiones eléctricas del sistema, en general, estén limpias y ajustadas.

### **5.5. Consideraciones antes, durante y después de la pesca**

1. El pulsante de la caña debe estar apagado (no presionado).
2. Verificar que el ánodo y el cátodo estén bien conectados a sus respectivas borneras manteniendo al ánodo suspendido o fuera del agua. El cátodo puede permanecer en el agua.
3. Seleccione el nivel de voltaje de salida bajo y encienda el equipo sin presionar el pulsante de la caña. Verifique que en el LCD no se muestre señal de bloqueo.
4. Asegúrese de que cada miembro del equipo esté listo para iniciar la pesca.
5. Configurar el equipo, dependiendo de los resultados que se vayan obteniendo.
6. Sumerja el ánodo en el agua y presione el pulsante de disparo de la caña por intervalos cortos de tiempo (intervalos no mayores a 5 segundos) hasta obtener resultados, si existe presencia de peces paralizados, detenga la pesca (deje de presionar el pulsante de la caña) hasta que las muestras sean recogidas.
7. Para cambiar la configuración retire el ánodo del agua y sin presionar el pulsante de la caña haga los cambios necesarios. Volver al paso 5.
8. Una vez finalizada la pesca, apagar el equipo y desconectar los electrodos.

## 5.6. Configuración del equipo (opcional)

Ajustar el equipo a una frecuencia de 30 Hz y 15% de ciclo útil, con estos valores se obtuvieron buenos resultados en la pesca. En general, bajas frecuencias son más seguras para peces grandes que con frecuencias altas. Si no obtiene respuesta alguna de los peces, cambiar la configuración de la siguiente manera:

- 1) Si el pez no muestra galvanotaxia (nado involuntario hacia el ánodo), incrementar el ciclo útil en un 10% y pruebe nuevamente. De ser necesario, repetir este paso hasta obtener el resultado esperado. Si el ciclo útil llega al máximo sin producir este efecto en el pez, reducirlo al mínimo e ir al paso 2.
- 2) Aumentar 10 Hz a la frecuencia y pruebe de nuevo. Si es necesario repita el paso 1 antes de incrementar la frecuencia nuevamente.

## CONCLUSIONES

El diseño y construcción de la fuente elevadora de voltaje fue la parte más crítica del proyecto, dedicó mayor tiempo, esfuerzo e investigación en temas de electrónica de potencia: fuentes de voltaje, transformadores y fuentes de conmutación. Al inicio se simularon algunos circuitos lineales para ver si podrían ser útiles, pero no dieron los resultados esperados. Luego, se realizaron diversas pruebas de laboratorio para elevar el voltaje mediante fuentes conmutadas de alta frecuencia y conforme las pruebas avanzaban, los resultados poco a poco mejoraban. El osciloscopio y un multímetro analógico, fueron sin duda, las herramientas que dieron seguridad y resultados en cada paso porque requería de mucho cuidado manejar elevados voltajes.

Desarrollar el *firmware* que genera las frecuencias de PWM que el equipo necesita tampoco fue tarea fácil, no se pudo ocupar el módulo PWM del PIC porque no opera con este rango de frecuencias (sólo valores mayores a 245 Hz), entonces se optó por generar estas bajas frecuencias (10 Hz a 100 Hz), mediante un bucle generador de demoras que controlan el encendido y apagado de un puerto del PIC. Este bucle depende de dos variables que el operador preselecciona: la frecuencia y ciclo útil. El microcontrolador ayudó también a generar seguridad (contra sobrecorrientes) que el operador necesita mediante el escaneo continuo de una señal que emite el sensor de sobrecorriente. Fue de gran ayuda el programa ISIS PROTEUS para simular el *firmware*. De esta manera el PIC generó el PWM preciso y deseado que demanda este proyecto.

Se logró que la conexión total del *hardware* para que el equipo sea lo más compacta y liviana posible, el peso total del equipo pesa es de 7 libras (sin la batería). La mochila se fabricó para las dimensiones, peso, comodidades y conexiones que el equipo necesita.

En las pruebas de laboratorio se pudo comprobar el comportamiento de una fuente conmutada y los resultados que se pueden obtener al utilizar este tipo de fuentes para elevar voltaje. Los transformadores de corriente son también muy importantes en el

diseño de circuito de potencia para el control de corrientes, aspecto muy importante en el momento de diseñar proyectos eléctricos.

En conclusión, se diseñó y construyó un equipo (prototipo) funcional, capaz de capturar fácilmente peces sin provocarles daños, esto gracias a un microcontrolador PIC16F871 y una fuente elevadora de voltaje, aprox. 500V, que genera en el agua un campo eléctrico de niveles de energía suficientes para estimularlos.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

COUGHLIN Robert, DRISCOLL Frederick. 1993. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. Cuarta edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México.

DAGÁ Pedro, et al. 1986. *Enciclopedia CEAC de Electricidad. Transformadores Convertidores*. Quinta edición. Ediciones CEAC, S.A. Barcelona, España.

PÉREZ Leonel. 2010. *Anotaciones de Cátedra: Microcontroladores I*. Universidad del Azuay.

PHILIPS Consumer Electronics Company. 1998. *ECG Semiconductors - Master Replacement Guide. ECG212T*. Décimo octava edición. Philips ECG Inc. USA.

PHILIPS Consumer Electronics Company. 1986. *ECG Semiconductors –Linear Modules and Integrated Circuits Technical Manual*. Volumen 2. Primera edición. Philips ECG Inc. USA.

REYES Carlos. 2006. *Microcontroladores PIC Programación en Basic*. Segunda edición. Rispergraf. Quito, Ecuador.

RASHID Muhammad. 1995. *Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Segunda edición. Pearson Educación. México.

### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

BROWN Marty. 2001. *Power Supply Cookbook*. 2da Edición. Editorial Newnes. Archivo PDF. 278 páginas. Tema relacionado: *Which Topology of PWM Switching Power Supply to Use?*. Pag. 28-34.

Confederación Hidrográfica del Ebro, URS, et al. 2005. *Metodología para el establecimiento de Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para Ictiofauna*. Archivo PDF. 51 páginas. Provisto por la Escuela de Biología de la Universidad del Azuay.

On Semiconductor. 1999. *Switchmode Power Supplies. Reference Manual and Design Guide*. Primera revisión. Archivo PDF. 138 páginas. Disponible en: <http://www.onsemi.com> [consulta del 26 de febrero de 2011].

Scottish Fisheries Co-ordination Centre – SFCC. 2007. *Catch Fish Using Electrofishing Techniques*. Archivo PDF. 44 páginas. [consulta del 18 de enero de 2011].

Snyder Darrel. 2003. *Electrofishing and its harmful effects on fish. USGS Information and Technology Report USGS/BRD/ITR-2003-0002*. Archivo PDF. 161 páginas. Disponible en: <http://www.fort.usgs.gov/products/publications/> [consulta del 14 de noviembre de 2010].

Smith-Root, Inc. 2011. *User's Manual LR-24 Backpack Electrofisher*. Archivo PDF. 58 páginas. Disponible es: <http://smith-root.com> [consulta del 19 de enero de 2011].

Smith-Root, Inc. 2011. *User's Guide Type-VI-A Electrofisher*. Archivo PDF. 26 páginas. Disponible es: <http://smith-root.com> [consulta del 19 de enero de 2011].