



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Miniaturización de la Interfaz entre el Transductor y un  
Dispositivo de Visualización de un Equipo de Ultrasonido en  
tiempo real Marca ADR ULTRASOUND Modelo 2130”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD, ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentada por:

Daniel Fernando Aguirre Reyes

Víctor Hugo Merino Guillén

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto. Al Ing. Miguel Yapur A. Director del Tópico. A mis Padres y a mis hermanos por su incondicional apoyo.

**Daniel F. Aguirre R.**

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto. Al Ing. Miguel Yapur A. Director del Tópico. A mis hermanos, José Guillermo Guadalupe S. y a Gilma Merino por su incondicional apoyo.

**Víctor H. Merino G.**

## DEDICATORIA

A mis Padres quienes han sabido apoyarme y escucharme en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos por saber comprenderme y ayudarme cuando los he necesitado.

**Daniel F. Aguirre R.**

A mis hermanos, mi cuñado José Guillermo y mi tía Gilma, quienes con su paciencia y consejos han contribuido a mi desarrollo personal y académico.

**Víctor H. Merino G.**

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Holger Cevallos U.  
SUBDECANO



Ing. Miguel Yapur A.  
DIRECTOR DE TÓPICO



Ing. Hugo Villavicencio V.  
VOCAL

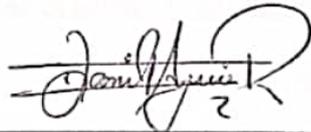


Ing. Sara Ríos O.  
VOCAL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE INGENIERÍA  
BIBLIOTECA  
INV. No. TELT-SE-308-1

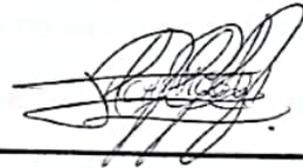
## DECLARACIÓN EXPRESA

**"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"**



---

**Daniel F. Aguirre R.**



---

**Víctor H. Merino G.**

## RESUMEN

El proyecto está basado en tres etapas básicas que son:

1. Análisis del funcionamiento del equipo.
2. Adquisición de la señal de retorno del transductor.
3. Procesamiento y visualización de la señal.

Dentro del análisis del funcionamiento del equipo se encontraron tres señales principales: RESET, la cual habilita al transductor ultrasónico; UNBLANK, la cual cuenta con dos estados: estado bajo, donde excita a los 64 cristales del transductor en forma secuencial y estado alto, donde se receptan los ecos ultrasónicos del cuerpo; TGC (compensación de ganancia en el tiempo), la cual se encarga de elevar el nivel de voltaje de la señal de VIDEO, tanto en el campo cercano (donde la amplitud de la ráfaga principal permanece constante) como en el campo lejano (donde la ráfaga principal comienza a divergir uniformemente).

Para la adquisición de la señal de retorno del transductor se hace uso de las señales antes mencionadas por medio de su construcción gracias a un microcontrolador PIC16F84A. El transductor al obtener los ecos reflejados, los envía de manera secuencial formando la denominada señal de VIDEO que luego de ser procesada es enviada al dispositivo de visualización.

Para el procesamiento de la señal de VIDEO se usa un amplificador operacional de alta frecuencia y luego es sumada la señal ESCALA DE GRISES la cual indica la profundidad del eco de acuerdo al brillo producido en pantalla. Para lograr la visualización se usó un tubo de rayos catódicos el cual cuenta con tres entradas: Barrido en X (despliegue horizontal), Barrido en Y (despliegue vertical) y Z (señal de VIDEO).

Finalmente se realiza un análisis de costos acerca de la implementación del proyecto y se incluyen las conclusiones, recomendaciones, apéndices y bibliografía.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XIII
SIMBOLOGÍA.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Alcance e importancia del proyecto.....	2
1.3 Análisis del proyecto.....	3
1.4 Parámetros y requerimientos técnicos.....	4
1.5 Alternativas de solución.....	4
1.5.1 LabView .....	5
1.5.2 RS-232 puerto serial.....	5
1.5.3 Microcontrolador PIC16F84A .....	6

1.5.4	Tubo de rayos catódicos ( CRT ).....	6
1.5.5	Pantalla de cristal líquido ( LCD ).....	7
1.6	Selección del sistema óptimo.....	7

CAPÍTULO 2		
2.	TEORÍA BÁSICA DEL ULTRASONIDO.....	8
2.1.	Introducción.....	8
2.2.	Ondas de sonido.....	8
2.3.	Ultrasonido.....	9
2.4.	Impedancia acústica.....	11
2.5.	Alcance de las señales (Decibelios).....	12
2.6.	Interfaces.....	13
2.7.	Absorción viscosa.....	14
2.8.	Esparcimiento.....	15
2.9.	Ondas recortadas.....	15
2.10.	Interfaz irregular entre tejidos.....	16
2.11.	Ángulo de incidencia.....	16
2.12.	Ángulo de refracción.....	17
2.13.	Resonancia.....	18
2.14.	Efecto sombra.....	18
2.15.	Resolución.....	19
2.16.	Resolución axial.....	20

2.17. Resolución lateral (campo cercano y campo lejano) .....	21
---	----

### CAPÍTULO 3

3. FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL TRANSDUCTOR.....	24
--	----

3.1. Introducción.....	24
------------------------	----

3.2. Efecto Piezoeléctrico y Efecto Piezoeléctrico Inverso.....	24
---	----

3.3. Amortiguamiento del cristal.....	25
---------------------------------------	----

3.4. Generación de pulsos.....	26
--------------------------------	----

3.4.1 Energización del transductor.....	29
---	----

3.5. Procesamiento de la señal de retorno.....	31
--	----

### CAPÍTULO 4

4. PROCESAMIENTO DE SEÑALES.....	35
----------------------------------	----

4.1 Introducción.....	35
-----------------------	----

4.1.1 Distribución de señales de control en el PIC16F84A.....	35
---	----

4.1.2 Desarrollo del software necesario.....	36
--	----

4.1.3 Diagrama de flujo del software utilizado.....	39
---	----

4.1.4 Fuentes de alimentación para las señales de control.....	40
--	----

4.2 Señales de ingreso.....	42
-----------------------------	----

4.2.1 RESET.....	42
------------------	----

4.2.2 UNBLANK.....	43
--------------------	----

4.2.3 TGC (Time Gain Compensation).....	44
---	----

4.3	Tratamiento de señales.....	46
4.3.1	ESCALA DE GRISES y señal de VIDEO.....	47
4.4	Señales de salida.....	50
4.4.1	Barrido X.....	51
4.4.2	Barrido Y.....	52
4.4.3	Barrido Z.....	53
CAPÍTULO 5		
5.	VISUALIZACIÓN.....	55
5.1	Introducción.....	55
5.2	Formación de imágenes en un dispositivo de visualización.....	56
5.2.1	ENTRADA X.....	56
5.2.2	ENTRADA Y.....	56
5.2.3	ENTRADA Z.....	57
CAPÍTULO 6		
6.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	58
6.1	Comparación de costos.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		62

## APÉNDICES

### APÉNDICE A

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ULTRASÓNICO

ADRULTRASOUND MODELO 2130

### APÉNDICE B

DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL TRANSDUCTOR

### APÉNDICE C

HOJAS DE DATOS DE ELEMENTOS

### APÉNDICE D

PROGRAMA USADO PARA EL MICROCONTROLADOR

### APÉNDICE E

FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO

## BIBLIOGRAFÍA

## **ABREVIATURAS**

CRT	Tubo de rayos catódicos
TGC	Compensación de ganancia en el tiempo
FAR	Compensación del campo lejano
NEAR	Compensación del campo cercano
PIC	Peripheral interface controller
Tx	Transductor ultrasónico
NC	No conectado
LCD	Liquid crystal display

## SIMBOLOGÍA

cm	Centímetros
mm	Milímetros
dB	Decibelios
s	Segundos
ms	Milisegundos
us	Microsegundos
ns	Nanosegundos
$\Omega$	Ohmios
K $\Omega$	KiloOhmios
M $\Omega$	MegaOhmios
$\mu$ F	Microfaradios
nF	Nanofaradios
pF	Picofaradios
Hz	Hertz
KHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
V	Voltios
mV	Milivoltios
A	Amperios
mA	Miliamperios
$\rho$	Densidad del medio
$B$	Compresibilidad del medio
$H$	Dureza
m / s	Metro sobre segundo
$\lambda$	Longitud de onda
$f$	Frecuencia
$v$	Velocidad

$Z$	Impedancia acústica
$R$	Porcentaje de la onda reflejada
$A_1$	Amplitud de la onda de sonido original
$A_2$	Amplitud de la onda atenuada
$Z_2$	Impedancia acústica del segundo medio
$Z_1$	Impedancia acústica del primer medio
$\theta_r$	Ángulo de refracción
$\theta_i$	Ángulo de incidencia
$V_2$	Velocidad de la onda en el segundo medio
$V_1$	Velocidad de la onda en el primer medio
$D$	Longitud del campo cercano
$r$	Radio
$\theta$	Ángulo de divergencia
us / cm	Microsegundos sobre centímetros
$\text{Sin}$	Seno
KS / s	Kilomuestras por segundo
MS / s	Megamuestras por segundo

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Diagrama de bloques general.....1
Figura 2.1	Angulo de refracción.....17
Figura 2.2	Longitud de pulso espacial.....21
Figura 2.3	Resolución lateral.....23
Figura 3.1	Secuencia del funcionamiento del arreglo de cristales...29
Figura 3.2	Fuentes de alimentación para el transductor.....30
Figura 3.3	TGC.....32
Figura 3.4	Modificación de la forma de la señal.....33
Figura 3.5	Recorte de la señal.....33
Figura 3.6	Modulación envolvente.....34
Figura 4.1	Diagrama de flujo.....39
Figura 4.2	Fuentes de alimentación para señales de control.....41
Figura 4.3	Señal RESET.....42
Figura 4.4	Señal UNBLANK.....43
Figura 4.5	Señal UNBLANK con retraso.....44
Figura 4.6	Señal TGC.....45
Figura 4.7	Circuito TGC.....46
Figura 4.8	Señal ESCALA DE GRISES.....48
Figura 4.9	Circuito ESCALA DE GRISES y VIDEO.....49
Figura 4.10	Señales de VIDEO y ESCALA DE GRISES.....50
Figura 4.11	Barrido X.....51
Figura 4.12	Circuito Barrido X.....51
Figura 4.13	Barrido Y.....52
Figura 4.14	Circuito Barrido Y.....52
Figura 4.15	Barrido Z.....53
Figura 4.16	Señales de control.....54
Figura 5.1	Esquema de un CRT.....56

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Valores típicos de Frecuencia vs. Longitud de Onda.....11
Tabla 2	Fuentes de alimentación para el transductor.....29
Tabla 3	Disposición de señales en el microcontrolador.....36
Tabla 4	Fuentes de alimentación para señales de control.....40
Tabla 5	Fuentes de alimentación 1.....58
Tabla 6	Fuentes de alimentación 2.....59
Tabla 7	Señales de control.....60
Tabla 8	Costos finales.....61

## INTRODUCCIÓN

Los equipos electrónicos usados actualmente en Medicina son de gran utilidad y muy variados. Dentro de los diferentes equipos existentes se encuentran los ecógrafos, los cuales construyen una imagen recogiendo los ecos ultrasónicos reflejados por el cuerpo, luego de que el transductor envía un tren de pulsos hacia éste en una frecuencia determinada. El funcionamiento del transductor se basa en los efectos Piezoeléctrico y Doppler.

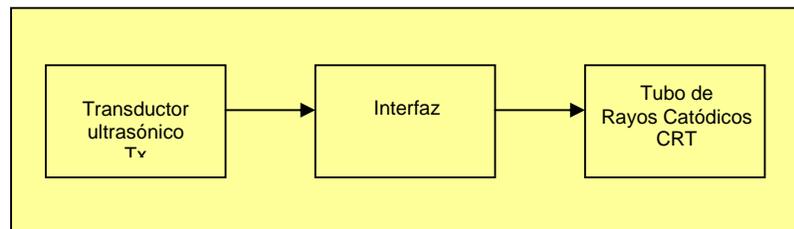
El costo de estos equipos es muy elevado y su tamaño resulta poco versátil; por ello surge la necesidad de reducir estas características mediante el diseño de una interfaz entre el transductor y el dispositivo de visualización basado en el uso de los microcontroladores; y a su vez, construir un equipo de menor costo. Así, esta innovación ayudará a que un mayor número de personas puedan adquirir o acceder a un equipo de ecografía y por tanto poder brindar un mejor servicio a la comunidad.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

El desarrollo del presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar y miniaturizar la interfaz que existe entre un transductor ultrasónico y un dispositivo de visualización.



**Figura 1.1 Diagrama de bloques general**

Para el desarrollo del proyecto, primero se realiza un análisis del funcionamiento del transductor ultrasónico y los requerimientos necesarios del mismo para poder obtener la señal de retorno o de video.

En segundo lugar, luego de haber interpretado las necesidades del transductor como las fuentes de energía y las señales de control, se procede a construir dichas señales valiéndose para ello de un microcontrolador.

Finalmente, luego de haber construido las señales de control, energizado correctamente el transductor y obtenida la señal de video necesaria, se procede a hacer el acople respectivo de esta señal para poder ser visualizada en un Tubo de Rayos Catódicos o CRT.

## **1.2 Alcance e importancia del proyecto**

Dentro de los principales equipos utilizados para el diagnóstico de enfermedades existe el ecógrafo, el cual es un equipo muy popular que opera con ondas mecánicas, específicamente ondas ultrasónicas siendo por lo tanto un método no invasivo. Éste es uno de los métodos más difundidos en el medio ya que puede ser utilizado sin riesgo de daños colaterales al paciente. Por ejemplo una de sus principales aplicaciones es la observación del desarrollo del embarazo sin causar daños al feto.

Debido al elevado costo de estos equipos existe restricción en la adquisición de los mismos, es decir, que estos equipos se encuentran en Clínicas privadas y Hospitales de las principales ciudades siendo notoria la carencia en sectores rurales.

Es por ello que por medio de esta innovación se reducen costo y tamaño de este equipo para fomentar el acceso al mismo y facilitar la transportación y manipulación. Este avance está dirigido principalmente para ser usado en zonas rurales y/o de escasos recursos. De esta forma el control preventivo de posibles enfermedades se podrá realizar hasta en los sitios más alejados.

### **1.3 Análisis del proyecto**

Un equipo de ecografía consta de tres partes principales: transductor, procesamiento de señales y visualización.

El objetivo del proyecto es lograr la miniaturización del procesamiento de las señales o interfaz entre el transductor ultrasónico y un dispositivo de visualización

#### **1.4 Parámetros y requerimientos técnicos**

El transductor funciona a una frecuencia de 5MHz; por dicha causa se debe tomar en cuenta que el procesamiento de señales va a requerir de elementos que tengan una velocidad de respuesta mayor a la velocidad de funcionamiento de este dispositivo.

La señal de retorno del transductor (señal de video) no supera los 800mV por tal razón la susceptibilidad al ruido es considerablemente alta.

Uno de los principales puntos a considerar en la necesidad de un sincronismo absoluto entre las señales de control tanto del transductor como también del tubo de rayos catódicos.

Las fuentes que se van a utilizar deben cubrir de manera efectiva la demanda tanto de las señales de control como de la energización del transductor.

#### **1.5 Alternativas de solución**

Las principales alternativas de solución encontradas en este proyecto son las siguientes:

### **1.5.1 LabView**

Una de las características favorables para la implementación de este proyecto con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos y el software Labview es la facilidad de interacción y versatilidad. El problema con esta alternativa es que su velocidad de muestreo (200KS/s) es menor a la velocidad necesitada (5MHz) lo que daría una velocidad de muestreo de 5MS/s y de acuerdo al criterio de Nyquist, la velocidad de muestreo debe ser el doble de la señal que se está sensando, o sea 10MS/s. Además de esto existe una limitación en la cantidad de salidas para el desarrollo de las señales de control.

### **1.5.2 RS-232 Puerto Serial**

La velocidad de transmisión de datos de este puerto es de máximo 19200bps, lo que da lugar a 2400Bps. Esto implica que se obtiene 2 bytes por cada milisegundo y por tanto 1 byte cada 500ns. El problema radica que necesitamos para capturar la señal de video mínimo 4 bytes por cada 200ns.

### **1.5.3 Microcontrolador PIC16F84A**

Este microcontrolador al trabajar con un cristal de cuarzo de 10MHz tiene un ciclo de instrucción de 400ns lo que permite con gran facilidad construir las señales de control sincronizadas tanto para el transductor como para el CRT.

### **1.5.4 Tubo de rayos catódicos ( CRT )**

Dispositivo analógico de visualización que posee tres entradas X, Y, Z, las cuales permiten la formación de la imagen en la pantalla. La entrada X permite desplegar la pantalla de forma horizontal, por otro lado la entrada Y permite desplegar la pantalla de manera vertical dejando así listo el cuadro dentro del cual la entrada Z por medio de variación de voltaje, matizará la pantalla con diferentes tonalidades que pueden ser comparadas con una escala de grises que también es ingresada por la entrada Z y graficada en el borde izquierdo del cuadro de visualización. El rango de operación de este dispositivo esta desde unos cuantos Hz hasta cientos de MHz.

### **1.5.5 Pantalla de cristal liquido ( LCD )**

Los módulos visualizadores LCD se componen de una pantalla de cristal líquido y un microcontrolador que la gobierna. La limitante de este dispositivo es que al usar un microcontrolador, el ciclo de instrucción sobrepasa los 200ns que es el tiempo mínimo requerido para graficar una imagen de ultrasonido.

### **1.6 Selección del sistema óptimo**

Luego de haber analizado y comprendido la operación de cada una de las opciones antes mencionadas, se hizo la selección de dos de ellas:

La primera es el uso del microcontrolador PIC16F84A debido a la velocidad de funcionamiento y el sincronismo con que se pueden programar las señales de control.

La segunda es el uso del CRT para la visualización debido a que es un dispositivo analógico de alta frecuencia; esto le permite manejar de manera adecuada la señal de video procesada del retorno del transductor.

# CAPÍTULO 2

## 2. TEORÍA BÁSICA DEL ULTRASONIDO

### 2.1. Introducción

En el presente capítulo se darán a conocer varios aspectos que forman parte de la teoría básica del ultrasonido y su comportamiento en las diferentes estructuras del cuerpo humano, así como las diferentes fórmulas que permiten calcular factores como: velocidad, impedancia acústica, ángulos de refracción, porcentaje de la onda incidente reflejada, longitud de onda y campo cercano.

### 2.2. Ondas de sonido

El sonido es una forma de energía mecánica y por tanto requiere un medio de propagación como un gas, un líquido o un sólido; opuestamente a la energía electromagnética, la cual no requiere un medio en el cual viajar. Otra diferencia es que mientras la velocidad de una onda electromagnética

permanece constante cuando viaja a través de diferentes medios, la velocidad de una onda de sonido varía. También, el sonido no puede ser transmitido a través del vacío. El sonido en su trayectoria se vuelve más direccional y la emisión más estrecha, mientras la frecuencia se incrementa. La emisión puede ser reflejada o refractada cuando cruza el límite entre dos medios de diferentes densidades y puede ser atenuada o absorbida en uno de estos medios. La penetración del sonido en un medio es menor cuando la frecuencia se incrementa (lo opuesto al comportamiento de los rayos X)

### **2.3. Ultrasonido**

La técnica del ultrasonido trabaja bajo el principio del sonido o las ondas de presión viajando a través de un medio, causando la vibración de las moléculas que se encuentran en ese medio. Las moléculas son comprimidas y expandidas alternadamente; así, el movimiento de la onda es transmitido de molécula a molécula a través del medio. El espectro ultrasónico empieza a los 20KHz, donde el espectro de audio termina. El ultrasónico está confinado al rango entre 50KHz hasta 25 MHz. La velocidad a la cual la onda viaja depende de la compresibilidad

del medio. La velocidad de la onda y la compresibilidad tienen una relación inversa, expresada por la fórmula:

$$v = \frac{1}{\rho B}$$

donde  $\rho$  = densidad del medio,  $B$  = compresibilidad del medio.

Lo opuesto de compresibilidad es dureza, por tanto dureza es el recíproco de compresibilidad  $H = \frac{1}{B}$ . Los gases tienen la mayor

compresibilidad (la velocidad del sonido en el aire es de 331 metros / segundo). Los líquidos en segundo lugar (velocidad del sonido en agua es de 1480 metros / segundo), seguidos por los sólidos (velocidad del sonido en el hueso es de 3000 a 4000 metros / segundo). Mientras las ondas de sonido de diferentes tipos sean generadas en sólidos, solamente las ondas longitudinales son transmitidas a través de los líquidos. A cualquier frecuencia dada, la velocidad de la onda de sonido se incrementará cuando la onda pase desde un gas hacia un líquido o hacia un sólido, como lo expresa la ecuación:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

donde  $\lambda$  = longitud de onda,  $v$  = velocidad de la onda, y  $f$  = frecuencia de la onda. La velocidad del sonido en el tejido corporal es muy similar a la del agua, alrededor de 1540 m/s.

Esto es comprensible conociendo que la estructura corporal está primordialmente compuesta de líquidos. En la tabla 1 se dan valores típicos de  $f$  vs  $\lambda$  sobre el tejido corporal.

**TABLA 1**  
**VALORES TÍPICOS DE FRECUENCIA**  
**VS LONGITUD DE ONDA**

<b>FRECUENCIA</b>	<b>LONGITUD DE ONDA</b>
2.5 MHz	0.616 mm
5.0 MHz	0.308 mm
7.5 MHz	0.205 mm

La resolución de un diagnóstico ultrasónico es inversa en relación a la longitud de onda de la ráfaga o emisión de ondas, lo que indica que a mayor frecuencia se obtiene una mejor resolución.

#### **2.4. Impedancia acústica**

La velocidad del sonido en el medio depende de la densidad del medio. Todo medio posee una propiedad llamada impedancia acústica, la cual es una medida de su resistencia al movimiento de la onda. Esta propiedad es expresada por la fórmula:

$$Z = \rho v$$

donde  $Z$  = impedancia acústica,  $\rho$  = densidad del medio, y  $v$  = velocidad de la onda en el medio. La impedancia acústica causa que la onda de sonido sea atenuada mientras ésta penetra a mayor profundidad en el medio. Si la velocidad de la onda es directamente proporcional a la frecuencia de la onda, ondas de mayor frecuencia tendrán mayor atenuación y por tanto no penetrarán tan lejos dentro de un medio como las ondas de menor frecuencia.

## 2.5. Alcance de las señales (Decibelios)

El alcance de la señal se refiere a la profundidad que la onda ultrasónica logra ingresar al cuerpo humano. Los niveles de sonido son medidos en Bels, o en decibelios (1 dB = 0.1 Bel). Estas son medidas logarítmicas. Si la atenuación reduce el nivel de una onda de sonido a la mitad de su valor original, ésta tiene una pérdida de 6dB. Si el nivel es reducido a 1/1000 de su valor original, la pérdida es de 60dB, etc. Esto es expresado en la fórmula:

$$dB = 20 \log \frac{A1}{A2}$$

donde  $A1$  = Amplitud de la onda de sonido original,  $A2$  = Amplitud de la onda atenuada.

## 2.6. Interfaces

Debido a que tejidos de diferentes densidades tienen diferentes valores de impedancia acústica, cuando una onda de sonido viaja desde un tipo de tejido hacia otro ocurre un cambio abrupto en el valor de la impedancia acústica en el límite entre los dos tejidos. Este límite es llamado una interfaz. Cada interfaz tiene un factor de atenuación, el cual, cuando varios factores de atenuación de varios tejidos son sumados, determina la profundidad de la penetración de la onda de sonido. Esta interfaz es la que produce la reflexión de la onda de sonido lo que hace posible localizar y diferenciar los órganos internos del cuerpo y tejidos a través de un proceso llamado escaneo. La cantidad de reflexión de la onda de sonido en cada interfaz es expresada por la fórmula:

$$R = \left[ \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right]^2$$

En donde  $R$  = porcentaje de la onda reflejada,  $Z_1$  = impedancia acústica del primer medio, y  $Z_2$  = impedancia acústica del segundo medio. El ángulo de la onda incidente con respecto a la interfaz también determina el porcentaje de la onda reflejada. Si los dos medios tienen la misma impedancia acústica, no existe reflexión. Si las dos impedancias acústicas

son muy diferentes, el porcentaje de reflexión es muy grande y puede aproximarse al 100%, lo cual implica una penetración muy pequeña. La interfaz tejido - hueso, por ejemplo, produce ecos muy fuertes, pero la penetración de la onda a través del hueso hacia la siguiente interfaz es mínima. Otro factor que inhibe el escaneo de la interfaz tejido - hueso es el alto ángulo de refracción de la onda al pasar de un material al siguiente. Los materiales que comprenden la estructura corporal son muy similares en densidad e impedancia acústica y solamente el 1% de la onda incidente es reflejada en cada interfaz y esta onda reflejada es ligeramente atenuada en el viaje de retorno. Absorción viscosa, esparcimiento, ondas recortadas, irregularidad en la interfaz del tejido y una onda incidente que no es perfectamente normal a la interfaz, son otros factores que reducen ligeramente la amplitud de la onda. Es obvio que para poder detectar estas interfaces se requieren dispositivos muy sensitivos.

## **2.7. Absorción viscosa**

Las moléculas de un medio resistente que han sido comprimidas, originan una pérdida de energía por fricción, la cual es transformada en calor, acompañada por un retraso de

tiempo en la propagación de la onda. Mientras más pequeña es la longitud de onda, más grande es la proporción de energía que la onda necesita para comprimir las moléculas, por lo tanto menor proporción de energía es perdida al atravesar el medio. Esta pérdida por fricción, llamada absorción viscosa, es distinta de la atenuación, pero en común con la atenuación tiende a reducir la amplitud de la onda reflejada.

## **2.8. Esparcimiento**

Partículas con aproximadamente una longitud de onda de tamaño (0.2mm a 0.6mm) que tienden a esparcir la onda en todas direcciones. Este factor tiende a reducir la amplitud de una onda reflejada.

## **2.9. Ondas recortadas**

Cuando una interfaz de un medio es sólida, como por ejemplo un hueso, las moléculas no pueden moverse libremente en la dirección de propagación entre otras moléculas ya sea sobre ellas o bajo ellas en la interfaz. Esta acción produce ondas a ciertos ángulos con relación a la onda principal, llamadas ondas recortadas. La generación de ondas disipadas da como resultado disipación de energía y es otro factor que tiende a

reducir la amplitud de la onda reflejada. Esta es otra razón de por qué el hueso es un pobre transmisor de sonido.

### **2.10. Interfaz irregular entre tejidos**

Debido a que ninguna interfaz del cuerpo es perfectamente plana y el ancho de la emisión es suficiente para propagar las ráfagas sobre un área a la cual están dirigidos múltiples ángulos de incidencia con la interfaz, la onda reflejada será compleja en su forma. El resultado es un eco no muy bien definido; éste es otro factor que tiende a reducir la amplitud de la onda reflejada.

### **2.11. Ángulo de incidencia**

Si la onda incidente es perpendicular a la interfaz, entonces ocurre una reflexión óptima. Si el ángulo de la onda incidente varía cuatro grados desde la perpendicular, la amplitud de la onda reflejada será solamente un décimo del valor normal (o una reflexión del 0.1%). Si el ángulo es de diez grados con relación a la perpendicular, la amplitud de la onda reflejada es reducida a un centésimo de su valor normal (o una reflexión de 0.01%). El ángulo de reflexión es el mismo que el ángulo de incidencia solo para ondas suaves.

## 2.12. Ángulo de refracción

Cuando una onda ingresa a otro medio en una interfaz, ésta es refractada a un ángulo el cual es una función de la velocidad de la onda en los dos medios. Esto es expresado por la ecuación:

$$\sin(\theta_r) = \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \sin(\theta_i)$$

donde  $\theta_r$  = ángulo de refracción,  $V_2$  = velocidad de la onda en el segundo medio,  $V_1$  = velocidad de la onda en el primer medio, y  $\theta_i$  = ángulo de incidencia.

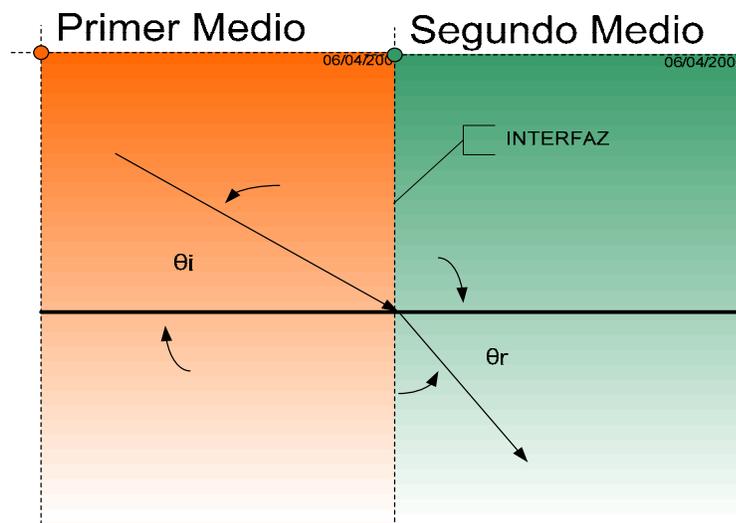


Figura 2.1 Ángulo de refracción

Si la velocidad de las ondas es la misma en los dos medios, no habrá refracción a pesar de cualquier diferencia entre las impedancias acústicas de los dos medios.

### **2.13. Resonancia**

Resulta en imágenes “fantasmas”. Este fenómeno es causado por la onda de sonido resonante entre fuertes ecos en la interfaces, tales como el límite entre el transductor y la piel. Los ecos aparentan ser emanados desde una interfaz equitativamente espaciada a diferentes profundidades. También las imágenes “fantasmas” son duplicadas desde el inicio del eco. Variando de posición ligeramente la cara del transductor sobre la superficie se elimina la resonancia mientras se preserva el eco inicial.

### **2.14. Efecto Sombra**

Es causado por una estructura absorbente o un sonido reflejante tal que cualquier estructura inmediatamente detrás de éste es “sombreada” y despliega menor número de ecos que las estructuras inmediatamente en frente de la estructura sombreada. El “sombreado” se asemejará a una banda

obscura extendida inmediatamente detrás de la estructura sombreada.

### **2.15. Resolución**

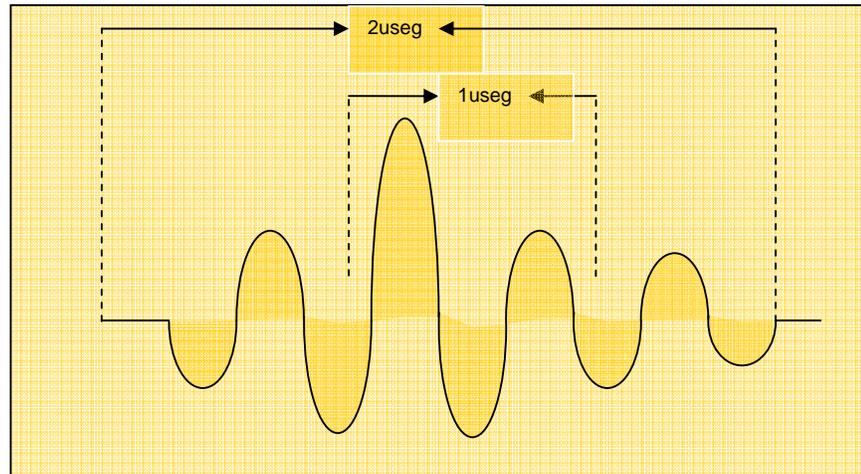
La capacidad para detectar pequeñas estructuras depende de la resolución axial y lateral de la emisión ultrasónica de diagnóstico. La resolución axial es inversamente proporcional a la longitud de onda. Mientras mayor es la frecuencia, menor la longitud de onda y por tanto mejor resolución axial. Pero a altas frecuencias, la atenuación del sonido en el tejido corporal se incrementa y la penetración de la onda se decrementa. La resolución lateral es dependiente del ancho del paquete de energía pulsado el cual forma la onda de sonido. El ancho del paquete de energía es el mismo que el diámetro del cristal del transductor que lo produce. Un cristal de diámetro pequeño da como resultado un gran ángulo de divergencia para el paquete de onda y un respectivo incremento en la resolución a un costo de reducir la profundidad de penetración de la onda. Dos estructuras de tejido localizadas lado a lado no serán detectadas como dos ondas reflejadas separadas a menos que estas estén separadas por una distancia mayor que el ancho de la onda producida por el transductor de cristal; en resumen, un

intercambio debe ser realizado entre la resolución axial y lateral y la profundidad de penetración al considerar la localidad y el tamaño del área a ser escaneada.

### **2.16. Resolución Axial**

El transductor en su fase de escaneo utiliza una onda de sonido pulsada la cual es un pequeño paquete de energía en forma de disco aplanado. Estos pulsos ocurren cada 390us, un periodo de tiempo requerido para visualizar una línea del despliegue visual del dispositivo. Los pulsos eléctricos usados para generar el paquete de onda de sonido son aproximadamente 2us de duración, pero la mayor parte de la energía esta contenida en un periodo de 1us; el periodo de 2us es llamado longitud de pulso espacial. La longitud de pulso espacial es igual a la longitud de onda resonante del transductor de cristal usado para generar los paquetes de onda en un número de ciclos al iniciar el proceso. Dos estructuras en la ruta del paquete de ondas, localizadas una detrás de la otra, deben ser separadas por una distancia de al menos una y media longitud de onda de la longitud del pulso espacial, para ser detectadas como dos ondas reflejadas separadas. Si la separación es menor que una

longitud de onda, solamente la primera estructura será visualizada.



**Figura 2.2 Longitud de pulso espacial**

### **2.17. Resolución lateral (campo cercano y campo lejano)**

La resolución lateral es determinada por el ancho del paquete de ondas del ultrasonido, el cual es el mismo que el diámetro del transductor de cristal que lo produce. El diámetro del cristal es aproximadamente 20 veces la longitud de onda para proveer una adecuada direccionalidad; y el espesor cerca de la mitad de la longitud de onda. El espesor del cristal y la velocidad del sonido a través de cualquier material determinan su frecuencia de resonancia. Así como los paquetes de onda dejan al transductor, existe una zona donde el ancho del paquete es definido por la amplitud de la ráfaga principal que permanece

constante. Éste es llamado el campo cercano, o zona de Fresnel. A cierta distancia del transductor, la emisión empieza a divergir uniformemente. El área de divergencia es llamada el campo lejano o zona de Fraunhofer. La longitud del campo cercano y el ángulo de divergencia están relacionados al diámetro del transductor de cristal, lo cual se expone continuación:

$$D = \frac{r^2}{\lambda} \quad \text{Sin}(\theta) = \frac{0.61 * \lambda}{r}$$

donde  $D$  = longitud del campo cercano,  $r$  = radio del transductor de cristal,  $\theta$  = ángulo de divergencia,  $\lambda$  = longitud de onda en cm, y 0.61 es una constante. Una emisión angosta puede ser producida incrementando la frecuencia del cristal, el cual efectivamente alargará el campo cercano y al mismo tiempo decreta el ángulo de divergencia en el campo lejano. Esta acción, de cualquier manera, reduce la profundidad de penetración. El campo cercano será alargado y el ángulo de divergencia sufre un decremento si el diámetro del cristal es incrementado. Tal como se muestra en la figura 2.3.

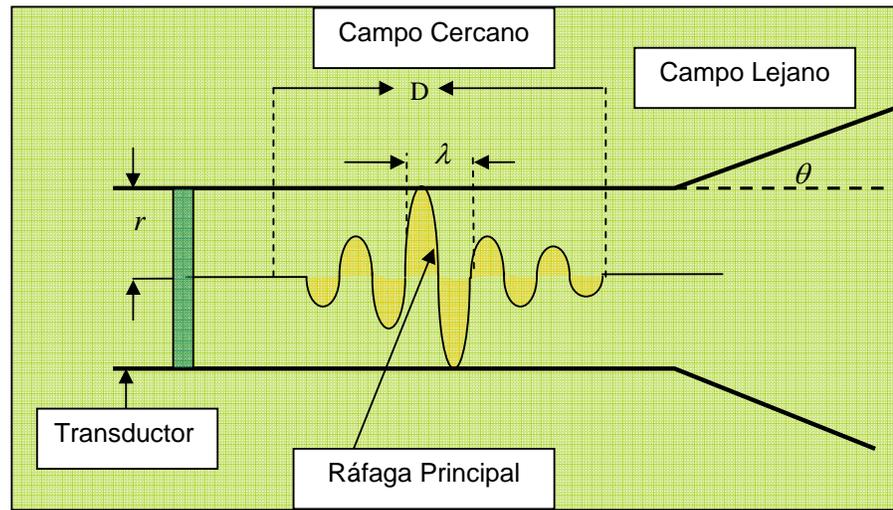


Figura 2.3 Resolución lateral

# CAPÍTULO 3

## 3. FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL TRANSDUCTOR

### 3.1. Introducción

En este capítulo se explica el funcionamiento del transductor y como actúan los cristales de cuarzo por medio del Efecto Piezoeléctrico, el amortiguamiento de los cristales para crear un equilibrio en la recepción, la generación de los pulsos para la ráfaga emisora y el procesamiento de la señal de retorno por medio de la compensación de ganancia de tiempo junto a la rectificación y la filtración.

### 3.2. Efecto Piezoeléctrico y Efecto Piezoeléctrico Inverso

El transductor utiliza una delgada estructura de cristales. Cada cristal es un dispositivo de conversión de energía. Sus partes frontal y posterior tienen placas de plata como las usadas en los capacitores. Así, cuando la parte posterior del cristal es

conectada a un generador de pulso eléctrico y la parte frontal es aterrizada, el cristal sufre una deformación, la cual es una señal analógica de una duración de 1us del pulso aplicado. Éste es el Efecto Piezoeléctrico. El cristal vibra a su frecuencia natural de resonancia por un período de una longitud de onda espacial (aproximadamente 2us), propagando dentro del cuerpo energía en forma de ondas de sonido. La onda de sonido viaja hasta que ésta impacta con una interfaz, entonces la onda es reflejada hacia el mismo cristal, causando una deformación y produciendo una pequeña corriente la cual puede ser amplificada, procesada y desplegada en pantalla con una intensidad luminosa (ESCALA DE GRISES). Éste es el Efecto Piezoeléctrico Inverso.

### **3.3. Amortiguamiento del cristal**

El material de cerámica del que el cristal está compuesto tenderá a oscilar cuando un pulso eléctrico es aplicado, generando un pulso de sonido muy largo para una resolución adecuada y previniendo al cristal de alcanzar el equilibrio lo suficientemente rápido para actuar como un receptor para la onda reflejada. Para suprimir este efecto, el cristal es armado en el transductor con un material amortiguado, teniendo la

misma impedancia acústica que el cristal. Esta configuración mecánica amortigua al cristal y mejora la dirección de la onda de sonido. Los paquetes de ondas viajando detrás de la onda principal de sonido son absorbidas por el material de amortiguamiento y las ondas dirigidas fuera del transductor no son afectadas.

### **3.4. Generación de pulsos**

La velocidad del sonido en el tejido corporal es aproximadamente de 1540 m/s. Esto quiere decir que una onda pulsante dirigida hacia el interior del cuerpo a una interfaz ubicada a un 1cm de profundidad, será impactada 6.5us después y la onda reflejada arribará de regreso al transductor para producir un eco en el despliegue visual escaneado luego de otros 6.5us. Así, el alcance del ultrasonido está definido en 13us/cm. Este parámetro es usado para poder calibrar el barrido que realiza el transductor. Un pulso principal de disparo es generado para sincronizar tanto el pulso del transductor como el barrido de la emisión o ráfaga a través del tubo de rayos catódicos (CRT) del despliegue visual; y los marcadores son usados para una medida de distancia en el CRT. La señal UNBLANK que es un pulso de 390us con un ciclo de trabajo del

67%, es usada a lo largo del funcionamiento del barrido que realiza el transductor. Una trama completa cíclica está comprendida por 64 períodos de señales UNBLANK (390us por cada señal UNBLANK X 64 períodos UNBLANK por trama cíclica = 24.96ms por trama cíclica)

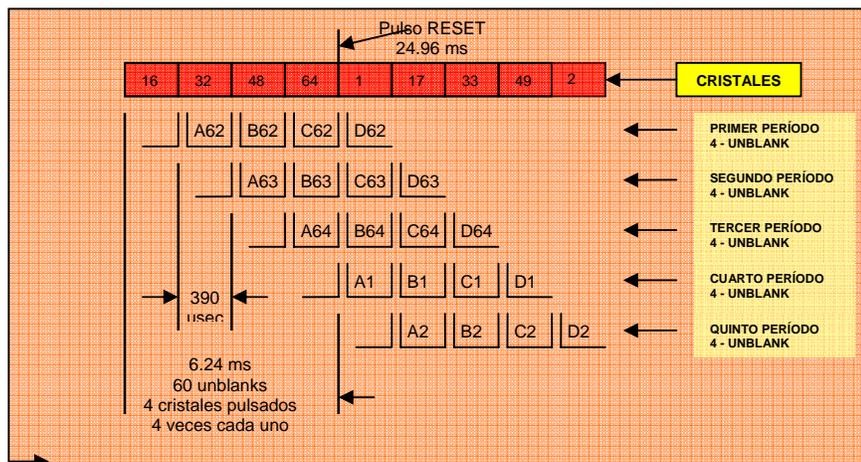
$$390 \text{ us} * 64 = 24.96 \text{ ms}$$

En cada trama cíclica, 64 señales UNBLANK producen 64 líneas en la imagen desplegada visualmente. De esta forma, 40 tramas ultrasónicas por segundo o dos sets de 20 campos por segundo, serán generados. El transductor contiene 64, cristales los cuales son pulsados secuencialmente. La secuencia se muestra en la figura 3.1 para los primeros cinco y los últimos tres cristales pulsados. El arreglo del transductor generará una imagen seccional cruzada a la anatomía y perpendicular a la cara del arreglo. Al mover el ángulo de incidencia del arreglo del transductor se alterará el plano perpendicular de la cara del transductor con el arreglo y de acuerdo con esto se alterará la imagen anatómica de la sección cruzada. Los ecos son desplegados como color blanco. Mientras más fuerte es el eco, más brillante aparecerá en el despliegue visual y la fuerza intermedia de los ecos se mostrará en escala de grises.

Nótese que cuatro elementos son pulsados en una secuencia de traslapamiento durante cada 1.56ms en que el período es habilitado; y que los pulsos A, B, C, y D son espaciados en aproximadamente 390us.

Considérese el cristal # 1: Este cristal es pulsado a  $t = 0$  por el pulso D62, a  $t = 1.56\text{ms}$  por el pulso C63, a  $t = 3.12\text{ms}$  por el pulso B64, y a  $t = 4.68\text{ms}$  por el pulso A1; entonces no es pulsado nuevamente hasta que 48 períodos UNBLANK sean completados. Desde que la duración de cada pulso es de 1us, un cristal funciona como receptor para la onda reflejada por 259us entre pulsos, mientras UNBLANK se encuentra en estado alto (HI), y no recibe durante un período de 130us en el que UNBLANK está en estado bajo (LO). Durante el período de 260us en que UNBLANK está en HI, el pulso viaja hacia las interfaces sobre los 20cm de profundidad y retorna

$$260 \text{ us} / 13 \frac{\text{us}}{\text{cm}} = 20 \text{ cm}$$



**Figura 3.1** Secuencia del funcionamiento del arreglo de cristales

Para que el transductor funcione necesita ser energizado; para esto se utiliza varias fuentes de diferentes voltajes.

### 3.4.1 Energización del Transductor

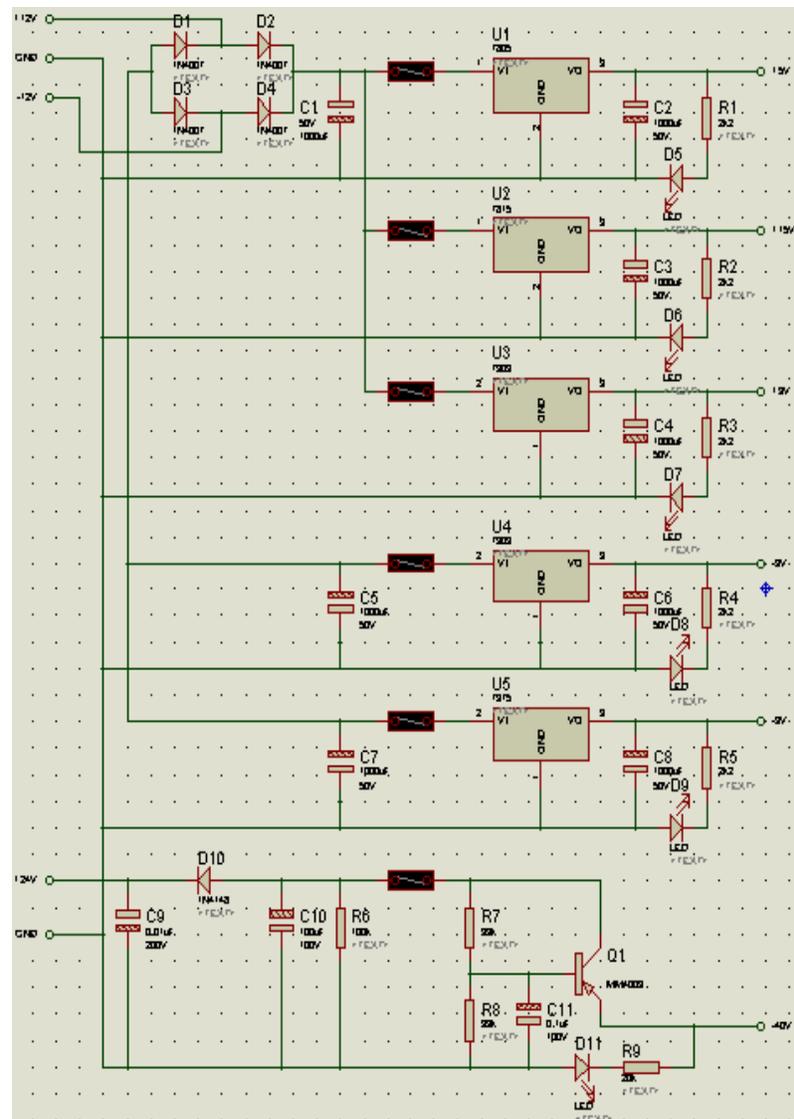
El transductor requiere de cinco fuentes para su correcta polarización, las cuales han sido diseñadas con diferentes reguladores.

**Tabla 2**

**Fuentes de alimentación para el transductor**

Fuente	Regulador/Transistor
+5V	LM7805
+5V	LM317
+15V	LM7815
+15V	LM7815
-40V	MM4003

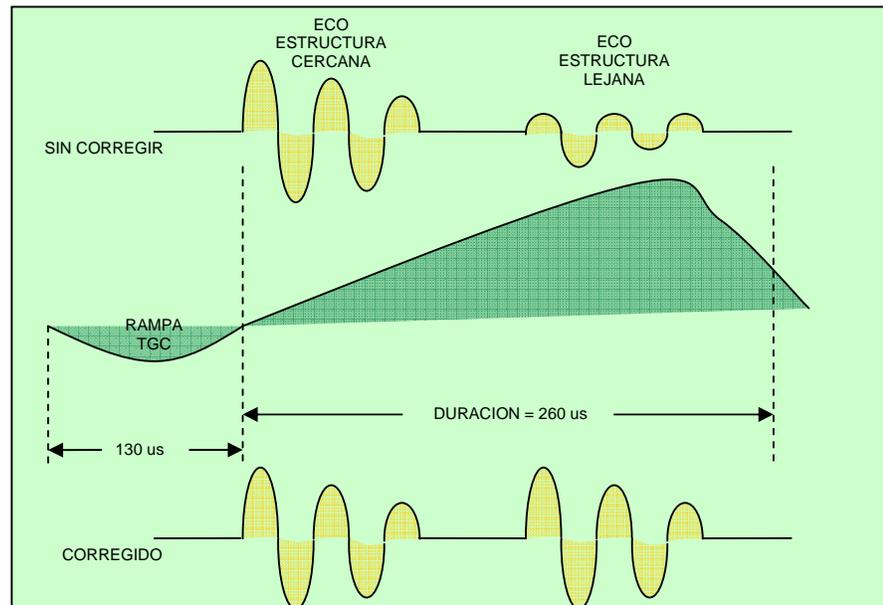
El circuito de fuentes de alimentación para el transductor se muestra en la figura 3.2



**Figura 3.2 Fuentes de alimentación para el transductor**

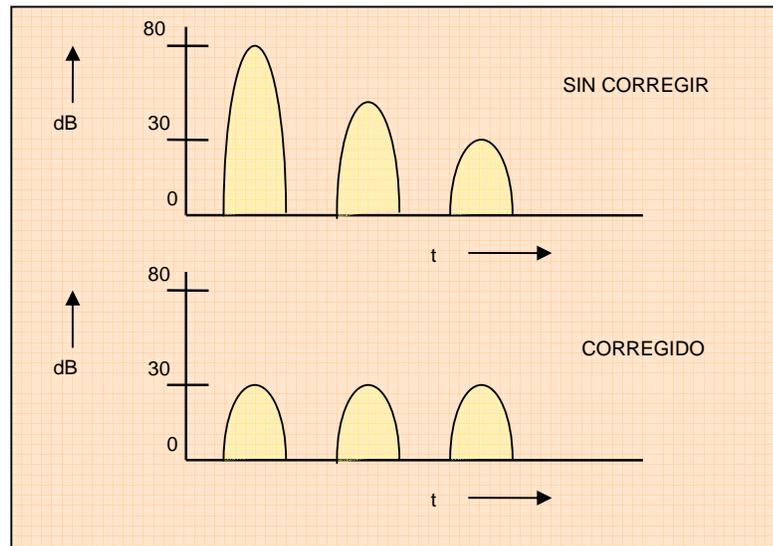
### **3.5. Procesamiento de la señal de retorno**

Las ondas de sonido son atenuadas por el tejido corporal en el camino desde y hacia la interfaz. Dos estructuras idénticas localizadas a diferentes profundidades en una capa de tejido producen ondas reflejadas o diferentes intensidades de la señal, debido a que la suma de atenuaciones es proporcional a la profundidad a la cual la onda debe viajar para alcanzar una interfaz y retornar. El eco de la estructura más distante será débil. En orden, para que dos estructuras idénticas produzcan puntos de la misma intensidad en el CRT, la señal débil debe ser electrónicamente compensada. Esto es completado por una compensación de ganancia en el tiempo (TGC), señal generada por el microcontrolador con dependencia en el tiempo y aplicada al transductor. Ésta es una señal rampa ajustada por los controles FAR, NEAR y BALANCE, ubicados en el panel frontal del equipo. La figura 3.3 muestra como la compensación trabaja:



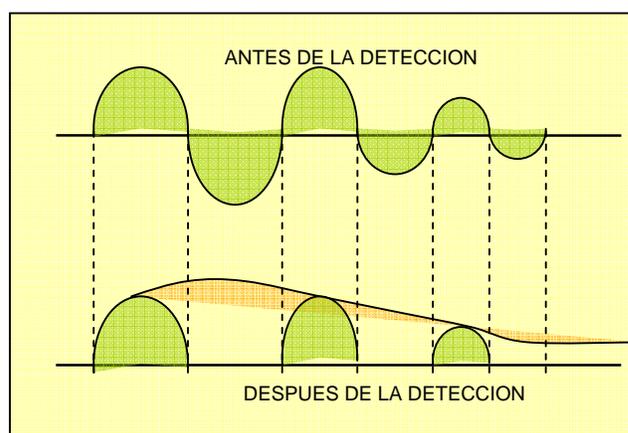
**Figura 3.3 TGC**

Mientras la atenuación en el cuerpo tenga un exceso de 80dB, el CRT es capaz de visualizar solamente un rango limitado de las diferentes intensidades de la señal. Para desplegar las señales de retorno y sus contrastes, las señales de excesiva amplitud deben ser comprimidas logarítmicamente. La compresión logarítmica modifica la forma de la señal con una pérdida mínima de resolución axial. La figura 3.4 muestra como esto es logrado:



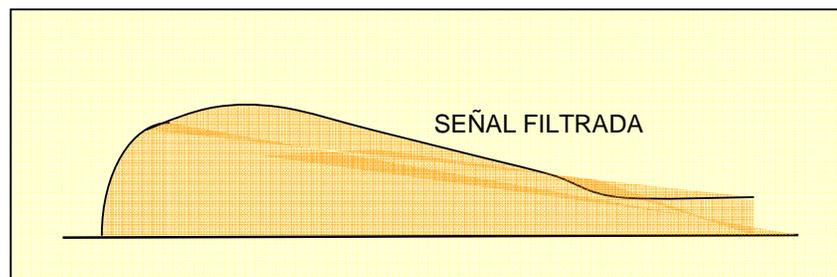
**Figura 3.4 Modificación de la forma de la señal**

El siguiente paso en el procesamiento en la señal de retorno es la detección. La señal es recortada para obtener únicamente la parte positiva. Los valores negativos de la señal no se toman en consideración (figura 3.5)



**Figura 3.5 Recorte de la señal**

La portadora es removida de la señal por medio de un filtro pasabajo, dejando únicamente la modulación envolvente (figura 3.6). Esta señal contiene la información, la cual es amplificada, procesada y desplegada visualmente en el CRT.



**Figura 3.6 Modulación envolvente**

# CAPÍTULO 4

## 4. PROCESAMIENTO DE SEÑALES

### 4.1 Introducción

Para poder crear las señales de control del transductor, se hace uso del PIC16F84A. Una vez que el transductor entra en funcionamiento, se obtiene una señal de retorno que es la que contiene la información del eco que luego de ser procesada será enviada a través de la entrada Z del CRT para su visualización.

#### 4.1.1 Distribución de señales de control en el PIC16F84A

Las diferentes señales de control están distribuidas en los pines del PIC16F84A de la siguiente manera:

**Tabla 3**

**Disposición de señales en el microcontrolador**

<b>SALIDA</b>	<b>SEÑAL</b>	<b>USO</b>
<b>RA0</b>	NC	
<b>RA1</b>	RESET INVERTIDA	Barrido X
<b>RA2</b>	RESET	Tx
<b>RA3</b>	RESET	Barrido X
<b>RA4</b>	MARKERS	Contador 7490
<b>RB0</b>	UNBLANK RETRASO	Tx
<b>RB1</b>	UNBLANK INVERTIDA	Contador 7490
<b>RB2</b>	NC	
<b>RB3</b>	UNBLANK INV RETRASO	TGC
<b>RB4</b>	NC	
<b>RB5</b>	NC	
<b>RB6</b>	UNBLANK	Barrido Y
<b>RB7</b>	UNBLANK INVERTIDA	Barrido Y

**4.1.2 Desarrollo del software necesario**

Luego de la definición de variables y la configuración de los puertos A y B como salidas se toma en consideración el desarrollo de la trama para cada vez en que esta entra en funcionamiento. Dentro de los 64 ciclos que conforman la trama completa, los 4 primeros se usan para el desarrollo de la escala de grises en pantalla (procesos BAJO4 y ALTO4) y los 60 ciclos restantes funcionan en la habilitación de los cristales para el envío y recepción del eco

ultrasónico (procesos BAJO y ALTO). Este procedimiento es de carácter infinito y deja de funcionar únicamente al desenergizar el microcontrolador.

Al iniciar el desarrollo del programa, existen cuatro señales del microcontrolador que están funcionando permanentemente. Estas señales llamadas RESET INVERTIDA (RA1) y RESET (RA3) son usadas en el barrido horizontal del CRT. De la misma forma, las señales UNBLANK (RB6) y UNBLANK INVERTIDA (RB7) son usadas en el barrido vertical del CRT.

Dentro del proceso BAJO4 se encuentra el inicio de la trama (24.96ms) donde empieza el funcionamiento de la señal RESET (RA2) que es la que habilita el funcionamiento del transductor ultrasónico y de la señal MARKERS (RA4) la cual habilita a un contador para la formación de la señal ESCALA DE GRISES. Este proceso se mantiene durante 130us. En el proceso ALTO4 se mantiene el funcionamiento de las señales antes

mencionadas durante 260us. Los procesos BAJO4 y ALTO4 se repiten cuatro veces (CNT4) en un lapso de 1.56ms.

Para el inicio del proceso BAJO la escala de grises ha sido desarrollada y mostrada en la parte lateral izquierda del CRT. Es en este momento donde empieza a funcionar la habilitación de los cristales por medio de la señal UNBLANK RETRASO (RB0). Cuando ésta señal se encuentra en estado bajo, los cristales envían una ráfaga de ondas ultrasónicas a través del cuerpo durante 130us y finaliza el proceso. Al iniciarse el proceso ALTO la señal UNBLANK se encuentra en estado alto y es cuando los ecos son receptados por los cristales durante 260us y finaliza el proceso. Los procesos BAJO y ALTO se desarrollan de manera continua hasta completar los 60 ciclos restantes de la trama principal (23.4ms).

La señal UNBLANK INV RETRASO (RB3) que trabaja como una señal compensadora de

ganancia en el tiempo (TGC) permanece deshabilitada durante los cuatro primeros ciclos y funciona durante los sesenta ciclos restantes de la trama de funcionamiento que es cuando existen ecos ultrasónicos.

El desarrollo de la secuencia de los procesos BAJO y ALTO dan como resultado una trama de datos que es enviada fuera del transductor como una señal analógica denominada VIDEO.

#### 4.1.3 Diagrama de flujo del software utilizado

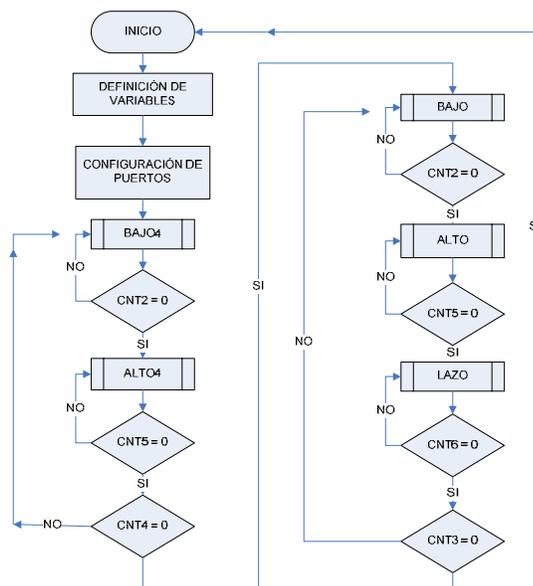


Figura 4.1 Diagrama de flujo

#### 4.1.4 Fuentes de alimentación para señales de control

Para la generación de las señales de control se utilizan seis fuentes de voltaje que polarizan los diferentes circuitos y fijan los niveles DC.

**Tabla 4**  
**Fuentes de alimentación para**  
**señales de control**

Fuente	Regulador	Señal
+5V	LM317	Tx
+9V	LM7809	BARRIDO X LM318(U1)
+9V	LM7809	LM318(U2)
+9V	LM7809	LM318(U3)
+9V	LM7809	LM318(U4,U5)
-9V	LM7909	LM318(U1)
-9V	LM7909	LM318(U2)
-9V	LM7909	LM318(U3)
-9V	LM7909	LM318(U4,U5)
+5V	LM7805	BARRIDO Y
+5V	LM7805	PIC / 7490
+5V	LM7805	Tx

El circuito de fuentes de alimentación para las señales de control se muestra en la figura 4.2

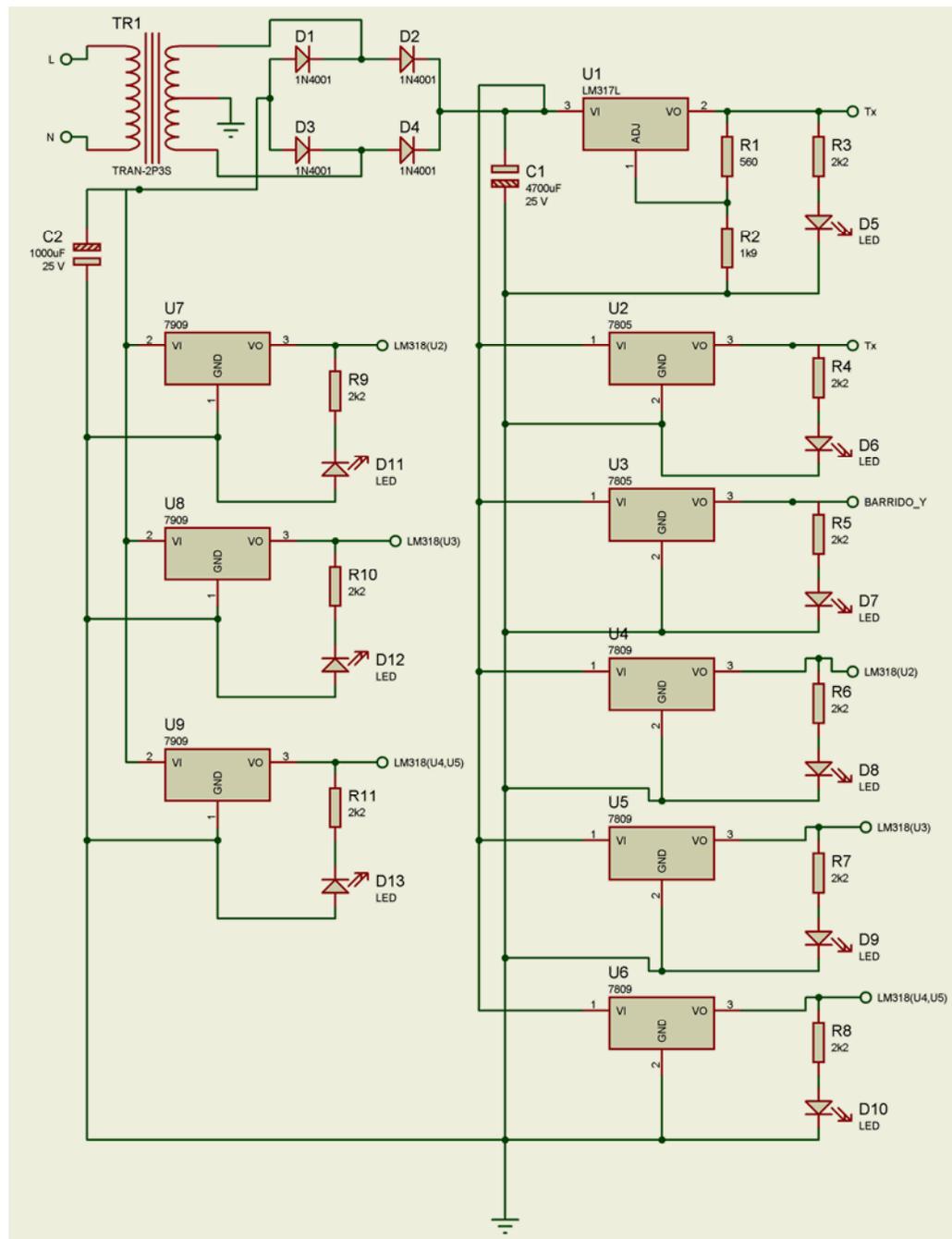


Figura 4.2 Fuentes de alimentación para señales de control

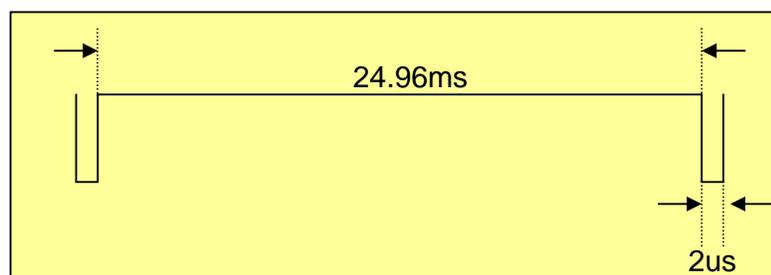
## 4.2 Señales de Ingreso

Las señales de ingreso al transductor son:

- RESET
- UNBLANK
- TGC.

### 4.2.1 RESET

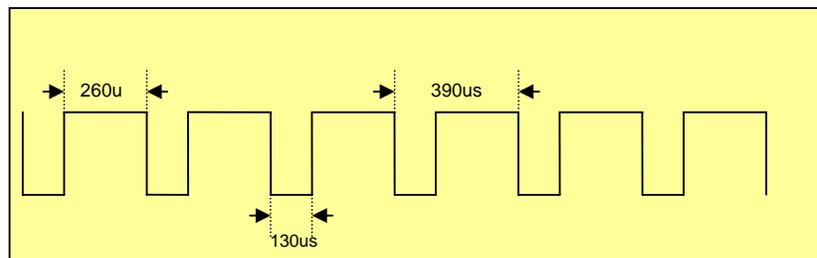
La señal RESET es la que hace el control de inicio y fin de la trama principal del funcionamiento de los cristales en el transductor. Tiene una duración de 24.96ms en alto y de 2us en bajo. Cuando la señal se encuentra en alto, los 64 cristales empiezan a funcionar de manera secuencial con una duración de 390us por cristal; luego, cuando la señal va a nivel bajo, se reinicia el funcionamiento de la trama desde el primer cristal. (Figura 4.3)



**Figura 4.3 Señal RESET**

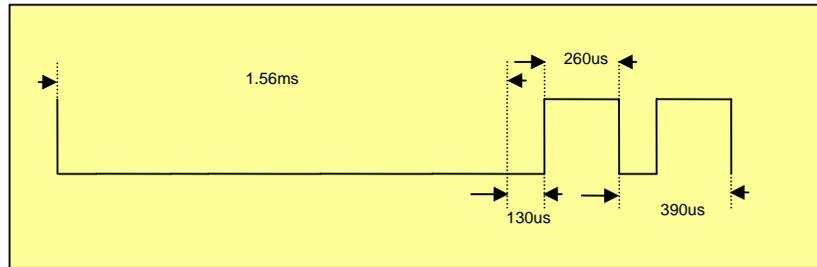
#### 4.2.2 UNBLANK

La señal UNBLANK es la que hace el control para cada uno de los cristales. Es una señal de 390us en donde los primeros 130us el nivel de la señal se encuentra en bajo y es cuando el cristal es energizado para poder emitir el eco. Luego del nivel bajo de 130us viene un nivel en alto de 260us, con lo cual se completa la señal de 390us. Durante los 260us el cristal recoge el eco reflejado del cuerpo. Es aquí en donde se encuentra la información en una señal de video. (Figura 4.4)



**Figura 4.4 Señal UNBLANK**

Para efecto de energización del transductor, la señal UNBLANK tiene un retraso de cuatro ciclos ( $390\mu\text{s} * 4 = 1.56\text{ms}$ ) Este retraso sirve para habilitar la barra de escala de grises (Figura 4.5)



**Figura 4.5 Señal UNBLANK con retraso**

### 4.2.3 TGC (Time Gain Compensation)

La señal TGC (compensación de ganancia en el tiempo) produce una rampa ajustable que es usada para controlar la ganancia de la señal de video originada en el transductor.

La señal TGC funciona con tres potenciómetros para el control de la ganancia llamados NEAR (ganancia para el campo cercano), FAR (ganancia para el campo lejano) y BALANCE (modifica la forma de la curva de ganancia)

El potenciómetro NEAR se encarga de ajustar la velocidad de descarga de la señal UNBLANK y está en un rango de voltaje de 500mV hasta - 500mV.

El potenciómetro FAR se encarga de ajustar la amplitud de la señal UNBLANK.

El potenciómetro BALANCE se encarga de ajustar la velocidad de carga de la señal UNBLANK (Figura 4.6)

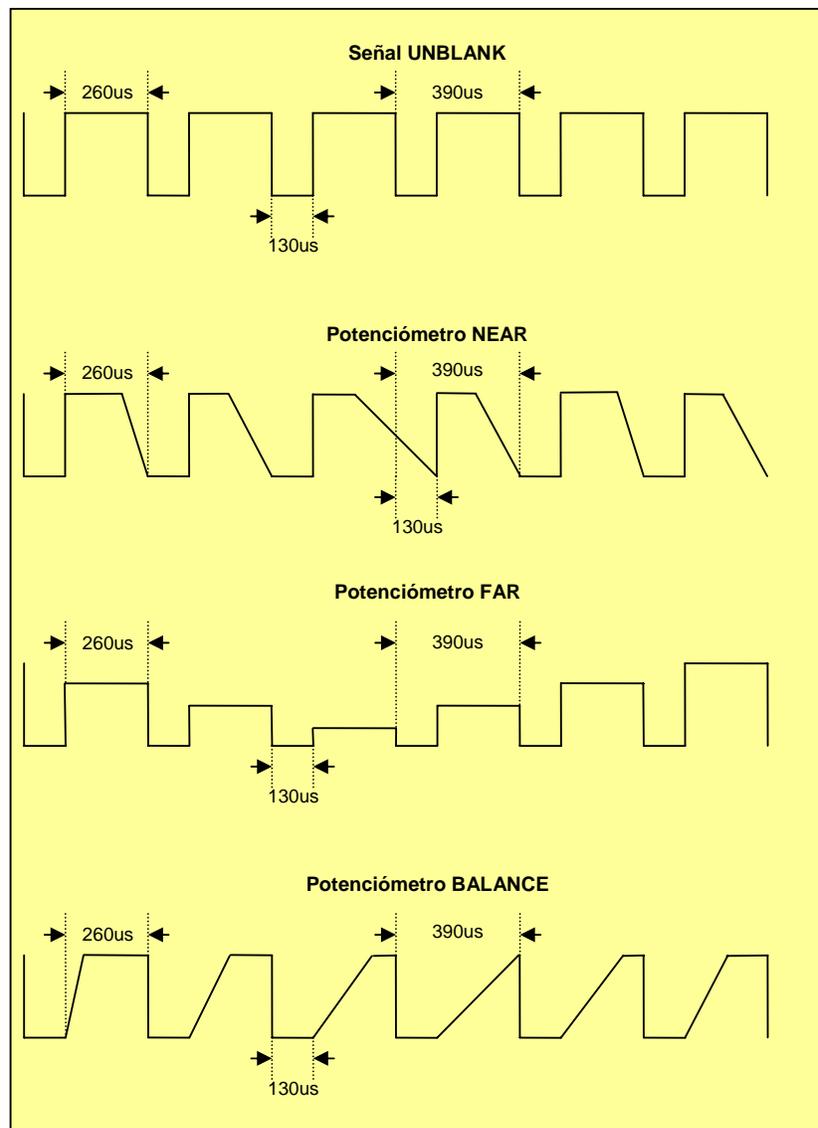


Figura 4.6 Señal TGC

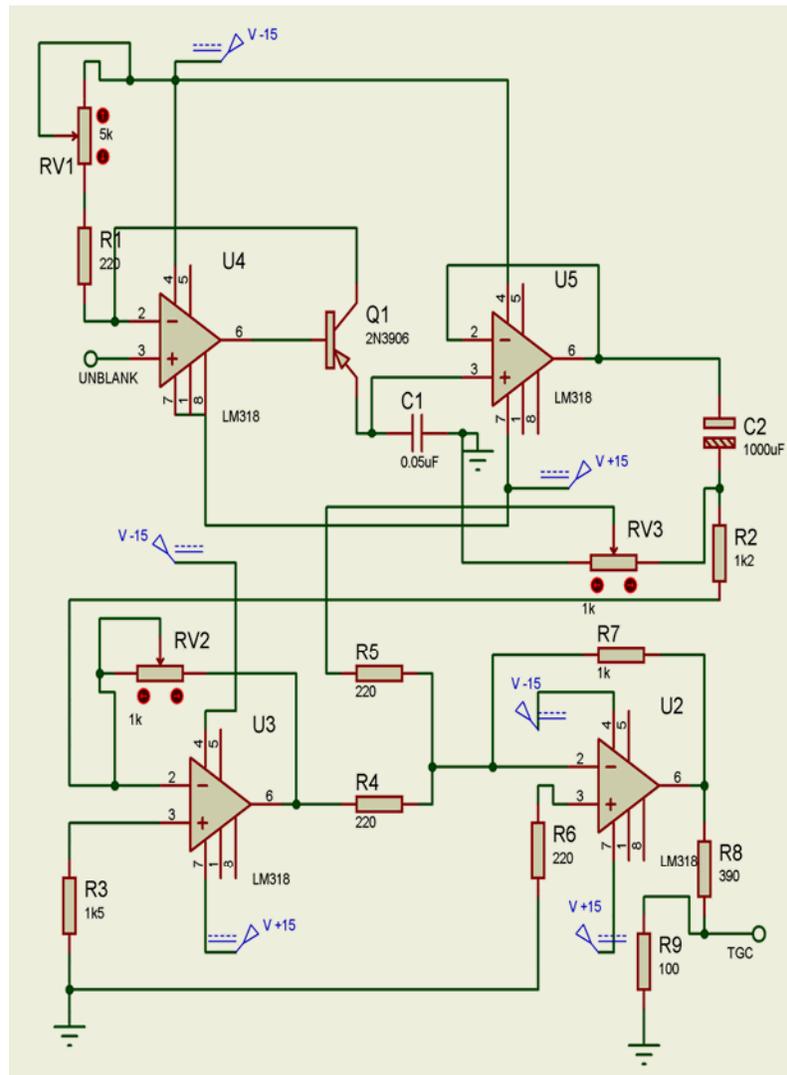


Figura 4.7 Circuito TGC

### 4.3 Tratamiento de señales

Para poder ingresar la señal de video al CRT, ésta necesita ser acondicionada.

El tratamiento necesario se basa en eliminar la parte negativa de la señal de VIDEO y sumarla a la señal ESCALA DE GRISES obtenida a partir del contador 7490 que es controlado por la señal MARKERS del microcontrolador.

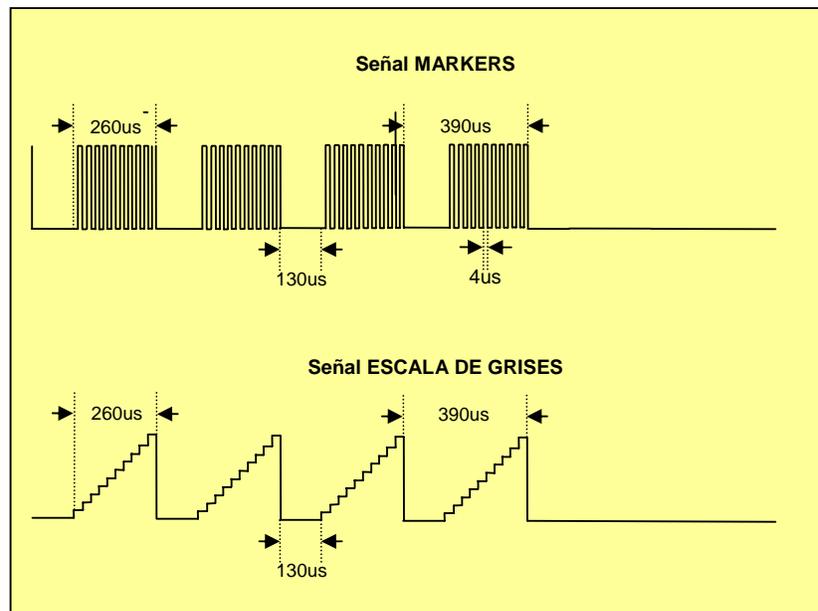
#### **4.3.1 ESCALA DE GRISES y señal de VIDEO**

La señal de ESCALA DE GRISES funciona en los cuatro primeros períodos de UNBLANK al iniciar la señal RESET. Esta señal sirve para poder graficar en la parte izquierda del CRT una barra con diferencia de brillo de diez pasos, donde el más brillante indica que el tejido se encuentra más cerca de la superficie. Para que esto se lleve a cabo la señal ESCALA DE GRISES debe sumarse con la señal de UNBLANK para ser visualizados en la sección donde la señal UNBLANK se encuentra en nivel alto, es decir en los 260us finales de la trama de 390us.

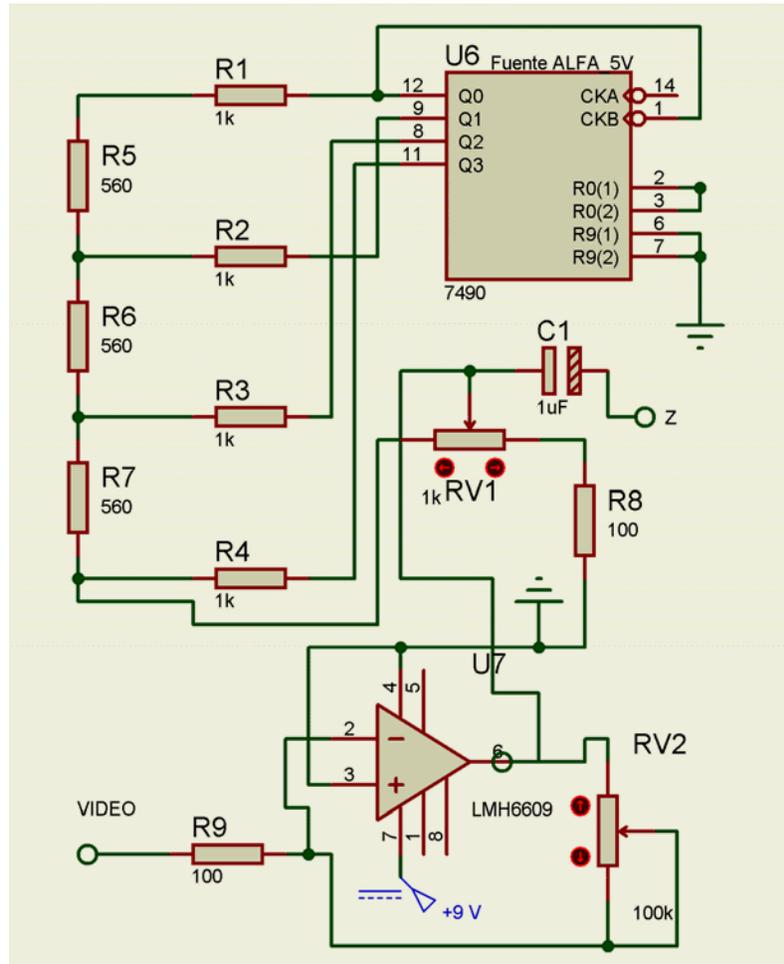
Para lograr la construcción de la señal ESCALA DE GRISES se hace uso de la señal UNBLANK INVERTIDA durante sus primeros cuatro ciclos habilitando de esta forma al contador 7490. Este contador funciona con una señal de reloj llamada MARKERS cuyo funcionamiento

se basa en 10 pulsos cada 26 $\mu$ s con una duración de 4 $\mu$ s cada uno, durante los 260 $\mu$ s en que la señal UNBLANK se encuentra en nivel alto.

Las salidas digitales del contador 7490 están conectadas a una red para realizar una conversión digital – analógica dando como resultado la señal ESCALA DE GRISES (Figura 4.8)



**Figura 4.8 Señal ESCALA DE GRISES**

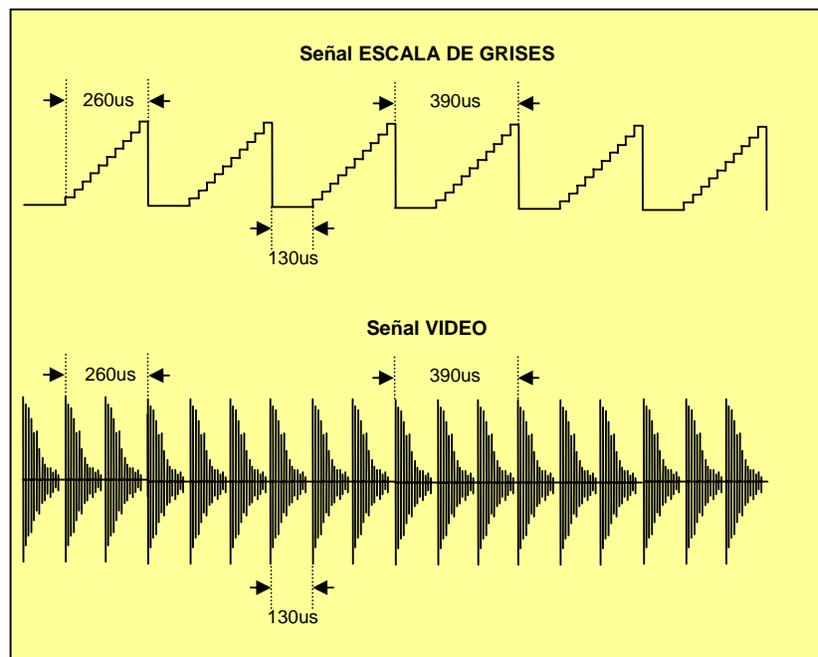


**Figura 4.9 Circuito ESCALA DE GRISES y VIDEO**

Luego de los cuatro primeros ciclos ( $4 \cdot 390 \mu\text{s} = 1.56 \text{ms}$ ) la señal ESCALA DE GRISES es deshabilitada hasta que la trama de 24.96ms vuelve a reiniciar.

Es entonces cuando la señal de VIDEO, luego de ser acondicionada eliminando su parte negativa, es sumada a la señal ESCALA DE GRISES.

Las formas de onda de las señales antes de ser sumadas se muestran en la figura 4.10.



**Figura 4.10 Señales de VIDEO y ESCALA DE GRISES**

#### **4.4 Señales de salida**

Las señales de ingreso al CRT son:

- BARRIDO X
- BARRIDO Y
- BARRIDO Z

#### 4.4.1 Barrido X

El Barrido en X es una señal que sirve para controlar la imagen en el CRT de forma horizontal. Consiste en una rampa positiva construida a partir de la señal RESET.

(Figura 4.11)

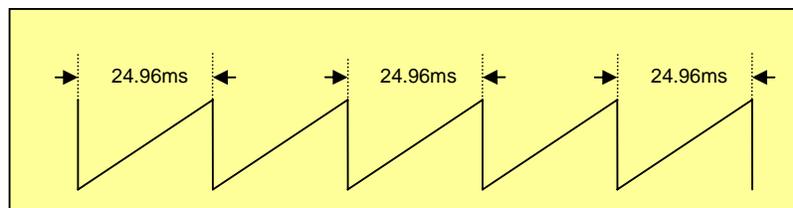


Figura 4.11 Barrido X

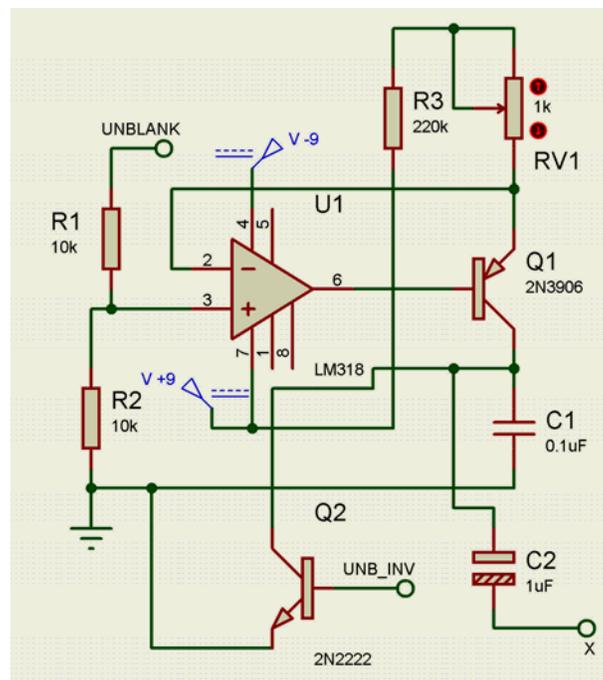


Figura 4.12 Circuito Barrido X

#### 4.4.2 Barrido Y

El Barrido en Y es una señal que sirve para controlar la imagen en el CRT de forma vertical. Consiste en una rampa negativa construida a partir de la señal UNBLANK. (Figura 4.13)

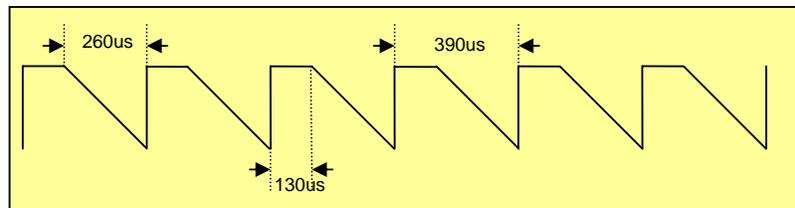


Figura 4.13 Barrido Y

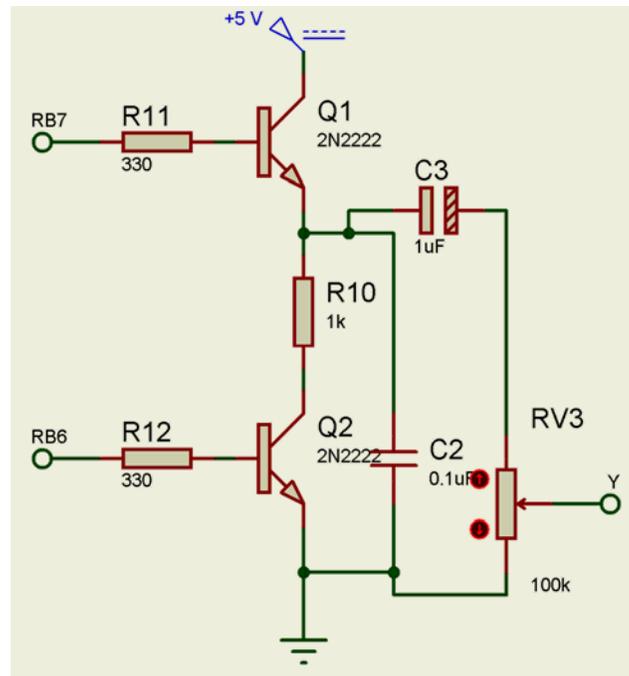
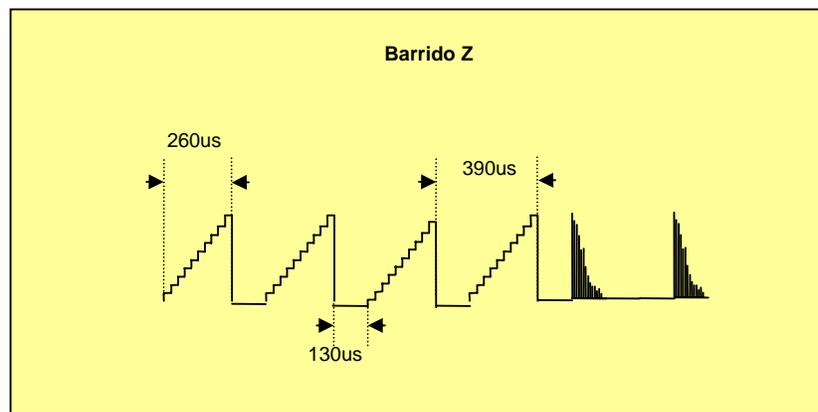


Figura 4.14 Circuito Barrido Y

### 4.4.3 Barrido Z

El Barrido en Z está construida de la Señal de VIDEO acondicionada y sumada con las señales UNBLANK y ESCALA DE GRISES (Figura 4.15)



**Figura 4.15 Barrido Z**

El circuito para las señales de control se muestra en la figura 4.16

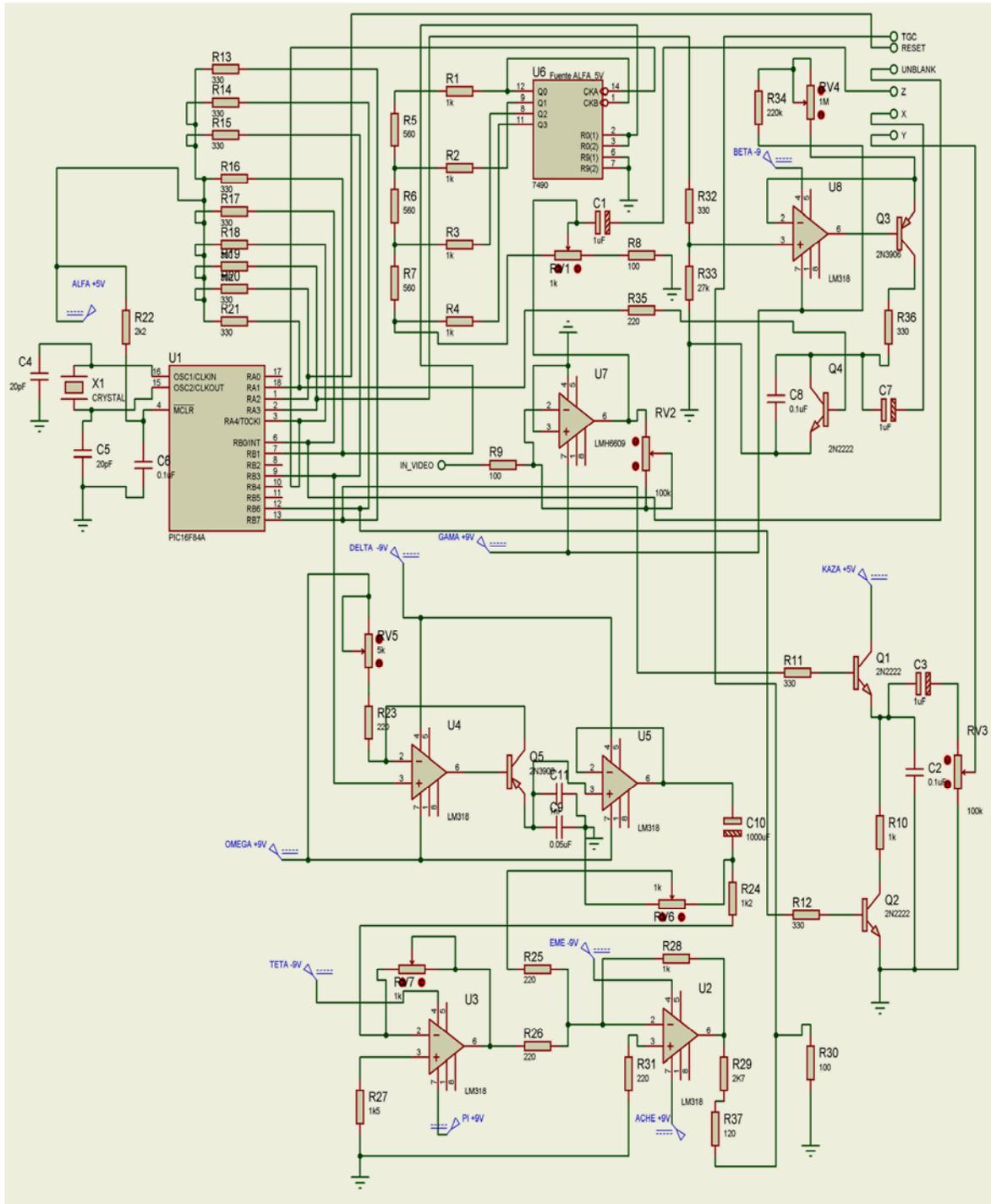


Figura 4.16 Señales de control

# CAPÍTULO 5

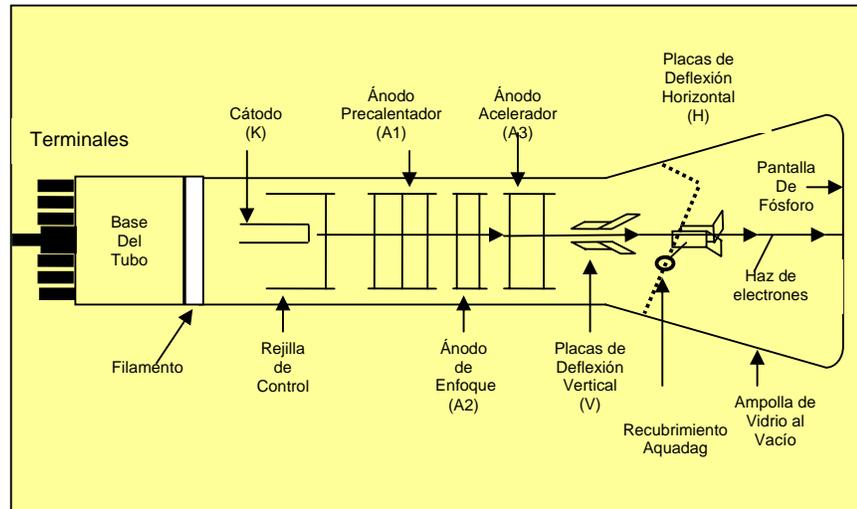
## 5. VISUALIZACIÓN

### 5.1 Introducción

Para la obtención de la imagen se utiliza un Tubo de Rayos Catódicos o CRT, debido a que este dispositivo permite trabajar con señales analógicas de frecuencias muy altas.

El CRT cuenta con tres diferentes entradas para la formación de la imagen: X, Y y Z.

## 5.2 Formación de imágenes en un dispositivo de visualización



**Figura 5.1 Esquema de un CRT**

En la figura 5.1 se puede apreciar el esquema de un CRT, el cual para poder formar una imagen necesita de tres entradas: X, Y y Z.

### 5.2.1 ENTRADA X

En esta entrada se recepta la señal Barrido X para hacer el barrido horizontal de la pantalla.

### 5.2.2 ENTRADA Y

En esta entrada se recepta la señal Barrido Y para hacer el barrido vertical de la pantalla.

### 5.2.3 ENTRADA Z

En esta entrada se receipta las señales ESCALA DE GRISES y VIDEO, las mismas que de acuerdo a su amplitud producen la emisión de electrones que impactan en la pantalla de fósforo formando una imagen.

Cabe indicar que para que la imagen formada en pantalla permanezca estática se necesita que las señales BARRIDO X y BARRIDO Y estén sincronizadas, una vez logrado este punto se procede a la visualización tanto de la escala de grises como la imagen de los ecos ultrasónicos que están representados por una señal analógica de voltaje.

Podemos diferenciar profundidades en el CRT ya que este al graficar lo hace de acuerdo a los niveles de voltaje de la señal de entrada y la posición en que esta es mostrada está definida por el instante de ingreso con relación al tiempo de duración de la trama principal de 24.96ms. El ancho de la pantalla esta compuesta de 64 columnas de 390us cada una, donde se grafica la señal de VIDEO de acuerdo a la amplitud para cada columna que muestra la información entregada por cada cristal.

# CAPÍTULO 6

## 6. ANÁLISIS DE COSTOS

TABLA 5

Fuentes de alimentación 1

ITEM	DESCRIPCION	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Transformador	24V-0-24V	1	\$ 13,00	\$ 13,00
2	Transformador	12V-0-12V	1	\$ 8,00	\$ 8,00
3	Diodo	1N4148	1	\$ 0,05	\$ 0,05
4	Diodo	1N4007	4	\$ 0,05	\$ 0,20
5	LED	Tamaño Normal	6	\$ 0,08	\$ 0,48
6	Fusible	200mA	6	\$ 0,10	\$ 0,60
7	Porta Fusible	Corto	6	\$ 0,10	\$ 0,60
8	Regulador	LM7805	1	\$ 0,45	\$ 0,45
9	Regulador	LM7815	1	\$ 0,45	\$ 0,45
10	Regulador	LM7915	1	\$ 0,45	\$ 0,45
11	Regulador	LM7809	1	\$ 0,45	\$ 0,45
12	Regulador	LM7909	1	\$ 0,45	\$ 0,45
13	Bornera	Dos Pines	13	\$ 0,15	\$ 1,95
14	Capacitor	1000uF / 50V	8	\$ 0,20	\$ 1,60
15	Capacitor	0,01uF / 200V	1	\$ 0,08	\$ 0,08
16	Capacitor	0,1uF / 100V	1	\$ 0,08	\$ 0,08
17	Capacitor	100uF / 160V	1	\$ 0,10	\$ 0,10
18	Resistor	2,2K $\Omega$	5	\$ 0,05	\$ 0,25
19	Resistor	20K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
20	Resistor	33K $\Omega$	2	\$ 0,05	\$ 0,10
21	Resistor	100K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
22	Diseño de Placa		1	\$ 5,00	\$ 5,00
23	Placa	Fibra de Vidrio	1	\$ 8,00	\$ 8,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 42,44</b>

**TABLA 6**  
**Fuentes de alimentación 2**

ITEM	DESCRIPCION	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
24	Transformador	9V-0-9V	1	\$ 4,00	\$ 4,00
25	Diodo	1N4007	4	\$ 0,05	\$ 0,20
26	Capacitor	4700uF / 25V	1	\$ 0,80	\$ 0,80
27	Capacitor	1000uF / 25V	1	\$ 0,15	\$ 0,15
28	Capacitor	22uF / 25V	8	\$ 0,10	\$ 0,80
29	LED	Tamaño Normal	9	\$ 0,08	\$ 0,72
30	Regulador	LM7805	2	\$ 0,45	\$ 0,90
31	Regulador	LM7909	3	\$ 0,45	\$ 1,35
32	Regulador	LM7809	3	\$ 0,45	\$ 1,35
33	Regulador	LM317	1	\$ 0,60	\$ 0,60
34	Resistor	560Ω	1	\$ 0,05	\$ 0,05
35	Resistor	1,2KΩ	1	\$ 0,05	\$ 0,05
36	Resistor	1,9KΩ	1	\$ 0,05	\$ 0,05
37	Resistor	2,2KΩ	9	\$ 0,05	\$ 0,45
38	Bornera	Dos pines	11	\$ 0,15	\$ 1,65
39	Diseño de Placa		1	\$ 6,00	\$ 6,00
40	Placa	Baquela	1	\$ 5,00	\$ 5,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 24,12</b>

**TABLA 7**  
**Señales de control**

ITEM	DESCRIPCION	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
41	Microcontrolador	PIC16F84A	1	\$ 5,50	\$ 5,50
42	Contador BCD	74LS90	1	\$ 0,80	\$ 0,80
43	Opamp	LM318	5	\$ 1,15	\$ 5,75
44	Opamp	LMH6609	1	\$ 11,00	\$ 11,00
45	Cristal / Cuarzo	10Mhz	1	\$ 1,20	\$ 1,20
46	Potenciometro	1K $\Omega$	3	\$ 0,45	\$ 1,35
47	Potenciometro	100K $\Omega$	2	\$ 0,45	\$ 0,90
48	Potenciometro	5K $\Omega$	1	\$ 0,45	\$ 0,45
49	Potenciometro	1M $\Omega$	1	\$ 0,45	\$ 0,45
50	Socalo	18 Pines	1	\$ 0,40	\$ 0,40
51	Socalo	14 Pines	1	\$ 0,30	\$ 0,30
52	Socalo	8 Pines	5	\$ 0,25	\$ 1,25
53	Capacitor	20pF / 25V	2	\$ 0,08	\$ 0,16
54	Capacitor	0,1uF/ 25V	3	\$ 0,08	\$ 0,24
55	Capacitor	22nF/ 25V	2	\$ 0,08	\$ 0,16
56	Capacitor	1uF/ 25V	3	\$ 0,10	\$ 0,30
57	Transistor	2N2222	2	\$ 0,15	\$ 0,30
58	Transistor	2N3906	2	\$ 0,15	\$ 0,30
59	Resistor	100 $\Omega$	2	\$ 0,05	\$ 0,10
60	Resistor	220 $\Omega$	5	\$ 0,05	\$ 0,25
61	Resistor	330 $\Omega$	12	\$ 0,05	\$ 0,60
62	Resistor	560 $\Omega$	3	\$ 0,05	\$ 0,15
63	Resistor	2,2K $\Omega$	2	\$ 0,05	\$ 0,10
64	Resistor	1,9K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
65	Resistor	27K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
66	Resistor	2,7K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
67	Resistor	120 $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,30
68	Resistor	1,5K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
69	Resistor	1,2K $\Omega$	1	\$ 0,05	\$ 0,05
70	Resistor	1K $\Omega$	6	\$ 0,05	\$ 0,25
71	Cable Coaxial	50cm	1	\$ 1,00	\$ 1,00
72	Conector BNC	Hembra	3	\$ 1,50	\$ 4,50
73	Bornera	Dos Pines	12	\$ 0,15	\$ 1,80
74	Diseño de Placa		1	\$ 12,00	\$ 8,00
75	Placa	Baquela	1	\$ 20,00	\$ 20,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 68,11</b>

**TABLA 8****Costo final**

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Fuentes de Alimentación 1	\$ 42,44
Fuentes de Alimentación 2	\$ 24,12
Señales de Control	\$ 68,11
Carcasa Metálica	\$ 15,00
<b>Costo Final</b>	<b>\$ 149,67</b>

**6.1 Comparación de costos**

Un equipo comercial para ecografía en promedio bordea los \$7000 considerando que estos equipos cuentan ya con el transductor ultrasónico y su dispositivo de visualización. El precio de un transductor fluctúa alrededor de los \$ 3000 y un dispositivo de visualización alrededor de \$ 1500 lo que da como resultado \$ 2500 de la interfaz comercial, que en este proyecto se lo construye con \$149,67 y además con la ventaja de la considerable disminución de tamaño.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Del desarrollo de este proyecto se concluye:

- La frecuencia de la señal de video está en el rango de los MHz, por esta razón encontrar los componentes electrónicos digitales necesarios en el mercado local, resultó difícil y en algunos casos imposible.
- Los fabricantes de transductores de ultrasonido son extremadamente celosos con la información, por esta razón encontrar un modelo para el diseño de un transductor nuevo resultó imposible.
- La frecuencia de las señales de control es alta y demandan un alto nivel de sincronismo para lo cual se necesita trabajar con un cristal de cuarzo de alta frecuencia.

- Para lograr el sincronismo necesario se utiliza un microcontrolador que usa un cristal de 10MHz para de esta manera lograr un ciclo de instrucción mínimo de 400ns.
- El acople de impedancias es uno de los puntos mas importantes para la suma de señales, ya que un desbalance en las cargas provoca la desestabilización del sistema.
- El nivel DC de las señales juega un papel importante para la visualización en la pantalla de un CRT, puesto que éste fija la posición del punto de partida de los barridos Vertical y Horizontal.
- El control de la amplitud de la señal de video debe tener la ganancia necesaria para que se encuentre dentro del rango de voltaje. Dentro de este rango se logra una buena intensificación de la imagen en pantalla.
- El nivel de ruido al trabajar a una frecuencia muy alta es intenso, por esta razón los cables que conducen la señal deben estar apantallados y con el recubrimiento necesario para que la señal no se distorsione. Es por esta razón que se usa una carcasa

metálica con la finalidad de construir una Jaula de Faraday para aislamiento del ruido.

Del desarrollo de este proyecto se recomienda:

- El lugar de trabajo para el desarrollo de un proyecto debe contar con todas las herramientas y dispositivos necesarios. Dentro de los dispositivos de más uso en este proyecto se encuentra el osciloscopio, el cual debe trabajar en un ancho de banda considerablemente alto para poder analizar las señales de muy alta frecuencia y así poder minimizar los errores.
- El desarrollo de este proyecto necesitó de suficiente información de los materiales y el detalle en las diferentes hojas de datos de los elementos a usarse para poder considerarlos dentro de la frecuencia de trabajo.
- Contar con los diferentes programas desarrolladores de circuitos para poder realizar pruebas y verificaciones.
- En el mercado local no existen algunos de los componentes para trabajar en altas frecuencias, por esta razón se debe realizar la búsqueda de los dispositivos en diferentes casas internacionales que se dedican a ello. En caso de que se

necesite un elemento de esta categoría, se debe considerar el tiempo de retraso en el desarrollo del proyecto que toma una implementación debido a la demora en un envío de esta naturaleza.

## APÉNDICES

# **APÉNDICE A**

## **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ULTRASÓNICO ADRULTRASOUND MODELO 2130**

### **Equipo ADRULTRASOUND MODEL 2130**

El equipo ultrasónico marca ADR modelo 2130 fue comercializado en el año de 1975. Fue uno de los equipos con más éxito en los Estados Unidos y se vendieron más de 5000 unidades alrededor del mundo entero, incluyendo Alemania y otros países europeos

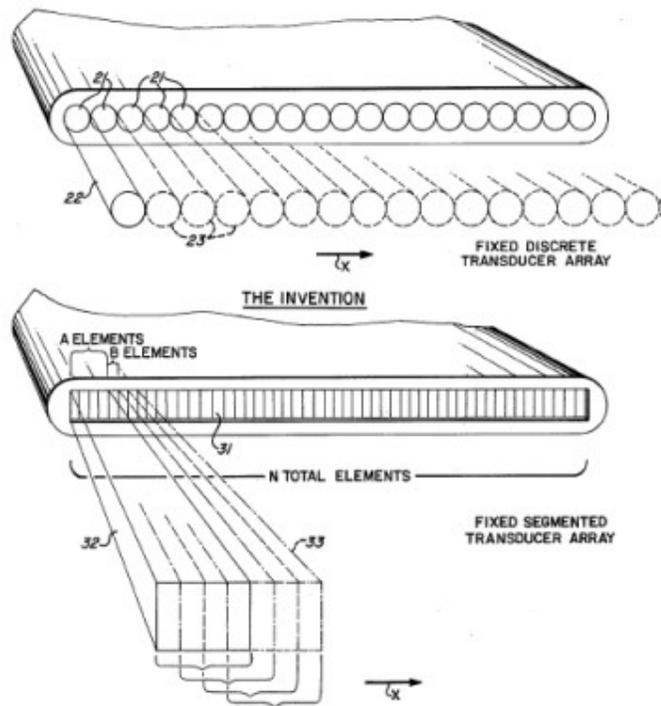


**ADR**ultrasound

El transductor ultrasónico es la parte más importante del equipo ultrasónico. Ésta parte está constituida de 64 cristales los cuales emiten una ráfaga de ondas ultrasónicas de forma secuencial y a su vez, reciben una señal de retorno por medio de la cual, luego de hacer un procesamiento se obtiene la imagen en pantalla



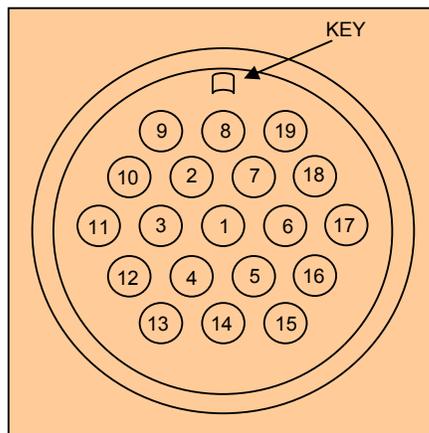
El transductor ADR con sus 64 cristales.



Distribución de los cristales en forma lineal.

# APÉNDICE B

## DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL TRANSDUCTOR



KEY. Indicador para la correcta posición del cable

1. Señal de Video que retorna del Transductor
2. GND
3. Slow Ramp In. Ingreso de señal rampa para graficar en el equipo ADR.
4. Fuente de + 15 V.
5. Slow Ram Out. Salida de señal rampa para graficar en el equipo ADR.
6. Fuente de – 40 V.
7. GND

8. Fuente de – 15 V.
9. Fuente de + 5 V.
10. Fuente de + 5 V.
11. GND
12. Ingreso de Señal UNBLANK para habilitación y recepción de eco a los cristales.
13. GND
14. Ingreso de Señal RESET para dar inicio a cada trama de ecos.
15. Ingreso de habilitación de imagen para 60 0 120 líneas de imagen para el equipo ADR.
16. GND
17. Ingreso de la Señal TGC para compensar la ganancia del eco.
18. GND
19. GND

# **APÉNDICE C**

## **HOJAS DE DATOS DE ELEMENTOS**

# MICROCHIP

## PIC16F8X

### Microcontrolador de 18 pines Flash/EEPROM de 8 bits

Dispositivos incluidos en esta hoja de datos:

- PIC16F83
- PIC16F84
- PIC16CR83
- PIC16CR84
- Dispositivos disponibles en un rango extendido de voltaje (PIC16LF8X, PIC16LCR8X)

Presentación de alto rendimiento RISC CPU:

- 35 instrucciones de palabra
- Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo excepto algunas que se ejecutan en dos ciclos.
- Velocidad de operación: DC – 10MHz de reloj de entrada  
DC – 400ns de ciclo de instrucción

Dispositivo	Memoria de programa (palabras)	Datos en RAM (bytes)	Datos en EEPROM (bytes)	Frec Máx (MHz)
PIC16F83	512 Flash	36	64	10
PIC16F84	1K Flash	68	64	10
PIC16CR83	512 ROM	36	64	10
PIC16R84	1K ROM	68	64	10

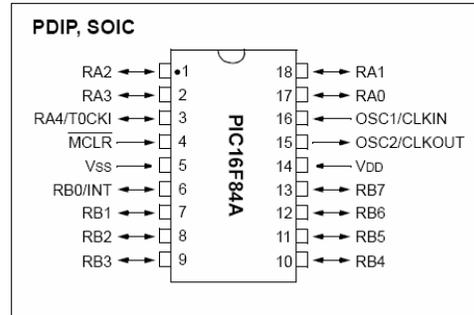
- Instrucciones de 14 bits de ancho
- Dirección de datos de 8 bits de ancho
- 15 registros especiales de función del hardware
- 8 niveles de profundidad de la pila
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo
- 4 fuentes de interrupción:
  - Pin externo RB0/INT
  - Sobreflujo de tiempo TMR0
  - Cambio en interrupción PORTB<7:4>
  - Escritura completa de datos en EEPROM
- 1000 ciclos lectura / escritura en memoria Flash
- 10000000 de ciclos lectura / escritura en memoria EEPROM
- Retención de datos en EEPROM > 40 años

Presentación de Periféricos:

- 13 I/O pines con direccionamiento de control individual
- Máxima corriente Fuente / Carga para manejo directo de LED
- 25 mA máximos entregados por pin

- 20 mA máximos recibidos por pin
- TMR0: Temporizador / contador de 8 bits con preescalador programable de 8 bits

Diagrama de Pines



Herramientas especiales de los Microcontroladores

- Programación serial In-Circuit (Dentro del circuito armado) por medio de dos pines (dispositivos ROM soportan únicamente programación de datos en la EEPROM)
- Reencendido por medio de Reset (Reinicialización) (POR)
- Temporizador de ciclo inicial (PWRT)
- Oscilador inicializador del temporizador (OST)
- Temporizador perro guardián (WDT) con su propio oscilador RC
- Protección de código
- Ahorro de energía por medio del modo SLEEP (Dormir)
- Opciones de selección del oscilador

Tecnología CMOS Flash / EEPROM :

- Bajo consumo de potencia, tecnología de alta velocidad
- Diseño completamente estático
- Rango de voltaje de operación:
  - Comercial: 2V a 6V
  - Industrial: 2V a 6V
- Bajo consumo de energía:
  - < 2mA, 5V a 4MHz
  - 15uA, 2V a 32KHz
  - <1uA, 2V corriente típica

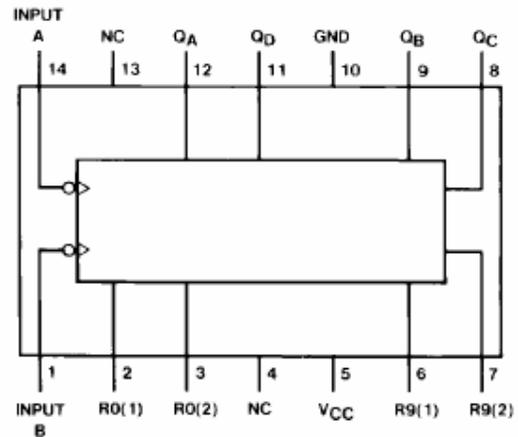
- Para mayor información detallada de este componente, remitirse a la dirección WEB <http://www.alldatasheet.com/>, <http://www.datasheetcatalog.com/>

# National Semiconductor

## DM74LS90

### Descripción General

Este contador monolítico contiene cuatro flip flops maestro – esclavo y una habilitación adicional para proveer un contador de división – para – dos y un contador binario de tres estados por medio del cual la cuenta de longitud del ciclo es dividida – para – cinco. Este contador tiene una habilitación reset en bajo y una habilitación puesta – a – nueve para usar en modo BCD en aplicaciones complementarias. Para usar su máxima capacidad de conteo ( década de cuatro bits binarios ), la entrada B es conectada a la salida QA. Los pulsos de conteo de entrada son aplicados a la entrada A y las salidas se encuentran como están descritas en la tabla de verdad. Un contador simétrico divisor – para – diez puede ser obtenido conectando la salida QD a la entrada A y aplicando la entrada de conteo a la entrada B la cual da una onda cuadrada divisor – para – diez en la salida QA.



### Herramientas especiales

- Disipación típica de energía 45mW
- Frecuencia de conteo 42MHz

### Diagrama de Pines

Tabla de Verdad

Count	Output			
	Q <sub>D</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>A</sub>
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

- Para mayor información detallada de este componente, remitirse a la dirección WEB <http://www.alldatasheet.com/>, <http://www.datasheetcatalog.com/>

# National Semiconductor

## LMH6609

### Amplificador Operacional con voltaje de realimentación de 900MHz

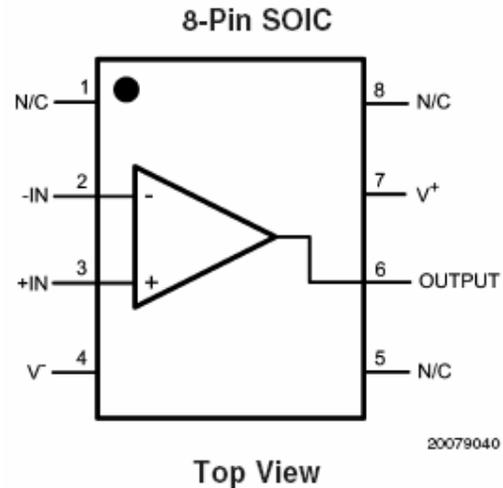
#### Descripción General

El LMH6609 tiene un ancho de banda considerable, una ganancia unitaria estable, bajo consumo de potencia, un voltaje de realimentación que ofrece 900MHz de ancho de banda con una ganancia unitaria una tasa de cambio de 1400V / us y 90mA de corriente de salida lineal. Esta diseñado con una arquitectura de voltaje de realimentación para máxima flexibilidad especialmente para filtros activos y de acople. El LMH6609 es balanceado, tiene entradas simétricas con corrientes bien emparejadas y un mínimo voltaje fuera del lugar (offset). Con una ganancia diferencial de 0.01 y una fase diferencial de 0.026 es muy satisfactorio para aplicaciones de video. La salida de corriente lineal de 90mA hace del LMH6609 muy satisfactorio para múltiples cargas de video. El rango de voltaje recomendado se encuentra desde 6 V hasta 12V y específicamente de 6.6V a 10V. Una pequeña fuente de corriente de 7mA (10V) hace del LMH6609 útil en una gran variedad de plataformas, incluyendo equipamiento remoto o portátil. El LMH6609 está disponible en la industria con su estándar de ocho pines, en el paquete SOIC. El LMH6609 tiene un rango de operación entre -40 °C hasta +85 °C.

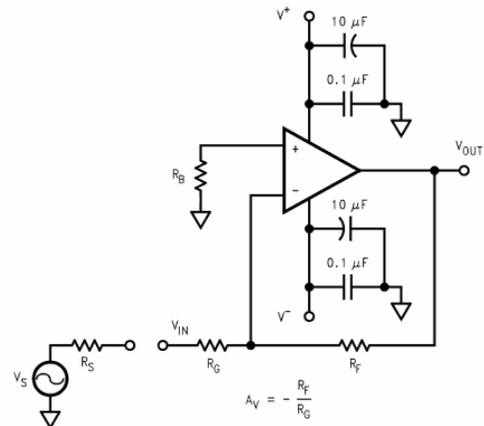
#### Herramientas especiales

- 900MHz – 3dB de ancho de banda ( $A_v = 1$ )
- Gran señal de ancho de banda y tasa de cambio 100% probada
- 280MHz – 3dB de ancho de banda ( $A_v = 2$ ,  $V_{out} = 2V_{pp}$ )
- 90mA de corriente lineal de salida
- Tasa de cambio de 1400V / us
- Ganancia unitaria estable
- Entrada de voltaje offset < 1mV
- 7mA de fuente de corriente sin carga
- Rango de voltaje de alimentación de 6V a 12V
- 0.01 de ganancia diferencial / 0.026 de fase diferencial
- Ruido de voltaje:  $3.1nV / \sqrt{Hz}$

#### Diagrama de pines



#### Aplicación usada



- Para mayor información detallada de este componente, remitirse a la dirección WEB <http://www.alldatasheet.com/>, <http://www.datasheetcatalog.com/>

# Texas Instruments

## LM318

### Amplificador Operacional para propósitos generales rápidos

- Ancho de banda de pequeña señal... 15MHz
- Tasa de cambio... 50V / us
- Rango de fuente de voltaje ... +5V a +- 20V
- Compensación interna de frecuencia
- Protección de sobrecarga en entradas y salidas
- Asignación igual de pines que otros amplificadores operacionales

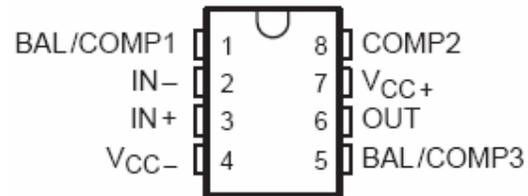
#### Descripción

El LM318 es un preciso y rápido amplificador operacional diseñado para aplicaciones que requieren gran ancho de banda y alta tasa de cambio. Ellos presentan un factor – de – diez incremento en velocidad sobre los dispositivos de propósito general sin sacrificar su desempeño en DC.

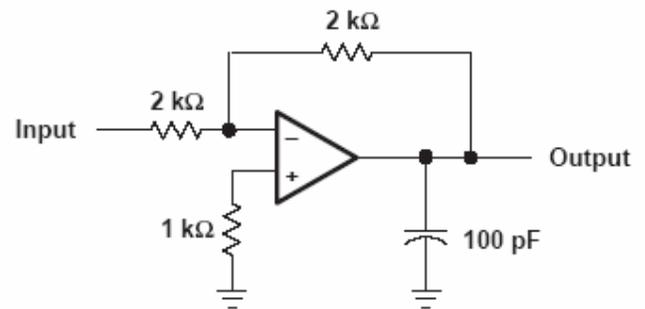
Estos amplificadores operacionales tienen una compensación de ganancia de frecuencia interna. Esto simplifica considerablemente su aplicación, ya que no se necesita de componentes externos para su operación. De cualquier manera, como la mayoría de los amplificadores compensados, la frecuencia externa de compensación debe ser sumada para un óptimo desarrollo. Para aplicaciones de inversión, la tasa de cambio se encuentra sobre los 150v / us y casi siempre dobla el ancho de banda. La sobre compensación puede ser usada para gran estabilidad cuando el máximo ancho de banda no es necesario. La alta velocidad de este amplificador operacional lo hace muy útil en convertidores A / D, osciladores, filtros activos, circuitos de muestra-retención y

amplificadores de propósito general. El LM318 trabaja a una temperatura entre 0°C y 70°C.

#### Diagrama de Pines



#### Aplicaciones Típica



- Para mayor información detallada de este componente, remitirse a la dirección WEB <http://www.alldatasheet.com/>, <http://www.datasheetcatalog.com/>

# **APÉNDICE D**

**PROGRAMA USADO PARA EL MICROCONTROLADOR**

```

TITLE          ArregloDeSeñales
LIST           P=16F84A
INCLUDE        P16F84A.INC
__CONFIG      (_CP_OFF & _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _XT_OSC)
ERRORLEVEL    -302
ORG            0X00
GOTO          INICIO
ORG            0X05                ;A usarse HS cristal de 10MHz
                                ;con ciclo de instrucción de 400ns
                                ;2 señales UNBLANK con retraso de 1.56ms
                                ;2 señales UNBLANK INVERTIDAS con retraso de 1.56ms
                                ;2 señales UNBLANK sin retraso
                                ;1 señal UNBLANK INVERTIDA
                                ;2 señales RESET
                                ;1 señal RESET INVERTIDA
                                ;1 señal MARKERS
                                ;1 señal ENABLE
                                ;1 señal ENABLE INVERTIDA

```

\*\*\*\*\*EQUIVALENCIAS\*\*\*\*\*

```

CNT1          EQU            21H
CNT2          EQU            22H
CNT3          EQU            23H
CNT4          EQU            24H
CNT5          EQU            25H
CNT6          EQU            26H

```

\*\*\*\*\*PROGRAMA PRINCIPAL\*\*\*\*\*

```

INICIO        bcf          STATUS,RP0                ;0en RP0, me ubico en banco 0
              clrf        PORTB                    ;limpieza del Puerto B como salidas
              clrf        PORTA                    ;limpieza del Puerto A como salidas
              bsf         STATUS,RP0                ;1 en RP0, me ubico en banco 1
              clrf        TRISB                    ;configuracion del Puerto B como salidas
              clrf        TRISA                    ;configuración del Puerto A como salidas
              bcf         STATUS,RP0                ;regreso al banco 0 de trabajo

              ;RA0, Señal UNBLANK para ESCALA DE GRISES
              ;RA1, Señal RESET INVERTIDA para BARRIDO en X
              ;RA2, Señal RESET al Tx
              ;RA3, Señal RESET para BARRIDO en X.
              ;RA4, Señal MARKERS (cada 26us un pulso de 4us)
              ;RB0, Señal UNBLANK con Retraso de 1.56ms al Tx
              ;RB1, Señal UNBLANK para habilitar contador 7490
              ;RB2, Señal UNBLANK con Retraso para TGC
              ;RB3, Señal UNBLANK INVERTIDA con Retraso para TGC
              ;RB4, Señal ENABLE para Video
              ;RB5, Señal ENABLE INVERTIDA para Video
              ;RB6, Señal UNBLANK para BARRIDO en Y
              ;RB7, Señal UNBLANK INVERTIDA para BARRIDO en Y

PRINCIPAL     movlw       b'0000010'                ;carga de RESET INVERTIDO, descarga del transistor
              movwf      PORTA                    ;escritura de RESET en bajo, inicio de los 2 us
              movlw       d'12'                    ;400ns
              movwf      CNT2                      ;0.8us
              movlw       d'4'                      ;1.2us
              movwf      CNT4                      ;1.6us
              movlw       b'00001100'                ;carga en alto de RESET, 2us Y PARA RAO UNBLANK
              movwf      PORTA                    ;escritura de alto en RESET, 2.4us
              movlw       b'10001010'                ;carga de bajo en UNBLANK y alto en UNBLANK
              ;INVERTIDO, 2.8us

```

;RETRASO de 4 UNBLANK (1.56ms: 4\*390us) para señales RB0, RB2, RB3, RB4, RB5

```

BAJO4         movwf      PORTB                    ;escritura de alto en UNBLANK INVERTIDO y bajo en
              ;UNBLANK, 260us que vienen desde ALTO
              movlw       b'00001100'                ;800ns, cargo bajo en RA0 y bajo en RA4
              movwf      PORTA                    ;1.2us, escribo en puerto A
              movlw       d'25'                    ;1.6us, carga de 25 para lograr 250us
              movwf      CNT1                      ;2us, escritura en contador 1

```

	nop		;2.4us
	nop		;2.8us
	nop		;3.2us
	nop		;3.6us
	nop		;4us
	nop		;4.4us
	nop		;4.8us
	nop		;5.2us
	nop		;5.6us
	nop		;6us
	nop		;6.4us
	nop		;6.8us
	nop		;7.2us
	nop		;7.6us
	nop		;8us
	nop		;8.4us
	movlw	b'10001010'	;carga de alto en UNBLANK INVERTIDO y bajo en UNBLANK, 8.8us
	decfsz	CNT2,f	;9.2us
	GOTO	BAJO4	;10us con salto a BAJO(2 ciclos)
	nop		;120us con salto de decfsz (119.2us+0.8us)
	nop		;120.4us
	nop		;120.8us
	nop		;121.2us
	nop		;121.6us
	nop		;122us
	nop		;122.4us
	nop		;122.8us
	nop		;123.2us
	nop		;123.6us
	nop		;124us
	nop		;124.4us
	nop		;124.8us
	nop		;125.2us
	nop		;125.6us
	nop		;126us
	nop		;126.4us
	movlw	d'9'	;126.8us, cargo valor de 9 para lograr 26*9=234us en ALTO
	movwf	CNT5	;127.2us, cargo CNT5
	nop		;127.6us
	nop		;128us
	nop		;128.4us
	nop		;128.8us
	nop		;129.2us
	movlw	b'01001000'	;carga de bajo en UNBLANK INVERTIDO (RB7) y alto en UNBLANK (RB6), 129.6us
ALTO4	movwf	PORTB	;escritura de bajo en UNBLANK INVERTIDO y alto en UNBLANK, 130us, Inicio de los 260us,
	movlw	b'00001101'	;400ns, cargo bajo en RA4 y cargo alto en RA0
	movwf	PORTA	;800ns, escribo bajo en RA4 y alto en RA0
	movlw	d'12'	;carga de 12 para lograr 120us, 1.2us
	movwf	CNT2	;escritura en CNT2, 1.6us
	nop		;2us
	nop		;2.4us
	nop		;2.8us
	nop		;3.2us
	nop		;3.6us
	nop		;4us
	nop		;4.4us
	nop		;4.8us
	nop		;5.2us
	nop		;5.6us
	nop		;6us
	nop		;6.4us
	nop		;6.8us
	nop		;7.2us
	nop		;7.6us
	nop		;8us
	nop		;8.4us
	nop		;8.8us
	nop		;9.2us
	nop		;9.6us
	nop		;10us
	nop		;10.4us
	nop		;10.8us

nop		;11.2us
nop		;11.6us
nop		;12us
nop		;12.4us
nop		;12.8us
nop		;13.2us
nop		;13.6us
nop		;14us
nop		;14.4us
nop		;14.8us
nop		;15.2us
nop		;15.6us
nop		;16us
nop		;16.4us
nop		;16.8us
nop		;17.2us
nop		;17.6us
nop		;18us
nop		;18.4us
nop		;18.8us
nop		;19.2us
nop		;19.6us
nop		;20us
nop		;20.4us
nop		;20.8us
nop		;21.2us
nop		;21.6us
nop		;22us
nop		;22.4us
movlw	b'00011101'	;22.8us, cargo alto en Markers y mantengo alto en RA0
movwf	PORTA	;23.2us, escribo alto en RA4 y alto en RA0
nop		;23.6us
nop		;24us
nop		;24.4us
movlw	b'01001000'	;24.8us, cargo valor de 1 en RB6 y 0 en RB7
decfsz	CNT5	;25.2us
GOTO	ALTO4	;26us con salto hacia ALTO4
movlw	b'00001101'	;234.4us, voy a ultima vuelta de pulsos RA4 y mantengo
movwf	PORTA	;alto en RA0
nop		;234.8us, escribo RA4 y RA0
nop		;235.2us
nop		;235.6us
nop		;236us
nop		;236.4us
nop		;236.8us
nop		;237.2us
nop		;237.6us
nop		;238us
nop		;238.4us
nop		;238.8us
nop		;239.2us
nop		;239.6us
nop		;240us
nop		;240.4us
nop		;240.8us
nop		;241.2us
nop		;241.6us
nop		;242us
nop		;242.4us
nop		;242.8us
nop		;243.2us
nop		;243.6us
nop		;244us
nop		;244.4us
nop		;244.8us
nop		;245.2us
nop		;245.6us
nop		;246us
nop		;246.4us
nop		;246.8us
nop		;247.2us
nop		;247.6us
nop		;248us
nop		;248.4us
nop		;248.8us
nop		;249.2us

```

nop ;249.6us
nop ;250us
nop ;250.4us
nop ;250.8us
nop ;251.2us
nop ;251.6us
nop ;252us
nop ;252.4us
nop ;252.8us
nop ;253.2us
movlw d'60' ;253.6us; cargo contador 3 con 60 por los 60 ciclos
;restantes que faltan de cumplirse
movwf CNT3 ;254us; guardo en CNT3
movlw b'00011101' ;254.4us, cargo valor de alto en Markers RA4 y mantengo
;alto en RA0
movwf PORTA ;254.8us, escribo en RA4 y en RA0
nop ;255.2us
nop ;255.6us
nop ;256us
nop ;256.4us
nop ;256.8us
nop ;257.2us
nop ;257.6us
movlw b'00001101' ;258us, cargo valor de bajo en Markers y mantengo alto en
;RA0
movwf PORTA ;258.4us, escribo en RA4 y en RA0
movlw b'10001010' ;258.8us; cargo valor de 0 en RB6 y 1 en RB7
decfsz CNT4 ;259.2us
GOTO BAJO4 ;260us con salto hacia BAJO4

```

```

;Inicio de la señal UNBLANK con retraso (4 períodos para RB1, RB6 y RB7)
;INICIO DE LOS 130 us en BAJO y 260us en ALTO

```

```

BAJO
movlw b'10101000' ;carga de alto en UNBLANK INVERTIDO y bajo en
;UNBLANK
movwf PORTB ;escritura de alto en UNBLANK INVERTIDO y bajo en
;UNBLANK, 260us que vienen desde ALTO y Markers en
;bajo
movlw b'00001100' ;400ns, cargo RA0 en bajo y RA4 en bajo
movwf PORTA ;800ns, escribo en puerto A
movlw d'25' ;1.2us, carga de 25 para lograr 250us
movwf CNT1 ;1.6us, escritura en contador 1
nop ;2us
nop ;2.4us
nop ;2.8us
nop ;3.2us
nop ;3.6us
nop ;4us
nop ;4.4us
nop ;4.8us
nop ;5.2us
nop ;5.6us
nop ;6us
nop ;6.4us
nop ;6.8us
nop ;7.2us
nop ;7.6us
nop ;8us
nop ;8.4us
movlw b'10101000' ;carga de alto en UNBLANK INVERTIDO y bajo en
;UNBLANK, 8.8us
decfsz CNT2,f ;9.2us
GOTO BAJO ;10us con salto a BAJO(2 ciclos)
nop ;120us con salto de decfsz (119.2us+0.8us)
nop ;120.4us
nop ;120.8us
nop ;121.2us
nop ;121.6us
nop ;122us
nop ;122.4us
nop ;122.8us
nop ;123.2us
nop ;123.6us
nop ;124us

```

	nop		;124.4us	
	nop		;124.8us	
	nop		;125.2us	
	nop		;125.6us	
	nop		;126us	
	nop		;126.4us	
	nop		;126.8us	
	nop		;127.2us	
	nop		;127.6us	
	movlw	d'11'	;128us	
	movwf	CNT6	;128.4us	
	movlw	d'9'	;128.8us, cargo valor de 10 para lograr 26*10=260us en	
			;ALTO	
	movwf	CNT5	;129.2us, cargo CNT5	
	movlw	b'01010101'	;carga de bajo en UNBLANK INVERTIDO y alto en	
			;UNBLANK, 129.6us, Markers en bajo y Enable o RB5 en	
			;alto por 130us desde que se inicia ALTO	
ALTO	movwf	PORTB	;escritura de bajo en UNBLANK INVERTIDO y alto en	
			;UNBLANK, 130us, Inicio de los 260us	
	movlw	b'00001101'	;400ns, cargo alto en RA0	
	movwf	PORTA	;800ns, escribo en puerto A	
	movlw	d'12'	;carga de 12 para lograr 120us, 1.2us	
	movwf	CNT2	;escritura en CNT2, 1.6us	
	nop		;2us	
	nop		;2.4us	
	nop		;2.8us	
	nop		;3.2us	
	nop		;3.6us	
	nop		;4us	
	nop		;4.4us	
	nop		;4.8us	
	nop		;5.2us	
	nop		;5.6us	
	nop		;6us	
	nop		;6.4us	
	nop		;6.8us	
	nop		;7.2us	
	nop		;7.6us	
	nop		;8us	
	nop		;8.4us	
	nop		;8.8us	
	nop		;9.2us	
	nop		;9.6us	
	nop		;10us	
	nop		;10.4us	
	nop		;10.8us	
	nop		;11.2us	
	nop		;11.6us	
	movlw	b'01010101'	;12us	
	decfsz	CNT5	;12.4us	
	GOTO	ALTO	;12.8us	
	nop		;13.2us	;128us
	nop		;13.6us	;128.4us
	nop		;14us	;128.8us
	nop		;14.4us	;129.2us
	movlw	b'01100101'	;14.8us	;129.6us
LAZO	movwf	PORTB	;15.2us	;130us
	nop		;0.4us	
	nop		;0.8us	
	nop		;1.2us	
	nop		;1.6us	
	nop		;2us	
	nop		;2.4us	
	nop		;2.8us	
	nop		;3.2us	
	nop		;3.6us	
	nop		;4us	
	nop		;4.4us	
	nop		;4.8us	
	nop		;5.2us	
	nop		;5.6us	
	nop		;6us	
	nop		;6.4us	
	nop		;6.8us	
	nop		;7.2us	
	nop		;7.6us	

nop		;8us
nop		;8.4us
nop		;8.8us
movlw	b'01100101'	;9.2us
decfsz	CNT6	;9.6us
GOTO	LAZO	;10us con salto a LAZO
nop		;250us con salto desde decfsz
nop		;250.4us
nop		;250.8us
nop		;251.2us
nop		;251.6us
nop		;252us
nop		;252.4us
nop		;252.8us
nop		;253.2us
nop		;253.6us
nop		;254us
nop		;254.4us
nop		;254.8us
nop		;255.2us
nop		;255.6us
nop		;256us
nop		;256.4us
nop		;256.8us
nop		;257.2us
nop		;257.6us
nop		;258us
nop		;258.4us
movlw	b'10101000'	;258.8us, cargo valor de UNBLAN en 0 (RB0, RB2, RB4, ;RB6)
decfsz	CNT3	;259.2us
GOTO	BAJO	;260us con salto hacia BAJO4
		;260us con el salto a BAJO , por 60 veces hasta completar
		;23.4ms+1.56ms de retraso=24.96ms
movlw	b'00000010'	;carga de bajo en RESET y alto en RESET INVERTIDO,
GOTO	PRINCIPAL	;260us con el salto de decfsz
END		;390,4us (24.9604ms) con salto a PRINCIPAL

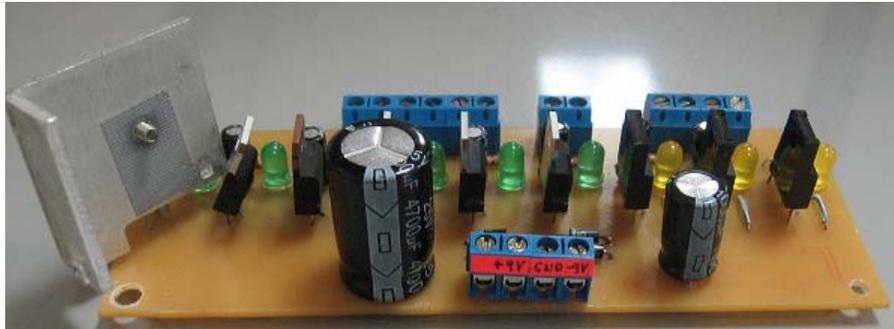
# **APÉNDICE E**

## **FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO**

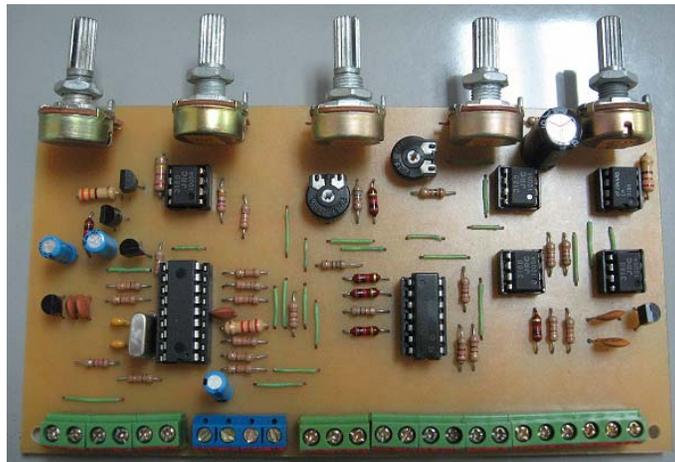
## Fuentes de alimentación 1



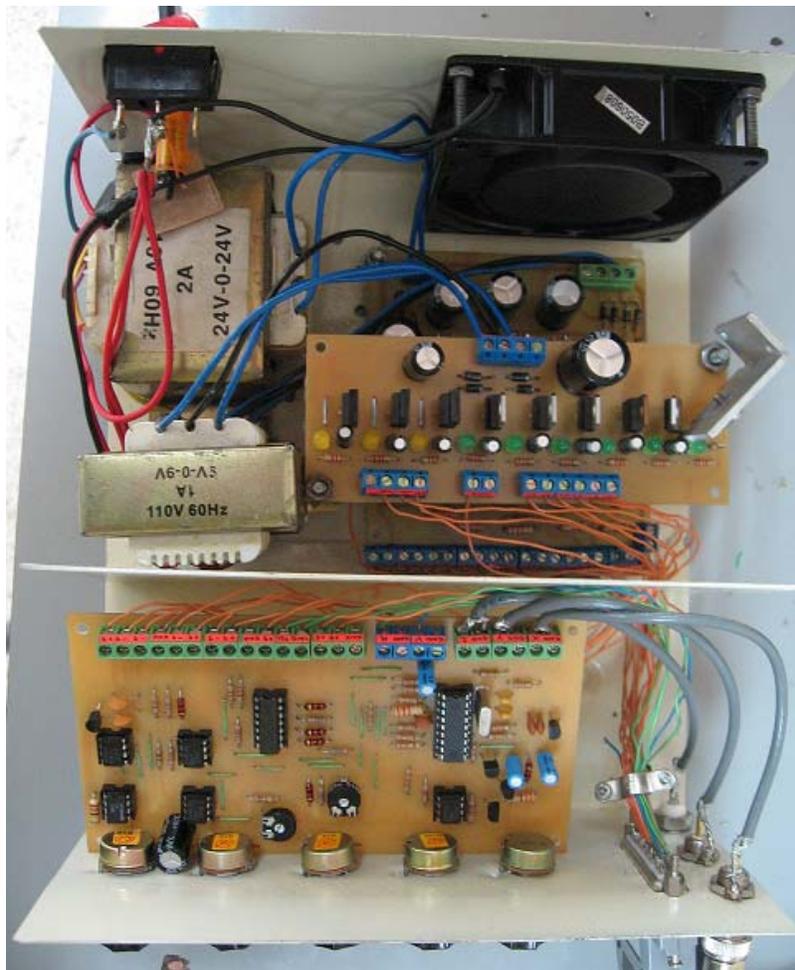
## Fuentes de alimentación 2



## Señales de control



## Proyecto ensamblado



## Imagen en el CRT



## Transductor, interfaz y CRT



--	--	--	--	--	--

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Fuentes de Alimentación 1	\$ 42,44
Fuentes de Alimentación 2	\$ 22,00
Señales de Control	\$ 58,86
Carcaza	\$ 15,00
Costo Final	\$ 138,30

Martes, 10 de octubre del 2006

Ing.  
Holger Cevallos U.  
Subdecano de la FIEC.

En su despacho.-

Los abajo miembros del tribunal de grado de los señores Daniel Fernando Aguirre Reyes y Víctor Hugo Merino Guillén, certificamos haber leído el trabajo escrito mediante la modalidad de Tópico especial de graduación, estar conformes con los mismos por lo que recomendamos que el señor Holger Cevallos U., Subdecano de la FIEC proceda a convocarnos a sustentación oral del trabajo, el mismo que se titula “MINIATURIZACIÓN DE LA INTERFAZ ENTRE EL TRANSDUCTOR Y UN DISPOSITIVO DE VISUALIZACIÓN DE UN EQUIPO DE ULTRASONIDO EN TIEMPO REAL MARCA ADR ULTRASOUND MODELO 2130”

Sin otro particular nos suscribimos.

Atentamente

---

Ing. Miguel Yapur A.  
Director de Tópico

---

Ing. Hugo Villavicencio V.  
Vocal

---

Ing. Sara Ríos O.  
Vocal

# National Semiconductor

## LMH6609

### Amplificador Operacional con voltaje de realimentación de 900MHz

#### Descripción General

El LMH6609 tiene un ancho de banda considerable, una ganancia unitaria estable, bajo consumo de potencia, un voltaje de realimentación que ofrece 900MHz de ancho de banda con una ganancia unitaria una tasa de cambio de 1400V / us y 90mA de corriente de salida lineal. Esta diseñado con una arquitectura de voltaje de realimentación para máxima flexibilidad especialmente para filtros activos y de acople. El LMH6609 es balanceado, tiene entradas simétricas con corrientes bien emparejadas y un mínimo voltaje fuera del lugar (offset). Con una ganancia diferencial de 0.01 y una fase diferencial de 0.026 es muy satisfactorio para aplicaciones de video. La salida de corriente lineal de 90mA hace del LMH6609 muy satisfactorio para múltiples cargas de video.

El rango de voltaje recomendado se encuentra desde 6 V hasta 12V y específicamente de 6.6V a 10V. Una pequeña fuente de corriente de 7mA (10V) hace del LMH6609 útil en una gran variedad de plataformas, incluyendo equipamiento remoto o portátil.

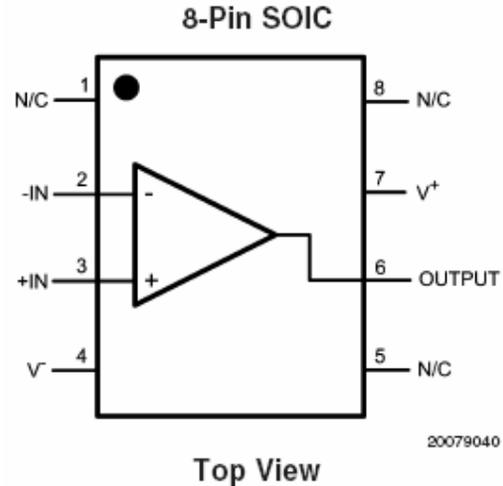
El LMH6609 está disponible en la industria con su estándar de ocho pines, en el paquete SOIC.

El LMH6609 tiene un rango de operación entre -40 °C hasta +85 °C.

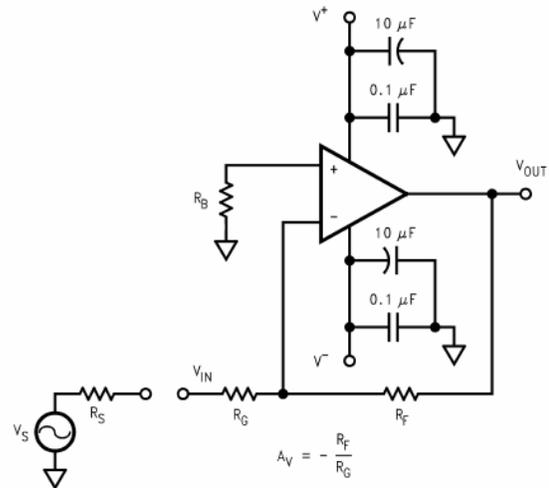
#### Herramientas especiales

- 900MHz – 3dB de ancho de banda ( $A_v = 1$ )
- Gran señal de ancho de banda y tasa de cambio 100% probada
- 280MHz – 3dB de ancho de banda ( $A_v = 2$ ,  $V_{out} = 2V_{pp}$ )
- 90mA de corriente lineal de salida
- Tasa de cambio de 1400V / us
- Ganancia unitaria estable
- Entrada de voltaje offset < 1mV
- 7mA de fuente de corriente sin carga
- Rango de voltaje de alimentación de 6V a 12V
- 0.01 de ganancia diferencial / 0.026 de fase diferencial
- Ruido de voltaje:  $3.1nV / \sqrt{Hz}$

#### Diagrama de pines



#### Aplicación usada



- Para mayor información detallada de este componente, remitirse a la dirección WEB <http://www.alldatasheet.com/>, <http://www.datasheetcatalog.com/>

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ADRULTRASOUND, ADR Real Time Linear Ultrasound Scanner MODEL 2130 SERVICE MANUAL, Tempe - Arizona, 1980.
2. BOYLESTAD ROBERT, Electrónica: Teoría de Circuitos, Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, México, 1997.
3. BREY BARRY B., Los Microcontroladores, Quinta Edición, Editorial Prentice Hall, México, 2001.
4. CEKIT S.A., Curso Práctico Sobre Microcontroladores, Editorial Conosur, Bogotá – Colombia, 2002.
5. NTE ELECTRONICS.INC, Technical Guide and Cross Reference, Décimo Primera Edición, New Jersey, 2003
6. <http://www.alldatasheet.com>
7. <http://www.datasheetcatalog.com>

8. <http://www.ece.rochester.edu/projects/3D4D>
9. <http://www.med.umich.edu/>
10. <http://www.nacersano.org>
11. <http://www.ob-ultrasound.net/adr.html>
12. <http://www.ob-ultrasound.net/adr2130.html>
13. <http://www.rochester.edu/>
14. <http://www.unc.edu/>
15. <http://www.ucdavis.edu/>