



**Universidad Del Azuay**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Diseño y construcción de un equipo de ultrasonido para fisioterapia

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Ingeniero Electrónico

Autores

Diego Luis Cabrera Pauta  
Gustavo Fabián Calle Crespo

Director

Freddy Gonzalo Pesantez Díaz

Cuenca, Ecuador  
2013

## DEDICATORIA

Al culminar una etapa más de mi vida, me permito dedicar esta tesis a mis queridos padres: Luis y Rita, quienes me han brindado su apoyo moral en todo momento, por sus consejos, sus valores y por estar siempre a mi lado para ver cristalizados mis sueños. Quiero dedicarlo también a toda mi familia especialmente a mis hermanas Paola, Emily, a mi cuñado Paul y a mi sobrino Sebastián, por su amor y por brindarme el aliento para siempre seguir adelante.

A mis amigos quienes estuvieron durante toda mi formación profesional y quienes me impulsaron para cumplir mis metas: Gustavo Calle, Paul Gómez, Johanna Alvarado y Jessica Gallegos.

**Diego**

Al finalizar esta importante etapa, deseo dedicar este proyecto sobre todo a mi madre, Graciela, quien con su amor, sacrificio y ejemplo ha sido el pilar en el que he fundamentado todas mis creencias, me ha dado su apoyo incondicional en los momentos más críticos dando sentido a los esfuerzos realizados. A mi padre Fausto, a mis hermanos, Andrea y Diego, que me han acompañado en todo momento, y en especial a mi sobrina Paula, quien con su ternura me ha impulsado a cumplir todas mis metas.

A mis amigos, Diego Cabrera, Paul Guillén, Jéssica Gallegos y Johanna Alvarado, quienes con su amistad de una u otra manera me han brindado apoyo cuando más lo he necesitado.

**Gustavo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto es fruto de muchos años de esfuerzo y dedicación, teniendo como guía a gente que con humildad y profesionalismo siempre se ha empeñado en darnos ese impulso necesario para superar tanto los momentos sencillos como los críticos. Por esto comenzamos agradeciendo al Ing. Freddy Pesántez, quien gracias a su don de gente y su apoyo ha sido imprescindible para poder finalizar esta etapa, al instruirnos con sus consejos y conocimientos. De la misma manera hacemos llegar nuestra gratitud al Ing. Leopoldo Vásquez y al Ing. Francisco Vásquez quienes otorgaron su tiempo y dedicación a nuestro proyecto, permitiéndonos llegar a la satisfactoria culminación de esta tesis.

Por otra parte, consideramos muy importante la ayuda otorgada por el Ing. Pablo Torres, al facilitarnos el acceso a los laboratorios y por poner al alcance de manera constante todas las herramientas necesarias para la realización de este proyecto.

**Diego y Gustavo**

*03/06/13*

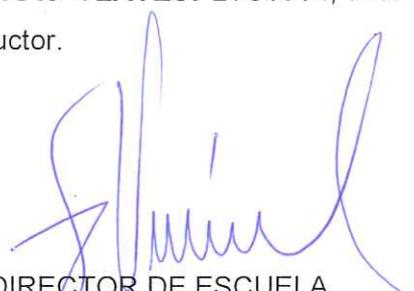
## RESUMEN

### Diseño y construcción de un equipo de ultrasonido para fisioterapia

Para diseñar y construir el hardware del equipo, y programar el firmware del mismo, se realizó un sistema generador de frecuencias y un amplificador de potencia necesarios para lograr la resonancia de un transductor de 5 cm<sup>2</sup>. El sistema está capacitado para trabajar en las frecuencias de 1 MHz y 3.3 MHz, siendo en consecuencia también idóneo para tratamientos de estética; su programación en modo continuo y pulsado permiten al usuario flexibilizar aún más la forma de terapia, teniendo la opción de escoger para el modo pulsado entre 10, 20 y 50 por ciento de ciclo de trabajo.

Se efectuó el acoplamiento de las distintas placas del equipo y del transductor, así como la respectiva calibración para que el aparato se desempeñe dentro del rango de potencia establecido, por último se realizaron pruebas y documentaciones del funcionamiento del aparato en cada una de sus frecuencias.

**PALABRAS CLAVES:** LTC6904, MCP1405, Ultrasonido, adc\_read, IRF820, I2C\_Init, Transductor.



DIRECTOR DE ESCUELA  
INGENIERIA ELECTRONICA

Ing. Francisco Vásquez



DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
GRADO

Ing. Freddy Pesantez Díaz



AUTOR

Diego Luis Cabrera Pauta



AUTOR

Gustavo Fabián Calle Crespo

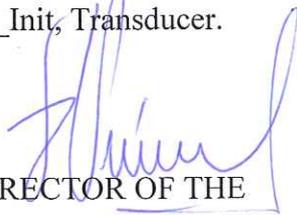
## ABSTRACT

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF ULTRASOUND EQUIPMENT FOR PHYSICAL THERAPY

In order to design and construct the hardware of the equipment and program its firmware, we developed a frequency generator system and a power amplifier with the purpose of achieving the resonance of a transducer of 5 cm<sup>2</sup>. The system is qualified to operate in 1 MHz and 3.3 MHz frequencies, which makes it also perfect for esthetic treatment. Programing in pulsed and continuous mode allows the users to have access to a more flexible therapy by giving them the option to choose between 10, 20, and 50 per cent of the work cycle in the pulsed mode.

We adapted the different plates of the equipment and the transducer and we calibrated the machine to operate within the established power range. Finally we carried out tests and documentations of the equipment's operation in each one of its frequencies.

**Key Words:** LTC6904, MCP1405, Ultrasound, adc\_read, IRF820, 12C\_Init, Transducer.



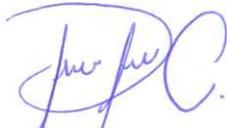
DIRECTOR OF THE  
ELCTRONIC ENGINEERING

Ing. Francisco Vasquez



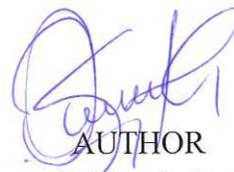
DIRECTOR OF THE GRADUATION  
PROJECT

Ing. Freddy Pesantez Diaz



AUTHOR

Diego Luis Cabrera Pauta



AUTHOR

Gustavo Fabián Calle Crespo



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
DPTO. IDIOMAS



Translated by,  
Diana Lee Rodas

## INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras.....	x
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: CONCEPTOS TEÓRICOS RELACIONADOS CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO PARA FISIOTERAPIA</b>	
1.1 Generalidades.....	2
1.2 Ultrasonido.....	2
1.3 Piezoelectricidad.....	3
1.4 Transductor piezoeléctrico.....	4
1.5 Características físicas de una onda.....	5
1.5.1 Frecuencia.....	5
1.5.2 Amplitud.....	6
1.5.3 Intensidad.....	7
1.6 Fisioterapia.....	8
1.7 Ultrasonido estético.....	9
1.7.1 Hidrolipoclasia ultrasónica.....	10
1.8 Información sobre componentes fundamentales del equipo.....	11
1.8.1 Fuente de alimentación.....	11
1.8.1.1 Fuentes de alimentación lineales.....	12
1.8.2 Microcontrolador PIC.....	12
1.8.2.1 Programación.....	13
1.8.3 Oscilador digital programable.....	14
1.8.4 Difusor ultrasónico.....	15

**CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE**

2.1 Fuentes de alimentación.....	16
2.1.1 Fuente de alimentación de baja potencia.....	17
2.1.1.1 Circuito de alimentación de energía.....	17
2.1.1.2 Circuito de Regulación de voltaje.....	17
2.1.2 Fuente de alimentación de potencia.....	19
2.1.2.1 Circuito de alimentación de energía.....	19
2.1.2.2 Circuito de regulación de voltaje.....	21
2.2 Circuito de microcontroladores.....	24
2.2.1 Microcontrolador primario.....	24
2.2.1.1 Teclado.....	26
2.2.1.2 Pantalla LCD.....	26
2.2.1.3 Circuito de control por relés.....	27
2.2.1.4 Circuito de medición de potencia para PIC.....	28
2.2.1.5 Circuito amplificador de potencia.....	29
2.2.2 Microcontrolador esclavo.....	32
2.2.2.1 Oscilador electrónico programable.....	34

**CAPÍTULO 3: DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE FIRMWARE**

3.1 Programación en MikroBasic.....	35
3.1.1 Introducción a MikroBasic.....	35
3.1.2 Estructura de programa en MikroBasic.....	36
3.1.3 Compilador MikroBasic.....	39
3.2 Desarrollo del programa.....	42
3.2.1 Diagrama de flujo.....	42
3.2.1.1 Diagrama de flujo para microcontrolador 18F452.....	45
3.2.1.2 Diagrama de flujo para microcontrolador 16F886.....	47
3.2.2 Descripción del código para el microcontrolador 18F452.....	48
3.2.2.1 Declaración de variables.....	48
3.2.2.2 Inicialización de puertos y periféricos.....	49
3.2.2.3 Configuración de la pantalla LCD.....	50

3.2.2.4 Funciones y procedimientos.....	50
3.2.2.4.1 Como crear un carácter para LCD.....	51
3.2.2.5 Adquisición de los canales analógicos (ADC).....	52
3.2.3 Descripción del código para el microcontrolador 16F886.....	53
3.2.3.1 Generación de PWM.....	53
3.2.3.2 Comunicación I2C para LTC6904.....	54
3.2.3.2.1 Cálculo de datos para el oscilador.....	55
3.2.3.2.1.1 Cálculo del octal.....	56
3.2.3.2.1.2 Cálculo del convertor digital analógico (DAC).....	57
3.2.3.2.1.3 Formación de datos para 3.3 MHz...	57
3.2.3.3 Generación en modo continuo y modo pulsado.....	59
3.2.4 Código fuente para microcontrolador 18F452.....	60
3.2.5 Código fuente para microcontrolador 16F886.....	75

#### **CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

4.1 Procedimiento constructivo de placas.....	82
4.1.1 Diseño y construcción del PCB.....	82
4.1.1.1 Vías y pad para el PCB del circuito de control.....	83
4.1.1.1.1 PCB del circuito de control.....	85
4.1.1.2 Vías y pad para el PCB del circuito de potencia.....	87
4.1.1.2.1 PCB del circuito de potencia.....	89
4.1.1.3 PCB para el oscilador digital.....	91
4.2 Construcción del equipo de ultrasonido.....	92
4.2.1 Diseño del panel frontal del equipo.....	94
4.2.2 Acabado del equipo de ultrasonido.....	94
4.3 Resultados del equipo.....	95
4.4 Análisis técnico-económico.....	98
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Rango de voltajes para 1 MHz y 3.3 MHz.....	20
Tabla 3.1: Octal para la frecuencia de 3.3 MHz.....	51
Tabla 3.2: Valor del DAC para 3.3 MHz.....	52
Tabla 3.3: Modelo para primer dato.....	52
Tabla 3.4: Modelo para segundo dato.....	53
Tabla 3.5: Dato 1 para 3.3 MHz.....	53
Tabla 3.6: Dato 2 para 3.3 MHz.....	53
Tabla 3.7: Tiempos para el duty cycle.....	54
Tabla 4.1: Componentes para placa de control.....	80
Tabla 4.2: Componentes para placa de potencia.....	84
Tabla 4.3: Costo de materiales placa de control.....	92
Tabla 4.4: Costo de materiales placa de potencia.....	93
Tabla 4.5: Costo de materiales varios.....	94
Tabla 4.6: Costo final del equipo.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ejemplar de un equipo de ultrasonido RU-8206.....	2
Figura 1.2: Estructura cristalina de un material piezoeléctrico tradicional.....	5
Figura 1.3: Generación de una onda ultrasónica.....	6
Figura 1.4: Ejemplo de ondas de distintas frecuencias.....	6
Figura 1.5: a) Comparación de amplitudes de onda. b) Ejemplo de amplitud de onda (A) y su período (T).....	8
Figura 1.6: $I = P / A$ .....	9
Figura 1.7: Método pasivo de rehabilitación por ultrasonido.....	10
Figura 1.8: Uso de un equipo ultrasónico en estética.....	11
Figura 1.9: Inyección de una solución fisiológica estéril a nivel subcutáneo.....	12
Figura 1.10: Fuente de alimentación para PC formato ATX.....	12
Figura 1.11: PIC 18F452 de Microchip Technology Inc.....	14
Figura 1.12: Programador Pickit 2 de Microchip Technology Inc.....	14
Figura 1.13: Oscilador Digital LTC6904 de Linear Technology.....	15
Figura 1.14: Difusores ultrasónicos para fisioterapia.....	16
Figura 2.1: Etapas del sistema.....	17
Figura 2.2: Diagrama fuente de alimentación de baja potencia.....	18
Figura 2.3: Etapa de rectificación y estabilización de voltaje.....	18
Figura 2.4: Etapa de regulación de voltaje a 5 V y 12 V.....	19
Figura 2.5: Diagrama fuente de alimentación de potencia.....	19
Figura 2.6: Diagrama partidor de tensión para 1 MHz y 3.3 MHz.....	21
Figura 2.7: Diagrama variador de resistencia.....	21
Figura 2.8: Diagrama PIC 18F452.....	23
Figura 2.9: Diagrama teclado.....	24
Figura 2.10: Pantalla LCD.....	24
Figura 2.11: Diagrama control por relés.....	25
Figura 2.12: Diagrama limitador de voltaje para control de potencia.....	26
Figura 2.13: Diagrama amplificador de potencia.....	27
Figura 2.14: Amplificador no inversor.....	28
Figura 2.15: Diagrama PIC 16F886.....	29
Figura 2.16: Diagrama oscilador programable LTC6904.....	29
Figura 3.1: Programa MikroBasic.....	32

Figura 3.2: Encabezado del programa.....	33
Figura 3.3: Directiva del programa.....	33
Figura 3.4: Declaración de variables y subrutinas.....	33
Figura 3.5: Programa principal.....	34
Figura 3.6: Directiva End.....	34
Figura 3.7: Crear un nuevo proyecto.....	35
Figura 3.8: Configuración del microcontrolador.....	35
Figura 3.9: Compilador del proyecto.....	36
Figura 3.10: Mensajes del compilador.....	36
Figura 3.11: Simulador del programa.....	36
Figura 3.12: Simbología Inicio/Fin.....	37
Figura 3.13: Simbología de proceso.....	38
Figura 3.14: Simbología de entrada y salida.....	38
Figura 3.15: Simbología decisión.....	38
Figura 3.16: Simbología Conector.....	39
Figura 3.17: Simbología de flechas.....	39
Figura 3.18: Simbología de información.....	39
Figura 3.19: Diagrama de flujo para PIC 18F452.....	40
Figura 3.20: Diagrama de flujo para microcontrolador 16F886.....	42
Figura 3.21: Declaración de variables.....	43
Figura 3.22: Tipos de Variables.....	44
Figura 3.23: Configuración de puertos y registros.....	44
Figura 3.24: Configuración de la pantalla LCD.....	45
Figura 3.25: Subrutina de caracteres.....	45
Figura 3.26: Creación de caracteres.....	46
Figura 3.27: LCD custom character.....	46
Figura 3.28: Código para la subrutina.....	47
Figura 3.29: Adquisición de la Potencia.....	48
Figura 3.30: Generación de PWM.....	49
Figura 3.31: Comunicación I2C para LTC.....	50
Figura 3.32: Forma de onda de entrada LTC6904.....	50
Figura 3.33: Valores de frecuencia para el Octal.....	51
Figura 3.34: Configuración de Salida.....	53
Figura 3.35: Ilustración de duty cycle.....	54

Figura 4.1: Ancho de la pista circuito de control.....	78
Figura 4.2: Medidas del PAD.....	79
Figura 4.3: PCB del circuito de control.....	79
Figura 4.4: Montaje de elementos circuito de control.....	80
Figura 4.5: Implementación de la placa de control.....	82
Figura 4.6: Ancho de la pista circuito de potencia.....	83
Figura 4.7: PCB del circuito de potencia.....	83
Figura 4.8: Montaje de elementos circuito de potencia.....	84
Figura 4.9: Implementación de la placa de potencia.....	85
Figura 4.10: Oscilador digital con pines superficiales.....	86
Figura 4.11: PCB del oscilador digital.....	86
Figura 4.12: Implementación de los circuitos.....	87
Figura 4.13: Implementación del equipo parte posterior.....	87
Figura 4.14: Diseño del panel frontal del equipo.....	88
Figura 4.15: Acabado del panel frontal.....	88
Figura 4.16: Acabado del equipo de ultrasonido.....	89
Figura 4.17: Calibración de potencia.....	89
Figura 4.18: Generación de 1 MHz.....	90
Figura 4.19: Generación de 3.3 MHz.....	90
Figura 4.20: Amplificación de onda.....	91
Figura 4.21: Amplificación de onda a 1 MHz.....	91
Figura 4.22: Amplificación de onda a 3.3 MHz.....	92

Cabrera Pauta Diego Luis  
Calle Crespo Gustavo Fabián  
Trabajo de graduación  
Ing. Freddy Pesántez Díaz  
Junio 2013

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE ULTRASONIDO PARA FISIOTERAPIA**

### **INTRODUCCION**

En la época actual, los estragos de un alto rendimiento deportivo, enfermedades músculo esqueléticas desarrolladas a toda edad, o simplemente el interés de un óptimo cuidado corporal, han hecho que la fisioterapia obtenga el papel principal en cuanto a la recuperación y el tratamiento de estos padecimientos, siendo dichos problemas solo una pequeña hebra del tapiz en la que trabaja la también conocida terapia física. Es aquí donde la electroterapia, específicamente el equipo de ultrasonido, de la mano de un fisioterapeuta capacitado, desempeña un rol significativo al brindar todas estas cualidades y ayudar así a la recuperación del paciente.

Al ser un equipo importado y difícil de obtener su precio es alto, por tanto, al crear este equipo nacionalmente el precio disminuirá considerablemente y el beneficio será bilateral, ya que tanto el médico como el paciente podrán percibir una disminución en su inversión.

Para el desarrollo de la tesis se empleará el método experimental, ya que se necesita hacer una serie de pruebas durante todo el proceso de construcción y acoplamiento para conseguir un óptimo funcionamiento del sistema. También se usará el tipo de investigación bibliográfica y documental, la cual consiste en la recopilación de información obtenida en libros, revistas y documentos afines.

## CAPITULO 1

### CONCEPTOS TEÓRICOS RELACIONADOS CON EL EQUIPO DE ULTRASONIDO PARA FISIOTERAPIA

#### 1.1 Generalidades

Un equipo de ultrasonido es un dispositivo que utiliza vibraciones mecánicas, a través de ondas de alta frecuencia, para el tratamiento de una inmensidad de patologías físicas y problemas estéticos. Es utilizado mayormente en el campo de la fisioterapia y la estética, en donde se emplean estas ondas ultrasónicas para tratar problemas varios como reumatismos, artrosis, cicatrices etc. La técnica se administra en espacios cortos de tiempo, adaptando la frecuencia de acuerdo al tipo de dolencia y a la zona corporal en la que se trate.



Figura 1.1. Ejemplar de un equipo de ultrasonido RU-8206

Fuente: MEDICOMPRAS. Medical Products. <http://www.medicompras.com/images/RU-8206.jpg>.

[Consulta: 15 de abril de 2012].

#### 1.2 Ultrasonido

El ultrasonido es una onda sonora cuya frecuencia supera el límite perceptible por el oído humano promedio, que varía entre 10 KHz a 20 KHz aproximadamente. Mientras que los límites ultrasónicos varían entre los 40 KHz a los 20 MHz.

En la fisioterapia, para la obtención de los ultrasonidos se emplean ondas de alta frecuencia, de entre 0,5 y 3 MHz. Dichas ondas producen una vibración, que es la encargada de transmitir los efectos deseados. Se suelen aplicar por medio de un cabezal y un gel conductor, que favorece la propagación en el área.

### 1.3 Piezoelectricidad

La piezoelectricidad es un fenómeno presentado por determinados cristales que al ser sometidos a tensiones mecánicas alcanzan una polarización eléctrica en su masa, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie. Este fenómeno también se manifiesta a la inversa, esto es, se deforman bajo la acción de fuerzas internas al ser sometidos a un campo eléctrico.<sup>1</sup>

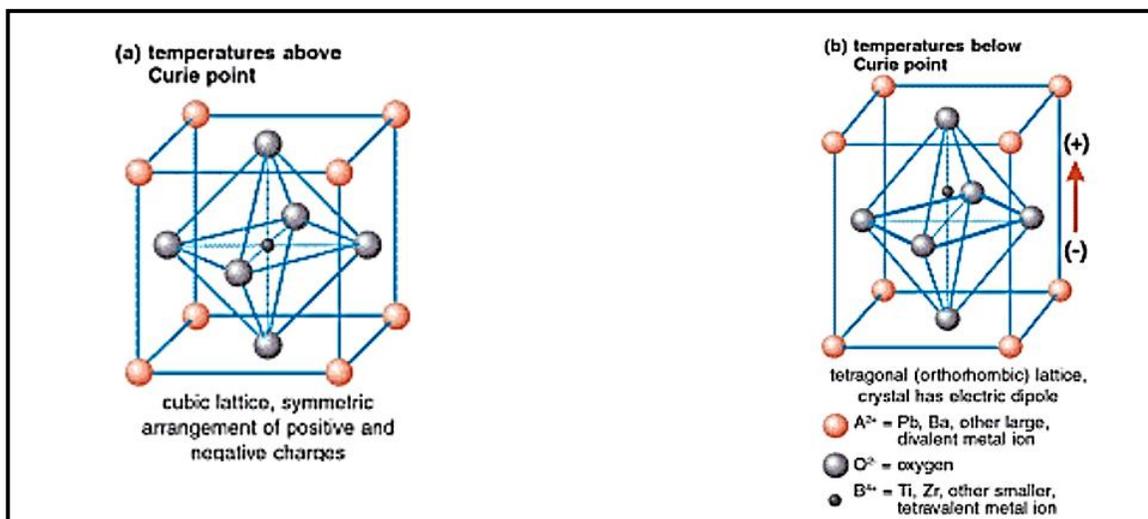


Figura 1.2. Estructura cristalina de un material piezoeléctrico tradicional

Fuente: AMERICAN PIEZO. Piezo Industry. <http://www.americanpiezo.com>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

Pueden distinguirse dos grupos de materiales: los que poseen carácter piezoeléctrico de forma natural (cuarzo, turmalina) y los llamados ferroeléctricos, que presentan propiedades piezoeléctricas tras ser sometidos a una polarización (tantalio de

<sup>1</sup> ECURED, Piezoelectricidad, <http://www.ecured.cu/index.php/Piezoelectricidad>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

litio, nitrato de litio, bernilita en forma de materiales monocristalinos y cerámicas o polímeros polares bajo forma de microcristales orientados).<sup>2</sup>

#### 1.4 Transductor piezoeléctrico

Los transductores piezoeléctricos son aquellos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica vibratoria, al estar basados en el fenómeno de la piezoelectricidad su efecto es normalmente reversible, al retirar los cristales de un voltaje exterior o campo eléctrico, estos recuperan su forma.

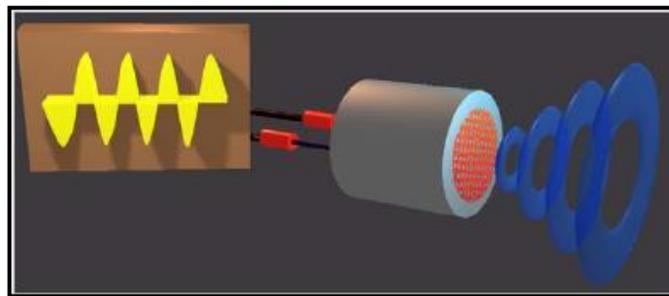


Figura 1.3. Generación de una onda ultrasónica

Fuente: SENSORES. Sensor Ultrasónico. <http://sensorultrasonico.blogspot.com>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

Los materiales piezoeléctricos son cristales naturales o sintéticos que no poseen centro de simetría. El efecto de una compresión o de un cizallamiento consiste en disociar los centros de gravedad de las cargas positivas y de las cargas negativas. Aparecen de esta manera dipolos elementales en la masa y, por influencia, cargas de signo opuesto en las superficies enfrentadas.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> ECURED, Piezoelectricidad, <http://www.ecured.cu/index.php/Piezoelectricidad>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

<sup>3</sup> ECURED, Loc. Cit.

## 1.5 Características físicas de una onda

### 1.5.1 Frecuencia

Frecuencia es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.<sup>4</sup> Para calcular la frecuencia de un suceso, se cuenta el número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

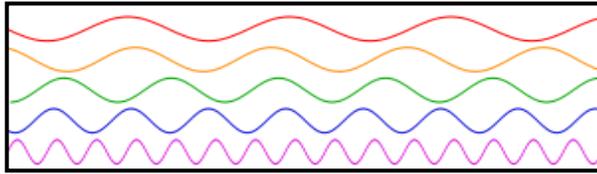


Figura 1.4. Ejemplo de ondas de distintas frecuencias

Fuente: FISICA. Frecuencia. <http://mifob.blogspot.com/2010/09/frecuencia.html>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

Según el Sistema Internacional, la frecuencia se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hercio es la frecuencia de un suceso o fenómeno repetido una vez por segundo. Esta unidad se llamó originalmente “ciclo por segundo” (cps) y aún se sigue utilizando.

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}} \quad (\text{ec. 1.1})$$

Otra forma de calcular la frecuencia es medir el tiempo entre dos repeticiones (periodo) y luego calcular la frecuencia (f) recíproca de esta manera:

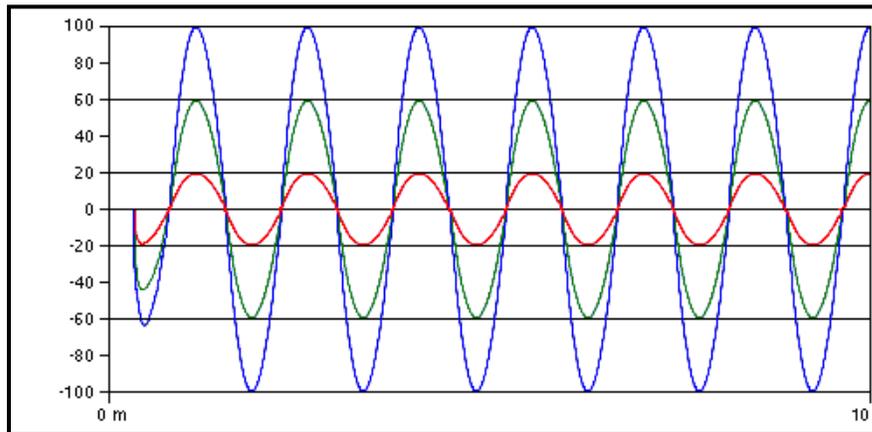
$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{ec. 1.2})$$

Donde T es el periodo de la señal.

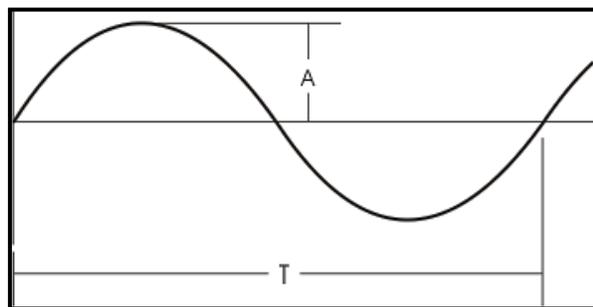
<sup>4</sup> ECURED, Frecuencia, <http://www.ecured.cu/index.php/Frecuencia>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

### 1.5.2 Amplitud

Se define como amplitud de una onda de sonido ( $A$ ) al grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, lo que está relacionado con el enrarecimiento y compresión propios de dicha onda. La amplitud de onda sonora es directamente proporcional a la fuerza del sonido que se percibe, es decir, que cuanto mayor sea la amplitud, las moléculas golpean el tímpano de forma más intensa y por tanto el sonido recibido es más fuerte.



a) Amplitudes de onda



b) Amplitud Vs. Longitud de onda

Figura 1.5. a) Comparación de amplitudes de onda. b) Ejemplo de amplitud de onda ( $A$ ) y su periodo ( $T$ ).  
Fuente: ALIPSO. Características de onda. <http://www.alipso.com/monografias/ondasso>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

Para expresar la amplitud de una onda sonora se utilizan unidades absolutas, que se logran midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, o la diferencia de presiones entre la compresión y el enrarecimiento, o la energía que la onda lleva. La intensidad de los sonidos suele expresarse comparándolos con un sonido patrón, por este motivo aparecen los decibelios.

### 1.5.3 Intensidad

La intensidad de sonido se define como la potencia acústica transferida por una onda sonora por unidad de área normal a la dirección de propagación.<sup>5</sup>

$$I = \frac{A}{N} \quad (\text{ec. 1.3})$$

Donde  $I$  es la intensidad de sonido,  $A$  es la potencia acústica y  $N$  es el área normal a la dirección de propagación.

Si se tratase el caso de una onda esférica que se transmite desde una fuente puntual en el espacio libre (sin obstáculos), cada frente de onda es una esfera de radio  $r$ . Aquí, la intensidad acústica es inversamente proporcional al área del frente de onda ( $A$ ), que a su vez es directamente proporcional al círculo de la distancia a la fuente sonora.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (\text{ec. 1.4})$$

Donde la unidad utilizada por el Sistema Internacional de Unidades es el vatio por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

---

<sup>5</sup> ECURED, Intensidad de Sonido, <http://www.ecured.cu/index.php/Sonido>. [Consulta: 15 de abril de 2012].

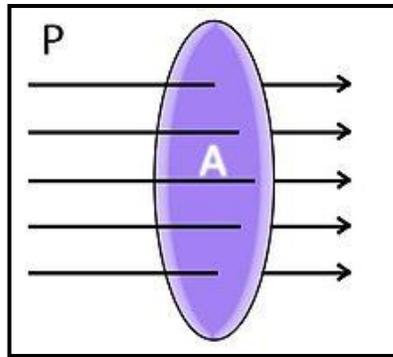


Figura 1.6.  $I = P / A$

Fuente: WIKIPEDIA. Intensidad de Sonido. [http://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad\\_de\\_sonido](http://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad_de_sonido). [Consulta: 15 de abril de 2012].

## 1.6 Fisioterapia

La fisioterapia o terapia física, también conocida como rehabilitación funcional, es un programa creado y diseñado para ayudar al paciente a mejorar o mantener sus capacidades funcionales. La terapia física incluye el desarrollo de la fuerza, flexibilidad y resistencia, así como el aprendizaje de la biomecánica apropiada (por ejemplo, la postura) para lograr la estabilidad de la columna y prevenir futuras lesiones.<sup>6</sup>



Figura 1.7. Método pasivo de rehabilitación por ultrasonido

Fuente: PHYSIOWEB. Physical Therapy. <http://automailer.com/tws/ultrasound.html>. [Consulta: 20 de abril de 2012].

---

<sup>6</sup>SCOLIOSIS SPINE ASSOCIATES, TerapiaFísica, <http://www.scoliosisassociates.com/subject.php?pn=terapia-fisica-038>. [Consulta: 20 de abril de 2012].

Estos tratamientos habitualmente incluyen tratamientos tanto pasivos como activos. Los tratamientos pasivos incluyen la manipulación ortopédica, la estimulación eléctrica, la liberación miofascial, el ultrasonido y la aplicación de calor/hielo. El tratamiento activo incluye ejercicios terapéuticos, tales como los ejercicios en el suelo, ejercicios con equipos especiales y terapia acuática o hidroterapia.<sup>7</sup>

### 1.7 Ultrasonido estético

Los ultrasonidos para medicina estética son de 3.3 MHz por aplicar solo a nivel del tejido conjuntivo y adiposo sin tocar otros tejidos, produciendo cambios térmicos, mecánicos y químicos generando efectos lipolíticos. Los equipos de uso cosmetológico son de bajas potencias, pero para uso médico deben utilizarse potencias altas.<sup>8</sup>



Figura 1.8. Uso de un equipo ultrasónico en estética

Fuente: MEDICINA ESTETICA. Ultrasonido. <http://www.medicina-estetica.com.ar/ultrasonido/index.shtml>.

[Consulta: 22 de abril de 2012].

Dentro de las acciones terapéuticas del Ultrasonido están:

- Mesoterapia y ultrasonido: Se utiliza energía ultrasónica para incrementar el efecto de la mesoterapia.
- Ultrasonido solo: Se lo aplica con gel lipolítico, obteniéndose excelentes resultados en piel de naranja y en pequeñas adiposidades localizadas.

---

<sup>7</sup>SCOLIOSIS SPINE ASSOCIATES, Loc. Cit.

<sup>8</sup>MEDICINA ESTÉTICA, Ultrasonido Estético, <http://www.medicina-estetica.com.ar/ultrasonido/index.shtml>. [Consulta: 22 de abril de 2012].

- Hidrolipoclasia ultrasónica: Se utiliza energía ultrasónica luego de la infiltración de medios líquidos. Por ser un punto clave en la estética, se lo tratará en un punto aparte.
- Lipoescultura ultrasónica externa: Se emplea energía ultrasónica luego de infiltrar la solución de Klein. Al debilitar el adipocito, se facilita el proceso de la lipoaspiración.

### 1.7.1 Hidrolipoclasia ultrasónica

La Hidrolipoclasia ultrasónica es un método de aplicación no invasivo reconocido por su simpleza y por sus excelentes resultados en reducción de adiposidades localizadas y celulitis, consiste en infiltrar solución fisiológica o agua destilada con o sin componentes lipolíticos y lidocaína a una profundidad de 1 cm de la piel, para luego aplicar ultrasonidos de alta potencia, permitiendo disolver la grasa desechándola a través de la orina.<sup>9</sup>

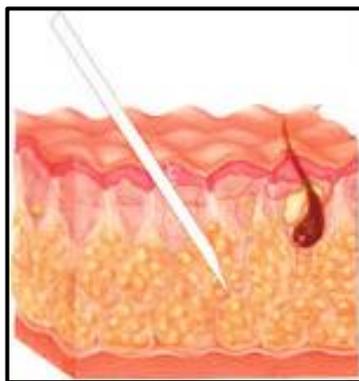


Figura 1.9. Inyección de una solución fisiológica estéril a nivel subcutáneo

Fuente: CIME. Hidrolipoclasia Ultrasónica. <http://www.esteticabernardis.com.ar/hidrolipoclasia.html>.

[Consulta: 22 de abril de 2012].

El tratamiento se realiza con la inyección de un volumen variable de líquido a nivel subcutáneo en el seno de la grasa. Esto produce un hinchamiento de los adipocitos por osmosis, situación que debilita la membrana celular, y por el principio físico que postula

---

<sup>9</sup>MEDICINA ESTÉTICA, Ultrasonido Estético, <http://www.medicina-estetica.com.ar/ultrasonido/index.shtml>. [Consulta: 22 de abril de 2012].

que las ondas ultrasónicas se transfieren con mayor facilidad en medios líquidos, el impacto de la energía ultrasónica ocasiona un estallido de la célula grasa produciendo lipólisis. Esta acción solo es posible con un equipo de alta potencia con onda de choque, teniendo en cuenta que en un modo de frecuencia de choque de 10Hz en ultrasonido funcionará sobre la celulitis y a 50 Hz de choque funcionará sobre el tejido graso, fragmentando la membrana del adipocito liberando el glicerol, obteniendo grandiosos resultados en pocas sesiones.<sup>10</sup>

## 1.8 Información sobre componentes fundamentales del equipo

### 1.8.1 Fuente de alimentación

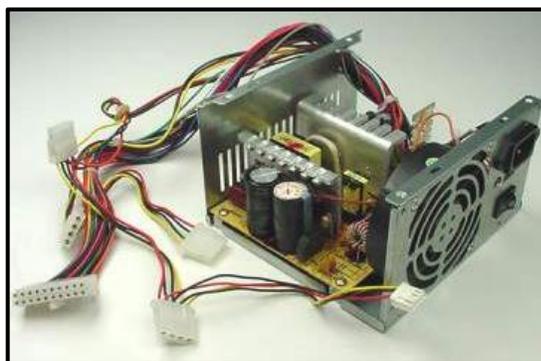


Figura 1.10. Fuente de alimentación para PC formato ATX

Fuente: POWER-SUPPLY. ATX Format. <http://static.ddmcdn.com/gif/power-supply5.jpg>. [Consulta: 27 de abril de 2012].

Una fuente de alimentación es un dispositivo que convierte la tensión alterna en una o varias tensiones continuas, las cuales alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se enchufa ya sea este un ordenador, televisor, router, impresora, etc.

---

<sup>10</sup>MEDICINA ESTÉTICA, Ultrasonido Estético, <http://www.medicina-estetica.com.ar/ultrasonido/index.shtml>. [Consulta: 22 de abril de 2012].

### 1.8.1.1 Fuentes de alimentación lineales

Las fuentes lineales siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. En primer lugar el transformador ajusta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico. El circuito que convierte la corriente alterna en continua se denomina rectificador, después suelen llevar un circuito que reduce el rizado como un filtro de condensador. La regulación, o estabilización de la tensión a un valor establecido, se consigue con un componente llamado regulador de tensión.<sup>11</sup>

Las ventajas de las fuentes lineales son una mejor regulación, velocidad y mejores características *EMC* (Compatibilidad Electromagnética por sus siglas en inglés).

### 1.8.2 Microcontrolador PIC

Los PIC son una rama de microcontroladores fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por General Instrument. El nombre actual no es un acrónimo, su nombre completo es PICmicro, aunque por lo general se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférico).<sup>12</sup>

El PIC usa instrucciones tipo RISC, cuyo número puede ir desde 35 hasta 70, dependiendo si los PIC's son de gama baja o de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada *sleep*.<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> ECURED, Fuente de Alimentación, [http://www.ecured.cu/index.php/Discusión:Fuentes\\_de\\_Alimentación](http://www.ecured.cu/index.php/Discusión:Fuentes_de_Alimentación). [Consulta: 27 de abril de 2012].

<sup>12</sup> ECURED, Microcontrolador PIC, [http://www.ecured.cu/index.php/Microcontroladores\\_PIC](http://www.ecured.cu/index.php/Microcontroladores_PIC). [Consulta: 30 de abril de 2012].

<sup>13</sup> ECURED, Microcontrolador PIC, Loc. Cit.

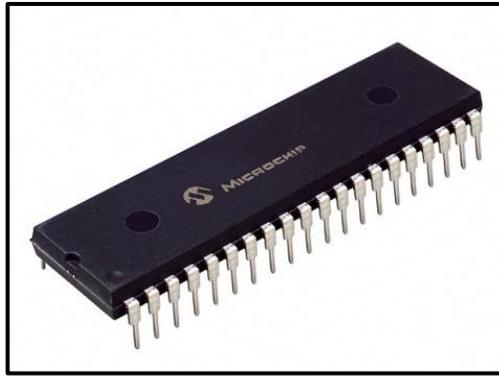


Figura 1.11. PIC 18F452 de Microchip Technology Inc.

Fuente: SIGMA PARTS. Microchip. <http://sigma.octopart.com/8893986/image/Microchip-PIC18F452-I/P.jpg>. [Consulta: 30 de abril de 2012].

A diferencia de CPU's en general, aquí no hay distinción entre los espacios de memoria y los de registros, ya que la RAM realiza ambas funciones, y esta es normalmente referida como "archivo de registros".

### 1.8.2.1 Programación



Figura 1.12. Programador PicKit 2 de Microchip Technology Inc.

Fuente: PEEK ELECTRONICS. PicKit 2. [http://www.peekelectronics.co.uk/pic\\_projects.html](http://www.peekelectronics.co.uk/pic_projects.html). [Consulta: 30 de abril de 2012].

Para trasladar el código de una computadora al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PIC's que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (*In Circuit Serial Programming*, programación serie incorporada) o LVP (programación a bajo voltaje por sus siglas en inglés), lo que permite programar el

PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 (En ciertos modelos pueden usarse otros pines como el GP0 y GP1 o el RA0 y RA1) como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación utilizando un voltaje de 13 voltios. Existen muchos programadores de PIC's, desde los más simples que dejan al software los detalles de comunicaciones, a los más complejos, en donde pueden contener ellos mismos PIC's pre programados como interfaz para enviar las órdenes al PIC que se desea programar. Uno de los programadores más simples es el TE20, que utiliza la línea TX del puerto RS232 como alimentación y las líneas DTR y CTS para mandar o recoger datos cuando el microcontrolador está en modo programación.<sup>14</sup>

### 1.8.3 Oscilador Digital Programable



Figura 1.13. Oscilador Digital LTC6904 de Linear Technology

Fuente: URESEARCH. LTC6904. [http://ep.yimg.com/ca/l/yhst-27389313707334\\_2252\\_72479645](http://ep.yimg.com/ca/l/yhst-27389313707334_2252_72479645).

[Consulta: 30 de abril de 2012].

Un oscilador digital programable es un integrado capaz de generar oscilaciones periódicas digitales en un amplio rango de frecuencias, éstas pueden ir desde 1KHz hasta el borde de los 100 MHz, dando como resultado en casi la totalidad de su banda de trabajo señales altamente definidas, y a diferencia de señales provenientes de un PIC, son mucho más exactas en cuanto a la frecuencia deseada. Estos integrados se comunican de manera serial con el PIC para así establecer su frecuencia de oscilación,

---

<sup>14</sup> ECURED, Microcontrolador PIC, [http://www.ecured.cu/index.php/Microcontroladores\\_PIC](http://www.ecured.cu/index.php/Microcontroladores_PIC). [Consulta: 30 de abril de 2012].

teniendo como estándar la comunicación SPI e I2C, además disponen de una memoria RAM para almacenar dicho dato una vez finalizada la comunicación.

#### 1.8.4 Difusor Ultrasónico



Figura 1.14. Difusores ultrasónicos para fisioterapia

Fuente. PHYSIO SUPPLIER. Intellect Ultrasound. <http://www.physiosupplier.com/Intellect-Ultrasound-Applicators.html>. [Consulta: 30 de abril de 2012].

Los equipos de ultrasonido para fisioterapia están equipados con un difusor ultrasónico, el mismo que está formado por un transductor piezoeléctrico, unido con un cable al resto del aparato. La punta del difusor es la encargada de entrar en contacto con el gel conductor. Se puede hacer un uso continuo del terminal, con la consecuente producción de calor, o por medio de cortas pulsaciones, carentes de efectos térmicos.

## CAPITULO 2

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

En este apartado se llevará a cabo el diseño y construcción del hardware del equipo de ultrasonido para estética y fisioterapia, y de manera breve se describirán todos los elementos y partes del mismo. En la figura 2.1 se pueden ver las etapas del sistema:

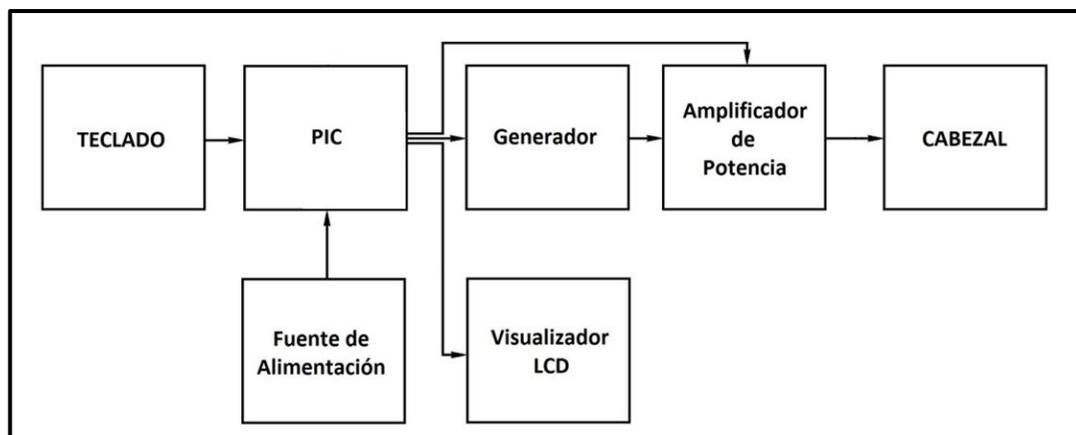


Figura 2.1. Etapas del sistema

#### 2.1 Fuentes de alimentación

En equipos de electromedicina el diseño de la fuente de alimentación es sumamente importante para el desempeño del equipo y el estricto cumplimiento de sus características, por tanto, en éste caso se ha visto necesario diseñar dos fuentes de alimentación para el suministro de energía de los diferentes circuitos.

### 2.1.1 Fuente de alimentación de baja potencia

La fuente de alimentación de baja potencia será destinada a proveer energía a los circuitos de los microcontroladores y sus periféricos, de manera que éstos no se verán afectados por el ruido parasito proveniente de los circuitos de potencia.

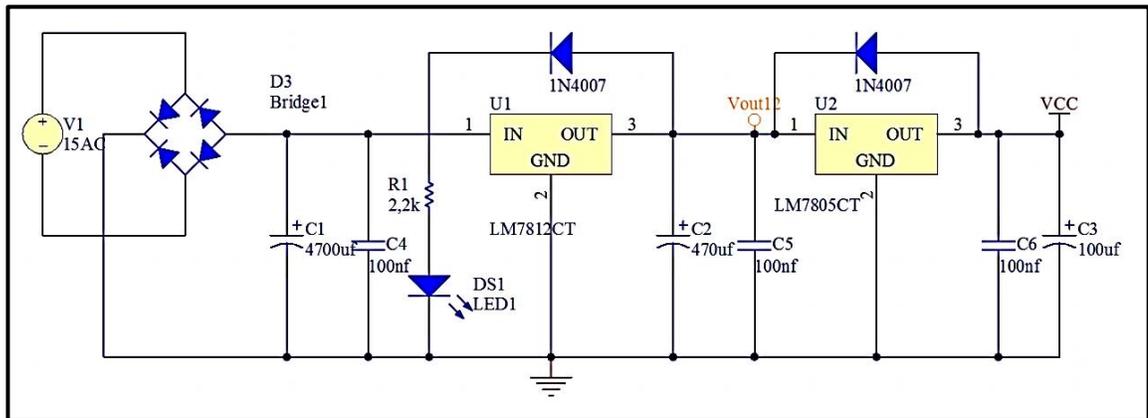


Figura 2.2. Diagrama fuente de alimentación de baja potencia

#### 2.1.1.1 Circuito de alimentación de energía

El elemento designado en la figura 2.2 como V1 corresponde al transformador 120AC / 15 VAC de 1 A, es decir que a la salida del transformador tenemos un voltaje de 15 VAC con una corriente máxima de 1 A, lo cual es suficiente ya que los circuitos destinados a esta fuente trabajan en el orden de los miliamperios.

#### 2.1.1.2 Circuito de regulación de voltaje

Es el circuito encargado de rectificar y estabilizar el voltaje y la corriente proveniente del transformador y cuyo resultado será el que se entregue a la salida del circuito.

Para la rectificación de la corriente alterna se emplea un puente de diodos los cuales la transforman en VDC, para luego estabilizarlo con condensadores.

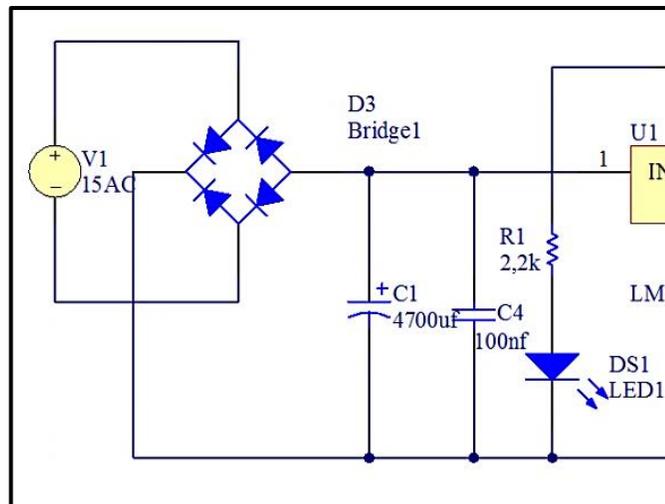


Figura 2.3. Etapa de rectificación y estabilización de voltaje

Debido a que en distintas tareas es necesario el uso de 5 VDC y 12 VDC, la regulación de estos voltajes lo realizan los integrados LM7805 y LM7812 respectivamente, los cuales estabilizan los voltajes en los valores designados con una corriente máxima de consumo de 1 A debido a los límites del transformador utilizado.

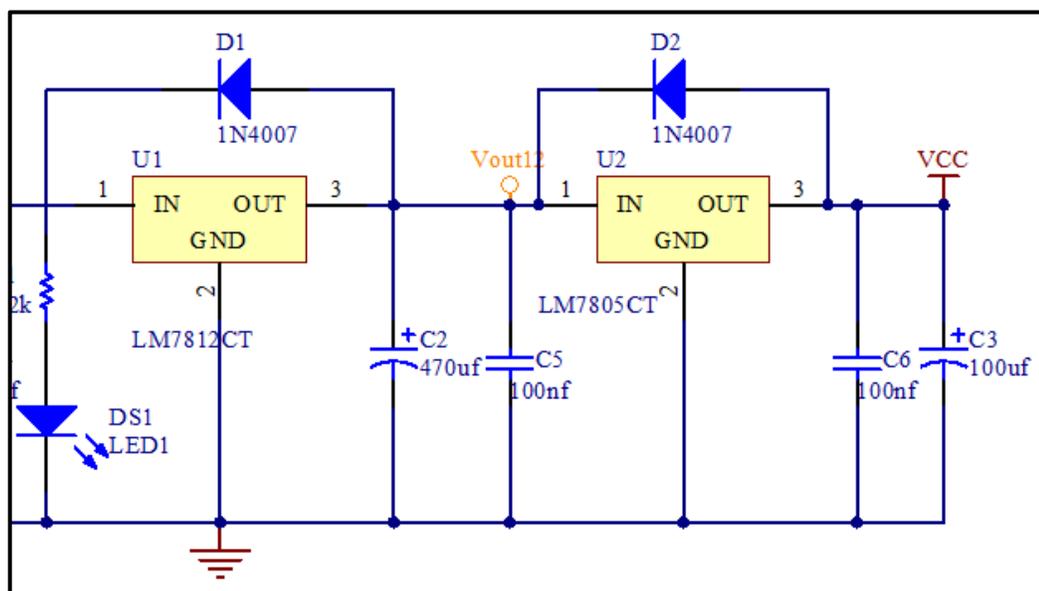


Figura 2.4. Etapa de regulación de voltaje a 5 V y 12 V

## **2.1.2 Fuente de alimentación de potencia**

El circuito de la figura 2.5 ha sido diseñado específicamente para usarlo en el amplificador de potencia ya que su consumo de corriente y el ruido generado puede llegar a ser considerable, de ésta forma se aísla y elimina todos los posibles inconvenientes en el caso de usar una sola fuente de alimentación.

### **2.1.2.1 Circuito de alimentación de energía**

El elemento designado en la figura 2.5 como V1 corresponde al transformador 120AC / 50 VAC de 3 A, es decir que a la salida del transformador tenemos un voltaje de 50 VAC con una corriente máxima de 3 A.

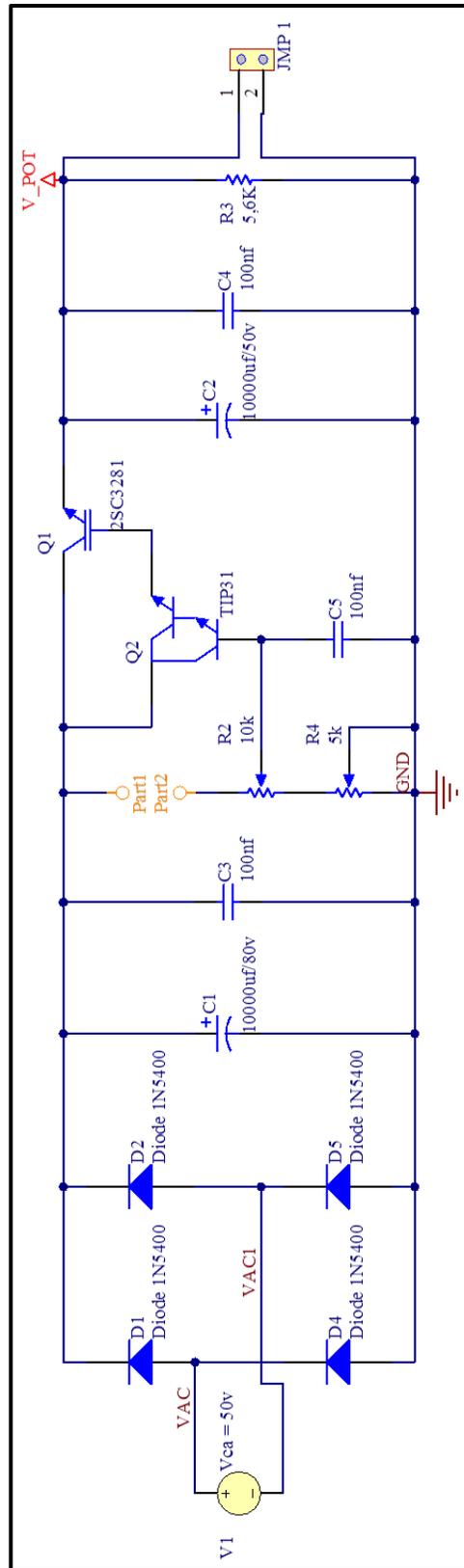


Figura 2.5. Diagrama fuente de alimentación de potencia

### 2.1.2.2 Circuito de regulación de voltaje

En este caso, para la rectificación del VAC debido a la alta tensión obtenida del transformador se emplea un puente de diodos de potencia 1N5399, luego de esto C1 y C3, condensadores de alta capacitancia, filtran el voltaje rectificado para obtener a la salida una corriente continua estable.

Como esta fuente se ha diseñado para controlar la amplificación de potencia, es necesario trabajar con voltaje variable, pero para un cálculo correcto, se necesita conocer las características del transductor (Anexo 1), las cuales nos indican que el cabezal de 5 cm<sup>2</sup> empleado en el equipo tolera una potencia máxima de 10 W. Estos datos son fundamentales ya que dicho transductor es el encargado de convertir las señales amplificadas en ondas ultrasónicas, y si recibe una sobrealimentación puede terminar estropeándose.

Como cualquier otro cristal, cada transductor tiene un desempeño particular dependiendo de su marca y categoría, haciendo necesario la realización de pruebas para poder tener una calibración más eficaz. Estas pruebas demuestran que en éste cabezal en específico existe un mayor consumo de corriente cuando resuena a una frecuencia de 3.3 MHz que cuando trabaja con 1 MHz, por tanto, para poder llegar a una potencia máxima de 10 W en ambos casos, el rango de voltajes debe ser el siguiente:

	1 MHz	3.3 MHz
Rango de Voltajes	0 – 22,5 V	0 - 13 V

Tabla 2.1. Rango de voltajes para 1 MHz y 3.3 MHz

De acuerdo a esta tabla, se realiza un partidor de tensión, donde se varía una de sus resistencias para así entregar los diferentes rangos de voltaje dependiendo de la frecuencia que se vaya a amplificar. Para esto, el lugar del circuito abierto (figura 2.6, part1-part2) es ocupado por una resistencia  $R_x$ , la cual por medio de relés (figura 2.7) puede cambiar su valor para así entregar a la salida del partidor de tensión formado por  $R_x$  y  $R_2$ , los voltajes necesarios para la puesta en marcha de las dos frecuencias sin exceder sus límites de operación.

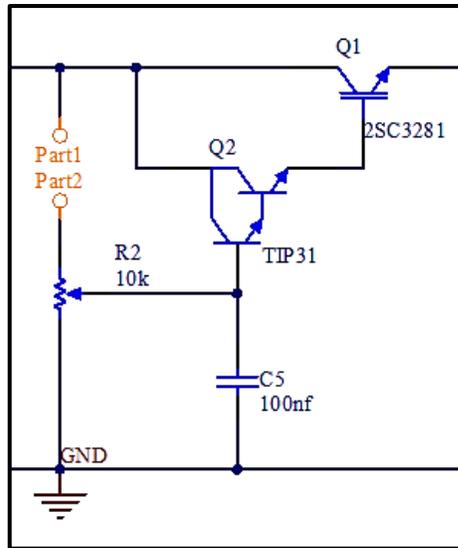


Figura 2.6. Diagrama partidor de tensión para 1 MHz y 3.3 MHz

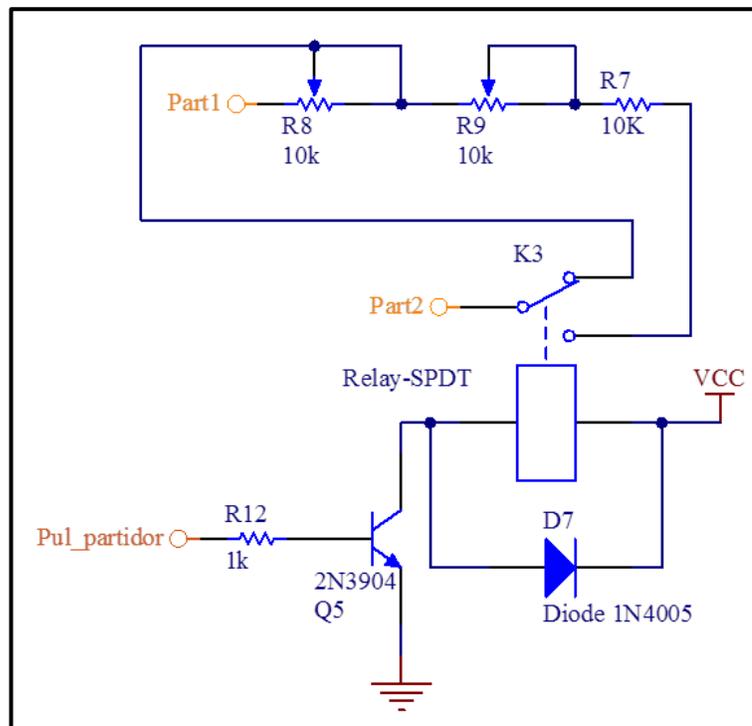


Figura 2.7. Diagrama variador de resistencia

Con  $R_2$  teniendo un valor de  $10\text{ k}\Omega$ , se procede a calcular  $R_x$  para la frecuencia de 1MHz, a la cual llamaremos  $R_{x1}$ :

$$V_{out1} = V_i \cdot \frac{R_2}{R_{x1} + R_2} \quad (\text{ec. 2.1})$$

$$22,5 = 49 \cdot \frac{10}{R_{x1} + 10} \quad (\text{ec. 2.1})$$

$$22,5R_{x1} + 225 = 490 \quad (\text{ec. 2.1})$$

$$\boxed{R_{x1} = 11,7 \text{ k}\Omega} \quad (\text{ec. 2.1})$$

De la misma manera se procede a calcular  $R_{x2}$  para la frecuencia de 3.3 MHz:

$$V_{out2} = V_i \cdot \frac{R_2}{R_{x2} + R_2} \quad (\text{ec. 2.2})$$

$$13 = 49 \cdot \frac{10}{R_{x2} + 10} \quad (\text{ec. 2.2})$$

$$13R_{x2} + 130 = 490 \quad (\text{ec. 2.2})$$

$$\boxed{R_{x2} = 27,69 \text{ k}\Omega} \quad (\text{ec. 2.2})$$

En la figura 2.7 se puede ver que  $R_8$  toma la función de  $R_{x1}$  y al estar  $R_7$  y  $R_9$  en serie, para  $R_{x2}$  se forma la siguiente ecuación:

$$R_{x2} = R_{x1} + R_7 + R_9 \quad (\text{ec. 2.3})$$

Reemplazando se encuentra la resistencia  $R_9$ :

$$27,69 = 11,7 + 10 + R_9 \quad (\text{ec. 2.3})$$

$$\boxed{R_9 = 6,99 \text{ k}\Omega} \quad (\text{ec. 2.3})$$

Pasado el partidor de tensión, el transistor  $Q_2$  elimina el rizado mientras que  $Q_1$  amplifica la corriente.

## **2.2 Circuito de microcontroladores**

Debido a los múltiples periféricos y para cumplir a cabalidad con todas las funciones del equipo es necesario usar dos microcontroladores en la forma primario-esclavo, método en el cual el micro esclavo funciona solamente cuando recibe una orden del principal, para esto se ha designado un PIC 18F452 como primario y un PIC 16F886 como esclavo.

### **2.2.1 Microcontrolador primario**

El PIC 18F452 es el encargado de prácticamente todas las funciones del equipo, con excepción de la generación de frecuencias, tarea encargada para el PIC secundario, es decir, abarca todo lo que es control de tiempos, control de amplificación de potencia, el interfaz equipo-usuario a través de una pantalla LCD y claro está la comunicación con el microcontrolador esclavo.

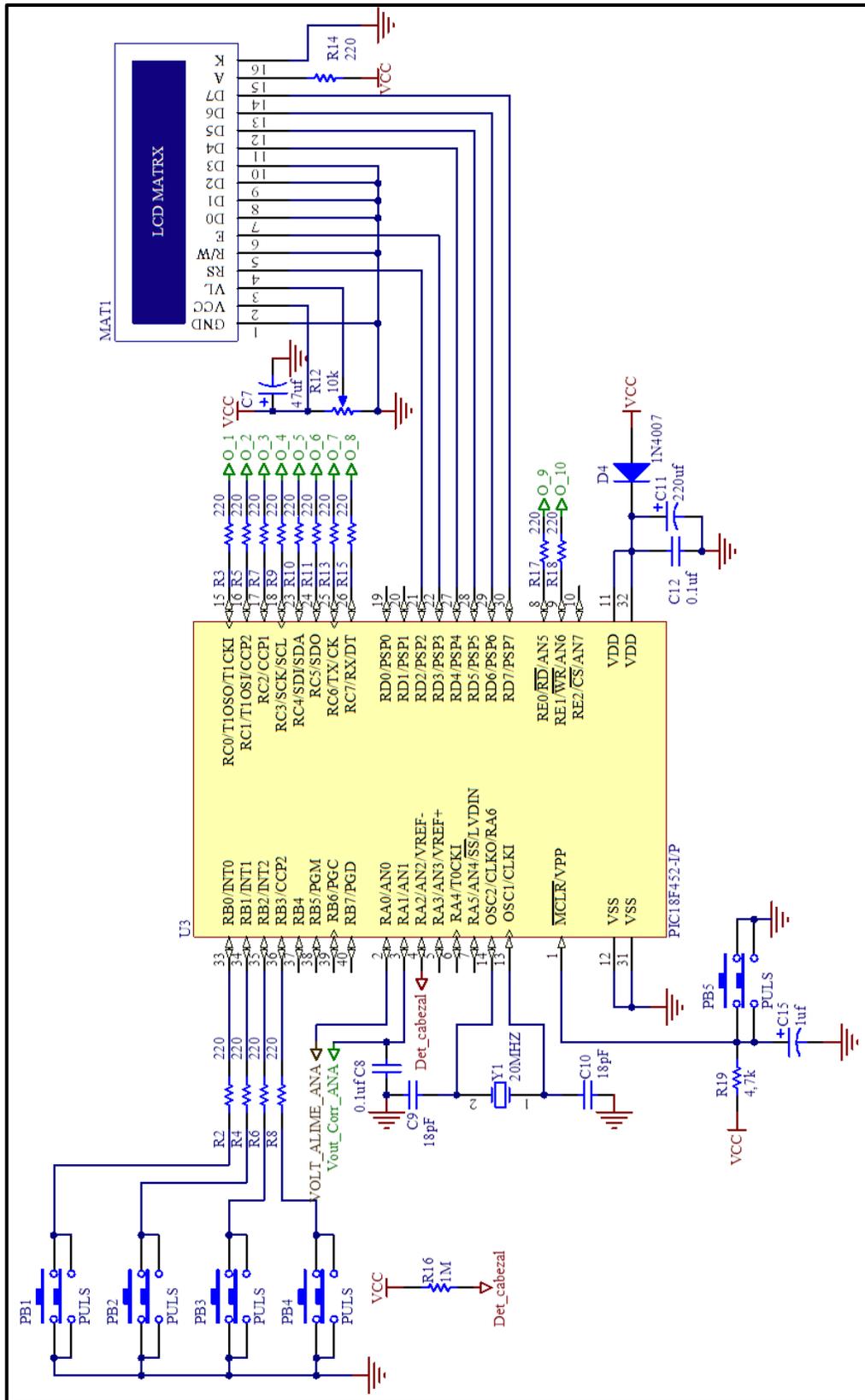


Figura 2.8. Diagrama PIC 18F452

### 2.2.1.1 Teclado

El teclado mediante el cual se puede comunicar el usuario con el equipo no es más que cuatro pulsantes, nombrados en la figura 2.9 como PB1, PB2, PB3, y PB4, los cuales cambian de función según el evento que indique la programación del PIC.

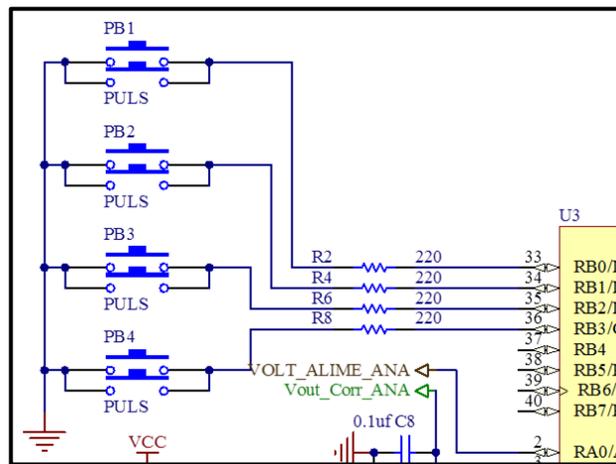


Figura 2.9. Diagrama teclado

### 2.2.1.2 Pantalla LCD

Para ofrecer una visualización más cómoda se instala una pantalla matricial de 20x4, la cual nos permite a su vez detallar la información de los procesos que se están llevando a cabo una vez comenzada la terapia sin limitarse por espacios reducidos.

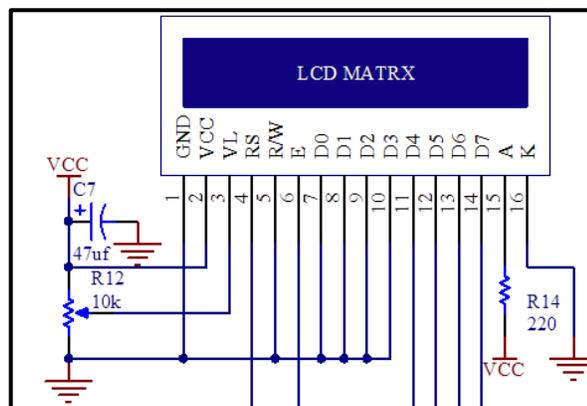


Figura 2.10. Pantalla LCD

### 2.2.1.3 Circuito de control por relés

Los relés juegan una parte importante en el control del equipo ya que una vez dada la orden del microcontrolador primario estos realizan los cambios necesarios en el circuito para que todo se pueda desempeñar de la manera prevista.

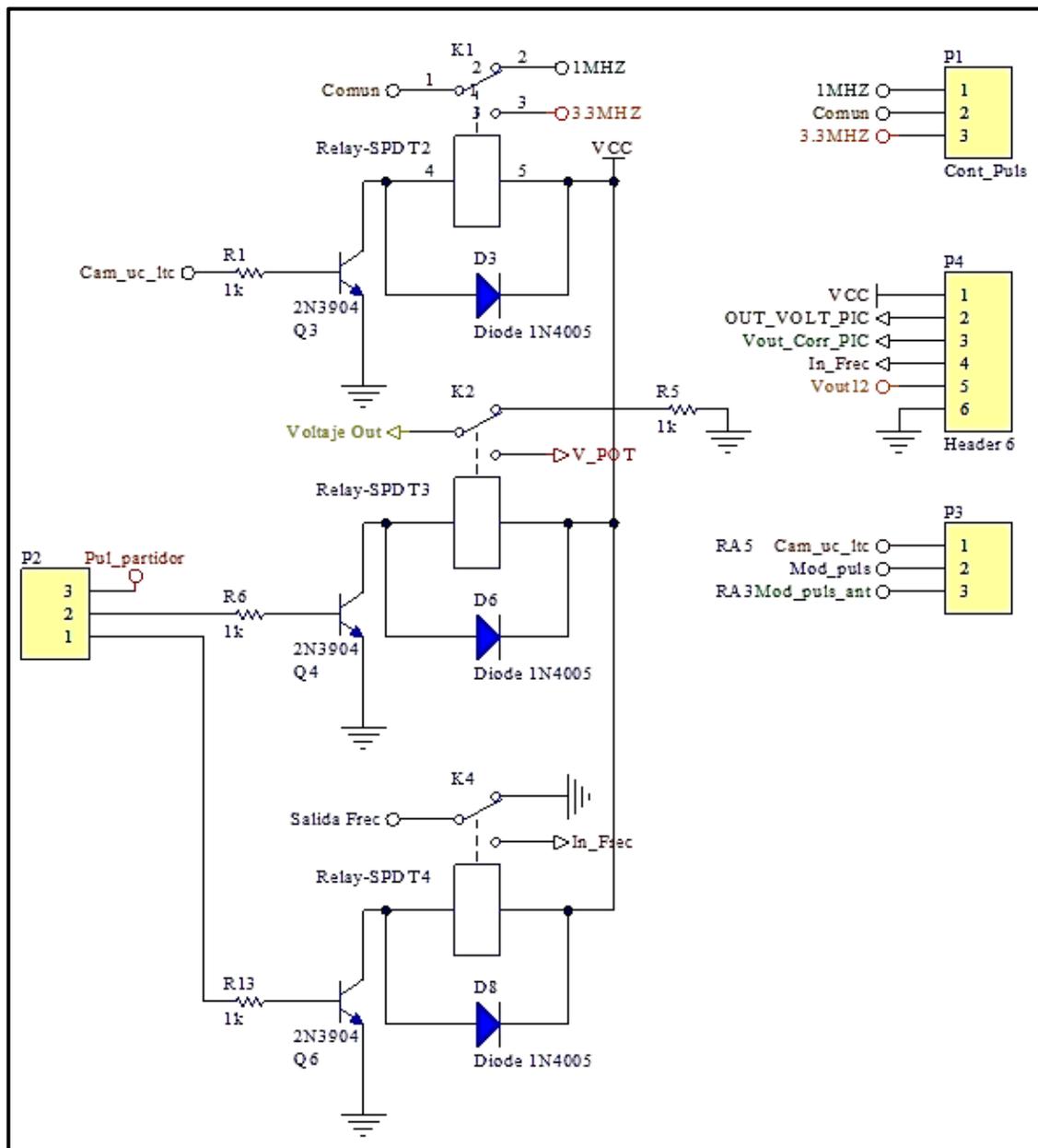


Figura 2.11. Diagrama control por relés

En la figura 2.11 se ve como el relé SPDT<sub>2</sub> alterna según la necesidad los circuitos para las frecuencias de 1MHz o 3.3 MHz, debido a que la primera es generada por PWM directamente desde el microcontrolador esclavo mientras que la de 3.3 MHz es creada mediante un oscilador digital programable, siendo esta la solución a la precisión exigida en frecuencia para que entre en resonancia el transductor.

El relé SPDT<sub>3</sub> realiza la conmutación de la fuente de potencia ya que ésta solamente entra en funcionamiento una vez que todos los pormenores de la terapia estén definidos. El estado normalmente cerrado tiene una resistencia de descarga que elimina el voltaje remanente en la fuente una vez que finaliza el uso del amplificador.

El relé SPDT<sub>4</sub> sirve como medida de seguridad, en su estado normalmente cerrado mantiene un cero lógico necesario para que se conserve apagado el amplificador, y deja pasar las frecuencias únicamente cuando se inicia la terapia.

#### 2.2.1.4 Circuito de medición de potencia para PIC

Para poder visualizar la potencia entregada por el transductor se realiza un limitador de voltaje a la salida de la fuente de potencia, cambiando el rango originalmente de 0 a 22.5 V al voltaje necesario para que ingrese en una entrada analógica del microcontrolador, es decir, de 0 a 5 V.

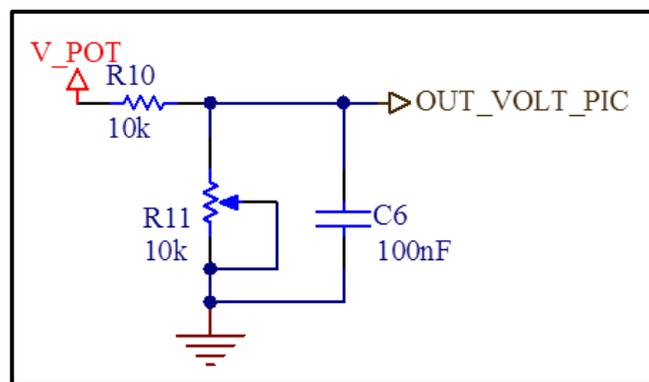


Figura 2.12. Diagrama limitador de voltaje para control de potencia

Para calcular la resistencia  $R_{11}$  vista en la figura 2.12, se realiza el cálculo siguiente:

$$V_{outpic} = V_{pot} \cdot \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \quad (ec. 2.4)$$

$$5 = 22,5 \cdot \frac{R_{11}}{10 + R_{11}} \quad (ec. 2.4)$$

$$50 + 5R_{11} = 22,5R_{11} \quad (ec. 2.4)$$

$$R_{11} = \frac{50}{17,5} \quad (ec. 2.4)$$

$$\boxed{R_{11} = 2,85 \text{ k}\Omega} \quad (ec. 2.4)$$

### 2.2.1.5 Circuito amplificador de potencia

Este circuito es el encargado de transformar una potencia que inicialmente se encuentra en el orden de los mW a una que llegue a los 10 W, máxima potencia soportada por el equipo.

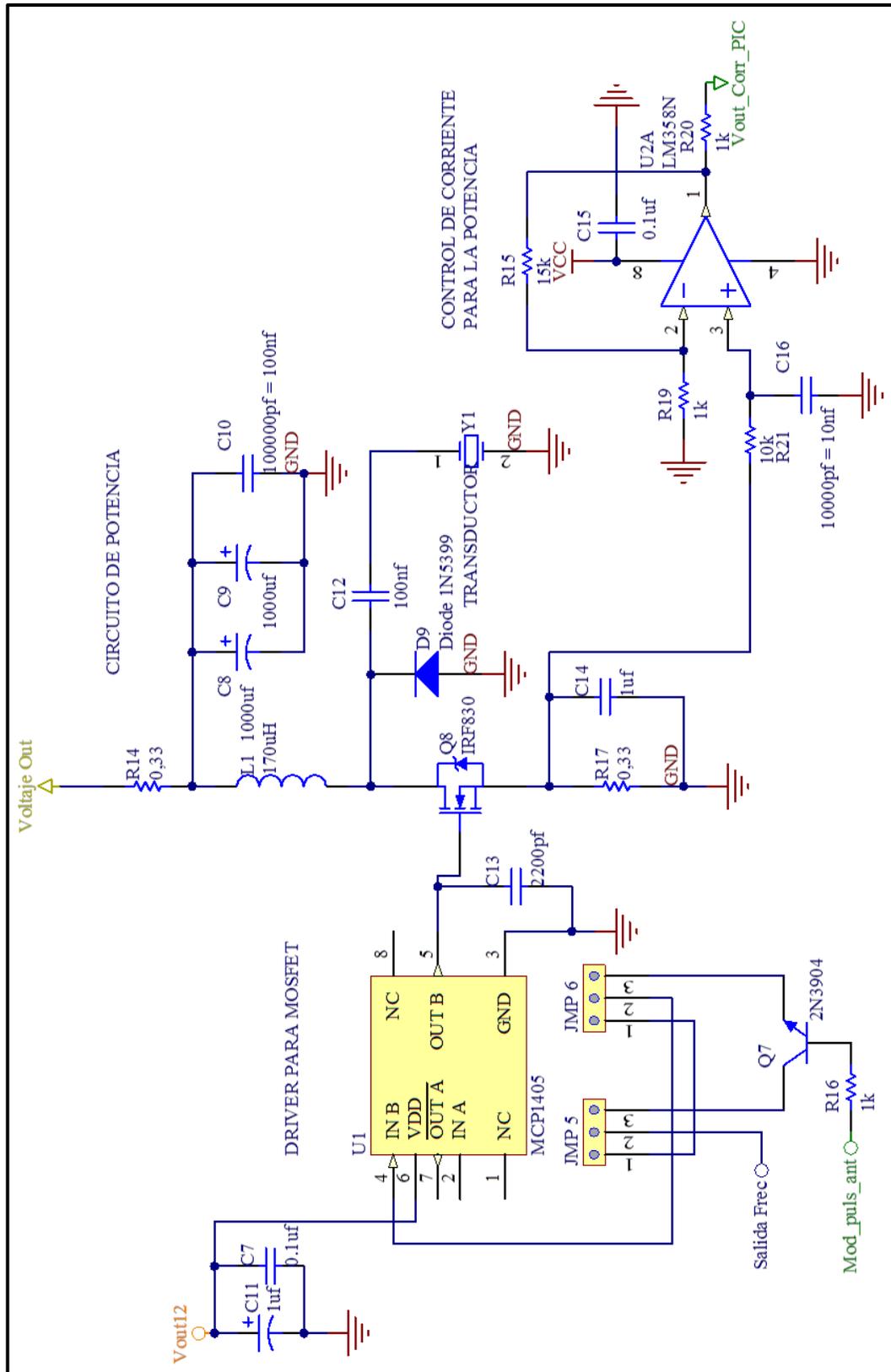


Figura 2.13. Diagrama amplificador de potencia

En la figura 2.13 se observa que el circuito consta del driver U<sub>1</sub>, el integrado MCP1405 (Anexo 2), la función de este driver es perfeccionar el tren de pulsos en su respectiva frecuencia y lo amplifica 1 V, para que Q<sub>8</sub>, un MOSFET IRF820 (Anexo 3), trabaje a cabalidad.

Al *drain* del MOSFET entra el voltaje de la fuente de potencia, pasando por la inductancia L<sub>1</sub>, la que se encarga de producir los picos de voltaje necesarios para que entre en resonancia el transductor; al *gate* llega la frecuencia optimizada por el driver haciendo que ésta active a Q<sub>8</sub> solamente en los flancos positivos del tren de pulsos.

El componente U<sub>2A</sub> es un amplificador no inversor LM358, el cual realiza el control de la tensión en la resistencia R<sub>17</sub> en donde el voltaje máximo es 0.25 V, este voltaje es amplificado con una ganancia de 16 de tal manera que a la salida del amplificador tengamos como máximo 4 V, para así poder ingresarlo a un canal analógico del microcontrolador y poder evaluar la corriente que pasa entre el *drain* y el *source* del MOSFET sin correr riesgos de sobre voltaje en el PIC.

Por tanto, se plantea R<sub>19</sub> como 1 kΩ para encontrar R<sub>15</sub> resolviendo la siguiente ecuación:

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (ec.2.5)$$

$$G = \frac{(R_{19} + R_{15})}{R_{19}} \quad (ec.2.5)$$

$$16 = \frac{(1 + R_{15})}{1} \quad (ec.2.5)$$

$$16 = 1 + R_{15} \quad (ec.2.5)$$

$$\boxed{R_{15} = 15 \text{ k}\Omega} \quad (ec.2.5)$$

Quedando el circuito tal como se ve en la figura 2.14:

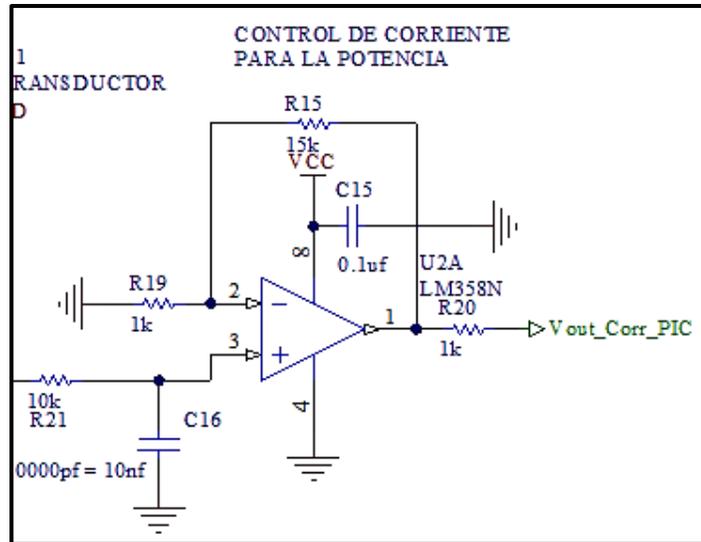


Figura 2.14. Amplificador no inversor

### 2.2.2 Microcontrolador esclavo

El PIC 16F886 se desempeña como microcontrolador esclavo, designado únicamente para generar las frecuencias necesarias para la resonancia del transductor, este PIC trabaja solo cuando recibe una orden del microcontrolador primario.

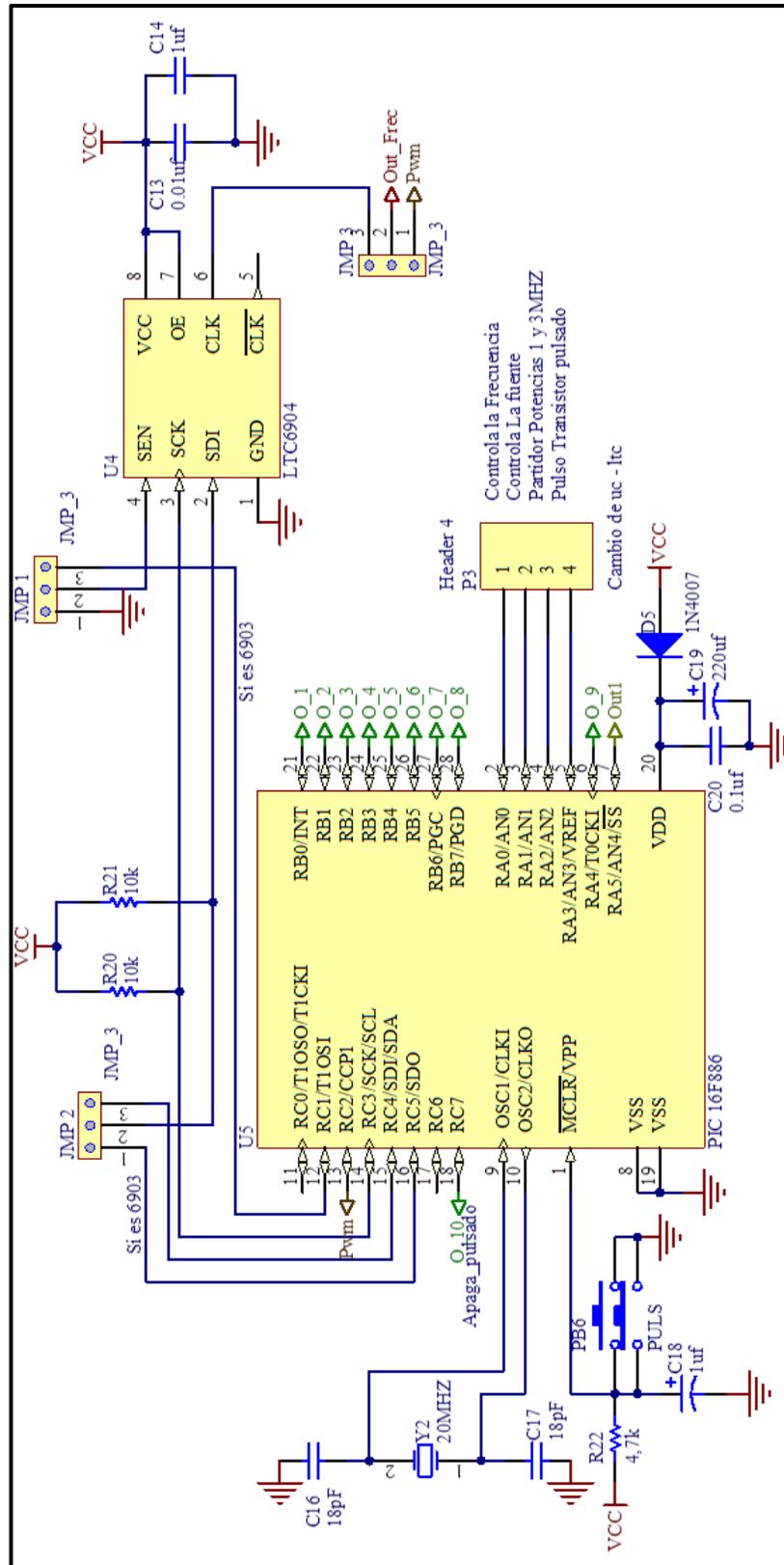


Figura 2.15. Diagrama PIC 16F886

### 2.2.2.1 Oscilador electrónico programable

El oscilador programable es un integrado electrónico capaz de variar su oscilación en un amplio rango de frecuencias de una manera precisa, teniendo como base un reloj externo y una comunicación con el PIC.

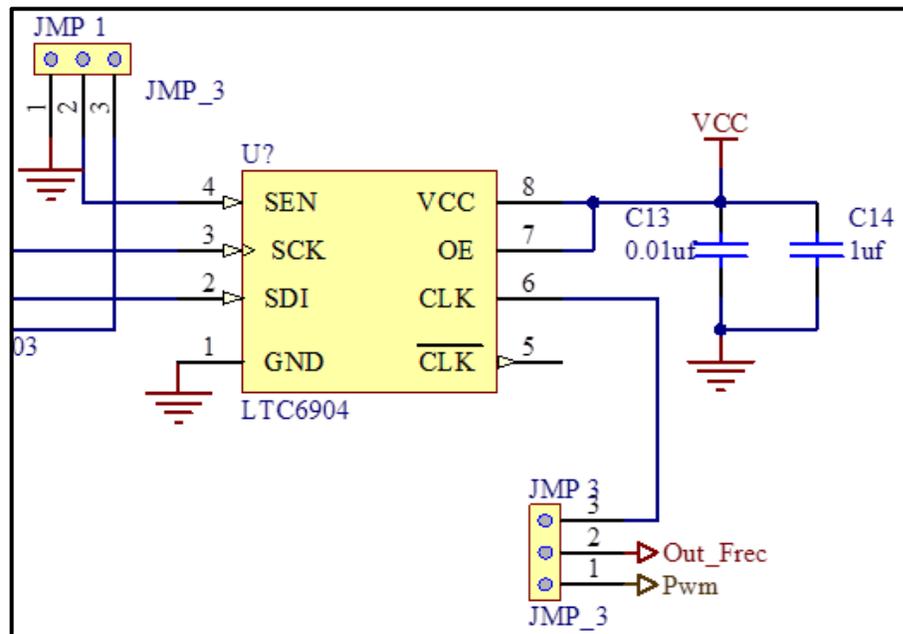


Figura 2.16. Diagrama oscilador programable LTC6904

En este caso, el integrado LTC6904 es el responsable de generar las frecuencias ultrasónicas de 3.3 MHz. Al ser un oscilador digital genera ondas cuadradas que van de los 0 a los 5 voltios. El circuito del oscilador se realiza tal y como lo indica su hoja de datos (Anexo 4).

Como se puede ver en la figura 2.15, para poder controlar este oscilador, el PIC 16F886 se comunica vía I2C estableciendo la frecuencia requerida.

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DEL FIRMWARE**

Este capítulo se enfatiza en el lenguaje de programación y en la plataforma de realización, siendo imprescindible para el desarrollo de comandos y códigos necesarios para programar los respectivos microcontroladores.

También se da a conocer un diagrama de flujo que embarca toda la programación y el funcionamiento del equipo, se describe las partes más importantes del código, de la manera más explícita.

#### **3.1 Programación en MikroBasic**

##### **3.1.1 Introducción a MikroBasic**

MikroBasic es una poderosa herramienta y con una gran diversidad de funciones para el desarrollo de microcontroladores PIC. Está diseñado para proporcionar al programador la solución más sencilla posible en el desarrollo de aplicaciones y sistemas de control.

La plataforma MikroBasic es un compilador muy robusto, posee varias librerías y manuales que proporcionan ejemplos de ayuda, describen el código de la mejor manera posible, dando al lector la mayor facilidad de comprensión, por tal motivo se convierte en una de las de mayor utilidad para un programador.

Por todas las ventajas mencionadas anteriormente se escoge esta plataforma con el anhelo de realizar la programación de una manera más rápida y entendible, a continuación se enumera ciertas características del compilador que lo llevan a ser el favorito:

- El código de fuente es Basic (lenguaje descifrado)
- Tiene varias librerías que nos ahorra líneas de programación como adquisición de datos, LCD, conversiones, comunicaciones etc.
- Mayor facilidad de manejo en la estructura del programa.
- Se puede generar comentarios en las líneas de código para una mejor legibilidad.
- Se tiene un detalle de la cantidad de memoria RAM y ROM que ocupa el programa en el microcontrolador.

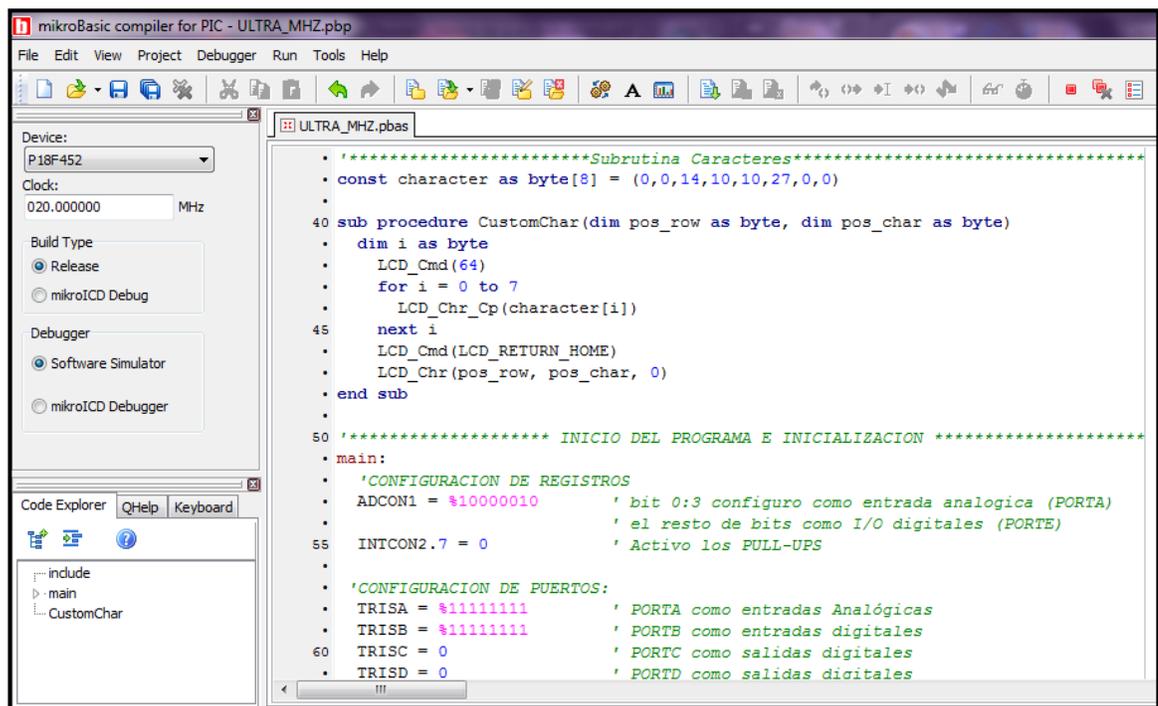


Figura 3.1. Programa MikroBasic

### 3.1.2 Estructura de programa en MikroBasic

Al empezar con la programación se debe tomar aspectos muy importantes sobre el desarrollo y la planificación de la estructura de un programa, cuya finalidad es tener una mejor claridad y entendimiento del mismo.

Para deducir de una mejor manera la estructura se plantea los siguientes puntos:

- El programa debe constar con un comentario de encabezado que nos permita indicar la información necesaria sobre el propósito del programa (Figura 3.2).

```

*****
' Proyecto : ULTRASONIDO TERAPEÚTICO *
' Fecha   : 09/10/2012 *
' Compañía : UDA *
' Autor   : DIEGO CABRERA - GUSTAVO CALLE *
' Version : DEL-1.0 *
' Notas   : Prog creado para controlar circuitos externos y para generar dos *
' frecuencias (1Mhz y 3Mhz) la misma que tendra como actuador principal un cabe *
' zal de ultrasonido para terapia y estetica, el PIC utilizado 18F452 y está *
' configurado para usar un cristal de 20Mhz (HS) y sin reset. *
*****

```

Figura 3.2. Encabezado del programa

- El programa debe empezar con una directiva de programa (*program*) seguida por el nombre del programa como se muestra en la figura 3.3

```

*****
' Proyecto : ULTRASONIDO TERAPEÚTICO *
' Fecha   : 09/10/2012 *
' Compañía : UDA *
' Autor   : DIEGO CABRERA - GUSTAVO CALLE *
' Version : DEL-1.0 *
' Notas   : Prog creado para controlar circuitos externos y para generar dos *
' frecuencias (1Mhz y 3Mhz) la misma que tendra como actuador principal un cabe *
' zal de ultrasonido para terapia y estetica, el PIC utilizado 18F452 y está *
' configurado para usar un cristal de 20Mhz (HS) y sin reset. *
*****
program ULTRA_MHZ

```

Figura 3.3. Directiva del programa

- A continuación se declara variables, constantes, subprogramas, funciones u otros objetos que se necesite en el programa. Estas declaraciones sirven para reservar los registros de la memoria RAM, es decir, para almacenar los datos e indicar al compilador como ejecutar un procedimiento o una función (figura 3.4).

```

'***** Declaracion de variables *****
dim i, j, l, h as string[15]
dim min, k as byte
dim sec as byte
dim sec1 as byte
dim t1 as byte
dim t2 as byte
dim min1 as byte
dim ch, poten as word           ' Variables ch y adc_rd son de tipo word
dim tlong as longword          ' Variable tlong es de tipo longword
dim freq1 as byte              ' Variable para la comunicacion de 1mhz
dim freq3 as byte              ' Variable para la comunicacion de 3mhz
dim freq1_50 as byte
dim freq3_50 as byte
dim freq1_10 as byte
dim freq3_10 as byte
dim freq1_20 as byte
dim freq3_20 as byte
'*****Subrutina Caracteres*****
const character as byte[8] = (0,0,14,10,10,27,0,0)

sub procedure CustomChar(dim pos_row as byte, dim pos_char as byte)
  dim i as byte
  LCD_Cmd(64)
  for i = 0 to 7

```

Figura 3.4. Declaración de variables y subrutinas

- Para la ejecución del programa o para la inicialización del código se escribe la directiva *main*, que indica desde donde el microcontrolador va a ejecutar las acciones (Figura 3.5).

```

'***** INICIO DEL PROGRAMA *****
main:
'CONFIGURACION DE REGISTROS
ADCON1 = %10000010           ' bit 0:3 configuro como entrada analogica (PORTA)
                              ' el resto de bits como I/O digitales (PORTE)
INTCON2.7 = 0                ' Activo los PULL-UPS

'CONFIGURACION DE PUERTOS:
TRISA = %11111111           ' PORTA como entradas Analógicas
TRISB = %11111111           ' PORTB como entradas digitales
TRISC = 0                    ' PORTC como salidas digitales
TRISD = 0                    ' PORTD como salidas digitales
TRISE = 0                    ' PORTE como salidas digitales
PORTC = 0                    ' Inicializo PORTC
PORTB = 0                    ' Initialize PORTE
PORTE = 0

```

Figura 3.5. Programa principal

- El programa debe terminar con la directiva *End* (Figura 3.6)

```

freq1 = 0           ' variables a cero para empezar un nue-
freq3 = 0           ' vo proceso
goto temp

End.
```

Figura 3.6. Directiva End

### 3.1.3 Compilador MikroBasic

El compilador de MikroBasic contiene toda la información de arquitectura del microcontrolador, pueden ser registros, direcciones de memoria, disposiciones de pines etc., conteniendo las respectivas herramientas para la programación. Para poder compilar un proyecto hay que regirse a los siguientes pasos:

- Primero se debe crear un proyecto (Figura 3.7), inmediatamente aparece un ventana solicitando la información del proyecto, tales como su descripción, el tipo de microcontrolador a utilizar y la frecuencia de oscilación, tomando en cuenta la gran importancia de la frecuencia al momento de elegir, ya que será la velocidad de operación del microcontrolador (figura 3.8).

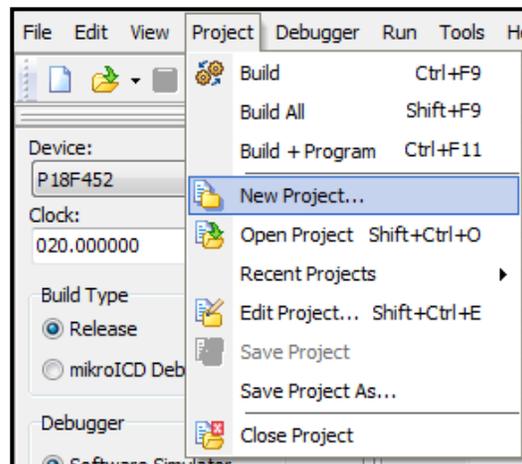


Figura 3.7. Crear un nuevo proyecto

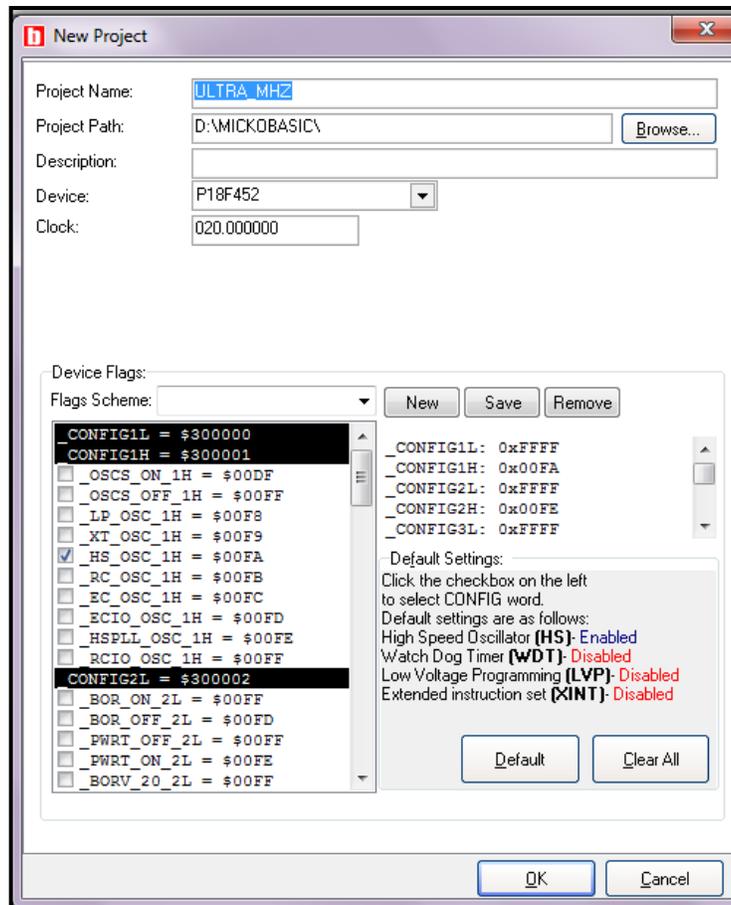


Figura 3.8. Configuración del microcontrolador

- Como segundo punto está el desarrollo del programa, hay que recordar que el código debe ser legible y con sus respectivos comentarios, debido a que es una gran ayuda al momento de depurar y mejorar el programa, los comentarios no son obligatorios pero son necesarios para tener un desarrollo explícito y comprensivo ya que el compilador no los toma en cuenta.
- Una vez realizado el código se procede a compilar el proyecto (Figura 3.9), al momento de compilar, si se ha realizado con éxito, se genera un archivo con extensión “.hex” el cual se carga en el microcontrolador de tal manera que actué según lo programado. Cuando la compilación se ha realizado con éxito significa que durante la programación no se tuvo errores, caso contrario en una ventana se indican los mensajes de advertencia y los errores (figura 3.10). El error debe ser verificado y solucionado para después recompilar el programa.

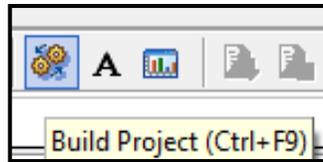


Figura 3.9. Compilador del proyecto

 A screenshot of the 'Messages' window in the IDE. It has tabs for 'Messages', 'Convertor', and 'Find'. The window contains a table with the following data:
 

Line/Column	Message No.	Message Text	Unit
635:2	E-3	Identifier 'nd' was not declared	ULTRA_MHZ.pbas
635:4	E-4	Syntax error: Expected 'end' but '.' found	ULTRA_MHZ.pbas
636:1	E-4	Syntax error: Expected '.' but " found	ULTRA_MHZ.pbas

Figura 3.10. Mensajes del compilador

- Para concluir la programación es necesario depurar el programa que simula el funcionamiento del microcontrolador (figura 3.11), este punto es muy importante ya que por medio del simulador se puede verificar y comprobar la compilación permitiendo descubrir los errores existentes mientras se va ejecutando el programa.

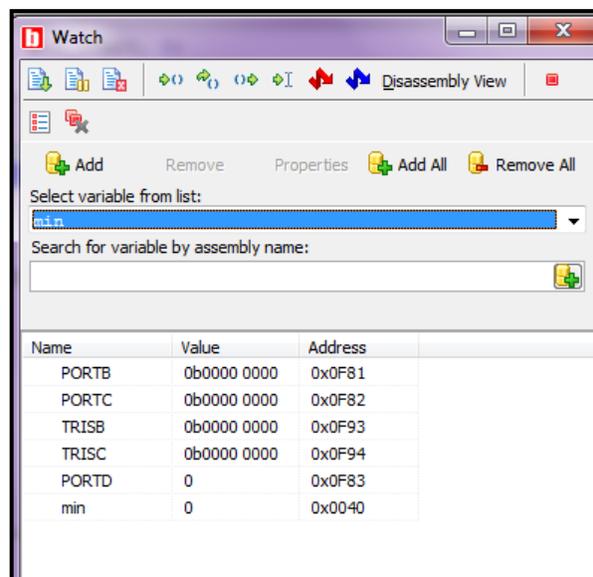


Figura 3.11. Simulador del programa

## 3.2 Desarrollo del programa

Para iniciar con la programación primero se debe tener una idea o un bosquejo que ayude a procesar, identificar y analizar un razonamiento lógico y estructurado para el desarrollo del programa. Estos tipos de diagramas o bosquejos son una herramienta fundamental para obtener una idea clara sobre las medidas que se van a tomar dentro del proyecto.

Como se ha explicado en el capítulo anterior el diseño está hecho para utilizar dos microcontroladores debido a la falta de salidas necesarias para accionar ciertos procesos, por tanto, se ha realizado una distribución entre los dos microcontroladores de tal manera que un microcontrolador se vuelve el cerebro del equipo, mientras que el segundo actúa en modo esclavo, es decir entra a funcionar dependiendo del microcontrolador principal.

### 3.2.1 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es muy importante para describir un proceso, ello nos facilita resolver problemas a la hora de la programación, ya que es fácil de interpretar debido al orden que se va dando para obtener una acción.

Los diagramas se basan en la utilización de símbolos que se interconectan entre ellos dependiendo del proceso lógico o la secuencia de operación que se tenga.

A continuación se mostrará los símbolos utilizados en nuestro diagrama de flujo:

- **Inicio / Fin**

Representa el inicio o el fin del programa.



Figura 3.12. Simbología Inicio/Fin

- **Proceso**

Se utiliza para representar instrucciones y operaciones para realizar una acción o control.



Figura 3.13. Simbología de proceso

- **Entrada/Salida**

Representa el ingreso de datos necesarios o bien para controlar una acción o bien para ser procesados por alguna instrucción que se necesite dentro del programa.



Figura 3.14. Simbología de entrada y salida

- **Decisión**

Es utilizado para tomar una decisión (Si / No), para ramificaciones y comparación de datos.



Figura 3.15. Simbología decisión

- **Conector**

Mediante el conector se puede enlazar dos bloques de diagramas, siendo uno de salida y el otro de entrada o viceversa.

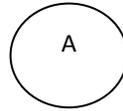


Figura 3.16. Simbología Conector

- **Flechas entrada/salida**

Es utilizado para indicar el siguiente proceso en un diagrama.

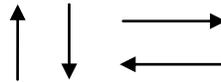


Figura 3.17. Simbología de flechas

- **Salida de información**

Imprime los textos requeridos por el programador.

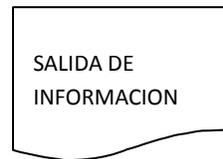
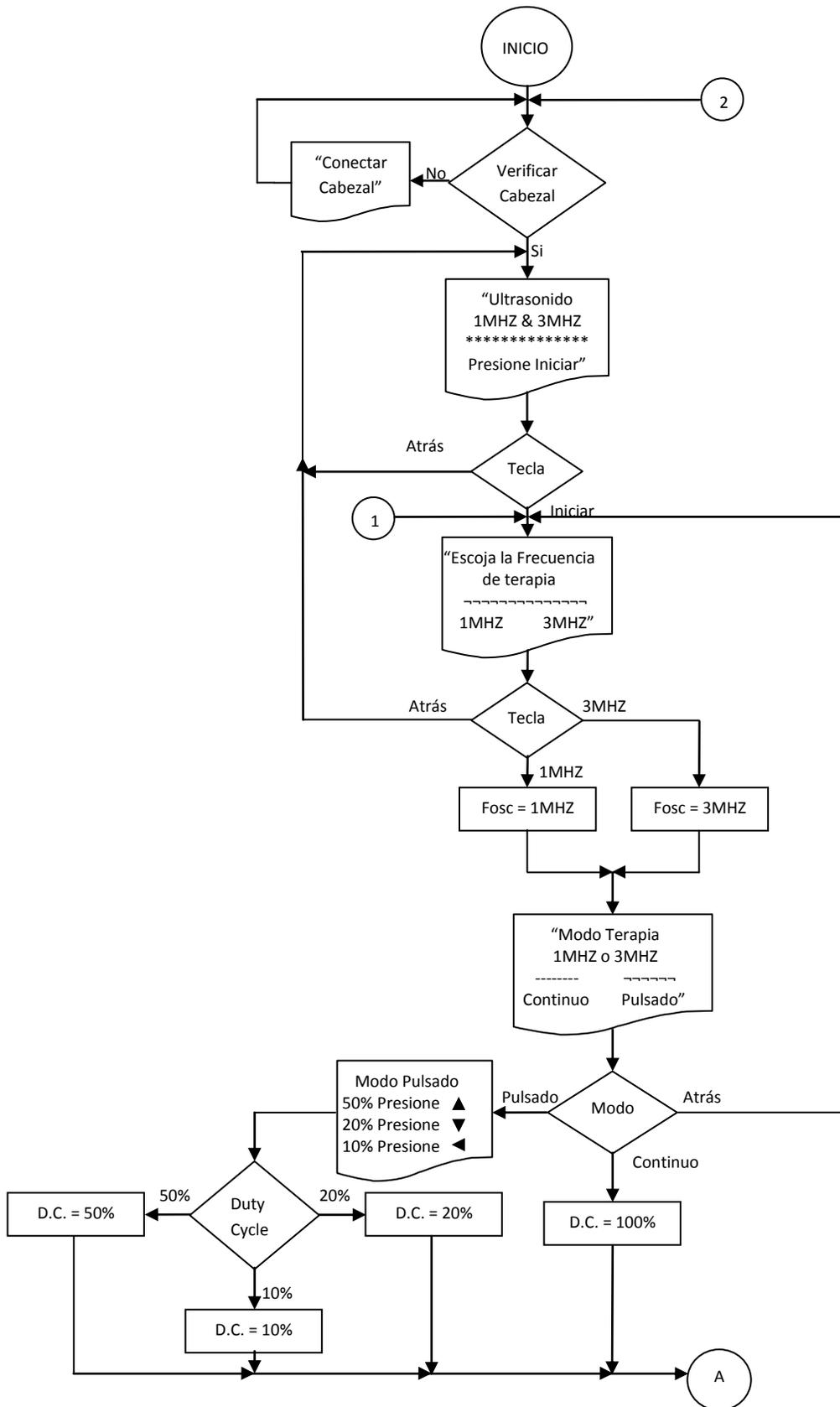


Figura 3.18. Simbología de información

3.2.1.1 Diagrama de flujo para el microcontrolador 18F452.



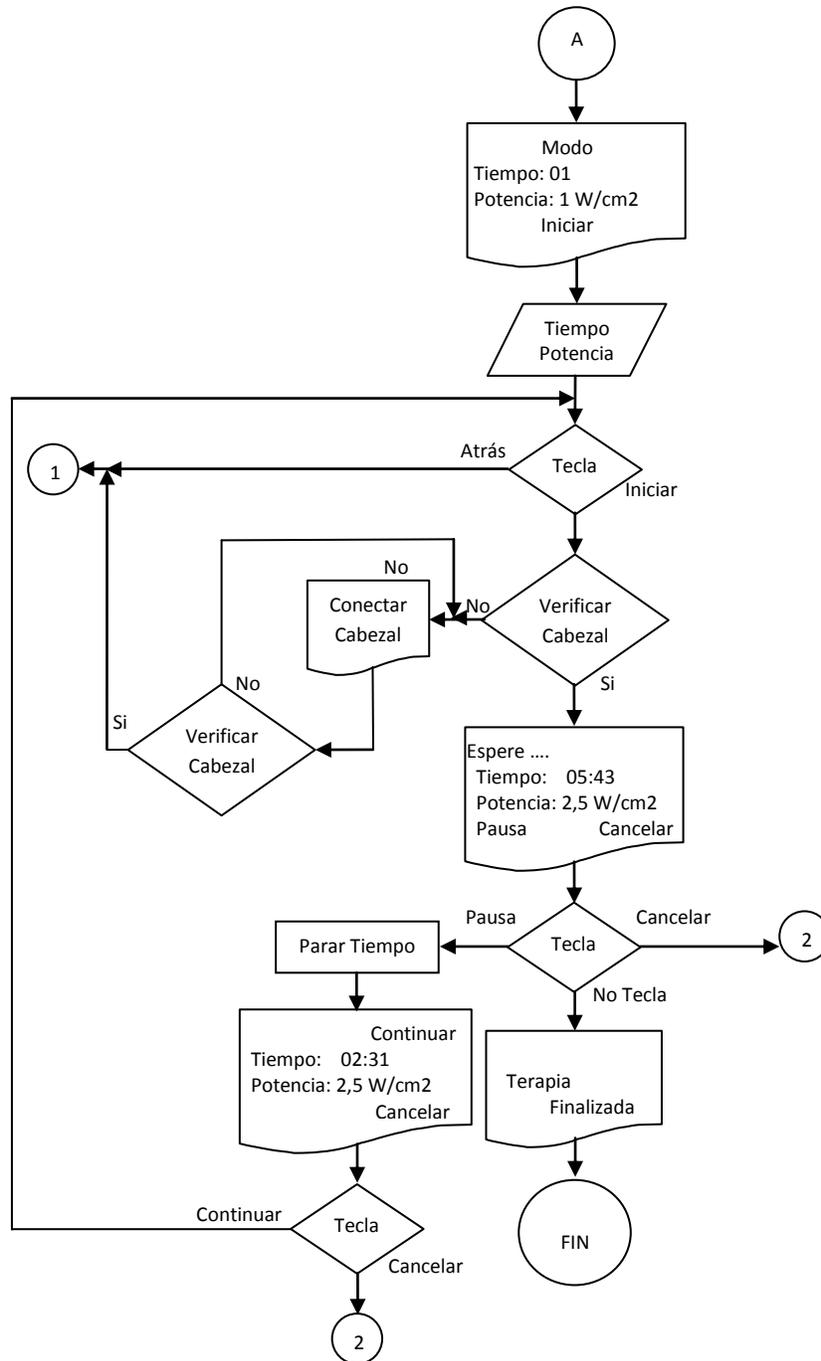


Figura 3.19. Diagrama de flujo para PIC 18F452

La figura 3.19 indica un algoritmo lógico a seguir para la programación del microcontrolador, este realizará el manejo total del equipo controlando las teclas de inicio, modo de terapia, tiempo y potencia, así mismo tendrá un interfaz de comunicación entre usuario y equipo mediante la pantalla LCD.

3.2.1.2 Diagrama de flujo para el microcontrolador 16F886.

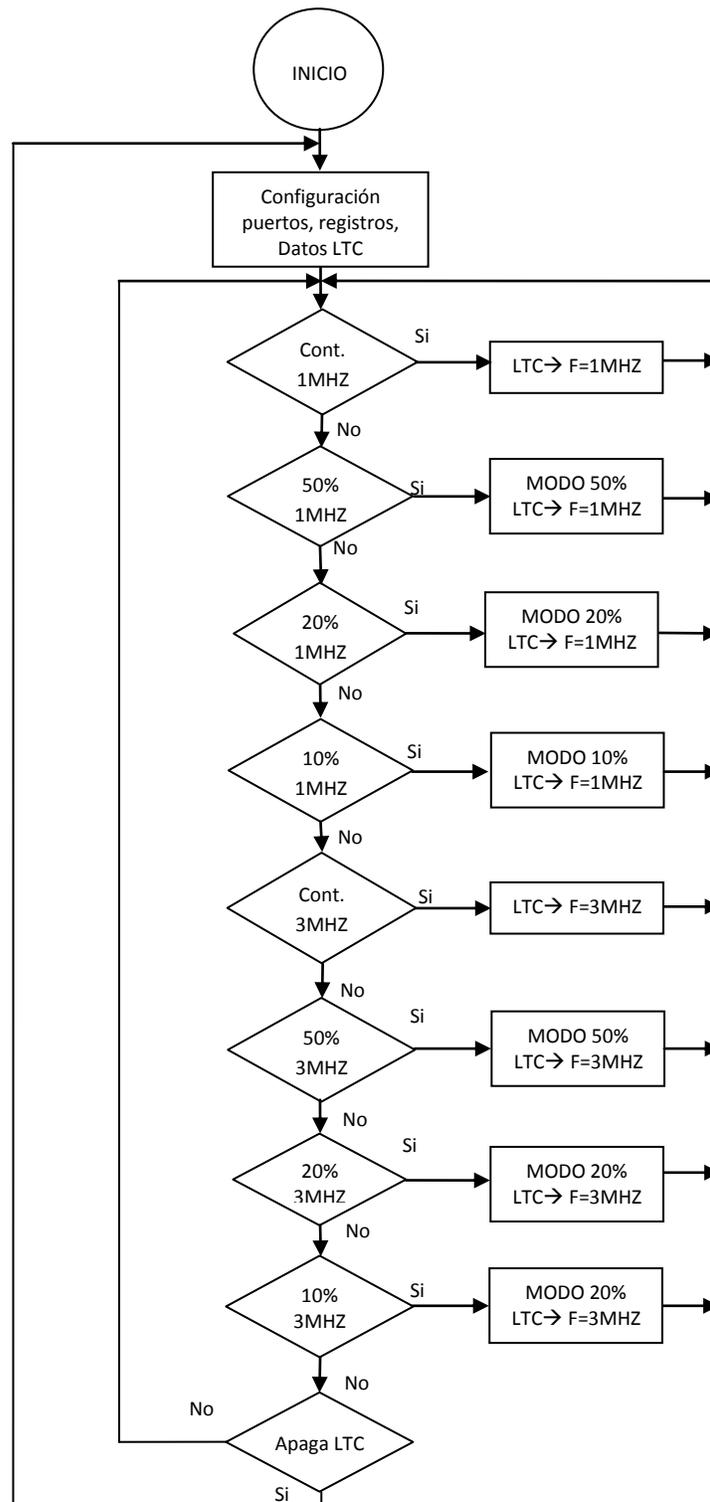


Figura 3.20. Diagrama de flujo para microcontrolador 16F886

La figura 3.20 enseña un proceso para generar las frecuencias de 1 MHz y 3.3 MHz, tanto en modo continuo o pulsado dependiendo del *duty cycle* deseado.

Ahora se debe tomar en cuenta que el microcontrolador 16F886 solo funciona cuando recibe órdenes desde el microcontrolador principal 18F452, el cual se encarga de enviar señales a través de sus puertos para activar al 16F886, que realiza la comunicación I2C con el oscilador digital LTC6904.

### 3.2.2 Descripción del código para el microcontrolador 18F452

En el código se detalla las partes más importantes del programa, es decir como variables principales, configuraciones de puerto, adquisición de datos y otras librerías de importancia, de manera que el lector pueda tener una facilidad de búsqueda rápida para ciertos procesos y acciones más significativos del proyecto, no se entra en pequeños detalles de programación debido a que en algunos casos son líneas básicas que solamente complementan el programa.

#### 3.2.2.1 Declaración de variables

Al empezar el programa debe realizarse la declaración de las variables, estas tendrán un tamaño de tipo *byte*, *word*, *longword* y *string*, el tamaño se escoge dependiendo el uso que va a tener la variable, por ejemplo para la adquisición de datos de un canal analógico se necesita una variable de tipo *word*, otras variables que se utilizan en el programa no necesitan tamaños grandes si no los de tipo *byte* (Figura 3.21), las variables son un modelo para ser representado como un dato a nivel de máquina. En la figura 3.22 se puede observar el tamaño y rango de cada tipo de variable.

```

dim i, j, l, h as string[15]
dim min, k as byte
dim sec as byte
dim sec1 as byte
dim t1 as byte
dim t2 as byte
dim min1 as byte
dim ch, poten as word           ' Variables ch y adc_rd son de tipo word
dim tlong as longword          ' Variable tlong es de tipo longword
dim freq1 as byte              ' Variable para la comunicacion de 1mhz
dim freq3 as byte              ' Variable para la comunicacion de 3mhz
dim freq1_50 as byte

```

Figura 3.21. Declaración de variables

Type	Size	Range
byte	8-bit	0 - 255
char*	8-bit	0 - 255
word	16-bit	0 - 65535
short	8-bit	-128 - 127
integer	16-bit	-32768 - 32767
longword	32-bit	0 - 4294967295
longint	32-bit	-2147483648 - 2147483647
float	32-bit	$\pm 1.17549435082 * 10^{-38}$ .. $\pm 6.80564774407 * 10^{38}$

Figura 3.22. Tipos de Variables

Fuente: MIKROBASIC. MikroBasic help. Types simple types.

### 3.2.2.2 Inicialización de puertos y periféricos

En el siguiente tramo de código (figura 3.23) se realiza la configuración de los registros como es el ADCON1, que permite tener entradas de canales analógicos en el PORTA, luego se activa los pull-ups en el PORTB de manera que los pulsantes de ingreso quedan conectados internamente en el microcontrolador a V<sub>dd</sub> (5 V).

```

'***** INICIO DEL PROGRAMA *****
main:
'CONFIGURACION DE REGISTROS
ADCON1 = %10000010      ' bit 0:3 configuro como entrada analogica (PORTA)
                        ' el resto de bits como I/O digitales (PORTE)
INTCON2.7 = 0           ' Activo los PULL-UPS

'CONFIGURACION DE PUERTOS:
TRISA = %11111111      ' PORTA como entradas Analógicas
TRISB = %11111111      ' PORTB como entradas digitales
TRISC = 0              ' PORTC como salidas digitales
TRISD = 0              ' PORTD como salidas digitales
TRISE = 0              ' PORTE como salidas digitales
PORTC = 0              ' Inicializo PORTC
PORTB = 0              ' Initialize PORTE
PORTE = 0

```

Figura 3.23. Configuración de puertos y registros

La figura 3.23 muestra la configuración de los puertos A, B, C, D, E mediante el registro TRIS, éste hace que los puertos actúen como entradas o salidas digitales, mientras que cuando se pone PORT=0 indica que el puerto siempre va a inicializar en 0 V.

### 3.2.2.3 Configuración de la pantalla LCD

Con las librerías que nos provee MikroBasic se hace fácil configurar los puertos de salida, basta con indicar cuál es el puerto y los pines que van a manejar la LCD. La transmisión de datos pueden ser de 8 líneas o de 4 líneas, en este caso se utiliza 4 líneas, ya que no se necesita una alta velocidad de transmisión.

```
'CONFIGURACION DE LA LCD

Lcd_Config(PORTD,7,6,5,4,PORTD, 2,1,3)
Lcd_Init(PORTD)                ' Inicializo LCD en PORTB
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)             ' Comando LCD (borrar el LCD)
Lcd_Cmd(Lcd_Cursor_Off)       ' Cursor Apagado
```

Figura 3.24. Configuración de la pantalla LCD

### 3.2.2.4 Funciones y procedimientos

El subprograma realizado fue para crear un carácter para la LCD, en la figura 3.25 vemos una subrutina con el nombre de *CustomChar*, esta función se ejecutará cada vez que se llame dentro del programa principal, entonces al momento de requerir este carácter solamente con poner *CustomChar (3,1)* se llamará a la subrutina, en donde el 3 representa la fila y el 1 la columna de la LCD.

```
'*****Subrutina Caracteres*****
const character as byte[8] = (0,0,14,10,10,27,0,0)

sub procedure CustomChar(dim pos_row as byte, dim pos_char as byte)
  dim i as byte
  LCD_Cmd(64)
  for i = 0 to 7
    LCD_Chr_Cp(character[i])
  next i
  LCD_Cmd(LCD_RETURN_HOME)
  LCD_Chr(pos_row, pos_char, 0)
end sub
```

Figura 3.25. Subrutina de caracteres

### 3.2.2.4.1 Como crear un carácter para LCD

Para crearse un carácter nos vamos a la barra de menú y luego a *Tools* → *LcdCustomCharacter* (figura 3.26).

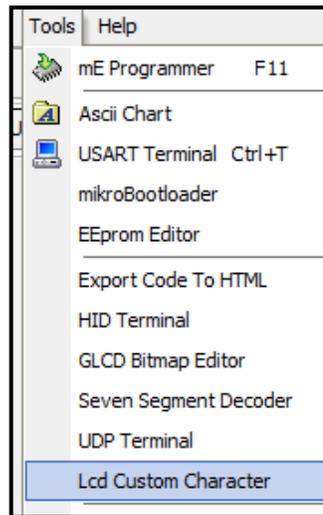


Figura 3.26. Creación de caracteres

Al instante se muestra una ventana para poder diseñar el carácter para la LCD (figura 3.27), una vez generado automáticamente el programa nos da el modelo de la subrutina para añadirlo como código (figura 3.28).

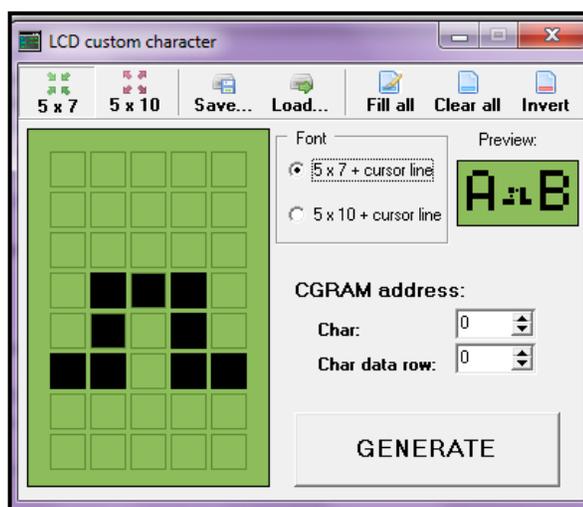
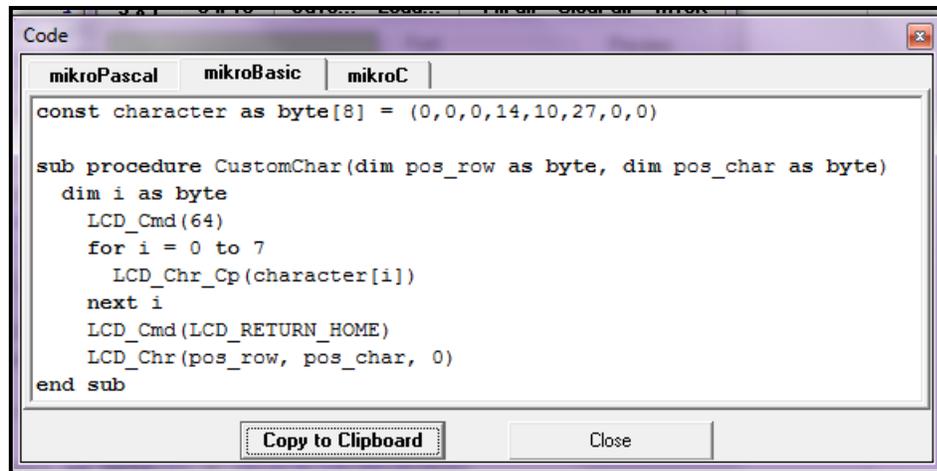


Figura 3.27. LCD custom caracter



```

Code
mikroPascal  mikroBasic  mikroC
const character as byte[8] = (0,0,0,14,10,27,0,0)

sub procedure CustomChar(dim pos_row as byte, dim pos_char as byte)
  dim i as byte
  LCD_Cmd(64)
  for i = 0 to 7
    LCD_Chr_Cp(character[i])
  next i
  LCD_Cmd(LCD_RETURN_HOME)
  LCD_Chr(pos_row, pos_char, 0)
end sub
Copy to Clipboard  Close

```

Figura 3.28. Código para la subrutina

### 3.2.2.5 Adquisición de los canales analógicos (ADC)

Para la obtención de la potencia del equipo se adquiere tanto el voltaje como la corriente del MOSFET, esta adquisición es realizada por medio del canal analógico 0 y 1. En la figura 3.29 se observa el módulo *Adc\_Read(0)* encargado de obtener la lectura del canal, este valor es grabado en una variable de tipo *word* como respaldo para su posterior uso.

El canal soporta 5 V máximo como ingreso, no se puede exceder el voltaje ya que se dañaría tanto el canal como el puerto, por eso es que en el anterior capítulo se explica la creación de un partidor de tensión limitando el voltaje de 0 a 5 V.

Un vez obtenido el voltaje se multiplica este valor por un factor de 22500 para obtener el voltaje real, luego para encontrar la corriente se divide el voltaje del amplificador adquirido por el canal 1 para la resistencia conectada en el *source* del MOSFET, este voltaje se multiplica por 5000 (el amplificador nos da hasta 5 V) y se lo divide para 16, que es la ganancia del amplificador, obteniendo así los valores verídicos. Los resultados tanto de voltaje como de corriente se dividen para 1023 con el objetivo de poder mostrar en la pantalla LCD el valor real, por ejemplo 1,2 W.

Para conseguir la potencia real en  $W/cm^2$  se divide para 5 ya que  $5cm^2$  es la medida del transductor establecido.

```

'-----
Ver_Pot:                                ' 1023 --> 10 bits de resolución
volt = Adc_Read(0)                       ' Leo la conversión en el canal 0 y 1
corri = Adc_Read(1)
      'Mido voltaje
tlong = volt * 22500                       ' voltaje máximo de ingreso canal 5v - 25v
result_vol = tlong/1023                   ' Convertir el resultado en mili voltios
      'Mido corriente i=v/r
      'r=0,33ohm
tlong1 = corri*5000                       ' hasta 5v
result_corr = tlong1/326
result_corr = result_corr /1023          ' Convertir el resultado en milivoltios
      ' 0..1023 -> 0-5000mV es 5v
      'Potencia
result = result_vol * result_corr
result = result /5                        ' 5cm2 del cabezal
ch = (result / 1000) mod 10              ' Extraer voltios (miles de milivoltios)
' del resultado
Lcd_Chr(3,10,48+ch)                      ' Escribir resultado en formato ASCII
Lcd_Chr_CP(".")                          ' Escribir el punto decimal
ch = (tlong / 100) mod 10                ' Extraer centenas de milivoltios
Lcd_Chr_CP(48+ch)                        ' Escribir resultado en formato ASCII
Lcd_Out(3,13, "W/cm2")
Delay_ms(1)
Return

```

Figura 3.29. Adquisición de la Potencia

### 3.2.3 Descripción del código para el microcontrolador 16F886

En este apartado se describe la generación de frecuencias de 1MHz y 3.3 MHz, para evitar bloqueos en el oscilador digital la primera es creada directamente a través del PIC mediante PWM, mientras que la segunda se genera por medio del oscilador vía comunicación I2C (Circuito inter-integrado). Así mismo se realizará la programación de los modos continuo y pulsado.

#### 3.2.3.1 Generación de PWM

El microcontrolador esclavo es el encargado de producir la frecuencia de 1 MHz utilizando los módulos PWM de MikroBasic, no es posible generar de la misma manera la frecuencia de 3.3 MHz ya que al trabajar con un cristal de 20 MHz no se obtiene una frecuencia precisa.

```

=====
                          'Frecuencia de 1MHZ
                          'CONTINUO 100%
=====
If Button(PORTB, 0, 70, 1) then      ' DOWN SW3
  PWM_Init(1000000)
  Pwm_Start
  PWM_Change_Duty(128)              ' Set current duty for PWM1
  PORTA.0 = 1                       ' frecuencia de salida
  delay_ms(800)
  PORTA.3 = 1                       ' controla transistor cerrrado
  PORTA.1 = 1                       ' controla la fuente
End if
=====

```

Figura 3.30. Generación de PWM

La figura 3.30 ilustra como producir una frecuencia de 1 MHz mediante las librerías PWM de MikroBasic, primero es necesario indicar la frecuencia deseada, luego se inicia la librería con *PWM\_Start* y mediante *PWM\_Change\_Duty()* se selecciona el ciclo de trabajo siendo 255 el 100%, por consiguiente para un ciclo de trabajo de 50% se hace una relación donde se obtiene 128 como resultado.

### 3.2.3.2 Comunicación I2C para LTC6904

El módulo I2C se utiliza para intercambiar datos entre un maestro y un esclavo, el maestro es el microcontrolador 16F886 y el esclavo es el oscilador digital LTC6904. La comunicación en modo I2C es síncrona y bidireccional, utiliza dos pines para la transmisión, el primero (SDA) que envía los datos y el segundo (SCL) como reloj serial.

El reloj es necesario para sincronizar entre el microcontrolador y el oscilador, su frecuencia afecta directamente a la velocidad de transmisión de datos, en este programa la velocidad de transmisión es de 100 KHz ya que es la frecuencia estándar del módulo I2C que tiene MikroBasic.

Cuando el PIC 16F886 y el LTC6904 están sincronizados por el reloj, el PIC es siempre el que inicia el intercambio de datos, Como se ve en la figura 3.31, para empezar la transmisión el maestro envía el bit de arranque (*I2C\_Start*), luego envía la dirección de 7 bits del esclavo, es decir, el maestro le está apuntando al dispositivo

esclavo como forma de establecer comunicación para luego enviar los datos que necesita el oscilador LTC. Para terminar la transmisión se da el bit se stop (*I2C\_Stop*).

```

=====
'Frecuencia de 1MHZ
'CONTINUO 100%
=====
If Button(PORTB, 0, 70, 1) then      ' DOWN SW3
  I2C_Init(100000)                   ' Velocidad de transmision de 100kb/seg
  I2C_Start                          ' Issue I2C start signal
  I2C_Wr($00101110)                 ' reconocimiento del LTC Adress pin4 a cero
  I2C_Wr(dato1)                      ' Envia dato 1
  I2C_Wr(dato2)                      ' Envia dato 1
  I2C_Stop
  delay_ms(100)
  PORTA.0 = 1                        ' frecuencia de salida
  PORTC.2 = 1                        ' controla transistor cerrado
  delay_ms(800)
  PORTA.1 = 1                        ' controla la fuente
End if

```

Figura 3.31. Comunicación I2C para LTC

### 3.2.3.2.1 Cálculo de datos para el oscilador

El oscilador necesita recibir la dirección de comunicación y los dos datos seriales de 7 bits cada uno para generar la frecuencia deseada, estos datos se calculan según la hoja técnica del oscilador, a continuación se indican los pasos para obtener el dato1 y dato2 (figura 3.32).

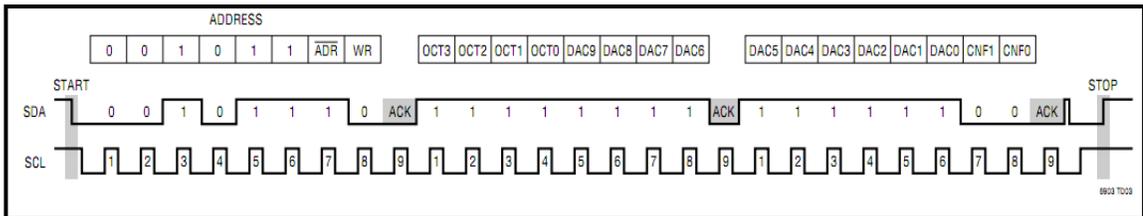


Figura 3.32. Forma de onda de entrada LTC6904

Fuente: LINEAR TECHNOLOGY. LTC6903/6904. Port Programmable Oscillator.

### 3.2.3.2.1.1 Cálculo del octal (OCT)

El primer paso para calcular dato1 es encontrar el octal (OCT), en la figura 3.33 se observa el rango en el que se encuentra la frecuencia de 3.3 MHz.

$f \geq$	$f <$	OCT
34.05MHz	68.03MHz	15
17.02MHz	34.01MHz	14
8.511MHz	17.01MHz	13
4.256MHz	8.503MHz	12
2.128MHz	4.252MHz	11
1.064MHz	2.126MHz	10
532kHz	1063kHz	9
266kHz	531.4kHz	8
133kHz	265.7kHz	7
66.5kHz	132.9kHz	6
33.25kHz	66.43kHz	5
16.62kHz	33.22kHz	4
8.312kHz	16.61kHz	3
4.156kHz	8.304kHz	2
2.078kHz	4.152kHz	1
1.039kHz	2.076kHz	0

Figura 3.33. Valores de frecuencia para el Octal

Fuente: LINEAR TECHNOLOGY. LTC6903/6904. Port Programmable Oscillator.

Según esta figura el octal para una frecuencia de 3.3 MHz es 11, ahora hay que transformar este número de decimal a binario para luego formar el dato serial, resultando de la siguiente manera:

	OCT3	OCT2	OCT1	OCT0
OCT:	1	0	1	1

Tabla 3.1. Octal para la frecuencia de 3.3 MHz

### 3.2.3.2.1.2 Cálculo del conversor digital analógico (DAC)

Obtenido el número del octal se procede a calcular el DAC, este valor debe ser redondeado al inmediato superior o al inmediato inferior. Con la siguiente fórmula se puede calcular el DAC:

$$DAC = 2048 - \frac{2078(\text{Hz}) * 2^{(10+\text{OCT})}}{F} \quad (\text{ec. 3.1})$$

Donde F es la frecuencia que se desea generar.

- Para la frecuencia de 3.3 MHz:

$$DAC = 2048 - \frac{2078(\text{Hz}) * 2^{(10+11)}}{3300000(\text{HZ})} \quad (\text{ec. 3.2})$$

$DAC = 727,429 \approx 727$	(ec. 3.2)
-----------------------------	-----------

Así mismo el resultado se transforma de decimal a binario para formar el dato:

	DAC9	DAC8	DAC7	DAC6	DAC5	DAC4	DAC3	DAC2	DAC1	DAC0
DAC	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1

Tabla3.2. Valor del DAC para 3.3 MHz

### 3.2.3.2.1.3 Formación de datos para 3.3 MHz

Obtenido el valor del octal y del DAC se forma el primer dato mediante la tabla 3.3 y el segundo con la tabla 3.4:

- Dato1: Se forma desde D15:D8

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OCT3	OCT2	OCT1	OCT0	DAC9	DAC8	DAC7	DAC6

Tabla3.3. Modelo para primer dato

- Dato2: Se forma desde D7:D0

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
DAC5	DAC4	DAC3	DAC2	DAC1	DAC0	CNF1	CNF0

Tabla3.4. Modelo para segundo dato

Para el valor de CNF1 y CNF0 se debe configurar la salida del oscilador, en este caso solo se necesita encender el CLK y apagar la salida inversa (figura 3.34).

CNF1	CNF0	CLK	$\overline{\text{CLK}}$
0	0	ON	CLK + 180°
0	1	OFF	ON
1	0	ON	OFF
1	1	Powered-Down*	

Figura 3.34. Configuración de Salida

Fuente: Linear Technology. LTC6903/6904. Port Programmable Oscillator.

Por lo tanto el dato 1 y el dato 2 quedan formados de la siguiente manera:

- Dato 1:

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
1	0	1	1	1	0	1	1

Tabla3.5. Dato 1 para 3.3 MHz

- Dato 2:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	1	0	1	1	1	1	0

Tabla3.6. Dato 2 para 3.3 MHz

### 3.2.3.3 Generación en modo continuo y modo pulsado

Para trabajar en modo continuo el PIC tiene que mantener activada la salida de frecuencia durante todo el tiempo de la terapia, a diferencia del modo pulsado, en donde dicha salida se tiene que activar y desactivar en relación a un segundo, ya que es el tiempo mínimo de aplicación, tal como se ve en la figura 3.35

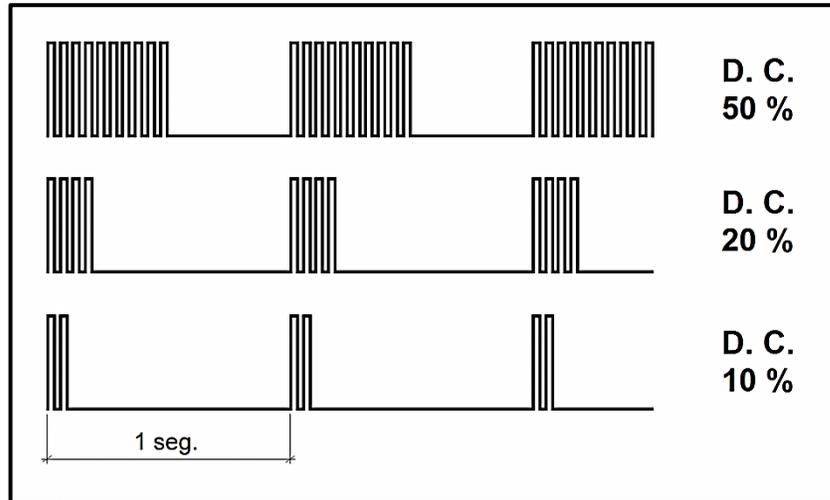


Figura 3.35. Ilustración de duty cycle

Por tanto para la tabla para el *duty cycle* queda de la siguiente manera:

DUTY CYCLE	Tiempo de activación	Tiempo de desactivación
10%	100 mseg	900 mseg
20%	200 mseg	800 mseg
50%	500 mseg	500 mseg

Tabla 3.7. Tiempos para el duty cycle

### 3.2.4 Código fuente para microcontrolador 18F452.

```

*****
' Proyecto : ULTRASONIDO TERAPEÚTICO *
' Fecha   : 09/10/2012 *
' Compañía : UDA *
' Autor   : DIEGO CABRERA - GUSTAVO CALLE *
' Versión : DEL-1.0 *
' Notas  : Programa creado para controlar circuitos externos y para generar dos *
' frecuencias (1Mhz y 3Mhz) la misma que tendrá como actuador principal un cabe *
' zal de ultrasonido para terapia y estética, el PIC utilizado 18F452 y está *
' configurado para usar un cristal de 20MHz (HS) y sinreset. *
*****

program ULTRA_MHZ
***** Declaración de pines para conexiones *****
symbol SW1 = PORTB.0    ' ATRAS
symbol SW2 = PORTB.1    ' SUBIR
symbol SW3 = PORTB.2    ' BAJAR
symbol SW4 = PORTB.3    ' INICIAR
***** Declaración de variables *****

dim text as char[21]
dim i as string[15]
dim min, k as byte
dim sec as byte
dim sec1 as byte
dim t1 as byte
dim t2 as byte
dim min1 as byte
dim ch, poten as word
dim tlong as longword
dim freq1 as byte
dim freq3 as byte
dim freq1_50 as byte
dim freq3_50 as byte

```

```

dim freq1_10 as byte
dim freq3_10 as byte
dim freq1_20 as byte
dim freq3_20 as byte
*****SubrutinaCaracteres*****
const character as byte[8] = (0,0,14,10,10,27,0,0)
sub procedure CustomChar(dim pos_row as byte, dim pos_char as byte)
    dim i as byte
        LCD_Cmd(64)
        for i = 0 to 7
            LCD_Chr_Cp(character[i])
        next i
        LCD_Cmd(LCD_RETURN_HOME)
        LCD_Chr(pos_row, pos_char, 0)
end sub
***** INICIO DEL PROGRAMA*****
main:
'CONFIGURACION DE REGISTROS
ADCON1 = %10000010    ' bit 0:3 configuro como entrada analógica (PORTA)
                    ' el resto de bits como I/O digitales (PORTE)
INTCON2.7 = 0        ' Activo los PULL-UP
'CONFIGURACION DE PUERTOS:
TRISA = %11111111    ' PORTA como entradas Analógicas
TRISB = %11111111    ' PORTB como entradas digitales
TRISC = 0            ' PORTC como salidas digitales
TRISD = 0            ' PORTD como salidas digitales
TRISE = 0            ' PORTE como salidas digitales
PORTC = 0            ' Inicializo PORTC a cero
PORTB = 0            ' Inicializo PORTB a cero
PORTE = 0
'Iniciación de variables
freq1 = 0
freq3 = 0
freq1_50 = 0

```

```

freq3_50 = 0
freq1_10 = 0
freq3_10 = 0
freq1_20 = 0
freq3_20 = 0
t1=1
t2=2
'CONFIGURACION DE LA LCD
Lcd_Config(PORTD,7,6,5,4,PORTD, 2,1,3)
Lcd_Init(PORTD)                ' Inicializo LCD en PORTB
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)             ' Comando LCD (borrar el LCD)
Lcd_Cmd(Lcd_Cursor_Off)       ' Cursor Apagado

'DETECCION DEL CABEZAL DE ULTRASONIDO
While true
    poten = Adc_Read(1)        ' Lectura de la conversión en el canal 1
    if poten > 1009 then       ' Valor predeterminado para la lectura
        if poten < 1015 then  ' del cabezal
            goto ultra
        end if
    end if
    Lcd_Out(2,7,"CONECTAR")    ' Imprimemensaje en la LCD
    Lcd_Out(3,8,"CABEZAL")
Wend
ultra:
    Lcd_Cmd(Lcd_First_Row)     ' Imprime mensaje en la primera línea
    Lcd_Out(1,6,"ULTRASONIDO")
    Lcd_Cmd(Lcd_Second_Row)    ' Imprime mensaje en la segunda línea
    Lcd_Out(2,5,"1MHZ & 3MHZ")
    Lcd_Cmd(Lcd_Third_Row)     ' Imprime mensaje en la tercera línea
    Lcd_Out(3,7,"*****")
    Lcd_Cmd(Lcd_Fourth_Row)    ' Imprime mensaje en la cuarta línea
    Lcd_Out(4,3,"PRESIONE INICIAR")
While true

```

```

        if SW4 = 0 then          ' Boton para iniciar el menu de frecuen
        goto menu              ' cias
    end if
Wend
*****Menú para escoger frecuencia*****
menu:
While TRUE
    freq1 = 0
    freq3 = 0
    freq1_50 = 0
    freq3_50 = 0
    freq1_10 = 0
    freq3_10 = 0
    freq1_20 = 0
    freq3_20 = 0
    Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
    Lcd_Cmd(Lcd_Cursor_Off)
    Lcd_Out(1, 1,"ESCOJA LA FRECUENCIA")
    Lcd_Out(2,5,"DE TERAPIA")
    Lcd_Out(4,1,"1MHZ")          ' Imprime los textos en la LCD
    Lcd_Out(4,17,"3MHZ")
    For k=1 to 20
        CustomChar(3,k)          ' Llama a la subrutina, imprime nuevo
        delay_ms(10)            ' caracter
    next k
    Goto modo
Wend
*****ESCOGER MODO CONT. Y MODO PULS.*****
modo:
'++++++FRECUENCIA 1MHZ+++++
delay_ms(100)
While true
    ' PORTB.2, Tiempo de pulso 100ms antirrebote, activo a cero
    IfButton(PORTB, 2, 100, 0) then ' Botón para seleccionar Frec. 1MHZ

```

```

Lcd_Cmd(Lcd_Clear)           ' Borrar LCD
Lcd_Cmd(Lcd_Cursor_Off)     ' Cursor Apagado
Lcd_Out(1, 5, "MOD0 TERAPIA")
Lcd_Out(2, 6, "***1MHZ**")
CustomChar(3,14)            ' Llama a la subrutina, imprime nuevo
CustomChar(3,15)            ' caracter
CustomChar(3,16)
CustomChar(3,17)
CustomChar(3,18)
CustomChar(3,19)
CustomChar(3,20)

Lcd_Out(3,1,"-----")
Lcd_Out(4,1,"CONTINUO")
Lcd_Out(4,14,"PULSADO")
freq1 = 1                    ' Variable que indica la frec de 1MHZ
gotocont_pul                 ' Frecuencia continuo o pulsado
endif

'++++++FRECUENCIA 3MHZ+++++
IfButton(PORTB, 1, 100, 0) then ' Botón para seleccionar Frec. 3MHZ
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
Lcd_Cmd(Lcd_Cursor_Off)
Lcd_Out(1, 5, "MOD0 TERAPIA")
Lcd_Out(2, 6, "***3MHZ**")
CustomChar(3,14)
CustomChar(3,15)
CustomChar(3,16)
CustomChar(3,17)
CustomChar(3,18)
CustomChar(3,19)
CustomChar(3,20)
Lcd_Out(3,1,"-----")
Lcd_Out(4,1,"CONTINUO")
Lcd_Out(4,14,"PULSADO")

```

```

    freq3 = 1
    gotocont_pul          ' Frecuencia continuo o pulsado
  end if
  if Button(PORTB, 0, 50, 0) then  ' Botónpararegresar al cartel
    goto main          ' principal <--
  end if
wend
*****ENTRA EN EL MODO DE TERAPIA*****
cont_pul:
While true
  ifButton(PORTB, 2, 100, 0) then  ' Botón para escoger modo continuo
    goto continuo          ' Modo continuo 100%
  endif
  ifButton(PORTB, 1, 100, 0) then  ' Botón para escoger modo pulsado
    goto pulsado          ' Modo pulsado
  endif
  ifButton(PORTB, 0, 50, 0) then  ' Botón de regreso al modo de terapia
    goto menu          ' <-- (SW1)
  end if
Wend
'-----
'***** Modo Pulsado 50% 20% y 10% *****
'-----
pulsado:
  Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)          ' Borrar LCD
  Lcd_Out(1, 4, "MODO PULSADO")
  Lcd_Out(2,1,"50% PRESIONE SUBIR")
  Lcd_Out(3,1,"20% PRESIONE ")          ' Imprimir texto en LCD
  Lcd_Out(4,1,"10% PRESIONE SELECT")
While True
  ifButton(PORTB, 1, 100, 0) then  ' Bóton para modo pulsado 50%
    goto ir_50
  endif
  ifButton(PORTB, 2, 100, 0) then  ' Bóton para modo pulsado 20%
```

```

    goto ir_20
  endif
  ifButton(PORTB, 0, 100, 0) then          ' Bóton para modo pulsado 10%
    goto ir_10
  end if
wend

*****Modo Continuo*****
***** Calibración del Tiempo para terapia*****
***** Y calibración de potencia*****

continuo:
  sec=0
  sec1=5                                ' Se establece las variables de minuto
  min=1                                  ' y segundo para el tiempo
  min1=0
  Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
  Lcd_Out(1, 2, "MODO CONTINUO 100%")
  Lcd_Out(2,1, "TIEMPO:")
  Lcd_Out(3,1,"POTENCIA:")
  Lcd_Out(4,7,"INICIAR")

temp:
  While true
    GosubVer_Pot                          ' Revision de la potencia
  =====START=====
    if SW4 = 0 then                        ' Botón para Iniciar la terapia
  if min<>0 then
      Dec(min)
    else                                  ' Decrementa en 1 el valor de minutos
      min = 9
      Dec(min1)
    end if
    goto start
  end if

  =====
up:

```

```

        'min1min:sec1sec
Lcd_Chr(2,9,48+min)           ' Escribir en formato ASCII
Lcd_Chr(2,8,48+min1)
IfButton(PORTB, 1, 100, 0) then
    if min1 <> 3 then
        Inc(min)               ' Minutomaximo 3
    end if                    ' Incremento el tiempo
    if min>9 then
        min=0
    end if
    if min = 0 then
        inc(min1)
    end if
    if min1 > 3 then
        min1 = 3               ' 30 Minutos máximos
        min = 0
        gotodown
    end if                    ' Testeo el otro pulsante
end if
down:
IfButton(PORTB, 2, 100, 0) then
    if min <> 0 then
        Dec(min)               ' Decrementar el valor
    else
        min = 9
    end if
    if min = 9 then
        Dec(min1)
    end if
    if min1<1 then
        if min < 2 then
            min1 = 0
            min = 1
            goto up
        end if
    end if
    if min1 < 1 then
        min1 = 1
    end if
end if

```

```

        end if
    end if
endif
    if SW1 = 0 then
        gotomenu
    end if
Wend
'===== START=====
'*****Conteo del tiempo de terapia*****
'=====
start:
    Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
    Lcd_Out(1,4, "Espere...")
    Lcd_Out(2,1, "TIEMPO:")
    Lcd_Out(2,14,":")
    Lcd_Out(3,1,"POTENCIA:")
    Lcd_Out(4,1,"Pausa")
    Lcd_Out(4,13,"Cancelar")
'-----InicializaciónComunicación-----
'-----16f886-----
revi_var:
    PORTE.1 = 0
    if freq1 = 1 then
        PORTC.0 = 1
        delay_ms(100)
        PORTC.0 = 0
    end if
    if freq3 = 1 then
        PORTC.1 = 1
        delay_ms(100)
        PORTC.1 = 0
    end if
    if freq1_50 = 1 then
        PORTC.2 = 1

```

```

    delay_ms(100)
PORTC.2 = 0
    end if
    if freq3_50 = 1 then                ' modopulsado 3mhz 50%
        PORTC.5 = 1
        delay_ms(100)
PORTC.5 = 0
    end if
    if freq1_20 = 1 then                ' modopulsado 1mhz 20%
        PORTC.3 = 1
        delay_ms(100)
        PORTC.3 = 0
    end if

    if freq3_20 = 1 then                ' modopulsado 3mhz 20%
        PORTC.6 = 1
        delay_ms(100)
        PORTC.6 = 0
    end if
    if freq1_10 = 1 then                ' modopulsado 1mhz 10%
        PORTC.4 = 1
        delay_ms(100)
        PORTC.4 = 0
    end if
    if freq3_10 = 1 then                ' modopulsado 3mhz 10%
        PORTE.0 = 1
        delay_ms(100)
        PORTE.0 = 0
    end if

While true
play:
    ifButton(PORTB, 2, 0, 0) then      ' Botón para pausar la terapia
        PORTC.7 = 1
        delay_ms(100)                  ' Indica al otro micro que está en pausa

```



```

                end if
            end if
        end if
        sec1=5
    end if
    if min<>0 then                ' Decremento de los minutos
        Dec(min)
    else
        min = 9
        Dec(min1)
    end if
end if
    if min=0 then
        if min1=0 then
            t1=3
        end if
    end if
    if t1=t2 then
        goto termina                ' Termina el tiempo
    endif
    GosubVer_Pot                    ' Lectura de la potencia
Wend
'=====
'*****Lectura del ADC para la potencia*****
'*****del Equipo*****
'=====
Ver_Pot:
    volt = Adc_Read(0)                ' Leo la conversión en el canal 0 y 1
    corri = Adc_Read(1)
    'Mido voltaje
    tlong = volt * 22500                ' voltaje máximo de ingreso canal 5v - 25v
    result_vol = tlong/1023            ' Convertir el resultado en mili voltios
    'Mido corriente i=v/r
    'r=0,33ohm

```

```

tlong1 = corri*5000          ' hasta 5v
result_corr = tlong1/326
result_corr = result_corr /1023    ' Convertir el resultado en milivoltios
                                   ' 0..1023 -> 0-5000mV es 5v
'Potencia
result = result_vol * result_corr
result = result /5            ' 5cm2
ch = (result / 1000) mod 10      ' Extraer voltios (miles de milivoltios)
                                   ' del resultado
Lcd_Chr(3,10,48+ch)            ' Escribir resultado en formato ASCII
Lcd_Chr_CP(".")                ' Escribir el punto decimal
ch = (tlong / 100) mod 10      ' Extraer centenas de milivoltios
Lcd_Chr_CP(48+ch)              ' Escribir resultado en formato ASCII
Lcd_Out(3,13, "W/cm2")
Delay_ms(1)
Return

'=====
*****Fin de la Terapia*****
'=====

termina:
    PORTC.7 = 1
    delay_ms(100)              ' Pulso para terminar la terapia
    PORTC.7 = 0

    Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)         ' Comando LCD (borrar el LCD)
    Lcd_Out(2,7,"TERAPIA")     ' Imprime texto en LCD
    Lcd_Out(3,9,"FINALIZADA")  ' Imprime texto en LCD
    Delay_ms(2000)
    goto main

*****PLAY / PAUSA o CANCELAR*****

pausa:
While true
    If Button(PORTB, 3, 100, 0) then ' Botón> para reiniciar con la terapia
        Gotorevi_var

```

```

Endif
IfButton(PORTB, 1, 0, 0) then      ' Botón para cancelar la terapia
    PORTC.7 = 1
    delay_ms(100)
    PORTC.7 = 0                    ' Apaga al oscilador
    Goto main
end if

Wend

'=====
'***** Duty 50% *****
'=====

ir_50:
    sec=0
    sec1=5
    min=1
    min1=0
    if freq1 = 1 then              ' Variable que indica que estoy dentro
        freq1_50=1                ' de 1MHZ - Duty Cycle 50%
    end if
    if freq3 = 1 then              ' Variable que indica que estoy dentro
        freq3_50=1                ' de 3MHZ - Duty Cycle 50%
    end if
    Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
    Lcd_Out(1,3,"DUTY CYCLE 50%")
    Lcd_Out(2,1, "TIEMP0:")
    Lcd_Out(3,1, "POTENCIA:")
    Lcd_Out(4,7, "START")
    freq1 = 0                      ' variables a cero para empezar un nue-
    freq3 = 0                      ' vo proceso
    goto temp

'=====
'***** Duty 10% *****
'=====

ir_10:

```

```

sec=0
sec1=5
min=1
min1=0
if freq1 = 1 then                                ' Variable que indica que estoy dentro
freq1_10=1                                       ' de 1MHZ - Duty Cycle 10%
end if
if freq3 = 1 then                                ' Variable que indica que estoy dentro
freq3_10=1                                       ' de 3MHZ - Duty Cycle 10%
end if
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
Lcd_Out(1,3,"DUTY CYCLE 10%")
Lcd_Out(2,1, "TIEMP0:")
Lcd_Out(3,1, "POTENCIA:")
Lcd_Out(4,7, "START")
freq1 = 0                                        ' variables a cero para empezar un nue-
freq3 = 0                                        ' vo proceso
goto temp

'=====
'***** Duty 20% *****
'=====

ir_20:
sec=0
sec1=5
min=1
min1=0
if freq1 = 1 then                                ' Variable que indica que estoy dentro
freq1_20=1                                       ' de 1MHZ - Duty Cycle 20%
end if
if freq3 = 1 then                                ' Variable que indica que estoy dentro
freq3_20=1                                       ' de 3MHZ - Duty Cycle 20%
end if
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR)
Lcd_Out(1,3,"DUTY CYCLE 20%")

```

```

Lcd_Out(2,1, "TIEMP0:")
Lcd_Out(3,1, "P0TENCIA:")
Lcd_Out(4,7, "START")
freq1 = 0           ' variables a cero para empezar un nue-
freq3 = 0           ' voproceso
goto temp
end.

```

### 3.2.5 Código fuente para microcontrolador 16F886

```

*****
' Proyecto : ULTRASONIDO TERAPEÚTICO *
' Fecha   : 09/10/2012 *
' Compañía : UDA *
' Autor   : DIEGO CABRERA - GUSTAVO CALLE *
' Versión : DEL-1.0 *
' Notas   : Programa creado para controlar el LTC6904 mediante I2C y para *
' controlar las salidas de la fuente como la del mosfet, también se controlara *
' el modo pulsado para ambas frecuencias de 1MHZ Y 3MHZ. micro:16f886 *
' configurado para usar un oscilador internos de 8mhz y sin reset. *
*****

Program Oscilador Digital
*****Declaración de Variables*****

dim dato1 as byte
dim dato2 as byte
dim dato3 as byte
dim dato4 as byte
dim dato5 as byte
dim dato6 as byte
dimvar as byte

*****INICIO DEL PROGRAMA*****

main:
'CONFIGURACION DEL OSCILADOR INTERNO
OSCCON = %01110110           ' Oscilador interno de 8mhz, frecuencia

```



```

        PORTA.3 = 1                ' controla transistor cerrado
        PORTA.1 = 1                ' controla la fuente
    Endif

'=====
                                'Frecuencia de 1MHZ
                                'PULSADO 50%
'=====

if Button(PORTB, 2, 70, 1) then  ' Activo a 1
    PWM_Init(1000000)
    Pwm_Start
    PWM_Change_Duty(128)         ' Establece el dutycycle del pwm
    PORTA.0 = 1                  ' frecuencia de salida
    delay_ms(800)
        PORTA.3 = 1              ' controla transistor cerrado
        PORTA.1 = 1              'control de la fuente
    goto duty_50
end if

'=====
                                'Frecuencia de 1MHZ
                                'PULSADO 20%
'=====

if Button(PORTB, 3, 70, 1) then  ' DOWN SW3 activo a 1
    PWM_Init(1000000)
    Pwm_Start
    PWM_Change_Duty(128)         ' Establece el dutycycle del pwm
    PORTA.0 = 1                  ' frecuencia de salida
    delay_ms(800)
        PORTA.3 = 1              ' controla transistor cerrado
        PORTA.1 = 1              'control de la fuente
    goto duty_20
end if

'=====
                                'Frecuencia de 1MHZ
                                'PULSADO 10%

```

```

=====
if Button(PORTB, 4, 70, 1) then      ' Activo a 1
  PWM_Init(1000000)
  Pwm_Start
  PWM_Change_Duty(128)              ' Establece el dutycycle del pwm
  PORTA.0 = 1                       ' frecuencia de salida
  delay_ms(800)
    PORTA.3 = 1                     ' controla transistor cerrado
    PORTA.1 = 1                     ' control de la fuente
  goto duty_10
end if
=====

                                'Frecuencia de 3MHZ
                                'CONTINUO 100%
=====

ifButton(PORTB, 1, 70, 1) then
  I2C_Init(100000)                  ' Velocidad de transmisión de 100kb/seg
  I2C_Start                          ' Issue I2C start signal
  I2C_Wr(%00101110)                 ' reconocimiento del LTC (Dirección)
    I2C_Wr(dato3)                   ' Envía dato 3
    I2C_Wr(dato4)                   ' Envía dato 4
    I2C_Stop
  delay_ms(100)
    PORTA.5 = 1                      ' Cambio de uc a ltc
    PORTA.0 = 1                      ' frecuencia de salida
    PORTA.2 = 1                      ' cambio de resistencia para potencia
    PORTA.3 = 1                      ' controla transistor cerrado
  delay_ms(800)
    PORTA.1 = 1                      ' control de la fuente
endif
=====

                                'Frecuencia de 3MHZ
                                'PULSADO 50%
=====

```

```

ifButton(PORTB, 5, 70, 1) then
I2C_Init(100000)          ' Velocidad de transmisión de 100kb/seg
I2C_Start                 ' Issue I2C start signal
I2C_Wr(%00101110)        ' reconocimiento del LTC (Dirección)
    I2C_Wr(dato3)         ' Envía dato 3
    I2C_Wr(dato4)         ' Envía dato 4
    I2C_Stop
delay_ms(100)
    PORTA.5 = 1           ' Cambio de uc a ltc
    PORTA.0 = 1           ' frecuencia de salida
    PORTA.2 = 1           ' cambio de resistencia para potencia
delay_ms(800)
    PORTA.3 = 1           ' controla transistor cerrado
    PORTA.1 = 1           ' control de la fuente
goto duty_50
end if

```

```

'-----
                                'Frecuencia de 3MHZ
                                'PULSADO 20%
'-----

```

```

ifButton(PORTB, 6, 70, 1) then
I2C_Init(100000)          ' Velocidad de transmisión de 100kb/seg
I2C_Start                 ' Issue I2C start signal
I2C_Wr(%00101110)        ' reconocimiento del LTC (Dirección)
    I2C_Wr(dato3)         ' Envía dato 3
    I2C_Wr(dato4)         ' Envía dato 4
    I2C_Stop
delay_ms(100)
    PORTA.5 = 1           ' Cambio de uc a ltc
    PORTA.0 = 1           ' frecuencia de salida
    PORTA.2 = 1           ' cambio de resistencia para potencia
delay_ms(800)
    PORTA.3 = 1           ' controla transistor cerrado
    PORTA.1 = 1           ' control de la fuente

```

```

goto duty_20
end if
'-----
                                'Frecuencia de 3MHZ
                                'PULSADO 10%
'-----

ifButton(PORTA, 4, 70, 1) then
I2C_Init(100000)                ' Velocidad de transmisión de 100kb/seg
I2C_Start                        ' Issue I2C start signal
I2C_Wr(%00101110)                ' reconocimiento del LTC (Dirección)
    I2C_Wr(dato3)                  ' Envía dato 3
    I2C_Wr(dato4)                  ' Envía dato 4
    I2C_Stop
delay_ms(100)
    PORTA.5 = 1                    ' Cambio de uc a ltc
    PORTA.0 = 1                    ' frecuencia de salida
    PORTA.2 = 1                    ' cambio de resistencia para potencia
delay_ms(800)
    PORTA.3 = 1                    ' controla transistor cerrado
    PORTA.1 = 1                    ' control de la fuente
goto duty_10
end if

*****

                                'Apaga el oscilador
*****

if Button(PORTB, 7, 70, 1) then
apaga:
PORTA.0 = 0
    PORTA.1 = 0
    PORTA.2 = 0
    PORTA.3 = 0
PORTA.5 = 0
PORTC.2 = 0
goto main

```

```

end if
'=====
gotode_nuevo
duty_50:
While True
    PORTA.3 = 1          ' controla transistor cerrado
delay_ms(500)
    PORTA.3 = 0          ' controla transistor abierto
delay_ms(500)
If PORTC.7 = 1 then ' Entrada que se activa en modo pulsado
goto apaga            ' Apaga en modo pulsado
end if
Wend
duty_20:
While True
PORTA.3 = 1          ' controla transistor cerrado
delay_ms(200)
    PORTA.3 = 0          ' controla transistor abierto
delay_ms(800)
If PORTC.7 = 1 then
goto apaga            ' Apaga en modo pulsado
end if
Wend
duty_10:
While True
PORTA.3 = 1          ' controla transistor cerrado
delay_ms(100)
    PORTA.3 = 0          ' controla transistor abierto
delay_ms(900)
If PORTC.7 = 1 then
goto apaga            ' Apaga en modo pulsado
end if
Wend
End.

```

## **CAPITULO 4**

### **IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES**

En este capítulo se indican los detalles de la implementación y construcción del equipo de ultrasonido, desde el diseño de placas en PCB (circuito impreso), fotografías del procedimiento de ensamblaje, hasta la calibración y puesta a punto del aparato, indicando las formas de una onda resultantes una vez terminado y funcionando de manera óptima.

#### **4.1 Procedimiento constructivo de placas**

##### **4.1.1 Diseño y construcción del PCB**

Para el diseño del PCB previamente se necesita tener dibujado el esquema eléctrico realizado en el capítulo 2, tanto estos diseños como el esquema eléctrico y el PCB son realizados en Altium 2004 (DXP), el cual es un software de mucha calidad y muy eficiente a la hora de realizar las pistas.

Al empezar con el circuito impreso primero se debe tomar en cuenta el posicionamiento de los elementos, este punto es muy importante debido a que así se facilita el ruteo de la placa y se evita el riesgo de tener posibles desconexiones de las pistas.

Las placas se realizan con impresión de pista en la capa tanto superior como inferior, esto es benéfico para un ruteo uniforme, es decir, con menos cruces de líneas y menos errores.

#### 4.1.1.1 Vías y pad para el PCB del circuito de control

Para el ruteo del circuito principal, se debe analizar cuanta corriente y voltaje va a consumir un circuito, como este circuito consume en el rango de los miliamperios, el ancho de pista se proyecta de unos 0,35mm o 14mil (milésimas de pulgada) como se indica en la figura 4.1

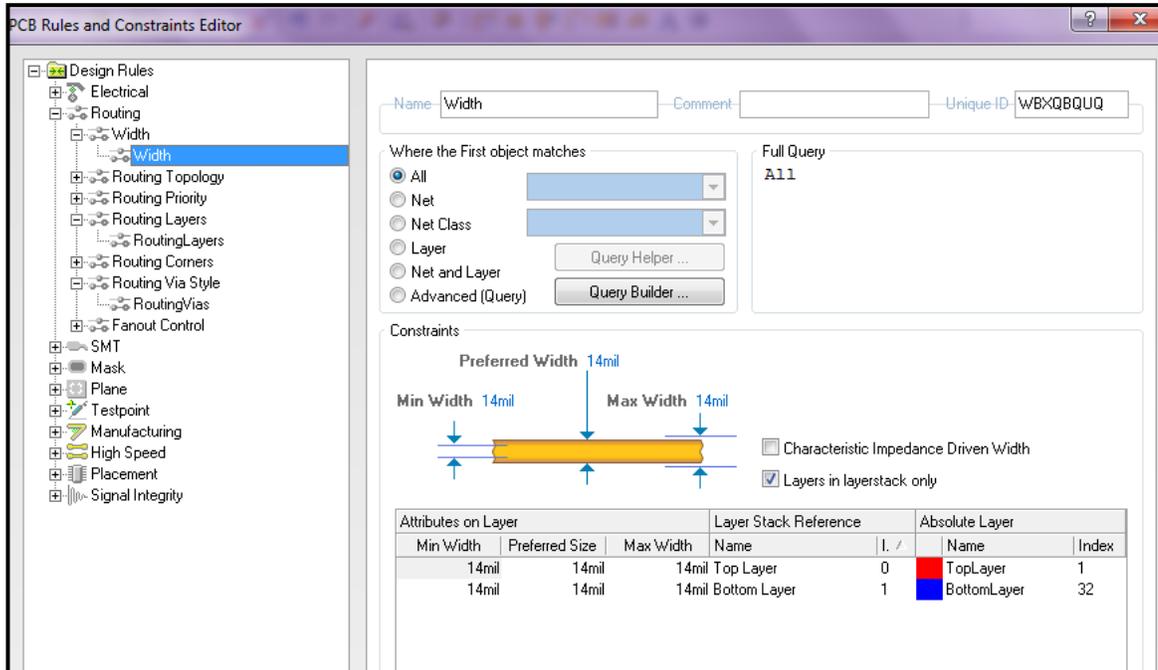


Figura 4.1. Ancho de la pista circuito de control

El siguiente aspecto a tomar es el tamaño del agujero y el diámetro del PAD (figura 4.2), que es el punto de conexión de la capa superior con la inferior.

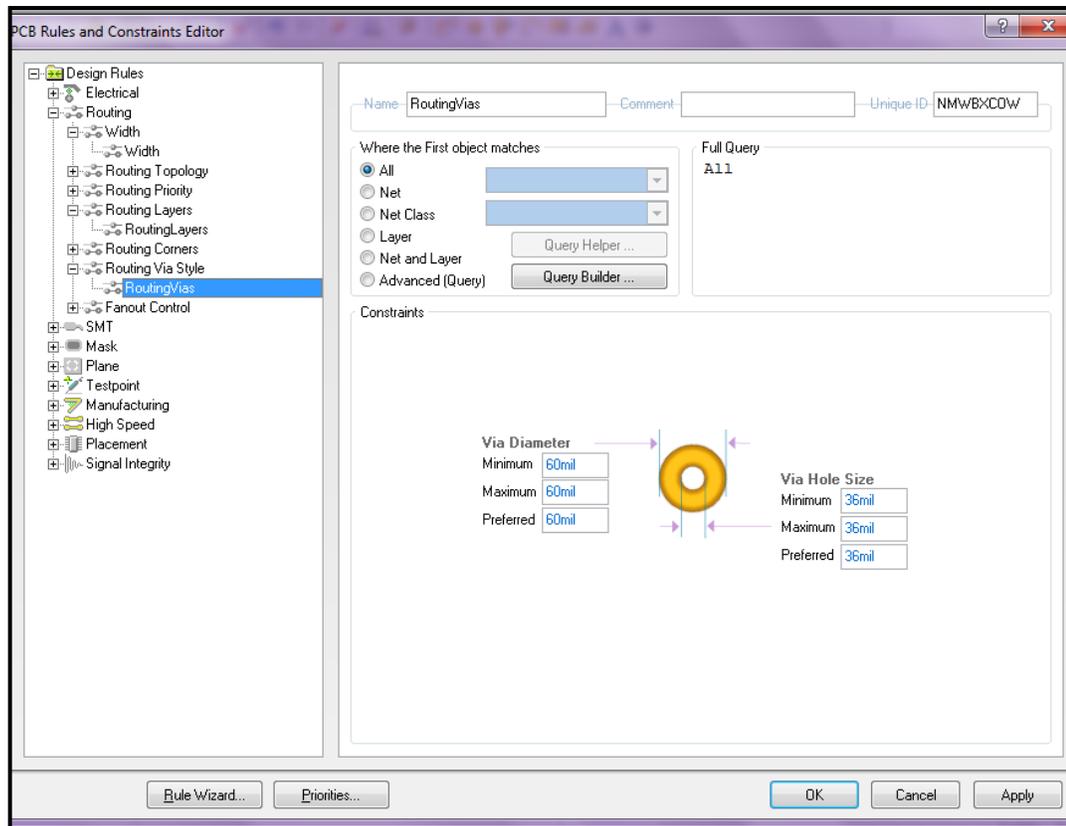


Figura 4.2. Medidas del PAD

El diámetro de la vía es 1,5mm (60mil) y el tamaño del agujero de 0,9mm (36mil).

#### 4.1.1.1 PCB del circuito de control

Diseño del circuito impreso:

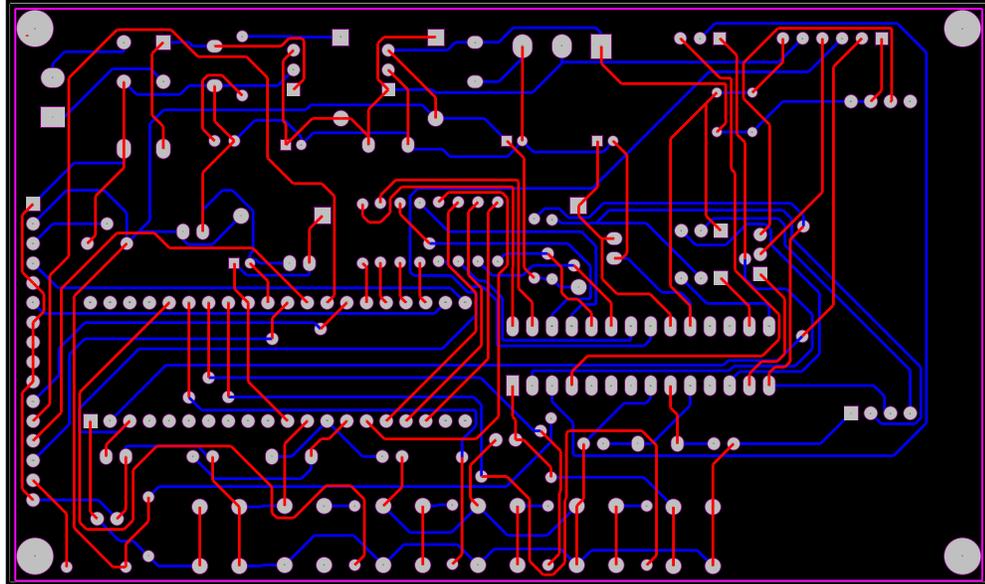


Figura 4.3. PCB del circuito de control

Montaje de los elementos:

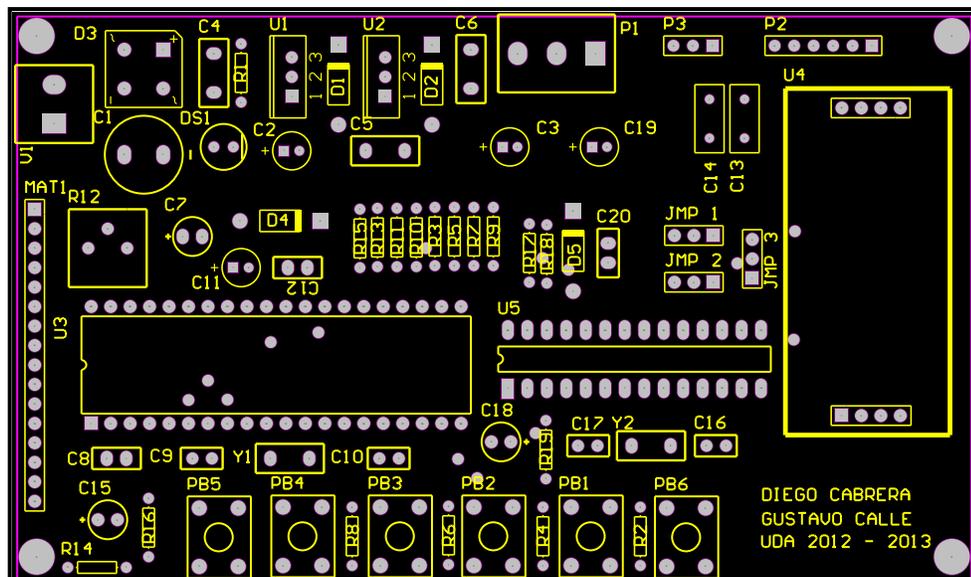


Figura 4.4. Montaje de elementos circuito de control

Para el montaje de los componentes hay que empezar soldando desde los elementos más pequeños hasta los más grandes, ya que así se facilita el trabajo de soldar y no se tiene inconvenientes al momento de ir posicionando.

Para el montaje de la tarjeta se necesitan los siguientes componentes:

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Huella</b>
Condensador Cerámico	0.01uF	1	C13
Condensador Cerámico	0.1uF	3	C8, C12, C20
Condensador Cerámico	100nF	3	C4, C5, C6
Condensador Electrolítico	100uF	1	C3
Resistencia	10 K	2	R20, R21
Potenciómetro	10 K	1	R12
Condensador Cerámico	18pF	4	C9, C10, C16, C17
Resistencia	1M	1	R16
Diodo Rectificador	1N4007	4	D1, D2, D4, D5
Capacitor Electrolítico	1uF	3	C14, C15, C18
Resistencia	2,2 K	1	R1
Cristal oscilador	20 MHz	2	Y1, Y2
Resistencia	220	15	R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R13, R14, R15, R17, R18
Condensador Electrolítico	220uF	2	C11, C19
Bornera	BOR_2	1	V1
Resistencia	4,7 K	2	R19, R22
Condensador Electrolítico	4700 uF	1	C1
Condensador Electrolítico	470uF	1	C2
Condensador Electrolítico	47uF	1	C7
Bornera	BOR_3	1	P1
Conector	4-pin	1	P3
Conector	6-pin	1	P2
Jumper	3-pin	3	JMP 1, JMP 2, JMP 3
Conector	16-pin	1	MAT1

Continuación:

Regulador de voltaje	LM7805	1	U2
Regulador de voltaje	LM7812	1	U1
Oscilador Digital	LTC6904	1	U4
Microcontrolador	PIC 16F886	1	U5
Microcontrolador	PIC18F452	1	U3
Transformador	120/12 V	1	V1
Pulsantes	4 pines	6	PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6

Tabla 4.1. Componentes para placa de control

El resultado una vez culminado el montaje de los componentes se puede apreciar en la figura 4.5:

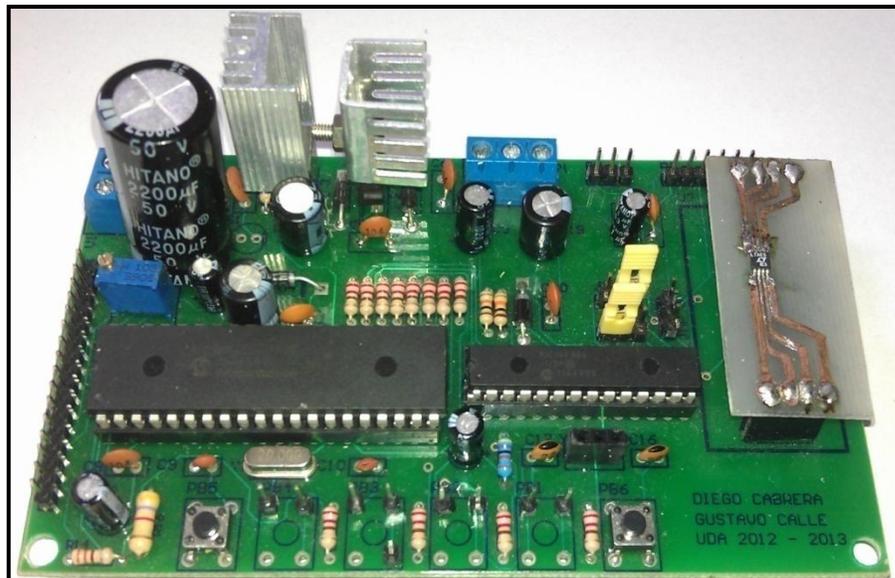


Figura 4.5. Implementación de la placa de control

#### 4.1.1.2 Vías y pad para el PCB del circuito de potencia

De la misma manera que la placa anterior se escoge la anchura de la pista y las dimensiones correspondientes al PAD. Para este circuito impreso se escoge dos anchos de pista, el primero tiene una dimensión de 1,016mm o 40mil (milésimas de

pulgada) como indica la figura 4.6, que es el ancho para la parte de la fuente y para el circuito de potencia (MOSFET), mientras que la segunda dimensión es de 0,35mm o 14mil (milésimas de pulgada), esta medida es para los circuitos externos como el driver del MOSFET y la amplificación, los cuales son circuitos que no consumen mucha corriente por lo tanto se realiza con una pista más delgada que la primera.

El PAD no cambia para este circuito impreso ya que solo sirve como unión de la capa superior e inferior, por tanto se usan las mismas dimensiones que el circuito anterior (figura 4.2).

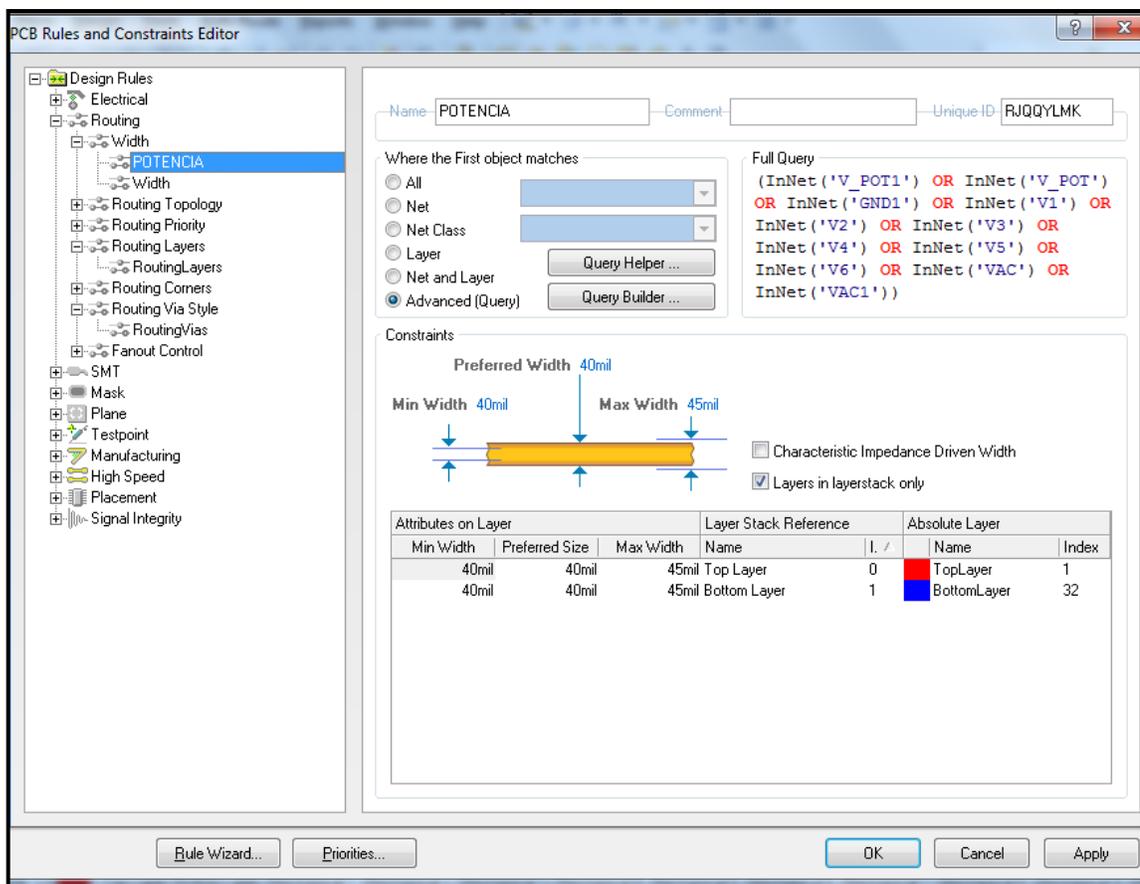


Figura 4.6. Ancho de la pista circuito de potencia

#### 4.1.1.2.1 PCB del circuito de potencia

Diseño del circuito impreso:

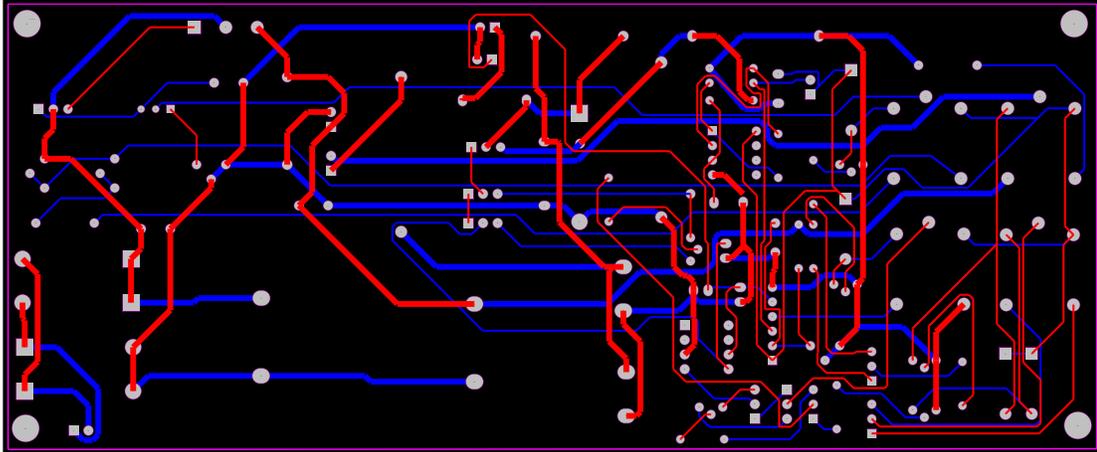


Figura 4.7. PCB del circuito de potencia

Montaje de los elementos:

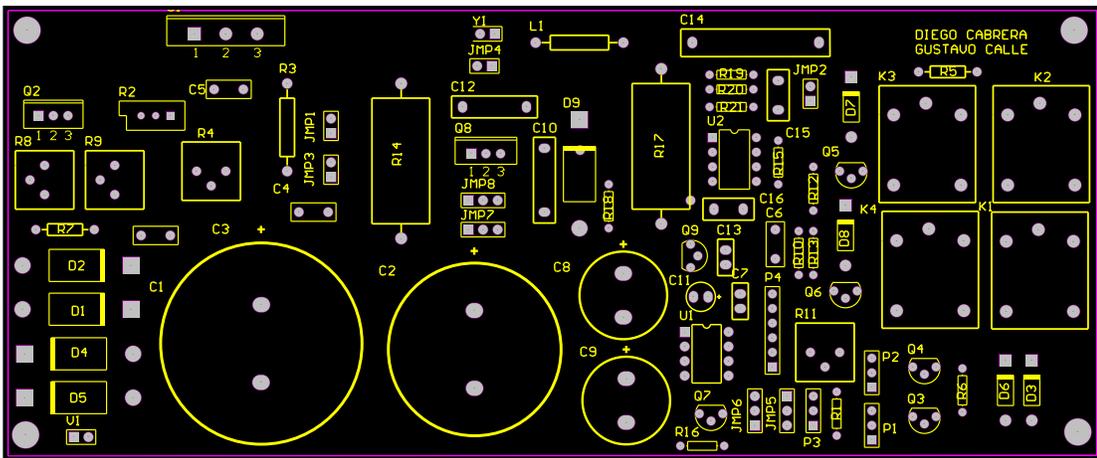


Figura 4.8. Montaje de elementos circuito de potencia

A continuación en la tabla 4.2 se muestra los materiales ocupados para el desarrollo de la placa de potencia.

Componente	Valor	Cantidad	Huella
Resistencia	0,33 $\Omega$	2	R14, R17
Condensador Cerámico	0.1uF	3	C15, C6, C7
Condensador Cerámico	100nF/400V	5	C10, C3, C4, C5, C12
Condensador Cerámico	10nF	1	C16
Condensador Electrolítico	10000uF/50V	1	C2
Condensador Electrolítico	10000uF/80V	1	C1
Condensador Electrolítico	1000uF/50V	2	C8, C9
Resistencia	10K	3	R10, R21, R7
Potenciómetro Lineal	10K	3	R8, R9, R11
Potenciómetro	5K	1	R2
Resistencia	15K	1	R15
Inductor	170 uH	1	L1
Resistencia	1K	9	R1, R6, R12, R13, R16, R18, R19, R20, R5
Condensador Electrolítico	1uF	2	C14, C11
Condensador Cerámico	2200pF	1	C13
Transistor BJT	2N3904	6	Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q9
Transistor Toshiba	2SC3281	1	Q1
Resistencia	5,6K	1	R3
Conector	3-pin	3	P1, P2, P3
Diodo Rectificador	1N5399	5	D1, D2, D4, D5, D9
Diodo Rectificador	1N4005	4	D3, D6, D7, D8
Conector	6-pin	1	P4
MOSFET	IRF820	1	Q8
Jumper	2-pin	4	JMP1, JMP2, JMP3, JMP4
Jumper	3-pin	4	JMP5, JMP6, JMP7, JMP8
Amplificador Operacional	LM358	1	U2
Driver de MOSFET	MCP1405	1	U1
Relé	Relé	4	K1, K2, K3, K4
Transistor	TIP31	1	Q2
Transformador	120/50V	1	V1
Conector	2-pin	2	V1, Y1

Tabla 4.2. Componentes para placa de potencia

El resultado se puede apreciar en la figura 4.9:

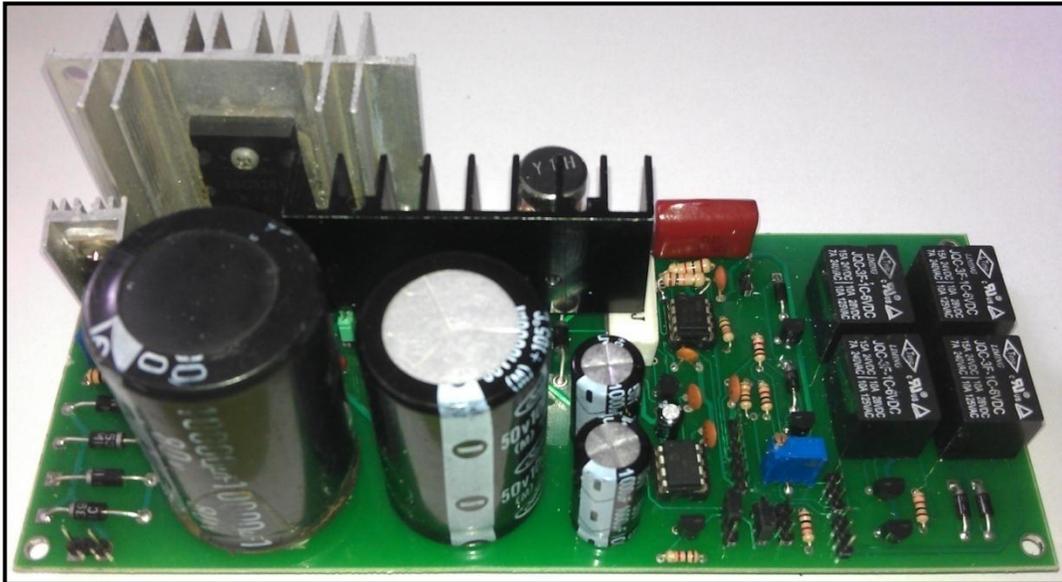


Figura 4.9. Implementación de la placa de potencia

#### 4.1.1.3 PCB para el oscilador digital

La implementación del oscilador digital se realiza en una placa pequeña, por el motivo de que el oscilador tiene sus pines para soldadura superficial (figura 4.10), y en este proyecto el diseño de los circuitos impresos son para soldadura por debajo de la placa para integrados y componentes comunes en el mercado. También cabe recalcar sus dimensiones, que son muy pequeñas (3 x 4.9mm), lo que lleva a la necesidad de fabricar manualmente las pistas para extender los pines a unos conectores denominados peinetas como se observa en la figura 4.11, esto a su vez facilita la colocación de la huella en el diseño del circuito impreso para la placa de control (figura 4.5).

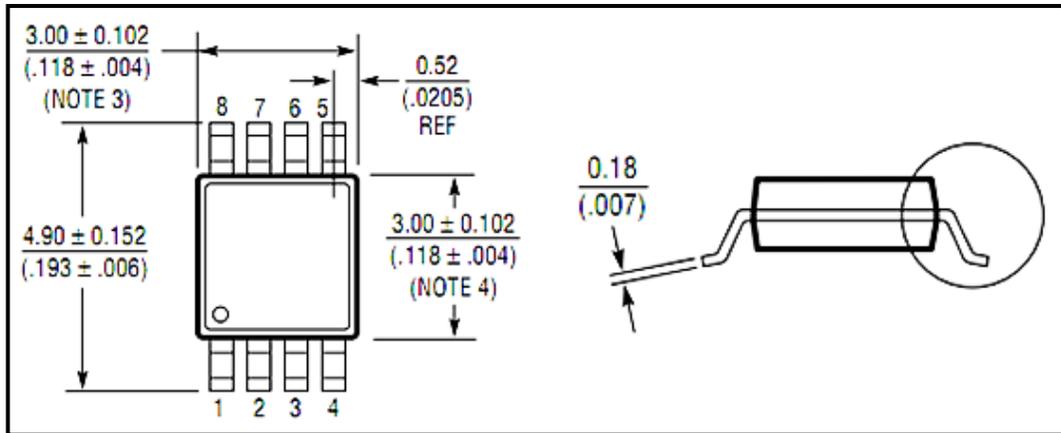


Figura 4.10. Oscilador digital con pines superficiales

Fuente: LINEAR TECHNOLOGY. LTC6903/6904. Port Programmable Oscillator.

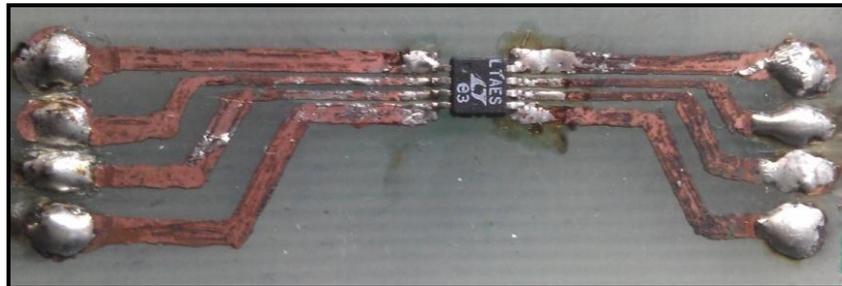


Figura 4.11. PCB del oscilador digital

## 4.2 Construcción del equipo de ultrasonido

Construido las placas se procede a la unión de los dos circuitos y a la implementación del equipo en general. Para esto se adquiere una caja plástica cerrada, base para el ensamblaje de los circuitos, transformadores, panel de interfaz y control de usuario (figura 4.12).



Figura 4.12. Implementación de los circuitos

A la carcasa del equipo se le realizan modificaciones necesarias para poder colocar un mando de encendido y apagado, la puesta de un portafusibles, el conector de alimentación del equipo, tal como indica la figura 4.13.



Figura 4.13. Implementación del equipo parte posterior

Para la parte delantera del equipo se realizan agujeros para la pantalla, las teclas de control, la perilla para variar la potencia y el conector para el transductor de ultrasonido.

#### 4.2.1 Diseño del panel frontal del equipo

El diseño del panel se realiza en Adobe Illustrator CS2 (figura 4.14), luego se imprime en vinil laminado para que tenga mayor resistencia a la interacción con el exterior. La idea del diseño es proporcionar una visión agradable al usuario de tal forma que a su vez facilite el manejo e interfaz de uso.

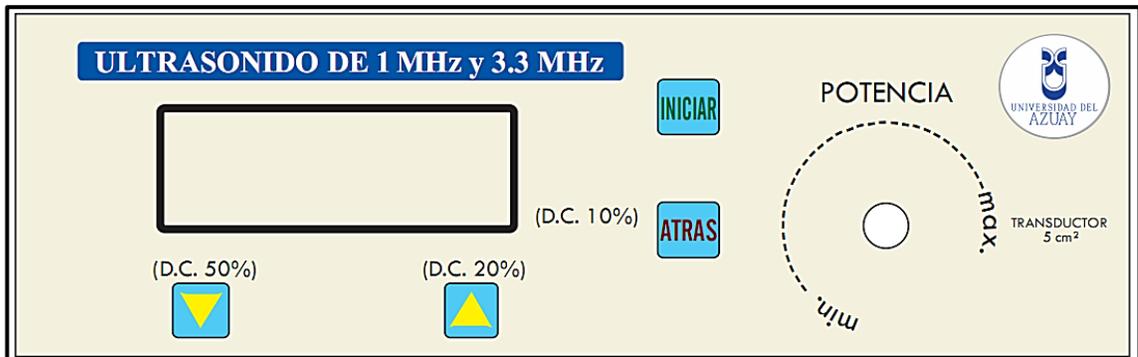


Figura 4.14. Diseño del panel frontal del equipo

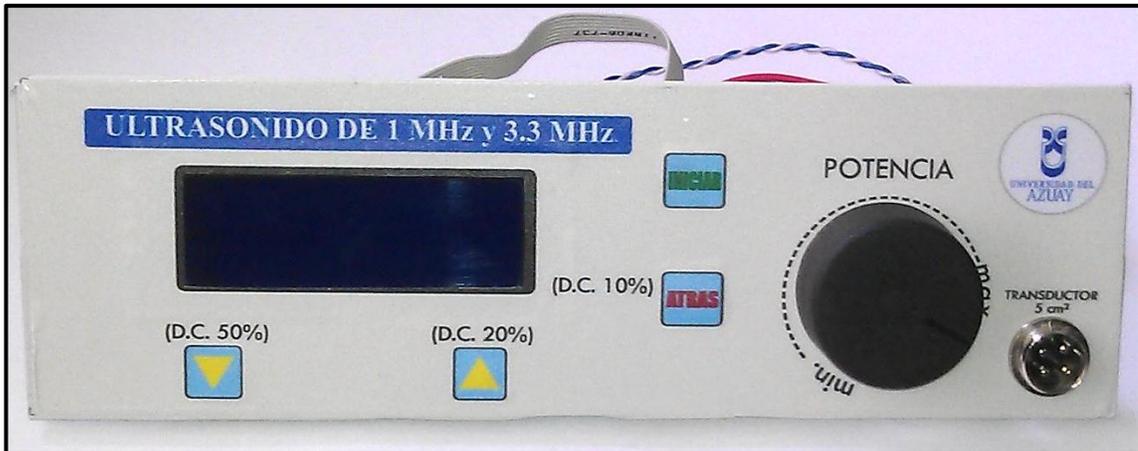


Figura 4.15. Acabado del panel frontal

#### 4.2.2 Acabado del equipo de ultrasonido

Al concluir con el ensamblaje de circuitos, se procede a equipar toda la carcasa uniendo el panel frontal con el resto de partes del equipo, obteniendo un acabado profesional (figura 4.16).



Figura 4.16. Acabado del equipo de ultrasonido

### 4.3 Resultados del equipo

Para la puesta a punto del equipo se realiza la medición y calibración de la potencia emitida, para esto se conecta el voltímetro y amperímetro en el integrado IRF820 obteniendo la potencia entregada por el MOSFET (figura 4.17).

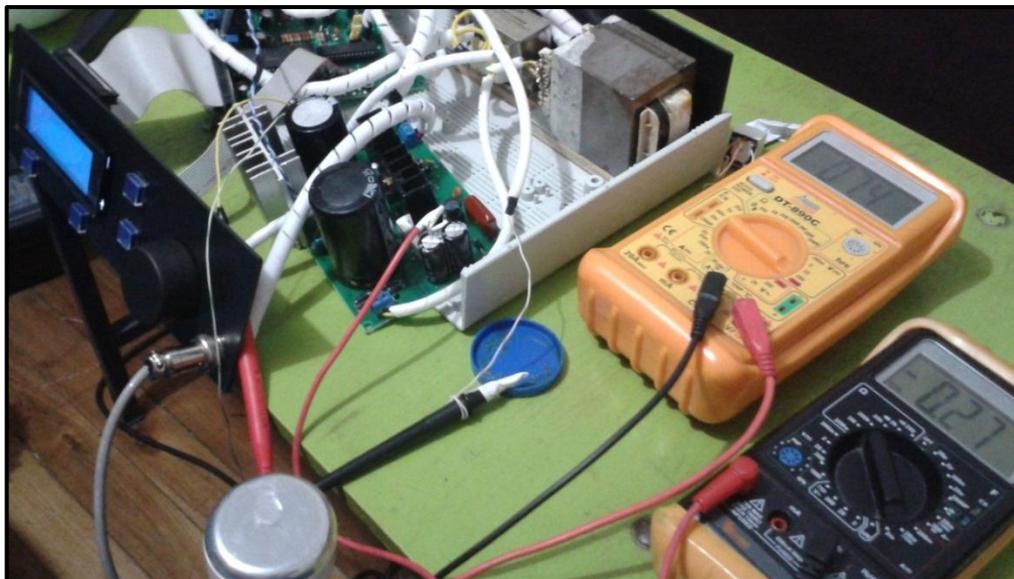


Figura 4.17. Calibración de potencia

Se enchufa la salida del oscilador al osciloscopio y el tiempo por división se coloca en 0.5 useg/div a una escala de 2 V/div, de esta manera se puede observar la generación de 1 MHz tal como en la figura 4.18.

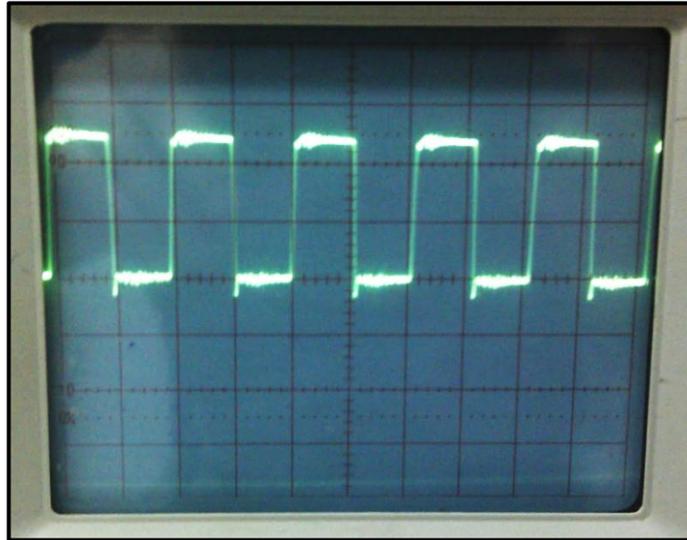


Figura 4.18. Generación de 1 MHz

Ahora el tiempo por división se coloca en 0.1 useg/div para visualizar la generación de 3.3 MHz:

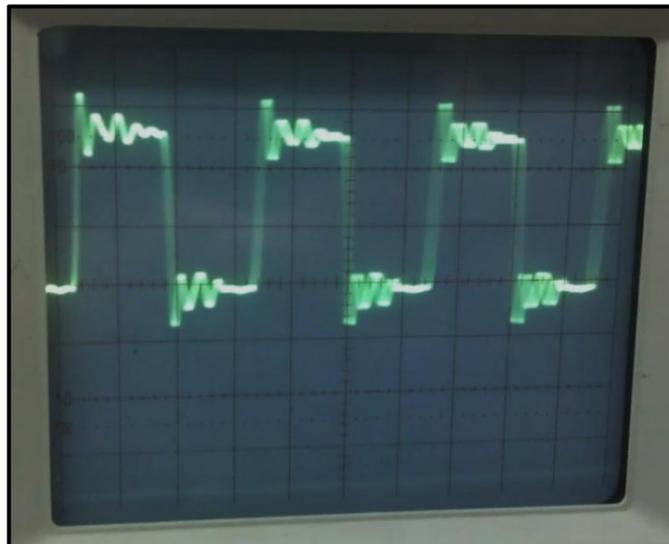


Figura 4.19. Generación de 3.3 MHz

Para poder observar un ejemplo de amplificación se conecta la salida del transductor al otro canal del osciloscopio, iniciando con una potencia de prueba de  $0.5 \text{ W/cm}^2$ , dando como resultado la imagen vista en la figura 4.20:

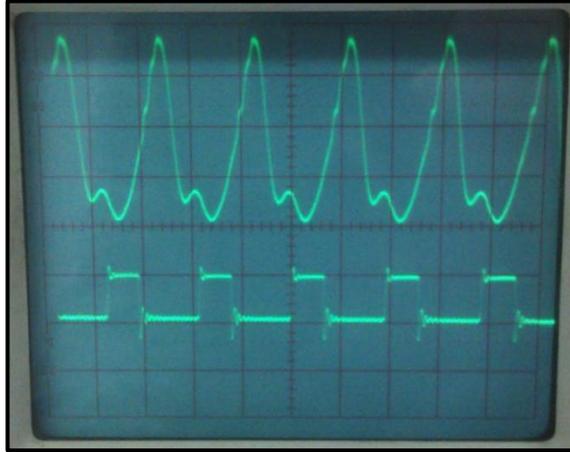


Figura 4.20. Amplificación de onda

Donde se puede ver los picos generados por el MOSFET necesarios para que entre en resonancia el transductor, esta señal es visualizada con el osciloscopio colocado en la escala de  $5 \text{ V/div}$ , de manera que se puede observar que a una potencia de  $0.5 \text{ W/cm}^2$  se tiene un  $V_{pp}$  de  $18 \text{ V}$ , teniendo en su máxima potencia ( $2 \text{ W/cm}^2$ )  $80 \text{ V}_{pp}$  para la frecuencia de  $1 \text{ MHz}$  y  $35 \text{ V}_{pp}$  para la frecuencia de  $3.3 \text{ MHz}$ . En la figura 4.21 y 4.22 se observa una señal amplificada casi a su totalidad:

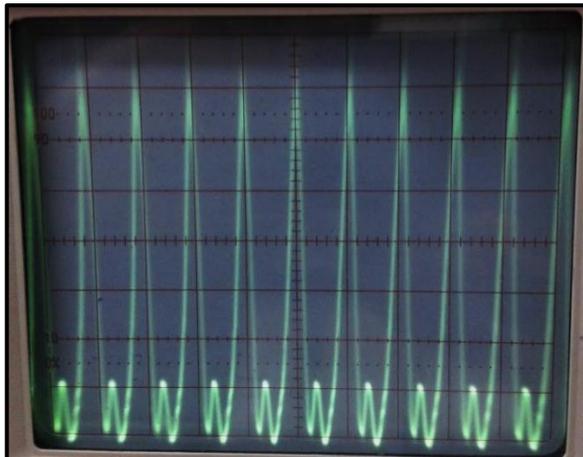


Figura 4.21. Amplificación de onda a  $1 \text{ MHz}$

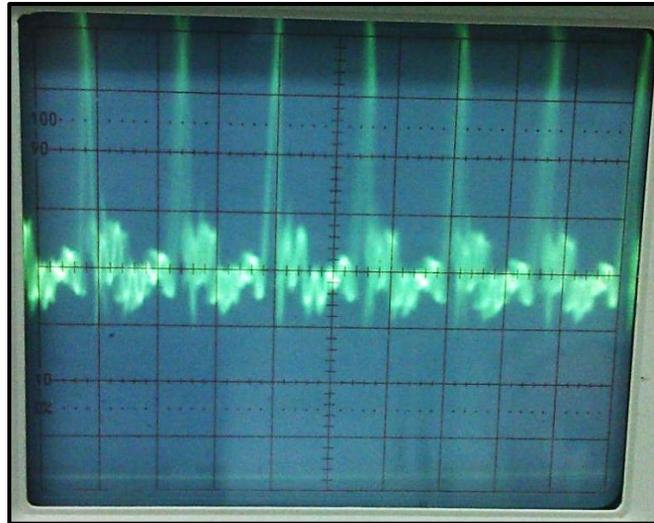


Figura 4.22. Amplificación de onda a 3.3 MHz

#### 4.4 Análisis técnico-económico

Un análisis del costo de los materiales utilizados en el proyecto permite conocer si es rentable realizar una inversión económica para el desarrollo del equipo.

Las siguientes tablas estipulan el costo de cada uno de los componentes necesarios para poner a la unidad en funcionamiento:

<b>Materiales para la placa de control</b>				
<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>C. Unitario (\$)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Condensador Cerámico	0.01uF	1	0,02	0,02
Condensador Cerámico	0.1uF	3	0,02	0,06
Condensador Cerámico	100nF	3	0,02	0,06
Condensador Electrolítico	100uF	1	0,25	0,25
Resistencia	10K	2	0,02	0,04
Potenciómetro	10K	1	0,70	0,70
Condensador Cerámico	18pF	4	0,03	0,12
Resistencia	1M	1	0,03	0,03
Diodo Rectificador	1N4007	4	0,10	0,40
Capacitor Electrolítico	1uF	3	0,10	0,30
Resistencia	2,2K	1	0,02	0,02
Cristal oscilador	20MHz	2	0,75	1,50

Continuación:

Resistencia	220	15	0,02	0,30
Condensador Electrolítico	220uF	2	0,40	0,80
Borneras		2	0,60	1,20
Resistencia	4,7K	2	0,02	0,04
Condensador Electrolítico	4700uF	1	0,85	0,85
Condensador Electrolítico	470uF	1	0,40	0,40
Condensador Electrolítico	47uF	1	0,25	0,25
Conector peineta macho	40 pines	1	0,90	0,90
Conector peineta hembra	40 pines	1	0,90	0,90
Jumper	2 pines	3	0,05	0,15
Regulador de voltaje	LM7805	1	0,60	0,60
Regulador de voltaje	LM7812	1	0,60	0,60
Oscilador Digital	LTC6904	1	58,89	58,89
Microcontrolador	PIC 16F886	1	4,00	4,00
Microcontrolador	PIC18F452	1	13,00	13,00
Transformador	120/12 V	1	5,00	5,00
Pulsantes	4 pines	6	0,45	2,70
Fabricación circuito impreso		1	45,75	45,75
Costo final placa de control (USD)				139,83

Tabla 4.3. Costo de materiales placa de control

<b>Materiales para la placa de potencia</b>				
<b>Componente</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>C. Unitario (\$)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Resistencia	0,33	2	0,25	0,50
Condensador Cerámico	0,1uF	3	0,02	0,06
Condensador Cerámico	100nF/400V	5	0,50	2,50
Condensador Cerámico	10nF	1	0,02	0,02
Condensador Electrolítico	10000uF/50V	1	3,00	3,00
Condensador Electrolítico	10000uF/80V	1	2,76	2,76
Condensador Electrolítico	1000uF/50V	2	0,75	1,50
Resistencia	10K	3	0,02	0,06
Potenciómetro Lineal	10K	3	0,70	2,10
Potenciómetro	5K	1	0,70	0,70
Resistencia	15K	1	0,02	0,02
Inductor	170 uH	1	2,40	2,40
Resistencia	1K	9	0,02	0,18

Continuación:

Condensador Electrolítico	1uF	2	0,10	0,20
Condensador Cerámico	2200pF	1	0,02	0,02
Transistor BJT	2N3904	6	0,35	2,10
Transistor Toshiba	2SC3281	1	2,15	2,15
Resistencia	5,6K	1	0,04	0,04
Conector peineta macho	40 pines	1	0,90	0,90
Conector peineta hembra	40 pines	1	0,90	0,90
Diodo Rectificador	1N5399	5	0,40	2,00
Diodo Rectificador	1N4005	4	0,10	0,40
MOSFET	IRF820	1	2,50	2,50
Jumper	2 pines	8	0,05	0,40
Amplificador Operacional	LM358	1	0,56	0,56
Driver de MOSFET	MCP1405	1	36,31	36,31
Relé	Relé	4	1,00	4,00
Transistor	TIP31	1	0,60	0,60
Transformador	120/50V	1	15,00	15,00
Fabricación circuito impreso		1	62,96	62,96
Costo final placa de potencia (USD)				146,84

Tabla 4.4. Costo de materiales placa de potencia

<b>Materiales varios</b>			
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo. Unitario (\$)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Carcaza	1	25,00	25,00
Porta fusibles	1	0,50	0,50
Switch	1	1,00	1,00
Cable de poder	1	1,50	1,50
Toma para cable de poder	1	0,40	0,40
Transductor de 5 cm <sup>2</sup>	1	340,00	340,00
Panel frontal	1	10,00	10,00
Cinta helicoidal	1	1,00	1,00
Epoxi	1	4,90	4,90
Costo final varios (USD)			384,30

Tabla 4.5. Costo de materiales varios

Sumando los costos totales de estas tres tablas se saca el costo final del equipo:

Costo total placa de control	\$ 139,83
Costo total placa de potencia	\$ 146,84
Costo total materiales varios	\$ 384,30
<b>Costo final del equipo</b>	<b>\$ 670,97</b>

Tabla 4.6. Costo final del equipo

La diferencia del costo real con el planeado en el ante proyecto es de 319,03 USD, esto se debe a que en un inicio se valorizó el costo de manera global, además que no estaba definido el material necesario para la construcción del equipo de ultrasonido; al momento de utilizar un oscilador digital, se hizo significativo el ahorro al no tener que construir el mismo de manera analógica, así mismo el tener al alcance carcasas prefabricadas fue de gran ayuda.

El costo final del equipo muestra una prueba evidente de rentabilidad, ya que otros aparatos con las mismas características, generalmente importados, están al rededor de los 1500 USD como precio mínimo, abriendo así un camino para que este proyecto se presente como gran alternativa en el mercado.

## CONCLUSIONES

- El proyecto desarrollado consiste en un equipo de ultrasonido para fisioterapia y estética ya que trabaja en las frecuencias de 1 MHz y 3.3 MHz, está programado de manera flexible para que el usuario realice las terapias de manera eficiente, tiene tiempo programable, potencia variable y puede trabajarse tanto en modo continuo como en modo pulsado.
- Con la implementación del equipo se dio acatamiento a todos los objetivos impuestos en su inicio. El resultado del proyecto es un equipo robusto y fiable que cumple con todas las expectativas de la rama de fisioterapia y estética.
- El equipo es portátil, de fácil traslado y presentación elegante, por lo que es adaptable a cualquier situación sin dejar de un lado la estética requerida en el lugar de operación.
- Con excepción del transductor, el driver y el oscilador digital, todos los materiales que conforman el equipo son de fácil adquisición, disponibles a nivel local a precios muy económicos en caso que sean necesarios como reemplazo.
- La terapia se puede realizar con un tiempo programable a una potencia máxima de 10 W, en 1 MHz como ultrasonido terapéutico y en 3.3 MHz como ultrasonido estético, en cualquiera de estas dos frecuencias existen dos modos de aplicación, continuo y pulsado, teniendo este último modo la opción de 10, 20 y 50 por ciento de *duty cycle*.
- Se sometió a pruebas de desempeño durante 30 días. Estas pruebas comprobaron que el funcionamiento del equipo es confiable y óptimo para el uso profesional.
- El equipo trabaja con dos microcontroladores de la forma primario-esclavo, el PIC18F452 funciona como primario y controla todo lo que es tiempo, potencia e

interfaz de usuario, el PIC16F886 se desempeña como esclavo y es el encargado de generar y comandar las frecuencias de oscilación

- Para evitar bloqueos en el oscilador digital, la frecuencia de 1 MHz se genera mediante PWM con el microcontrolador 16F886, teniendo al oscilador como periférico del PIC esclavo para crear la frecuencia de 3.3 MHz.
- Existe un ahorro considerable al comparar el precio del equipo con el de otros aparatos importados, los cuales tienen precios elevados debido principalmente a los impuestos de importación.

## RECOMENDACIONES

- Antes de desarrollar el proyecto es necesario conocer las propiedades del transductor ya que muchas de las características del equipo se rigen por las del éste.
- Para realizar pruebas con el transductor es necesario colocar una pequeña cantidad de agua en la superficie del cristal de manera que no se recaliente, caso contrario pueden provocarse fisuras con el consecuente deterioro del mismo.
- Calibrar correctamente la fuente de potencia para que no se exceda de la potencia tolerada por el transductor.
- Tener precaución con las huellas de los elementos al momento de fabricar las placas, ya que muchas veces el programa viene con diferentes huellas o bien no consta de algunos elementos.
- Hay que asegurarse que los pulsantes coincidan con las marcas diseñadas en el panel frontal, para evitar que el usuario realice pulsaciones incorrectas.
- Siempre que el equipo esté en terapia colocar gel conductor en el transductor para evitar que el paciente sufra quemaduras por contacto.

## BIBLIOGRAFIA

### Referencias Bibliográficas

- ALFARO, Ignacio. Evaluación de la calibración de los equipos de ultrasonido terapéuticos de los Servicios de Salud Pública Metropolitana. Chile. Trabajo de grado Universidad de Chile. 2004.
- CHATTANOOGA. Intellect legend series. Australia. Service manual. [s.a.].
- CENETEC. Secretaria de salud. Ultrasonido terapéutico. 2006. [citada en Junio 2006 México]. Guía tecnológica N°33.
- LINEAR, Technology. LTC6904. U.S.A. Serial Port Programmable Oscillator. 2003.
- LÓPEZ, Miguel. Diseño de un equipo generador de ultrasonido de alta potencia. Colombia. VI Foro internacional de innovación tecnológica. Universidad del Cauca. 2009.
- REYES, Carlos. Microcontroladores PIC. Programación en Basic. Ecuador. 2da Edición. 2011.
- MICROCHIP, Technology. PIC 18F452 Data Sheet. U.S.A. High performance, enhanced flash microcontrollers with 10-Bit A/D. 2002.
- MICROCHIP, Technology. MCP1405. U.S.A. 4,5A Dual high speed power Mosfet drivers. 2007.
- MICROCHIP, Technology. PIC 16F886 Data Sheet. U.S.A. Enhanced Flash-Based 8-bit CMOS microcontrollers with nano watt technology. 2009.
- RASHID, Muhammad. Electrónica de potencia. México. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. 2da Edición. 2001.

### Referencias Electrónicas

- MIKROELEKTRONIKA. Microcontroladores PIC – Programación en Basic [en línea]. [s.a.]. [Consulta 3 Octubre del 2012]. Disponible en: <http://www.mikroe.com/products/view/476/pic-microcontrollers-programming-in-basic/>.

- ROZENBERG, Damián. Medicina estética [en línea]. Ultrasonido de alta potencia. [s.a.]. [Consulta 15 de junio del 2012]. Disponible en: <http://www.medicina-estetica.com.ar/ultrasonido/index.shtml>.
- SCOLIOSIS SPINE ASSOCIATES. Terapia Física [en línea]. [s.a.]. [Consulta 6 de junio del 2012]. Disponible en: <http://www.scoliosisassociates.com/subject.php?pn=terapia-fisica-038>.
- DUIOPS. Transductor piezoeléctrico [en línea]. 2009. [Consulta 26 de mayo del 2012]. Disponible en: <http://www.duiops.net/hifi/enciclopedia/tranductor-piezoelctrico.htm>.
- ECURED. Piezoelectricidad [en línea]. 2003. [Consulta 6 de junio del 2012]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Piezoelectricidad>.
- UNICROM. Microcontrolador PIC [en línea]. 2002. [Consulta 25 de agosto del 2012]. Disponible en: [http://www.unicrom.com/Tut\\_PICs1.asp](http://www.unicrom.com/Tut_PICs1.asp).

## ANEXOS

- Anexo 1. Características de un transductor de 5 cm<sup>2</sup>.

<b>5 cm<sup>2</sup> Applicator</b>	
Frequency (MHz):	1.0 MHz, 3.3 MHz (all +/- 5%)
Power (Watts):	0 to 10 Watts
ERA (cm <sup>2</sup> ):	4.0 cm <sup>2</sup>
Effective Radiating Area:	4.0 cm <sup>2</sup> +/- 1.0 cm <sup>2</sup> for the 5 cm <sup>2</sup> crystal
Maximum beam non-uniformity ratio:	5.0:1
Beam Type:	Collimating

- [Anexo 2. Hoja de datos del driver MCP1405.](#)
- [Anexo 3. Hoja de datos del MOSFET IRF820.](#)
- [Anexo 4. Hoja de datos del oscilador digital LTC6904.](#)