

21
20j.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**DISEÑO DE UN MEDIDOR DE NIVEL ULTRASONICO
NO - INVASIVO PARA LIQUIDOS LIMPIOS**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

JAVIER LEON ENRIQUEZ

DIRECTOR: ING. LUIS B. SOL GONZALEZ

ASESOR: M. EN C. FERNANDO G. NICOLAS HERNANDEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX.

1 9 9 2



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

CAPITULO I INTRODUCCION	1
1.1 Introducción	1
CAPITULO II GENERALIDADES	7
2.1 Historia del ultrasonido	7
2.2 Rango de aplicaciones	9
2.3 La ingeniería del ultrasonido y evaluación para su aplicación	10
2.4 Formación del haz ultrasónico	11
2.5 La propagación de las ondas ultrasónicas	13
2.6 Naturaleza del movimiento de las ondas	13
2.7 Fundamentos físicos acústicos	14
2.7.1 Ondas longitudinales	15
2.7.2 Ondas transversales	16
2.7.3 Ondas Rayleigh	16
2.7.4 Ondas Lamb	17
2.8 Velocidad de propagación de las ondas	17
2.8.1 Velocidad de las ondas longitudinales	18
2.8.2 Velocidad de las ondas transversales	18
2.9 Reflexión del haz ultrasónico	20
2.10 Refracción del haz ultrasónico	20
2.11 Modos de propagación	21
2.12 Absorción de la energía ultrasónica	21
2.13 Dispersión del haz ultrasónico	22
2.14 El efecto piezoeléctrico	23
2.15 Transductores ultrasónicos	23
CAPITULO III MEDIDORES DE NIVEL	25
3.1 Introducción	25

3.2	Sensores de nivel de antena	27
3.3	Burbujeador	27
3.4	Sonda capacitiva	28
3.5	Sonda conductiva	29
3.6	Diafragma detector de nivel	29
3.7	Detectores de nivel de presión diferencial	30
3.8	Detector de desplazamiento de nivel	31
3.9	Dispositivo de nivel por flotador	32
3.10	Indicadores de nivel	33
3.11	Interruptores de nivel óptico	33
3.12	Detectores ultrasónicos de nivel	34
3.13	Medidor de nivel ultrasónico no invasivo	35
3.14	Ventajas de las mediciones ultrasónicas	37
3.15	Principio de operación	38
3.16	Procedimiento para la medición del nivel	40
3.17	Procedimiento de medición presencia/ausencia	43
3.18	Ventajas que presenta utilizar el método Pulso-Eco en la medición de nivel	43

CAPITULO IV	MEDIDOR DE NIVEL ULTRASONICO	
	NO-INVASIVO PARA LIQUIDOS LIMPIOS	46
4.1	Introducción	46
4.2	Principio de operación	46
4.3	Funcionamiento	47
4.4	Diseño del Hardware del equipo	48
	4.4.1 Fuentes de alimentación	50
	4.4.2 Transmisión ultrasónica	52
	4.4.3 Recepción ultrasónica	58
4.5	Acondicionamiento de la señal de salida	63
4.6	Unidad de procesamiento	70
4.7	Programación del modo de operación	75
4.8	Modo 7 Independiente	76
4.9	Mapa de memoria interno	77
4.10	Interrupciones del MC68701U4	79
4.11	Software	80

4.12 Estructura general	80
4.12.1 Programa del medidor de nivel	82
4.13 Exhibidores	86
4.14 Consideraciones de diseño	89
CAPITULO V ANALISIS DE RESULTADOS	90
5.1 Introducción	90
5.2 Medición de velocidades sónicas	90
5.3 Costo Aproximado del Medidor de Nivel Ultrasónico No-Invasivo Para Líquidos Limpios	95
5.4 Conclusiones	98
APENDICES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	106

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION.

La acústica, la ciencia del sonido, describe el fenómeno de las vibraciones mecánicas y su propagación en materiales sólidos, líquidos o gaseosos. El espacio vacío conocido, no es sonoro, ya que son las partículas de materia las que vibran, lo contrario a las oscilaciones de luz u otras ondas electromagnéticas, donde la condición eléctrica y magnética del espacio es la que oscila.

Una onda sonora mueve un volumen moderado de aire hacia atrás y hacia adelante desde su posición neutral, mientras que una onda de luz no tiene influencia en su estado de reposo o movimiento.

Si tales movimientos mecánicos en la materia son repetidos periódicamente y en una longitud de tiempo dado, permitirá clasificar al sonido en tres grupos: (1) Subsónico.- con un rango de 0 a 20 Hz; (2) Auditivo.- Con un rango de 20Hz a 20 KHz; (3) Ultrasónico.- Con un rango de 20 KHz a 3 GHz.

Así como en el caso de las ondas de luz, donde las frecuencias más altas son invisibles para el ojo, son llamadas ultravioleta, las ondas de sonido por arriba de 20 000 Hz son referidas como ultrasonido o ultrasónicas.

Las ondas ultrasónicas son un acontecimiento bastante común en la naturaleza y en la vida diaria, ocasionalmente son de tal intensidad que podemos considerarnos verdaderamente muy afortunados de que nuestros oídos no sean agobiados por ellas, como por ejemplo en el caso de los silbatos de vapor.

En la actualidad, el avance de la tecnología lleva un paso bastante acelerado en todos los campos en los que participa el hombre. A través del tiempo, el hombre se ha enfrentado a numerosos obstáculos, durante el desarrollo de sus labores, con la intención de satisfacer sus necesidades primordiales, así como facilitarse la vida, para ello, se han desarrollado numerosos instrumentos y equipos, pero en un país como el nuestro, el avance de la tecnología se ha visto frenado, en comparación con otros países más desarrollados, por lo que nos vemos en la necesidad de ser dependientes tecnológicamente.

Este trabajo de tesis, pretende dar las ideas necesarias para diseñar un equipo, el cual sea capaz de medir el nivel de líquidos, sin invadir o contaminar el mismo, utilizando componentes electrónicos de bajo costo y que su mantenimiento sea mínimo, aprovechando la gran variedad de circuitos integrados que existen en el mercado, así como el utilizar el microprocesador como una unidad de procesamiento, ya que en una sola pastilla de circuito integrado, tenemos una integración a gran escala de circuitos electrónicos, lo que ha

repercutido favorablemente en la economía y en el diseño de sistemas digitales.

Este trabajo, se basa en el uso del ultrasonido para detectar de manera fácil, rápida y confiable el nivel de líquidos, ya sea en recipientes sellados o abiertos.

El trabajo se ha desarrollado en 5 capítulos, en donde se va detallando paso a paso el concepto del ultrasonido, su generación por medio de transductores ultrasónicos, su propagación en un medio, su atenuación, su dispersión y su reflexión.

El capítulo II menciona una breve historia del ultrasonido, sus aplicaciones, los criterios para su evaluación, la manera en que se forma y se propaga el haz ultrasónico, con la intención de dar a conocer las ventajas y limitaciones que presenta el ultrasonido en la medición del nivel de líquidos.

En el capítulo III se hace una comparación con los diferentes tipos de medidores de nivel de líquidos que existen, además se hizo una división entre ellos considerándolos como invasivos y no invasivos.

El capítulo IV muestra el principio de operación del medidor de nivel ultrasónico no invasivo únicamente para líquidos limpios, su funcionamiento y el diseño del prototipo.

En el capítulo V se muestran pruebas hechas con el equipo con la idea de comparar datos teóricos de tablas contra datos obtenidos en forma experimental.

Las numerosas técnicas de aplicaciones de las ondas de sonido y ultrasónicas pueden ser divididas en dos grupos: en el primer caso la energía de la onda de sonido se usa para expulsar partículas de suciedad (lodo o polvo) durante el lavado de telas, para separar cuerpos extraños de una superficie dada durante la limpieza, para remover virutas durante una perforación, para romper la tensión superficial durante la emulsificación, para mezclar y para muchas otras aplicaciones de la energía mecánica. Esto concierne a la explotación de la energía del sonido.

En otros casos, la energía de la onda del sonido es utilizada únicamente con la amplitud requerida para transmitir una señal bastante clara, como por ejemplo en sistemas de direccionamiento público, para localizar barcos en el mar, para sondeo de las profundidades de los océanos, localización de bancos de peces, y para examinar el estado de materiales, con defectos mecánicos, su espesor, su elasticidad y

propiedades metalúrgicas, entre otras aplicaciones de diagnóstico.

Para determinar las propiedades mecánicas de un material dado, el método mecánico es el más directo y más disponible. Para determinar si un eje está agrietado, puede ser esforzado por tensión o flexionándolo hasta que la grieta se manifieste por si misma con una ruptura. Esta prueba es mecánica pero por desgracia destructiva. Sin embargo, se le puede emitir sonido o ultrasonido para los mismos propósitos, ya que son métodos de prueba no destructivos, los cuales emplean basicamente esfuerzos mecánicos producidos por tensión, compresión, fuerzas flexionantes o superficiales, que son de baja intensidad tal como ocurre en los diferentes tipos de onda. Sin embargo, esto no excluye a los métodos de prueba indirectos, como una prueba magnética que revela las líneas de campo magnético producidas cerca de una grieta.

Haciendo a un lado la calificación "ultra", el sonido como tal, ha sido ampliamente utilizado para prueba de materiales, más específicamente en piezas tales como fundiciones o moldeos, donde gruesos defectos internos pueden ser detectados por el cambio en la nota de resonancia cuando la pieza es golpeada con un martillo, método que aún es practicado hoy en día.

En la electrónica moderna, el sonido ha llegado a ser una de las más recientes y más versátiles herramientas de prueba.

La transmisión del sonido audible al sonido ultrasónico se ha hecho posible por los métodos de generación y detección, los cuales han reemplazado al martillo y al oído. Mientras que la vibración natural producida por el golpe de un martillo depende mucho de la forma de la pieza y del punto de golpeo, la frecuencia puede ser predeterminada si se utilizan generadores eléctricos de sonido.

En el caso de frecuencias más altas la longitud de onda de una vibración se hace más pequeña en proporción inversa e incluso extremadamente pequeña comparada con las dimensiones de la pieza en cuestión. Entonces se pueden dirigir emisiones de tales ondas hacia una pieza, justamente como el caso de la luz de un proyector sin que resulten interferencias por su forma y dimensiones.

CAPITULO II GENERALIDADES

2.1 HISTORIA DEL ULTRASONIDO.

Los primeros esfuerzos para obtener vibraciones ultrasónicas fueron realizados aproximadamente hace 100 años por Rudolph Koenig, pionero en investigaciones acusticas. Como resultado de construir varios dispositivos, logró producir vibraciones en aire desde 4 096 Hz hasta 90 000 Hz.

En 1883 P. Galton mencionaba que un silbato ultrasónico era un adelanto sobre los instrumentos de Koenig, debido a que se podía cambiar de tono de una manera muy sencilla, y además el rango de frecuencias que se obtenía era desde el alto sónico, hasta el ultrasónico.

Un experimento único para detectar y medir ondas ultrasónicas en aire, fué llevado a cabo por Altberg en 1907. Su fuente de sonido fué la chispa de descarga de un condensador, el cual era oscilatorio. Su trabajo consistió de una difracción áspera de varas paralelas de vidrio y un micrófono hecho de una veleta de luz de mica soportada sobre una fibra de cuarzo, con esto fué capaz de detectar y medir ondas ultrasónicas en aire arriba de 300 000 Hz.

El ultrasonido como una tecnología tuvo su nacimiento durante la Primera Guerra mundial en un laboratorio de Toulon, Francia. Ahí el profesor P. Langevin fué el primero en buscar caminos para combatir la amenaza que representaban los submarinos enemigos para ese país en esa época.

En sus investigaciones diseñó y construyó un generador ultrasónico de alto poder, el cual usaba cristales de cuarzo como elementos activos.

El éxito de Langevin en producir vibraciones ultrasónicas de alta intensidad en agua se deben al efecto piezoeléctrico que se presenta en los cristales de cuarzo. Este efecto se descubrió 35 años antes, pero su uso no fué practicado por no estar fundamentado. Por lo tanto Langevin desarrolló algunas técnicas para mejorarlo y de esta manera obtener una intensidad acústica alta. Una de estas permitió que el cuarzo vibrara a una frecuencia resonante.

El siguiente grupo significativo de experimentos en ultrasonido fué realizado por Wood y Loomis en 1927. Ellos usaron discos de cuarzo vibrando en resonancia como una fuente de energía ultrasónica. Este disco fué sumergido en aceite y para excitarlo se le aplicó un voltaje de 50 k volts. El rango de frecuencias que obtuvieron estuvo entre 100 k y 700 k Hz.

Actualmente el número de dispositivos de procesamiento ultrasónico usados comercialmente es del orden de miles, en la industria este tipo de dispositivos han tenido gran éxito en la detección de fallas contenidas en diversos materiales. Por su extenso uso en aplicaciones de procesos industriales, el ultrasonido ha sido un acontecimiento interesante ya que sirvió para detectar fallas en diversos materiales.

Posteriormente, los estudios y desarrollos tuvieron como objetivo encontrar algún camino efectivo, que permitiera emplear las ondas ultrasónicas en la inspección de materiales en lugar de utilizar los rayos x.

2.2 RANGO DE APLICACIONES.

Las aplicaciones del ultrasonido se pueden dividir en dos grupos, en el primer grupo, la cantidad de potencia que se requiere es un factor muy importante, mientras que en el segundo, el poder de salida es normalmente del rango de microwatts o miliwatts.

Estos equipos se utilizan para producir y detectar señales ultrasónicas, que al transformarlas nos permitan medir una cantidad física, detectar algún defecto o para sensar alguna condición de un sistema. Justamente todos los rincones de una industria son de uso potencial del ultrasonido.

2.3 LA INGENIERIA DEL ULTRASONIDO Y EVALUACION PARA SU APLICACION.

De los cientos de aplicaciones que se han sugerido o que se han probado en los laboratorios, solo unos pocos son explotados comercialmente. La economía es la principal razón para esta situación, ya que el costo inicial de un equipo ultrasónico es muy elevado, además de sus accesorios.

Aún cuando el ultrasonido pueda hacer algún trabajo efectivo en algunos procesos, los metodos mecánicos ordinarios muchas veces pueden ser suficientes.

Es importante considerar los motivos por los que vamos a emplear el ultrasonido en alguna aplicación determinada además de los siguientes tres pasos:

- 1.- Identificar el problema por resolver.
- 2.- Demostrar concluyendo que el ultrasonido realizará la tarea que se requiere y que se preferirá su uso a los métodos existentes.
- 3.- Evaluar el costo total de operación, su desarrollo, el capital invertido, el mantenimiento y la aceptación del cliente.

Si no existiera otro camino para hacer una cierta tarea excepto con el ultrasonido, el análisis del problema se simplifica.

Un posible comprador de una pieza nueva o diferente de un equipo debe estar completamente prevenido de las limitaciones como también de las capacidades del producto que está comprando.

Esto frecuentemente no es una tarea simple ya que dentro del ultrasonido pueden estar relacionadas muchas tecnologías como mecánica, metalúrgica, o electrónica.

2.4 FORMACION DEL HAZ ULTRASONICO.

La producción de energía ultrasónica se basa generalmente en el efecto piezoeléctrico, producido por algunos cristales al efecto de la compresión o la tracción en ciertas direcciones respecto de los ejes cristalográficos, mismos que provocan la aparición de las cargas eléctricas sobre las caras comprimidas o traccionadas. La energía mecánica aplicada al cristal mediante la acción de deformación, se transforma en parte de energía eléctrica que determina la aparición de cargas eléctricas y una diferencia de potencial entre las caras involucradas. Este fenómeno llamado piezoeléctrico es reversible, vale decir que aplicando sobre las dos caras del cristal un potencial eléctrico se

induce una deformación en el cristal con la consiguiente transformación de energía eléctrica a energía mecánica, el cristal así excitado, vibra mecánicamente con una frecuencia que depende de su espesor y del material con el que fué construido así como de su forma.

Pastillas de ciertos materiales cerámicos como el Titanato de Bario y Circonato de Plomo, así como Sulfato de Litio y materiales magnetostrictivos, previamente polarizados con tensión continua y sometidos a un campo eléctrico variable, vibran mecánicamente con una frecuencia propia que depende de su composición, espesor y forma.

Este comportamiento debido a la presencia de cargas polarizables con un campo eléctrico externo se llama Ferroelectricidad, debido al comportamiento similar al de un material ferromagnético bajo un campo magnético.

Las pastillas ferroeléctricas son comúnmente utilizadas para la preparación de sondas ultrasónicas. En la formación del haz ultrasónico, el cristal piezoeléctrico, la pastilla ferroeléctrica o la magnetostrictiva, están constituidas por un conjunto de numerosos cristales elementales que excitados simultáneamente generarán la señal ultrasonica.

2.5 LA PROPAGACION DE LAS ONDAS ULTRASONICAS.

El término ultrasónico se usa para describir la propagación de las ondas mecánicas en gases, líquidos y sólidos en altas frecuencias inaudible para el oído humano, las características de estas ondas tienen estrecha relación con las propiedades mecánicas de cualquiera de los medios que les sirvan de camino.

2.6 NATURALEZA DEL MOVIMIENTO DE LAS ONDAS.

Cuando las ondas ultrasónicas pasan a través de un medio, las partículas que contiene el medio determinan las vibraciones internas en frecuencias ultra-audibles, permitiéndole a una de estas partículas que se desplace desde una posición de equilibrio como una fuerza externa asociada con las ondas. Este movimiento está en oposición por las fuerzas elásticas del medio, lo que ocasiona que las partículas comiencen a vibrar después de un desplazamiento límite y posteriormente regresarán a su posición de equilibrio. A causa de esta inercia las partículas comenzarán a moverse en una sola dirección, y con una misma velocidad regresarán de nuevo al estado de reposo, comenzando un desplazamiento en otra dirección, de ahí que las vibraciones del medio dependan de su inercia y elasticidad.

Parte de la energía de las partículas que están vibrando se transmite a partículas cercanas, las cuales vibran y transmiten energía a otras partículas. Ya que cada partícula empieza a moverse ligeramente después de un movimiento anterior, la dirección del movimiento con una velocidad finita C es conocido como la velocidad de onda. A éste fenómeno se le conoce como movimiento de las ondas.

2.7 FUNDAMENTOS FISICOS ACUSTICOS.

Unos pocos parámetros de una onda pueden ser definidos con facilidad, la frecuencia de una onda es el número de oscilaciones que representa una partícula por segundo, dentro de una onda dada es la misma para todas las partículas y es idéntico con la frecuencia del generador, el cual puede ser escogido arbitrariamente.

La longitud de onda es la distancia entre dos planos en el que las partículas están en el mismo estado de movimiento, como por ejemplo dos zonas de compresión. Esto es inversamente proporcional a la frecuencia: altas frecuencias corresponden a cortas longitudes de onda y viceversa. La velocidad del sonido es la velocidad de propagación de una condición dada, como una zona de compresión. Esta velocidad es una característica del material concerniente y en general es constante para un material dado, para cualquier frecuencia y para cualquier longitud de onda.

Todo material con propiedades elásticas puede ser sede de la propagación de ondas sónicas y ultrasónicas, en tanto las fuerzas elásticas son capaces de atraer las partículas a su posición de reposo.

En los cuerpos que poseen una estructura cristalina (metales en estado sólido), las partículas que conforman la red pueden ser desplazadas de su posición de equilibrio describiendo oscilaciones con trayectorias diversas, en función de la energía mecánica aplicada, originando distintos tipos de ondas ultrasónicas:

- 1) ONDAS LONGITUDINALES.
- 2) ONDAS TRANSVERSALES.
- 3) ONDAS RAYLEIGH.
- 4) ONDAS LAMB.

2.7.1 ONDAS LONGITUDINALES.

Se tienen ondas longitudinales cuando la dirección de oscilación de las partículas es paralela a la dirección de propagación de la onda. En los líquidos y gases solo es posible la propagación de este tipo de ondas mecánicas.

2.7.2 ONDAS TRANSVERSALES.

Se tienen ondas transversales cuando la dirección de oscilación de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Cuando se coloca un transductor ultrasónico en un ángulo de incidencia diferente a la normal, penetrarán las ondas oscilatorias en el medio, incidiendo esta onda en una de las caras y reflejándose la misma señal de tal forma que siempre mantendrá constante sus distancias relativas.

La longitud de onda (λ) está dada por la distancia entre dos puntos consecutivos que han alcanzado su máximo alejamiento de la posición de equilibrio en un mismo sentido.

2.7.3 ONDAS RAYLEIGH

Se habla de ondas Rayleigh o de ondas superficiales cuando el haz de ondas ultrasónicas se propaga exclusivamente en la superficie del material siguiendo el perfil del cuerpo, siempre que no existan demasiadas variaciones en el mismo.

Las ondas superficiales se obtienen cuando el ángulo de incidencia del haz ultrasónico sobre el material, tiene un valor tal que se alcanza el segundo ángulo crítico de refracción (detección de fase).

En las ondas superficiales la oscilación de las partículas es normal a la dirección de propagación.

2.7.4 ONDAS LAMB

Las ondas Lamb se obtienen cuando el material vibra en conjunto y solo se presentan en laminas o hilos delgados. Para un espesor o diámetro dado, infinitos modos de vibración son posibles. Existen dos formas fundamentales de ondas Lamb:

- 1.- Ondas simétricas de compresión.
- 2.- Ondas asimétricas de flexión.

La obtención de estas ondas, para un determinado espesor de material y una frecuencia ultrasónica dada, se consigue variando el ángulo de refracción del haz generado, hasta lograr la onda.

2.8 VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LAS ONDAS.

Cada tipo de onda ultrasónica tiene distintas velocidades de propagación que depende en cada caso de las características elásticas del medio y es independiente de la frecuencia. ,

$$f = v/\lambda \quad ; \quad v = f*\lambda \quad (2.1)$$

donde:

f : frecuencia.

v : velocidad de propagación.

λ : longitud de onda.

2.8.1 VELOCIDAD DE LAS ONDAS LONGITUDINALES.

Para facilitar el entendimiento de este concepto, supondremos un péndulo múltiple, si se imprime un impulso a la primer esfera, ésta transmitirá el movimiento a la siguiente y así sucesivamente. Con el ultrasonido ocurre algo semejante, al incidir la onda ultrasónica normalmente a la superficie, la compresión mecánica produce un desplazamiento longitudinal de las partículas, y la propagación de ésta perturbación es llamada onda longitudinal.

En el péndulo, es evidente que en la velocidad de propagación de la perturbación influye también la masa de la esfera. Un aumento en la masa significará una disminución de la velocidad. Este parámetro es comparable con la densidad del material en el que se considera la propagación del sonido.

2.8.2 VELOCIDAD DE LAS ONDAS TRANSVERSALES.

La propagación mediante la aplicación de un desplazamiento transversal es evaluado de forma similar que las ondas longitudinales. A continuación se muestran en la tabla 2.1 algunas fórmulas para la obtención de velocidades.

VELOCIDADES DE VARIOS TIPOS DE ONDAS DE SONIDO.

TIPO DE MATERIAL	TIPO DE ONDA	VELOCIDAD C
GAS	LONGITUDINAL	$\sqrt{\gamma P_0 / \rho}$
LIQUIDO	LONGITUDINAL	$\sqrt{1 / \rho B}$
SOLIDO	LONGITUDINAL	$\sqrt{(E/\rho) \{ (1-\mu) / \{ (1+\mu) (1-2\mu) \} \}}$
SOLIDO	TRANSVERSAL	$\sqrt{G/\rho}$
SOLIDO	SUPERFICIAL	$0.02 \sqrt{G/\rho}$
SOLIDO	RAYLEIGH	$\left[\frac{0.87 + 1.12\mu}{(1+\mu)} \right] \sqrt{(E/\rho) (1/2 (1+\mu))}$
SOLIDO	LAMB	DEPENDE DEL TIPO Y MODO
SOLIDO	LONGITUDINAL	$\sqrt{E/\rho}$

TABLA 2.1

Donde:

γ = Relación de calor específico

P_0 = Presión estática

ρ = Densidad

B = Rango de compresibilidad

E = Modulo de Young

μ = Razón de Poisson $\mu = \lambda / (2(\lambda + \mu))$

G = Modulo de Rigidez

tal que:

λ : constante elástica

μ : $\mu(3\lambda + 2\mu) / (\lambda + \mu)$

2.9 REFLEXION DEL HAZ ULTRASONICO.

Cuando un haz ultrasónico que se propaga en un medio alcanza una superficie límite o interfase (la cara de un cuerpo, discontinuidad en su interior, cambio de elemento, etc.) se produce su reflexión con un comportamiento análogo al del un haz luminoso cuando se refleja en un espejo.

La cantidad de energía reflejada depende de las características de los medios en que es detectada la interfase, en el cual se propaga el haz y aquel que constituye la discontinuidad que determina la reflexión. En otras palabras, depende de la impedancia acústica de los materiales.

La impedancia acústica (A_z) es un parámetro que caracteriza la resistencia del medio al paso de la señal ultrasónica y se define por la siguiente relación:

$$A_z = \rho c \quad (2.2)$$

2.10 REFRACCION DEL HAZ ULTRASONICO.

Cuando el haz ultrasónico incide sobre una superficie o interfase con un ángulo distinto de cero con respecto a la normal de dicha superficie, se produce la refracción de la parte de dicho haz que se transmite al segundo medio.

2.11 MODOS DE PROPAGACION.

En un medio extendido la energía acústica se propaga de tres modos principales: ondas longitudinales; ondas transversales y ondas superficiales (Rayleigh). Cada modo de propagación presenta una velocidad característica para cada material.

Cuando un haz ultrasónico incide con un ángulo distinto del normal, en la interfase entre dos materiales de diferentes impedancias acústicas, parte de la energía puede ser convertida en otros modos de propagación, en la reflexión o refracción. La energía que corresponde a cada uno de los modos de propagación no es la misma, si no que depende en alto grado del ángulo de incidencia del haz.

2.12 ABSORCION DE LA ENERGIA ULTRASONICA.

Además de la atenuación, la energía inicial es gradualmente absorbida por la resistencia mecánica del material. La absorción sigue una ley exponencial del tipo:

$$I_x = I_0 e^{-kx} \quad (2.3)$$

donde I_0 es la intensidad inicial e I_x es la intensidad al cabo de una distancia, x y k son el coeficiente de absorción.

El coeficiente de absorción resulta directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia e inversamente proporcional a la densidad del medio y al cubo de la velocidad de propagación.

$$K = k \left[\frac{f^2}{(\rho \cdot c^3)} \right] \quad (2.4)$$

donde k es una constante, relativa al modulo del volúmen.

La utilización de una baja frecuencia (mayor longitud de onda) implica una menor absorción del haz ultrasónico, pero aumenta la sensibilidad de detección, debido a que con una baja frecuencia la señal ultrasónica sufre una menor dispersión y atenuación.

2.13 DISPERSION DEL HAZ ULTRASONICO.

En algunos materiales que presentan estructuras cristalinas gruesas, segregaciones o presencia de fases separadas (tales como fundición gris, latones y otras aleaciones), se manifiesta el fenómeno de la dispersión del haz ultrasónico, lo que produce una pérdida importante en la energía ultrasónica, ya que gran parte de la misma es reflejada por los cristales o interfases del material en las más diversas direcciones que corresponden a las distintas orientaciones de los infinitos planos de reflexión que se presentan en el interior del material.

Este fenómeno puede considerarse análogo a la dispersión de un haz luminoso en la niebla. Para disminuir este efecto se debe de trabajar con la frecuencia más baja posible.

2.14 EL EFECTO PIEZOELECTRICO.

Un material piezoeléctrico tiene la propiedad de que si se deforma por una presión mecánica externa se producirán cargas eléctricas en su superficie. Este efecto fué descubierto en 1880 por los hermanos Curie. El fenómeno contrario, se dará en el mismo material si lo colocamos entre dos electrodos y le aplicamos un potencial eléctrico el cual cambiará su forma. Esto logró observarse un año más tarde. El primero es llamado el efecto piezoeléctrico, y el segundo el efecto piezoeléctrico inverso. El primero es usado actualmente para mediciones, el segundo para producir presiones mecánicas, deformaciones y oscilaciones.

2.15 TRANSDUCTORES ULTRASONICOS.

El nombre de transductor, se le da a dispositivos que tienen la capacidad de transformar la energía de una forma a otra, existen dos tipos principales los de cuarzo y los cerámicos.

Los cristales de cuarzo exhiben el efecto piezoeléctrico, por lo que cargas eléctricas aparecerán sobre la superficie del cristal cuando se sujete a esfuerzos mecánicos. Este efecto es reversible, ya que si aplicamos un voltaje sobre el cristal se observará una tensión mecánica.

Las relaciones comunes entre las cantidades eléctricas (voltaje y carga) y las correspondientes cantidades mecánicas (fuerza y tensión) son lineales.

CAPITULO III MEDIDORES DE NIVEL

3.1 INTRODUCCION.

En esta sección, se describen las diferentes formas que existen para realizar la medición de nivel, empleando metodos muy diversos, con ello podemos comparar las ventajas que se tienen al medir el nivel de líquidos utilizando el ultrasonido.

En la actualidad existen muchas formas de medir el nivel de líquidos, la importancia que tiene la medición de nivel estará en función del tamaño del recipiente o del tanque en donde se encuentre el fluido, ya que si tenemos un tanque de almacenamiento con un diámetro muy grande, y si la lectura del nivel presentara un error, la información obtenida sería errónea.

Dependiendo de la exactitud que se necesite, de la velocidad con la que se desee la información, del tipo de fluido a medir, si es peligroso o altamente tóxico, o si el recipiente está sellado o abierto a la atmósfera, y si es un fluido a baja o alta temperatura, además del costo del equipo, de su mantenimiento y que sea de fácil operación, estaremos en la mejor disposición para seleccionar adecuadamente el tipo de instrumento que necesitaremos para medir el nivel.

El trabajo pretende mostrar las ventajas que presenta utilizar el principio ultrasónico en forma no invasiva para para la medición de nivel, sobre otros métodos de medición que existen.

Para poder hacer una mejor comparación entre los diferentes medidores de nivel que existen, se realizó una división en dos formas, que le hemos llamado medidores invasivos y no invasivos. El propósito de este trabajo es presentar un medidor del tipo no-invasivo.

Se le denomina medidor invasivo porque el instrumento de medición se encuentra en contacto directo con el fluido a medir, y se le denomina medidor no-invasivo porque el instrumento de medición no está en contacto con el fluido.

El método empleado en el diseño, es mediante el no-invasivo, más adelante se explicarán las ventajas de esta forma de medición de nivel.

Una vez que se ha explicado brevemente que existen dos métodos de medición de nivel, mencionaremos a continuación a los tipos de medidores considerados como invasivos y sus características más importantes y posteriormente se hablará de los medidores del tipo no invasivo.

3.2 SENSORES DE NIVEL DE ANTENA.

Este tipo de medidor de nivel se utiliza para diseños en el que el líquido a medir se encuentra a una presión de 0.7 Mpa y a un rango de temperatura de trabajo de -40°C a 85°C , el material con el que se construye este medidor es de Bario ó plástico cubierto con acero inoxidable y otras aleaciones, este sensor presenta una exactitud en la medición de $\pm 15\%$ y puede ser utilizado para medir hasta 30.5m

Este medidor tiene un circuito oscilador en el cual la salida está realimentada con la entrada, la frecuencia de oscilación del circuito se puede variar con elementos pasivos. Esta frecuencia de oscilación del circuito es comparada contra un oscilador de frecuencia constante y la diferencia es usada para la operación del interruptor detector de nivel puntual o para la medición continua de nivel.

3.3 BURBUJEADOR.

El uso de este medidor de nivel se recomienda para líquidos a presión baja o moderada, temperatura moderada, el material utilizado para su fabricación es ilimitado, presenta una exactitud de $\pm 1-2\%$, el rango de operación es ilimitado.

El sistema de burbujeo se usó para medir el nivel de líquidos desde la llegada del compresor de aire. Un tubo sumergido es instalado al final de un tanque abierto casi 76mm. Un flujo de aire pasa a través del tubo cuando las burbujas de aire escapan por la salida abierta, la presión del aire en el tubo igualará la presión hidrostática del líquido. La presión podrá detectarse por un medidor o manómetro para lecturas continuas o por el nivel de presión controlado por interruptor o con una alarma.

3.4 SONDA CAPACITIVA.

Este tipo de medidor fué diseñado para trabajar a una presión de hasta 6.9Mpa y a una temperatura de 815°C, este medidor se construye básicamente de acero inoxidable, cerámica o teflón, su exactitud depende del proceso y sensibilidad de la sonda, el rango que maneja es de 6m para sonda de varilla y 46m para sonda de cable.

Variaciones en el nivel del proceso ocasionan cambios en la capacitancia, la capacitancia es medida por un circuito puente excitado por un oscilador a alta frecuencia (0.5-1.5 Mhz). Una sonda es aislada desde el tanque y forma una placa del capacitor, el tanque forma la otra. La presión del proceso y la temperatura determinan el tipo de sello usado por el aislante, y las condiciones de corrosión determinarán el tipo

de material de la sonda. El material entre las dos placas es el dieléctrico. La capacitancia del sistema debe ser afectada sólo por cambios en el nivel.

3.5 SONDA CONDUCTIVA.

Este tipo de medidor de nivel se recomienda para trabajar bajo presión de hasta 21 Mpa y puede operar a una temperatura de 371°C, se construye de un gran número de materiales diferentes resistentes a la corrosión, el medidor presenta una exactitud de ± 3.175 mm, el rango de medición dependerá de la prueba en particular y del material seleccionado.

3.6 DIAFRAGMA DETECTOR DE NIVEL.

Este tipo de medidor fue fabricado para operar a una presión atmosférica o muy baja en diseños mecánicos y para diseños electrónicos hasta 103 Mpa, trabaja en un rango de temperatura de -18°C a 54°C, existen unos diseños especiales para altas temperaturas, los materiales de construcción para este detector son el teflón, plásticos, acero inoxidable y aleaciones de metales, su exactitud es de $\pm 25-152$ mm para diseños mecánicos y $\pm 0.3\%$ para diseños electrónicos, su rango de operación es ilimitado.

Todos los medidores de diafragma operan bajo un simple principio de detección, la presión ejercida por el material en proceso contra el diafragma.

3.7 DETECTORES DE NIVEL DE PRESION DIFERENCIAL.

Estos detectores trabajan a una presión de diseño de 69 Mpa, puede trabajar en un rango de temperatura entre 93°C y 650°C, su construcción básica es de plásticos, acero inoxidable o aleaciones de metales, su rango de medición se encuentra disponible para todas las aplicaciones industriales.

EL nivel de líquidos puede ser medido por un instrumento de presión diferencial (d/p). Para recipientes que trabajan a presión atmosférica, el lado mayor del instrumento se conectará al fondo del recipiente y el lado más bajo estará del lado de la atmosfera. Para recipientes a presión, el lado mayor se conectará al espacio de vapor en el recipiente. Esta forma de instalación dará una medición exacta del nivel del líquido considerando que la densidad del líquido no cambie. Teóricamente, la presión diferencial podrá detectarse comparando dos presiones separadas y haciendo la diferencia se obtendrá el nivel del líquido.

3.8 DETECTOR DE DESPLAZAMIENTO DE NIVEL.

Este tipo de medidor trabaja bajo presiones de 0.7 Mpa para diseños de disco flexible y a 4 Mpa ó mayores para otros diseños, puede operar en un rango de temperatura de 200°C a 450°C, su construcción es a base de acero al carbón, acero inoxidable y algunas aleaciones, su exactitud es de $\pm 2\%$ y puede llegar a medir hasta 3m.

Si el área de la sección transversal del desplazamiento y la densidad del líquido son constantes, entonces la unidad de cambio en el nivel resultará en una unidad de cambio reproducible en el peso desplazado. El simple dispositivo de nivel de este tipo involucra a un desplazamiento que es tan pesado que el líquido en proceso, y está suspendido desde una escala de un resorte. Cuando el nivel del líquido esté abajo del desplazamiento, la escala mostrará el peso completo del desplazamiento.

Así la elevación del nivel, el peso aparente del desplazamiento disminuido tal como un rendimiento lineal y una relación entre la tensión del resorte y el nivel de este simple dispositivo estará limitado a aplicaciones en tanques abiertos.

3.9 DISPOSITIVO DE NIVEL POR FLOTADOR.

Este dispositivo trabaja a presiones de 14 Mpa y a una temperatura de 260°C, el material del flotador puede ser de cobre o de acero inoxidable, este medidor presenta una exactitud de $\pm 1/4$ in.

El interruptor de nivel por flotador y los indicadores incorporados en este diseño son capaces de seguir el nivel de líquido o la interfase de nivel entre líquidos de diferente gravedad específica. Los flotadores normales casi siempre son esféricos o cilíndricos, los flotadores esféricos normalmente son de 76 mm a 178 mm de diámetro.

El diámetro pequeño del flotador es usado en materiales de alta densidad, donde los flotadores largos se utilizan para detectar interfases líquido-líquido, con materiales de baja densidad, o cuando el flotador algunas veces mantiene a flote un movimiento largo de ensamble de poner-quitar.

Aunque existe una gran variedad de arreglos de indicadores operados por flotación, todos ellos caen en una de estas tres categorías: 1) Conectado directo a tanques atmosféricos, 2) Unidades selladas por tanques a presión, y 3) Interruptores de indicación para líquidos y sólidos.

3.10 INDICADORES DE NIVEL.

Estos equipos trabajan a presiones de hasta 69 Mpa y a una temperatura de 371°C, normalmente se construyen de acero, algunas aleaciones y en algunos casos se les agrega vidrio, pueden llegar a medir el nivel hasta 1.2m como máximo. El indicador de nivel es un instrumento de larga duración y puede usarse para varios años y se obtiene una medición inmediata del nivel en tanques y recipientes.

El diseño original fué del tipo de vidrio tubular, más recientemente vidrio plano, magneticamente acoplado, y de lentes con vidrio abombado. El indicador de nivel podrá equiparse con una variedad de accesorios para propósitos especiales.

3.11 INTERRUPTORES DE NIVEL OPTICO.

Este indicador puede trabajar bajo una presión constante de 1 Mpa y a un rango de temperatura entre -51°C y 71°C, su construcción es a base de vidrio, plástico y de acero inoxidable, su exactitud es de ± 1.6 mm para diseños de contacto.

Un destello de luz es enviado al líquido y reflejado de nuevo a un transistor sensitivo de luz, localizado en el

mismo soporte del transmisor y del receptor. Para ajustarse la sensibilidad del transistor, la unidad se puede calibrar en el rango de un punto de detección de nivel de 6.3 mm a 3.6 mm. El sensor podrá tener algunos detectores sensitivos de luz, permitiéndole que ocurran interrupciones en un sólo punto. Ya que el diseño de no contacto de este interruptor es apropiado en procesos corrosivos, pegajosos o donde se forman capas.

3.12 DETECTORES ULTRASONICOS DE NIVEL.

Se pueden emplear bajo presiones de 1 Mpa y pueden trabajar en un rango de temperatura de -73°C a 149°C , su exactitud es de $\pm 2-3\%$, alcanzan a medir hasta 30m en aire y 610m dentro del fluido.

Los dispositivos ultrasónicos de nivel se pueden utilizar tanto para mediciones puntuales como para mediciones continuas. Los detectores puntuales se pueden agrupar por su diseño en sensores amortiguados y transmisor de encendido- apagado (on-off).

Los diseños de detectores de nivel continuo pueden ser catalogados como sensores de bajo-líquido y sensores sobre-líquido, muchos diseños utilizan un circuito oscilador de 20 KHz o más para generar la señal ultrasónica. Algunos diseños agregan filtros o circuitería electrónica

discriminatoria para prevenir lecturas falsas que puedan ser ocasionadas por ruido eléctrico. En este tipo de medidor la señal ultrasónica viaja a través del aire, logra una reflexión del haz ultrasónico en la interfase aire-fluido y el eco de señal es detectado de nuevo por la fuente emisora.

Todos estos tipos de medidores de nivel que se han mencionado son del tipo invasivo, ya que el instrumento de medición está en contacto con el fluido, en el caso del indicador de nivel óptico y del ultrasónico mencionado, su señal viaja a través del aire en donde se encuentra el fluido, el inconveniente que presenta este tipo de medición es que al montarlo en recipientes sellados se puede contaminar el fluido al destapar el recipiente.

3.13 MEDIDOR DE NIVEL ULTRASONICO NO-INVASIVO.

Existen varias formas de medición de nivel de líquidos, la simpleza de estos es la observación directa por medio de una varilla de nivel o un flotador calibrado. Sin embargo en algunos casos estos métodos quizás no sean apropiados, tal es el caso de recipientes sellados que no pueden ser abiertos o cuyo contenido no debe exponerse al aire. Algunas veces se podrá requerir para una medición automática rápida del nivel en un gran número de recipientes que se encuentran en un proceso completo. En esas situaciones,

las mediciones ultrasonicas de nivel utilizando el metodo no invasivo ofrecen una buena solución.

Algunas áreas específicas donde podemos usar el ultrasonido para mediciones de nivel de líquido son:

- Línea de ensamble común de nivel de fluido en una variedad de componentes automotrices, tal como tanques de gasolina, caja de transmisión, compartimiento del aceite y en el diferencial. En estos casos una rápida y confiable medición no invasiva es la que se requiere.

- Mediciones de nivel caustica o fluidos reactivos en aplicaciones de procesos químicos. En estos casos los recipientes no podrán ser abiertos por razones de seguridad y por la naturaleza de los químicos o los procesos preventivos de instalación de un flotador interno.

- Detección de fluidos estáticos en tubos. Algunas operaciones industriales necesitan revisar la presencia o ausencia de líquidos en tuberías, particularmente la presencia de líquidos estancados en tuberías abiertas o cortadas durante procedimientos de mantenimiento.

- Mediciones de un yacimiento de petróleo flotando sobre un yacimiento de agua en sistemas de procesos

petroleros. En principio esto es posible medirse en cualquier simple yacimiento de líquido en situaciones donde un líquido de diferente impedancia acústica flota sobre la superficie de un segundo líquido.

En general, las aplicaciones de nivel de líquido se dividen en dos categorías: estas requieren mediciones del nivel actual del líquido (profundidad o elevación) y esos requerimientos de detección de la presencia o ausencia de líquido en un punto seleccionado.

3.14 VENTAJAS DE LAS MEDICIONES ULTRASONICAS.

Dentro de la gran diversidad que existe en los medidores de nivel, el uso del ultrasonido para determinar este parámetro ha tenido gran aceptación por su versatilidad y fácil manejo, actualmente el número de dispositivos de procesamiento ultrasónico usados comercialmente es del orden de miles, los dispositivos ultrasónicos presentan diversas ventajas tales como:

- No tienen partes en movimiento, por lo que no presentan desgaste mecánico.
- No restan energía del sistema.
- La medición no invade el medio (método no-invasivo).
- Es muy veloz y preciso.

- El sistema requiere solamente una operación mínima para obtener resultados adecuados.
- Es excelente para líquidos peligrosos y tóxicos.

Como se mencionó anteriormente, el uso del ultrasonido es muy versátil, ya que además de poder conocer en forma inmediata el nivel de líquidos, las ondas ultrasonicas pueden ser usadas para medir diversos parámetros tales como:

- La velocidad de gas natural en tuberías.
- La velocidad de fluidos.
- La densidad de líquidos.
- Para analizar el peso molecular.
- Detectar fallas contenidas en aceros.

3.15 PRINCIPIO DE OPERACION.

Para medir la velocidad de un fluido con el ultrasonido, se emplean tres métodos generales, de uno de ellos surgió el llamado método Pulso Eco, el cual es utilizado en este trabajo para la medición de nivel.

1.- METODO DE TIEMPO DE TRANSITO.- Este método consiste en medir el tiempo requerido para que un pulso vaya de un punto a otro en un líquido, es decir, del transmisor al receptor cuando el líquido está en reposo y cuando está en movimiento.

2.- METODO DE REFLEXION DE HAZ.- Este método utiliza tres transductores, uno de transmisión y dos de recepción colocados opuestamente a las paredes de la tubería. El transductor transmisor emite un pulso ultrasónico, el cual es proyectado perpendicularmente a la pared opuesta del tubo a través del flujo. Cuando la velocidad del flujo es cero los receptores detectan igual intensidad de señal, pero en el momento que existe flujo la señal es reflejada hacia uno de los receptores obteniéndose una diferencia de intensidad que es proporcional a la velocidad de flujo.

3.- METODO DE CORRIMIENTO DOPPLER.- En este método un haz de sonido es emitido ya sea contra la corriente o a favor de ella. La frecuencia de las ondas de sonido que son dispersas de regreso a la fuente de sonido por inhomogeneidades en el fluido en movimiento es comparada con la frecuencia de las ondas de sonido que fueron emitidas originalmente, y la cantidad de corrimiento en frecuencia será proporcional a la velocidad del fluido.

A través de la experiencia en estos métodos de medición empleando ultrasonido se deriva otro que es llamado método Pulso-Eco, el cual está dentro del método de tiempo de tránsito y consiste en la cuantificación del tiempo desde que se envía un pulso de transmisión ultrasónico a través de un medio ya sea líquido, gaseoso o sólido, y lograr la detección de un eco por la fuente emisora debido a un cambio de fase.

El método pulso-eco fué usado desde la Primera Guerra mundial para localizar objetos bajo el agua. Su uso fué sugerido primeramente para localizar iceberg's a cierta distancia, y posteriormente se le empleó para localizar submarinos y sólo durante la Segunda Guerra Mundial se aplicó este método para hacer pruebas no destructivas en algunos metales.

Mientras tanto el método fué aplicado con ondas electromagnéticas (ondas cortas y ultra cortas) en aire, sondeando la ionósfera y posteriormente en tecnologías de radar para detectar naves y aeroplanos.

Firestone en 1940 fué el primero en reconocer la importancia de este método para realizar pruebas no destructivas y en particular para detectar fallas contenidas en aceros.

3.16 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DEL NIVEL.

El nivel del líquido en un recipiente se mide con un transductor acoplado al fondo del recipiente utilizando un material de acoplamiento conveniente. Un impulso eléctrico es transmitido desde donde inicia el espesor y el transductor genera un pulso de sonido corto el cual se transmite a través de la pared del recipiente. El viaje redondo del tiempo de

tránsito del pulso es convertido al nivel del líquido realizando el siguiente cálculo:

$$D = VT/2$$

donde:

D = nivel del líquido.

V = velocidad del sonido en el medio (conocido)

T = viaje redondo del pulso.

Ciertos factores se deben considerar para que esta técnica de medición sea efectiva:

1) El tipo de material del recipiente y el espesor, son los primeros factores que deben ser considerados en la evaluación de una aplicación en particular para la medición del nivel en forma no invasiva, considerando en relación a las propiedades y el rango del nivel del fluido. Los recipientes de pared de acero grueso pueden limitar seriamente el nivel mínimo que puede ser medido justo por los efectos de la caída de señal debido a la pared. Los recipientes de plástico tienen propiedades acústicas similares a algunos líquidos y por lo tanto "proveen" una transferencia eficiente de sonido desde el transductor al líquido minimizando la caída de señal.

2) Condiciones de la pared de la superficie: La corrosión o porosidad en la superficie del recipiente permiten la distorsión en la transmisión del pulso de sonido y crea dificultades en la medición o la hace imposible.

3) Curvatura del recipiente: Una curvatura prolongada del recipiente permitirá una distorsión del pulso de sonido y no se tendrá un adecuado acoplamiento del transductor y la pared del recipiente, impidiendo una medición confiable.

4) Propiedades acústicas del líquido: La atenuación del ultrasonido en un líquido determinará el nivel máximo que podrá ser medido. Generalmente, la alta viscosidad de los líquidos o con una gran concentración de sólidos causará una mayor atenuación de las ondas ultrasónicas.

5) Efectos de la temperatura: Los cambios de temperatura en el líquido ocasionarán cambios en la velocidad del sonido.

6) Movimiento en la superficie del líquido: La superficie del líquido debe permanecer sin movimiento en el recipiente para producir un eco en el nivel exacto.

7) Composición del líquido: El líquido debe tener una composición y temperatura uniforme, deberá estar esencialmente

libre de burbujas para obtener mediciones confiables.

8) Acoplamiento del transductor a la pared del recipiente: Un adecuado acoplamiento del transductor a la pared del recipiente será necesaria para que el pulso de sonido pueda ser transmitido desde el transductor a través de la pared del recipiente y dentro del líquido.

3.17 PROCEDIMIENTO DE MEDICION PRESENCIA/AUSENCIA.

En el modo de operación Pulso-Eco, la señal desde el transductor estará acoplada en la pared del recipiente. Si el líquido está presente en un punto de medición, una parte de la energía del sonido viajará a través del líquido y se reflejará en la interfase fluido-aire, viajará a través del fluido y la pared del recipiente hasta el transductor. Si no hay líquido presente, no existirá un eco reflejado de respuesta.

3.18 VENTAJAS QUE PRESENTA UTILIZAR EL METODO PULSO-ECO EN LA MEDICION DE NIVEL.

Esta técnica de medición proporciona un método no invasivo de monitoreo del nivel de líquidos, velocidad y exactitud repetible. El sistema requiere solamente una mínima operación para obtener resultados adecuados. No es necesario el contacto directo con líquidos peligrosos o tóxicos.

El modelo de prueba para poder determinar el nivel de líquidos, utilizando el método Pulso-Eco lo podemos ver en la figura 3.1.

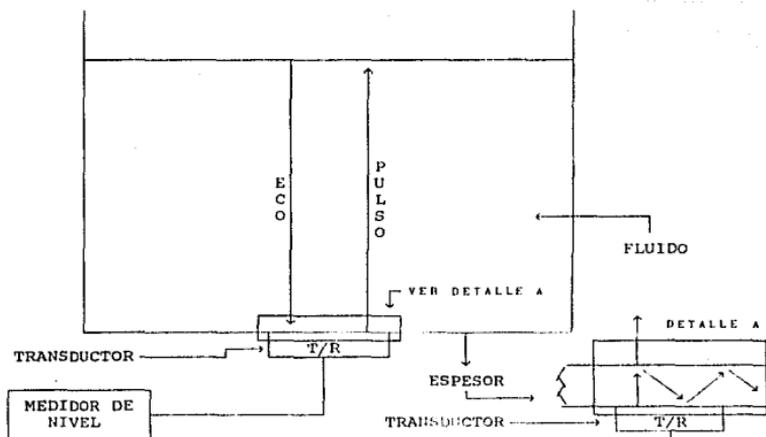


Fig. 3.1 Método pulso-eco.

donde el transductor emite un pulso ultrasónico de transmisión, el cual primeramente deberá cruzar la pared del recipiente generándose una serie de ecos de respuesta producidos por la interfase sólido-fluido.

Posteriormente el pulso de transmisión sigue su viaje a través del fluido y en el momento que detecta la interfase fluido-aire se producen los ecos de respuesta que son los pulsos que permitirán determinar el nivel mediante la cuantificación del tiempo, desde que un pulso de transmisión es enviado hasta que un paquete de ecos de este tipo son detectados por el transductor.

CAPITULO IV
MEDIDOR DE NIVEL ULTRASONICO
NO-INVASIVO PARA LIQUIDOS LIMPIOS.

4.1 INTRODUCCION.

En esta sección se hablará de la forma en que se ha realizado el diseño del equipo, se hace la explicación en forma global utilizando bloques, para dar una idea general, posteriormente se hablará de cada uno de ellos en detalle mostrando sus diagramas eléctricos.

4.2 PRINCIPIO DE OPERACION.

A este medidor de nivel ultrasónico, se le ha dado el nombre de no-invasivo para líquidos limpios por las características del ultrasonido, ya que la señal ultrasónica es capaz de realizar su recorrido por el espesor del recipiente, posteriormente por el líquido a medir, y al llegar a la interfase fluido-aire, la señal se reflejará produciendo un eco de respuesta, el cual realizará el mismo recorrido al regresar y ser detectado por la fuente emisora.

La velocidad de la señal ultrasónica depende directamente de la densidad del medio en donde viaje, así como de su temperatura, si las características del medio presentan una densidad muy variable, la señal ultrasónica sufrirá efectos de atenuación y será difícil detectar un eco de

respuesta, en el caso de que el líquido tenga partículas en suspensión, de igual forma, la señal ultrasónica sufrirá una gran atenuación debido a la dispersión y reflexión de la señal por las partículas que encuentre a su paso.

Para generar la señal, vamos a utilizar un transductor ultrasónico, el cual necesita para su excitación pulsos de voltaje a una frecuencia resonante. El transductor empleado vibrará a una frecuencia de 1 Mz, la cual se recomienda para que la señal pueda viajar en un medio sólido y en la interfase sólido-líquido, se podrán emplear transductores cuya frecuencia oscile entre 0.5 Mhz y 3 Ghz, la selección dependerá de la densidad del medio en el cuál viaje la señal.

4.3 FUNCIONAMIENTO.

Para realizar una medición del nivel de líquido con este equipo debemos proceder de la siguiente manera: introducir al programa del microprocesador el tipo de fluido a medir ya que la velocidad del sonido es diferente en cada líquido como se mencionó en el capítulo 2, el equipo cuenta con un sensor de temperatura para compensar alguna variación que sufra el líquido a medir, ya que la velocidad del sonido depende de la densidad y temperatura. Debemos de tener un material grasoso que nos sirva de acoplamiento entre el

transductor y la superficie del recipiente; el propósito de este material acoplante es eliminar lo más posible los rebotes que sufre la señal ultrasónica en el espesor, algunos ecos de sonido son percibidos por el transductor, estos ecos se pueden utilizar para medir espesores, pero para nuestro caso los eliminamos para que la lectura obtenida tenga un mínimo de error.

Se coloca el transductor en la parte inferior del recipiente a medir como se muestra en la fig. 3.1 y casi en forma instantanea se obtiene el nivel, la lectura presentada en los exhibidores puede ser en milímetros o en pulgadas.

El equipo cuenta con un control de repetición de los pulsos de transmisión (Más adelante se explica detalladamente) y un control de amplitud de la señal enviada al transductor con dos propósitos: obtener la amplitud óptima para que la señal sea más clara y la detección sea mejor, el otro es lograr tener un rango de variación del pulso enviado al transductor, el cual nos permitirá usar diferentes transductores de contacto.

4.4 DISEÑO DEL HARDWARE DEL EQUIPO.

El presente diseño se divide en dos áreas de desarrollo que son el hardware y el software. El hardware

abarca todo lo relacionado con la circuitería electrónica y lógica alamburada y el software trata la lógica programada del equipo.

Para explicar de manera sencilla el diseño de este equipo se ha dividido en bloques, posteriormente se explicará la función de cada uno de ellos.

En la figura 4.1 se muestra un diagrama a bloques general del medidor de nivel ultrasónico, puede observarse que la transmisión y la recepción tienen una correspondencia directa. Se mencionará como están relacionadas cada una de las etapas por separado.

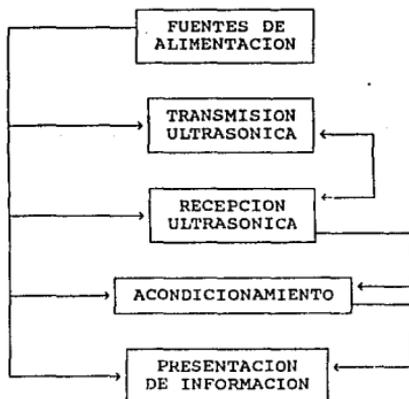


Fig. 4.1 Diagrama general del medidor.

4.4.1 FUENTES DE ALIMENTACION.

Una de las partes basicas con las que cuenta este medidor de nivel es en las fuentes de alimentación, las cuales tienen la función de suministrar el voltaje y la corriente necesaria para cada una de las tarjetas electrónicas.

Se consideró el diseño de la siguiente manera: En primer lugar se pensó en utilizar la entrada de alimentación de la línea de 110 Vc.a., tiene un fusible de protección a la entrada del transformador para evitar que se dañe si se llegara a presentar una falla. El transformador tiene un devanado en el primario y cinco en el secundario, en la salida de los cinco devanados tenemos voltajes de 18V, 18V, 20V y 290V de c.a., mismos que son rectificadas con un puente de diodos del tipo 1N4002, posteriormente el voltaje rectificado lo filtramos a través de un capacitor de 1000 μ F y finalmente utilizamos un regulador de voltaje para obtener el valor exacto requerido por este diseño.

Los voltajes que obtenemos siguiendo este procedimiento son: +6V, -6V, +5V, +18V y +420V de c.d., los cuales son los necesarios para cada una de las etapas de que consta este medidor de nivel. En la figura 4.2 se muestra el diagrama eléctrico de las fuentes de alimentación.

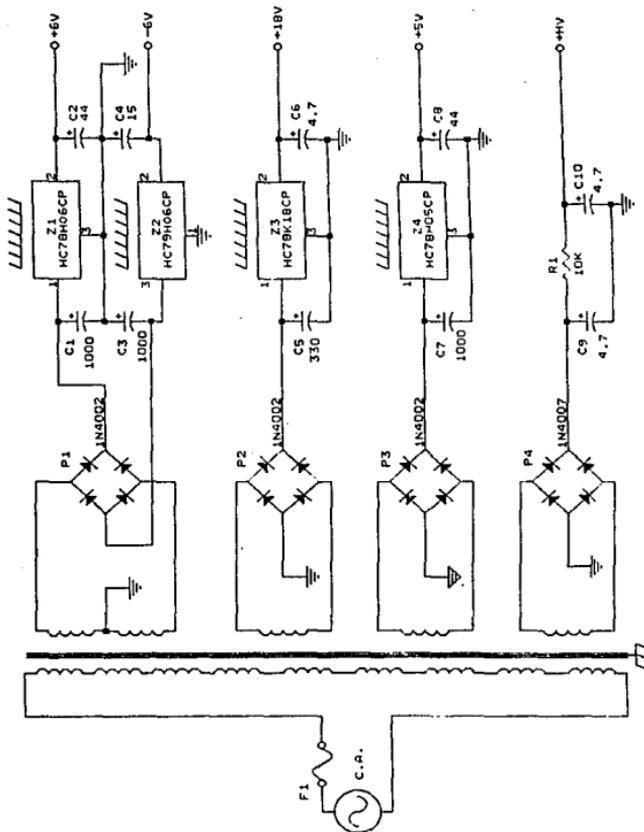


Fig. 4.2 Diagrama eléctrico de las fuentes de alimentación.

4.4.2 TRANSMISION ULTRASONICA.

En esta parte del diseño se explicará la electrónica que hace posible la generación de pulsos de voltaje necesarios, de acuerdo a lo especificado por los fabricantes de transductores de contacto y se divide en:

- a) Circuito Oscilador
- b) Etapa de alto voltaje
- c) Salida del pulso negativo
- d) Acoplamiento eléctrico

Es importante, que los pulsos que se generan en esta etapa sean positivos o negativos, la razón es porque los transductores necesitan ser excitados por un voltaje ya sea positivo o negativo y una frecuencia óptima que debe ser la frecuencia de resonancia del transductor y si el pulso enviado fuera negativo y presentara una parte positiva, se podría dañar y no encontraríamos su frecuencia de resonancia.

Esta etapa de transmisión tiene un circuito oscilador como el mostrado en la figura 4.3.

Este circuito oscilador regula la frecuencia de los pulsos de excitación aplicados al transductor. Si el espesor de la pared del recipiente es grande, se recomienda ajustar el P1 al máximo con el fin de dar una rápida respuesta, si el

número de repeticiones es excesivo, generará señales indeseables.

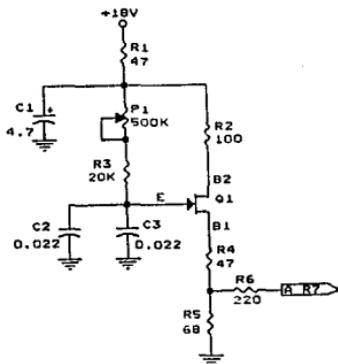


Fig. 4.3 Circuito Oscilador.

Como puede observarse en la figura 4.3, el circuito es alimentado con 18V a través de R_1 , P_1 controla las repeticiones de los pulsos de transmisión y la carga rápida o lenta de los capacitores C_2 y C_3 , los cuales al llegar al voltaje de ruptura en el emisor del UJT (Transistor de Unijuntura) genera un pulso de disparo logrando con ello disparar a los SCR's conectados en cascada y así poder controlar la frecuencia de los pulsos de transmisión.

En la figura 4.4 se muestra la etapa de alto voltaje, como puede observarse se alimenta un voltaje de 420 V de c.d. a través de R8 y R9, el transistor Q2 opera en corte y saturación, por R20 y R21 se carga C17 y a través de R16 y R11 se carga C7.

El SCR denominado Q5 se va a encargar de controlar la operación de Q4, Q3 y Q6, el circuito oscilador de la figura 4.3 enviará un pulso de voltaje a través de R5, R6 y R7 el cuál permitirá que se cargue C9 y disparará a Q5, en ese momento entran en operación los SCR's y en el emisor de Q2 tendremos la referencia de voltaje y por medio de esta podremos ver un voltaje negativo en el cátodo de CR1 y CR2.

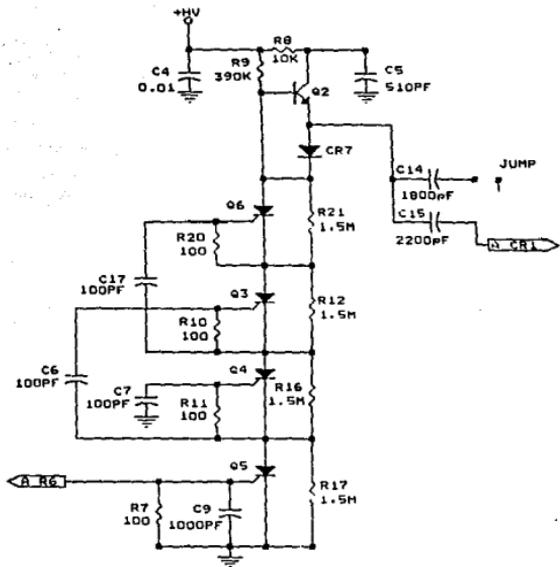


Fig. 4.4 Etapa de Excitación de alto voltaje.

En la fig. 4.5 se muestra la parte del circuito donde obtenemos el pulso negativo, la alimentación de 18V de c.d. a través de R_{13} y C_{10} tiene como fin, corregir el pulso negativo obtenido y ponerlo a nivel de tierra, es decir, el voltaje obtenido, no tiene un nivel de referencia de 0V, por lo que aplicando este voltaje, se logra esta referencia.

Los diodos del tipo 1N4148 denominados en el circuito CR3, CR4, CR5 y CR6, nos sirven para enviar a tierra un posible pulso positivo, y a través de CR1 y CR2 aseguramos pulsos de voltaje negativo, tal como lo solicitó el fabricante de transductores.

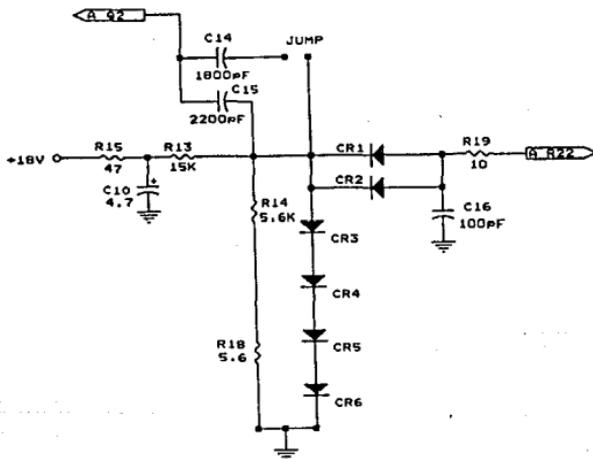


Fig. 4.5 Etapa de salida del pulso negativo.

Los capacitores C14 y C15 se utilizan para variar la amplitud del pulso entregado al transductor en función de la capacitancia, el arreglo serie de CR3 a CR6 evitará que cruce un pulso positivo a través de CR1 y CR2, con el P2 se podrá variar la amplitud del pulso para obtener la óptima forma de

onda y/o acoplamiento eléctrico al transductor y el circuito.

El establecimiento de la resistencia de amortiguamiento puede cambiar la forma de onda Pulso-Eco de las señales sónicas del transductor. Una gran amortiguación se usa con transductores de alta frecuencia, y mejora la resolución y la respuesta de disparo, en la figura 4.6 podemos ver esta etapa.

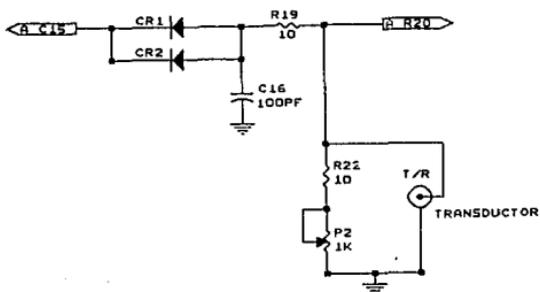


Fig. 4.6 Acoplamiento eléctrico del transductor

Los pulsos de transmisión ultrasónicos generados en esta sección son de la forma mostrada en la fig. 4.7.



Fig. 4.7 Pulsos de transmisión.

4.4.3 RECEPCION ULTRASONICA.

La importancia de esta etapa, se debe a que es capaz de recibir y amplificar la señal de respuesta proveniente del transductor y se divide en:

- a) Etapa de acoplamiento de entrada
- b) Etapa de amplificación
- c) Etapa de acoplamiento de salida

Cuando un pulso de voltaje excita al transductor, empezará a sufrir vibraciones mecánicas, generando señales de sonido a alta frecuencia, mismas que viajarán a través del espesor del recipiente, continuarán su viaje por el fluido, y al detectar la interfase fluido-aire, la señal ultrasónica se reflejará, logrando ser detectada por el transductor, el cual,

nuevamente vibrará mecánicamente, pero con menor intensidad, debido a los efectos de atenuación y dispersión, sufridos por la señal durante su viaje, estas pequeñas vibraciones, se convertirán en señales eléctricas, debidas al efecto piezoeléctrico que se presenta en el transductor, mismas que serán amplificadas por la sección receptora. Esta señal de radio frecuencia amplificada, nos permitirá comparar el tiempo entre la transmisión y la recepción.

Cabe mencionar que estas señales son analógicas, mismas que debemos trabajarlas en forma digital, y para obtenerlas, será mediante una etapa de acondicionamiento, que a su vez nos permitirá procesar las señales de transmisión y recepción mediante el uso de un microcontrolador del tipo MC68701-U4, para la determinación del nivel.

En esta etapa de recepción, utilizamos un JFET dual del tipo U431, el cual por sus características es ideal en este diseño, ya que presenta una alta impedancia a su entrada, del orden de megohms, cada dispositivo, tiene tres terminales denominadas fuente (source), drenaje (drain) y compuerta (gate), donde el voltaje aplicado a través de la compuerta, controlará la corriente I_d (corriente de drenaje), el segundo JFET, es empleado como mezclador, tal y como muestra la figura 4.8. Al JFET superior le hemos llamado como dispositivo 2 y a el inferior 1, en el drain 2 conectamos la base de Q6,

transistor NPN del tipo MPSH10 y el emisor lo conectamos al pin 14 del amplificador de video del tipo NE592, el cual funciona como amplificador de ancho de banda de video, y es capaz de ofrecer una ganancia fija de 100 a 400 usando componentes externos, o una ganancia ajustable de 400 a 0 con resistores externos. La etapa de entrada fué diseñada, para que con la suma de unos pocos elementos reactivos entro las terminales selectoras de ganancia, se pueda usar este circuito como amplificador de pulsos o amplificador de video en comunicaciones, memorias magnéticas, exhibidores y en sistemas de grabación de video. Este circuito integrado trabaja con +6V y con -6V de c.d., su ganancia de voltaje en dB es de 45 a 55, su ancho de banda se encuentra entre 40 y 90 Mhz.

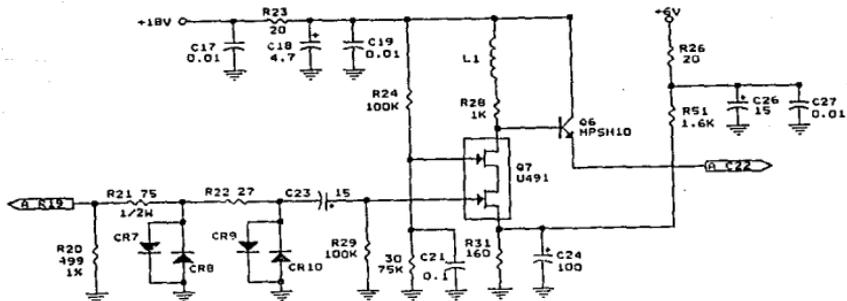


Fig. 4.8 Etapa de acoplamiento.

La salida del amplificador de video, fig 4.9 nos proporciona pulsos de +4Vpp., esta señal la enviamos a través del transistor Q8 del tipo MPSH10 (NPN), el cual tiene un nucleo de ferrita en su base, que nos limpia la señal en el emisor del transistor y ademas del filtro LC (L3 y C100) para enviar la señal a un amplificador con dos transistores complementarios Q9 y Q10 del tipo 2N3904 y 2N3906 respectivamente, polarizado con los diodos CR11 y CR12 del tipo 1N4148, para evitar variaciones en la corriente de colector, debido a cambios en la temperatura.

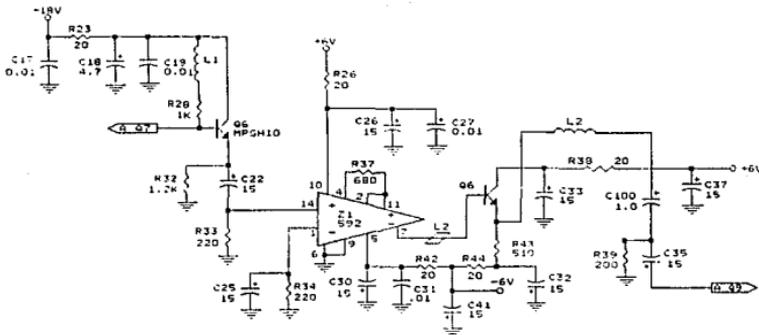


Fig. 4.9 Salida del amplificador de video.

La etapa de salida, nos va ha servir de acoplamiento eléctrico con la etapa de acondicionamiento, y evitará así que de recepción se atenuen. Como se muestra en la figura 4.10.

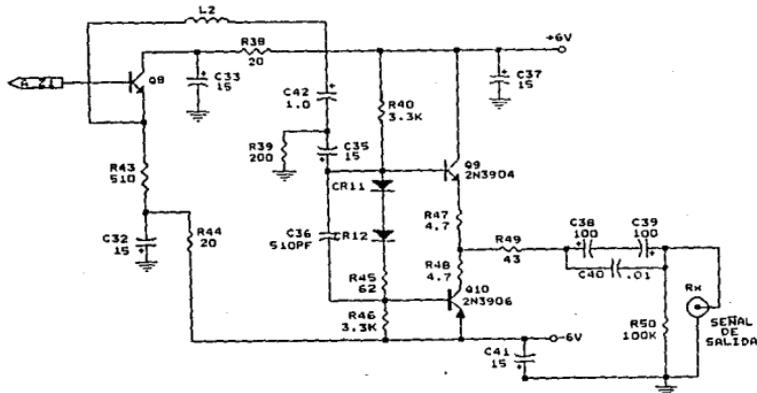


Fig. 4.10 Salida del par complementario.

El pulso de voltaje que debemos tener en la salida, sin carga, debe ser de +4Vpp. aproximadamente, para asegurar que tendremos una señal de respuesta al operar el equipo. La figura 4.11 muestra la señal de transmisión y recepción.

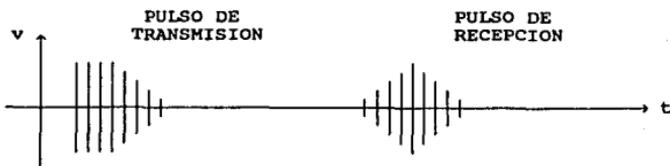


Fig. 4.11 Pulsos de transmisión y recepción.

4.5 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE SALIDA.

Esta sección viene a constituir la etapa fundamental del medidor ultrasónico de nivel ya que a través de ésta, el nivel del líquido podrá ser determinado

La etapa acondicionadora está constituida por dos bloques básicos. El primero es un bloque de conversión analógico/digital y el segundo es un bloque de lógica digital, donde a partir de las señales de pulsos de recepción analógicos (PRA), se genera el pulso de salida digital (PSD) como se muestra en la figura 4.12.

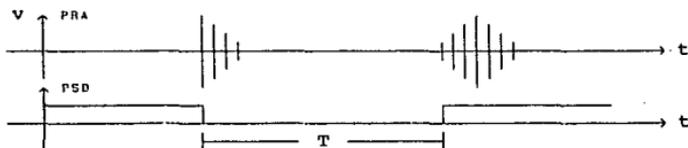


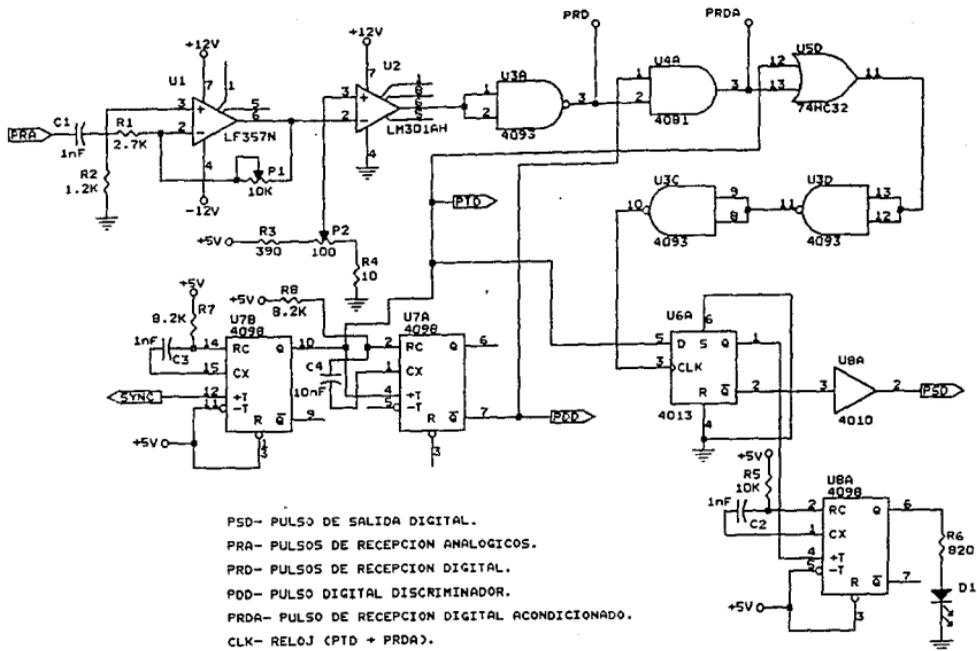
Fig. 4.12 Pulso de salida digital.

. Este periodo T, es el valor que necesitamos para determinar el nivel en el recipiente, como se mencionó en el capítulo III, el nivel lo vamos a calcular de la fórmula $D=V*T/2$, en donde el valor de la velocidad es constante y es tomado de tablas, el cual va a depender del tipo de líquido a medir, T es el tiempo que tarda la señal desde que se envía un pulso de transmisión, hasta lograr un eco de respuesta.

Este pulso de salida PSD será la señal digitalizada que entra al segundo bloque.

El segundo bloque tiene la función de cuantificar el periodo T del pulso de salida digital (PSD), interpretarlo y desplegar el nivel del recipiente; lo cual es posible realizarlo mediante el empleo de un microcontrolador, que tiene la capacidad de leer el tiempo de duración del pulso PSD y mediante su programación interpretar este tiempo, y a través de uno de sus puertos de salida entregar una señal digital, la cual es a su vez acondicionada en una señal de salida analógica final de: 0 a 5 V y/o 4 a 20 mA. En la figura 4.13 se puede ver la etapa en la cual, a través de los pulsos de recepción analógicos (PRA) obtenemos el pulso de salida digital (PSD). En la figura 4.14, se muestra un diagrama a bloques general del funcionamiento de la tarjeta de acondicionamiento, así como la forma en que está conectado el microprocesador.

Fig. 4.13 Etapa de Digitalización.



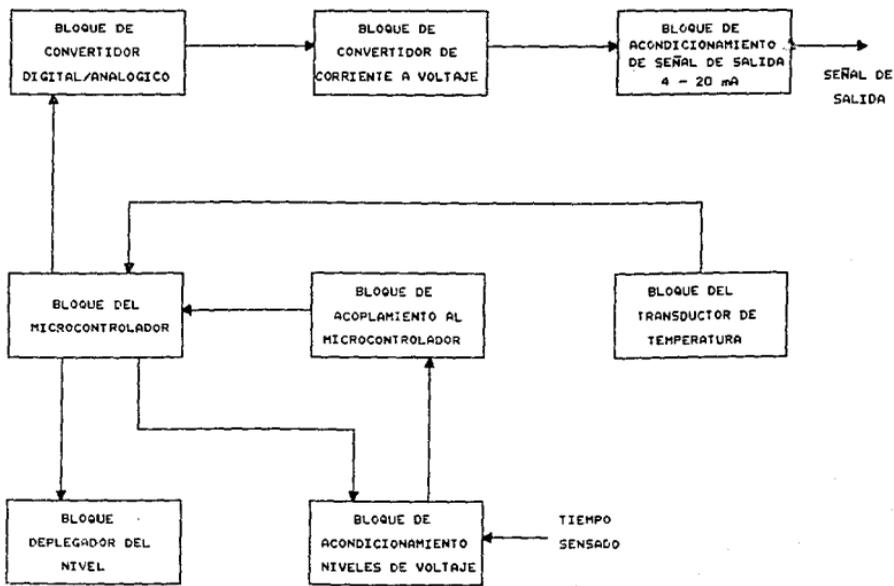


Fig. 4.14 Diagrama a bloques de la etapa de acondicionamiento.

Como puede observarse, en éste diagrama a bloques de la tarjeta de acondicionamiento, al pulso de salida digital (PSD), le vamos a llamar tiempo sensado (TS), esta señal la enviamos al microprocesador a través de un C.I. (4066), el cual está conectado a un LM555 cuya función es la de inicializarlo, con el propósito de no tomar lecturas falsas.

Puede observarse que el bloque que hemos llamado convertidor digital/analógico nos proporciona una salida standard de 0-5V y/o 4-20 mA, se utilizó la interfase de comunicación serie, para enviar una señal a la siguiente etapa, la cual nos va a desplegar la lectura del nivel tomado, a través de exhibidores.

En la figura 4.15 puede verse el diagrama eléctrico de la etapa de acondicionamiento.

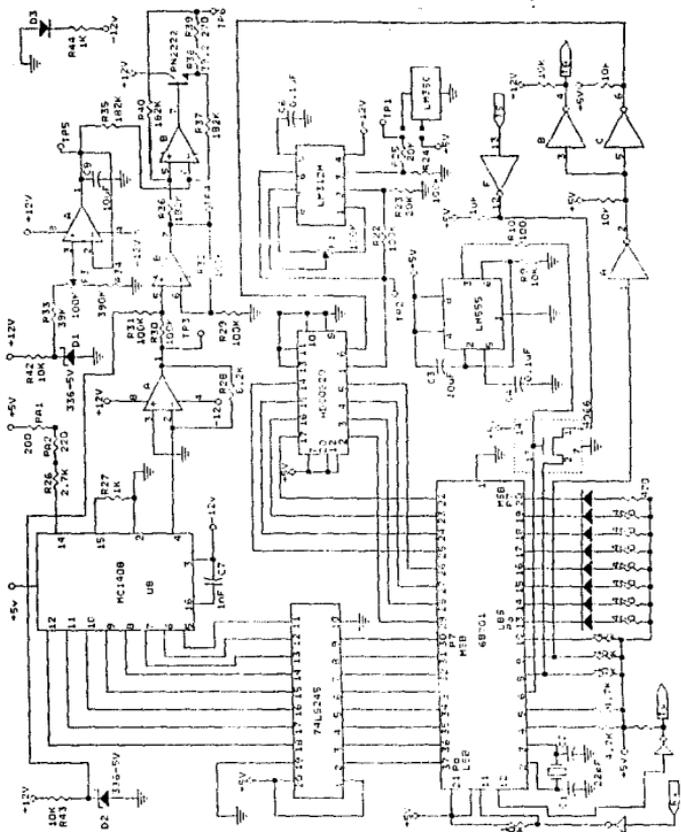


Fig. 4.15 Diagrama electrico etapa de acondicionamiento.

Como se mencionó anteriormente, la velocidad del sonido depende de la densidad y de la temperatura en donde va a viajar la señal ultrasónica, cuando existen variaciones en la temperatura, la lectura del nivel puede ser falsa, para evitar que esto ocurra, necesitamos realizar una compensación mediante el uso de un transductor de temperatura, con el fin de que la lectura sea lo más confiable posible.

El transductor de temperatura, debe quedar acoplado junto con el transductor ultrasónico, de tal forma que pueda detectar la temperatura, y alguna variación. El transductor que se emplea tiene dos terminales, es del tipo AD590, el cual produce una salida de corriente proporcional a la temperatura absoluta. Si alimentamos con un rango de voltaje entre 4 y 30V, el sensor presentará una alta impedancia, y servirá como un regulador pasante de corriente constante de $1\mu\text{A}/^\circ\text{K}$. La impedancia de salida es aproximadamente de 10 M Ω , y proporciona un rechazo excelente a las caídas y rizados del voltaje de alimentación, ya que si resulta un cambio en el voltaje de alimentación de 5V a 10V, resulta un cambio de $1\mu\text{A}$ máximo, o un error equivalente a 1°C , este transductor de temperatura, es eléctricamente durable, ya que puede soportar voltajes hasta de 44V y voltajes inversos de hasta -20V.

4.6 UNIDAD DE PROCESAMIENTO.

Como se mencionó anteriormente, el procesamiento de la información se realizará mediante el empleo del microprocesador MC68701U4, por lo cual, ésta es una etapa de vital importancia, ya que en un solo encapsulado, se encuentra todo un sistema mínimo de microcomputación.

Este microprocesador, es un dispositivo electrónico muy versátil y poderoso, debido a la diversidad de recursos con los que cuenta, como en los diferentes modos en los que puede operar, ya que nos ofrece la facilidad de configurarlo, dependiendo de los requerimientos específicos del equipo que se quiere diseñar.

El MC68701U4 es una unidad de microcomputación (MCU) en un simple encapsulado con EPROM de 8-Bit, el cual mejora la capacidad del MC6801 y significativamente a la familia del M6800, ya que incluye una unidad de microprocesamiento (MPU) con un código-objeto directamente compatible con el del MC6800 y un código-fuente mejorado. El MCU puede operar como una unidad independiente y puede ampliarse a 64K Bytes de espacio de direccionamiento, es compatible con TTL y requiere solamente +5V c.d. de suministro de voltaje para su operación. Se requiere de un voltaje adicional V_{pp} para programación de la EPROM. En un simple encapsulado tenemos 4 096 Bytes de

EPROM, 192 Bytes de RAM, interfase de comunicación serial, entrada/salida paralelo y Timer programable con 6 funciones de 16-Bit, además de las siguientes características:

- Tiene más instrucciones que el MC6800.
- Código-Objeto y Código-Fuente compatible con el MC6800, MC6801 y MC6801U4.
- Bus compatible con la familia M6800.
- Instrucción multiplicada 8 X 8.
- Operación como unidad independiente o ampliado a 64K Bytes de espacio de direccionamiento.
- Generador de reloj interno con salida dividida por cuatro.
- Interfase de comunicación serial (SCI).
- Timer programable de seis funciones de 16-Bit.
- Función de comparación de 3 salidas.
- Función de captura de dos entradas.
- Contador de direcciones alterno.
- 4 096 Bytes de uso para EPROM.
- 192 Bytes de RAM.
- 32 Bytes de RAM respaldados en caso de falla de energía.
- 29 líneas paralelas de entrada/salida y dos líneas de control.

En la figura 4.16 se muestra el diagrama a bloques del MC68701U4.

El MC68701U4 es un microprocesador monolítico de 8-Bit, el cual puede ser configurado para una gran diversidad de aplicaciones. La facilidad y la extraordinaria flexibilidad del hardware, permite programarlo en ocho modos diferentes para su operación.

El control del modo de operación configura 18 de los 40 pines del MCU, la configuración de los 22 pines restantes no depende del modo de operación.

Veintinueve pines se organizan en 3 puertos de 8-Bit y un puerto de 5-Bit. El modo de operación se selecciona con el hardware y determinará el mapa de memoria del dispositivo, la configuración del puerto 3, puerto 4, SC1, SC2 y la localización física de los vectores de interrupción.

Los ocho modos de operación (0-3, 5-7) pueden ser agrupados en 3 modos fundamentales llamados: modo independiente, expandido no-multiplexado y expandido multiplexado, en la tabla IV.I se muestra un resumen de las características de los modos de operación.

RESUMEN DE MODOS DE OPERACION.

MODO 7 Independiente
192 bytes de RAM, 4096 bytes de EPROM. El puerto 3 es un puerto paralelo de I/O con 2 líneas de control. El puerto 4 es un bus de entrada puerto/dirección.
MODO 5 Expandido no multiplexado
192 bytes de RAM, 4096 bytes de EPROM. 256 bytes de espacio de memoria externo. Puerto 3 es un bus de datos de 8 bit. Puerto 4 es un bus de entrada puerto/dirección.
MODOS 0, 1, 2, 3, 6 Expandido Multiplexado
Cuatro opciones de espacio de memoria (total 64K de espacio de dirección). 1).- RAM interna y EPROM con bus de direcciones (Modo 1). 2).- RAM interna, sin EPROM (Modo 2). 3).- Direccionamiento extendido de I/O interno y RAM. Puerto 3 es un bus multiplexado de direcciones/datos. Puerto 4 es un bus de direcciones (entradas/direcciones en Modo 6). Modo de Prueba/Programa (Modo 0). Puede ser usado para prueba interna de RAM y EPROM. Puede ser usado para probar el puerto 3 y 4 como puertos de I/O para escribir en Modo 7. Usado para programa EPROM.
CARACTERISTICAS COMUNES PARA TODOS LOS MODOS
Area de registros reservada. Puerto 1 opera como entrada/salida. Puerto 2 opera como entrada/salida. Operación de Timer. Operación en interfase de comunicación serial.

TABLA IV. I

4.7 PROGRAMACION DEL MODO DE OPERACION.

La configuración del modo se define por los niveles de voltaje que se tengan en las terminales respectivas del puerto 2 durante el flanco positivo (transición bajo-alto) de la terminal de reestablecimiento (RESET). El modo de operación puede ser leído desde el registro de datos del puerto 2 como se muestra en la figura 4.17, en PC2, PC1, y PC0 en el proceso de inicialización del sistema.

7	6	5	4	3	2	1	0	
PC2	PC1	PC0	P24	P23	P22	P21	P20	\$ 03

Fig. 4.17 registro de datos del puerto 2.

En la tabla IV.II, se muestra la forma de seleccionar el modo de operación del MC68701U4, dependiendo del nivel de voltaje del puerto 2 para los tres modos principales.

MODO	P22 PC2	P21 PC1	P20 PC0	MODO DE OPERACION
7	5	5	5	INDEPENDIENTE
6	5	5	0	MULTIPLEXADO
5	5	0	5	NO-MULTIPLEXADO

TABLA IV.II

Para la realización de este diseño, utilizamos al MC68701U4 en MODO 7 INDEPENDIENTE, ya que para nuestras necesidades resultó ser el adecuado por las características que presenta.

4.8 MODO 7 INDEPENDIENTE.

En el modo independiente, los cuatro puertos del MCU son configurados como puertos de entrada/salida de datos en paralelo, como se muestra en la figura 4.18.

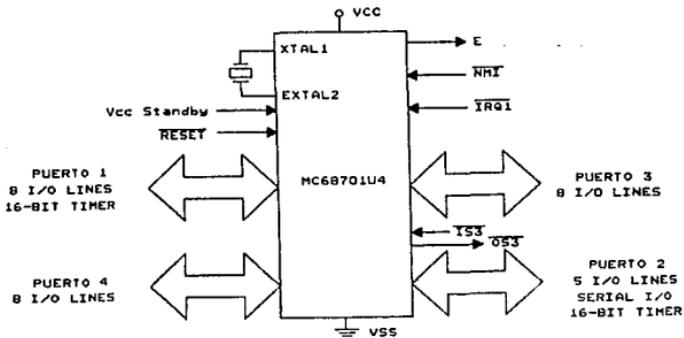


Fig. 4.18 Modo Independiente.

Las funciones del MCU de un microcontrolador monolítico en este modo, se realizan sin un Bus de datos o direcciones externas. Presenta un máximo de 29 líneas de entrada/salida y dos puertos con tres líneas de control.

4.9 MAPA DE MEMORIA INTERNO.

Para la selección de un modo de operación en particular, se necesita conocer el mapa de memoria correspondiente y además es necesario tener un buen conocimiento de los requerimientos del diseño.

El MC68701U4 puede proporcionar más de 64K Byte de espacio de direccionamiento, dependiendo del modo de operación, las 32 primeras localidades están reservadas para el área de registros internos, como se muestra en la tabla IV.III.

El mapa de memoria para el modo 7 lo podemos ver en la figura 4.19

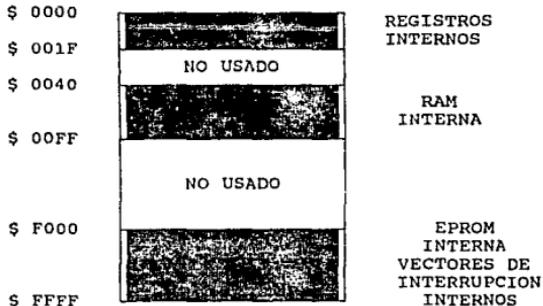


Fig. 4.19 Mapa de memoria modo 7.

Tabla IV.III Area de Registros Internos

REGISTROS	DIRECCION
Puerto 1 Registro de Dirección de Datos ***	00
Puerto 2 Registro de Dirección de Datos ***	01
Puerto 1 Registro de Datos	02
Puerto 2 Registro de Datos	03
Puerto 3 Registro de Dirección de Datos ***	04*
Puerto 4 Registro de Dirección de Datos ***	05**
Puerto 3 Registro de Datos	06*
Puerto 4 Registro de Datos	07**
Control de Timer y Estado de Registro	08
Contador (Byte alto)	09
Contador (Byte bajo)	0A
Registro de Comparación de Salida (Byte alto)	0B
Registro de Comparación de Salida (Byte bajo)	0C
Registro de Captura de Entrada (Byte alto)	0D
Registro de Captura de Entrada (Byte bajo)	0F*
Rango y Registro de Control de Modo	10
Control Tx/Rx y Estado de Registro	11
Registro de Recepción de Datos (Rx)	12
Registro de Transmisión de Datos (Tx)	13
Control de Registro de RAM	14
Contador de Dirección Alternativa (Byte alto)	15
Contador de Dirección Alternativa (Byte bajo)	16
Registro 1 de Control de TIMER	17
Registro 2 de Control de TIMER	18
Registro del Estado del TIMER	19
Registro 2 de Comparación de Salida (Byte alto)	1A
Registro 2 de Comparación de Salida (Byte bajo)	1B
Registro 3 de Comparación de Salida (Byte alto)	1C
Registro 3 de Comparación de Salida (Byte bajo)	1D
Registro 2 Entrada de Captura (Byte alto)	1E
Registro 2 Entrada de Captura (Byte bajo)	1F

* Dirección externa en modos 0, 1, 2, 3, 5 y 6 no pueden ser accesados en modo 5 (no IOS).

** Dirección externa en modos 0, 2 y 3.

*** Salida=1, Entrada=0.

4.10 INTERRUPCIONES DEL MC68701U4.

Una interrupción puede considerarse en general como un mecanismo con el cual se provee una "atención" a un dispositivo periférico.

La familia del M6801 soporta dos tipos de petición de interrupción: mascarable y no mascarable. Una interrupción no mascarable ($\overline{\text{NMI}}$), siempre es reconocida y ejecutada al término de la instrucción actual. Las interrupciones mascarables son controladas por la condición del registro de código de 1 Bit y por el Bit de habilitación individual. El Bit 1, controla todas las interrupciones mascarables, de las cuales existen dos tipos: $\overline{\text{IRQ1}}$ y $\overline{\text{IRQ2}}$. El Timer programable y la interfase de comunicación serial (SCI), utilizan la línea de interrupción externa $\overline{\text{IRQ2}}$, IS3 y dispositivos externos utilizan $\overline{\text{IRQ1}}$.

4.11 SOFTWARE.

INTRODUCCION.

En esta parte se describe el funcionamiento de la programación utilizada en el microprocesador, la cual permite calcular el nivel de líquidos.

4.12 ESTRUCTURA GENERAL.

El programa utilizado, se presenta en forma estructurada de la siguiente manera:

- 1.- Reservación de localidades de memoria e igualdades.
- 2.- Rutina de reestablecimiento (servicio de Reset).
- 3.- Rutina Principal.
- 4.- Rutinas de utilería.
- 5.- Interrupciones.

En el punto 1, el objetivo principal es reservar localidades de memoria en RAM, para que toda la información que se accese pueda ser procesada posteriormente.

En el punto 2, la rutina de reestablecimiento es una de las más importantes, ya que es una forma de establecer las condiciones iniciales del sistema.

Esta rutina sirve para configurar a todos los dispositivos internos y externos que deben ser inicializados, en nuestro caso, inicializa puertos, prueba y borra RAM interna, inicializa el apuntador STACK, programa TIMER y la Interfase de Comunicación Serial (SCI). El puerto 1 es programado como salidas, puerto 3 como salidas, puerto 4 como entradas, programa puerto 2, inicializa el apuntador de pila, inicializa el registro de comparación de salida del Timer, programa interrupción por captura y comparación de salida del Timer, programa velocidad y modo de la Interfase de Comunicación Serial (SCI), programa interrupción por recepción y habilita transmisión.

En el punto 3, es la parte fundamental del Software, ya que es aquí en donde se enviarán a ejecutar las rutinas de utilería para la realización de todas las actividades que desempeñará el equipo.

La Rutina Principal, transmite información a la unidad local inteligente (ULI), procesa la información recibida a través del sensor ultrasónico y de temperatura, revisa si hubo lectura del Timer para transmitir la información, lee el puerto 1, recibe dato y lo guarda, calcula temperatura, leyendo dato del timer, borra y prueba localidades de RAM interna, lee del Timer 256 lecturas, se eliminan 32 mayores y 32 menores, promediando 192.

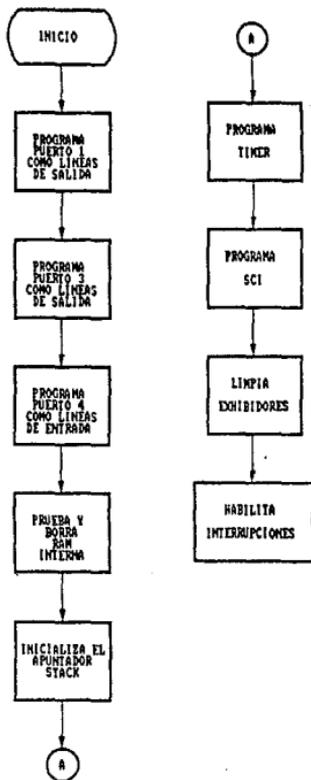
En el punto 4, rutinas de utilería, se presentan las secuencias que deben de seguirse para el cálculo de cada una de las variables.

En el punto 5, el servicio de interrupciones se puede considerar como un mecanismo con el cual se provee una "atención" a un dispositivo periférico.

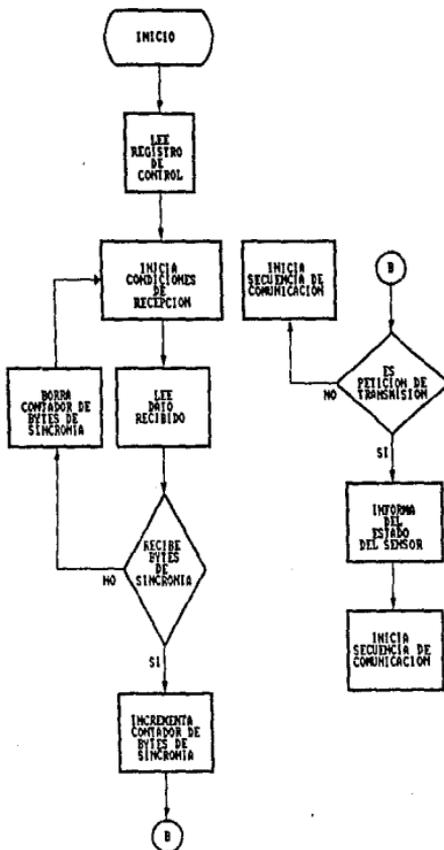
4.12.1 PROGRAMA DEL MEDIDOR DE NIVEL.

En las siguientes paginas se muestran los diagramas de flujo de las rutinas utilizadas por el microcontrolador.

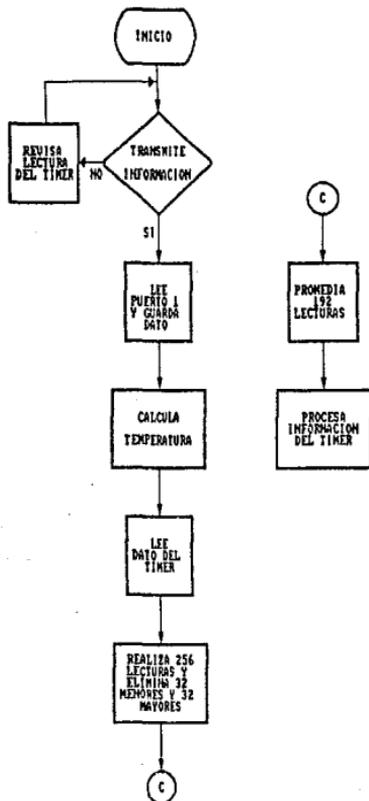
SERVICIO DE RESET



RUTINA DE SERVICIO A LA INTERFASE DE COMUNICACION SERIAL



RUTINA PRINCIPAL



4.13 EXHIBIDORES.

El exhibidor utilizado para el despliegado del valor del nivel, se encuentra formado por 6 exhibidores de siete segmentos de alta eficiencia. Además del despliegado del valor del nivel, es posible obtener el valor de la temperatura del transductor térmico, ubicado en un costado del transductor ultrasónico.

Su funcionamiento es controlado básicamente por el microcontrolador MC68701-L1, el cuál es el encargado de regular las acciones de la lectura de despliegue del valor del nivel. El microcontrolador recibe los datos a través de un buffer inversor, el cual cumple con una doble función, la de acondicionar la señal recibida por el microcontrolador y la de proteger a éste en caso de alguna anomalía en la transmisión, realizando así la función de acoplador. Los datos recibidos por el microcontrolador, son acomodados y enviados otra vez por el puerto 3 al manejador de exhibidores, el microcontrolador también se encarga de archivar el funcionamiento, así como de la operación de escritura en los exhibidores y la selección de cada uno de estos.

El MM74C912 es el manejador de exhibidores, encargado de recibir los datos enviados por el microcontrolador, los cuales se encuentran en código BCD y son transformados a código binario, éste código es enviado a los segmentos de los

exhibidores para su activación. Los exhibidores utilizados son del tipo HDSP3903, los cuales son exhibidores de siete segmentos y punto decimal de ánodo común. Para su activación y desactivación, el manejador manda niveles altos y bajos a los ánodos de cada uno de los exhibidores, por medio de transistores del tipo NPN, los cuales proporcionan la corriente necesaria para la iluminación de los segmentos, para este fin se utiliza el circuito integrado CA3081, el cual contiene un arreglo de transistores tipo NPN de emisor común.

El exhibidor despliega el valor de la medición, presentando dos números enteros y tres fraccionados XX.XXX.

La comunicación entre el microcontrolador del exhibidor y del sensor se lleva a cabo en forma serial a través de los pines 11 y 12. El diagrama eléctrico de los exhibidores lo podemos ver en la figura 4.16.

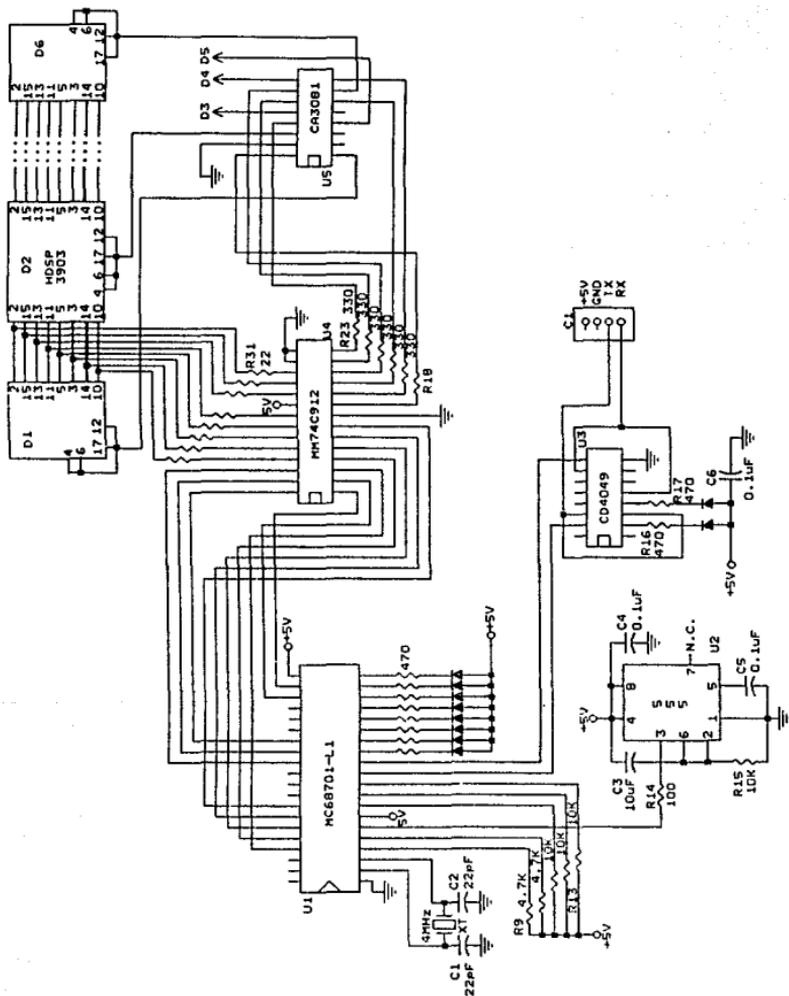


Fig. 4.16 Exhibidores.

4.14 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

En el diseño de este equipo es muy importante la distribución de las tarjetas electrónicas de circuito impreso, en el caso de las fuentes de alimentación utilizamos pistas gruesas para la conexión de la tierra eléctrica de los componentes electrónicos, así como en la parte de la fuente que maneja alto voltaje, esto se realizó con el fin de eliminar lo más posible las señales indeseables (ruido eléctrico) para lograr el correcto funcionamiento de las diferentes partes electrónicas.

En la tarjeta electrónica de circuito impreso empleada en la etapa de transmisión, se tuvo el cuidado de separar por un lado todos los componentes que están trabajando con alto voltaje, también se utilizaron pistas gruesas para lograr una mejor conexión entre ellos.

En la tarjeta de circuito impreso de la etapa de recepción se tuvo el cuidado de mantener blindada y aterrizada toda la tarjeta para evitar la inducción de ruido eléctrico lo más posible.

En la etapa de acondicionamiento, digitalización y exhibidores se realizó la distribución de componentes sin ningún problema de señales indeseables.

CAPITULO V
ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCION.

Como se mencionó en el capítulo III, en la actualidad existen diversas formas para medir el nivel de líquidos, dependiendo de la exactitud, de la velocidad para obtener la medición, del tipo de recipiente, ya sea abierto o cerrado, de su temperatura, de su presión, etc., implicará la adecuada selección del instrumento para realizar la medición del nivel.

Este método no-invasivo de medición, ha resultado ser bastante adecuado, y por ello se han realizado una serie de pruebas experimentales, para posteriormente compararlas con datos teóricos, se tomaron 15 lecturas en cada caso.

5.2 MEDICION DE VELOCIDADES SONICAS.

Para obtener la velocidad del sonido en forma experimental, en diversos materiales, se utilizaron espesores de materiales con una cierta longitud.

Con la ayuda de un osciloscopio digital de rayos catódicos, se midió el tiempo desde el pulso de transmisión, hasta el primer eco, debido a la interfase solido-aire, haciendo uso de la fórmula:

$$V=D/T$$

donde:

V = Velocidad del sonido [mm/ μ seg].

D = Distancia que recorre el sonido [mm].

T = Tiempo en que tarda en viajar la señal hasta el primer eco debido al límite del acero [μ seg].

Los resultados obtenidos fueron:

T = 17.3612 [μ seg].

D = 100 [mm]. ; V = 5.7599 [mm/ μ seg].

En la segunda medición se utilizó un espesor de aluminio de 50 mm de longitud, los datos obtenidos fueron:

T = 7.9718 [μ seg].

D = 50 [mm]. ; V = 6.2721 [mm/ μ seg].

En la tercera medición se utilizó un espesor de hierro de 200 mm de longitud, los datos obtenidos fueron:

T = 33.8361 [μ seg].

D = 200 [mm]. ; V = 5.9108 [mm/ μ seg].

Con la intención de presentar en forma más clara los datos obtenidos en forma experimental, se hace una comparación con datos teóricos, esto se puede ver en la tabla 5.1.

MATERIAL	VELOCIDAD EXPERIMENTAL [mm/ μ seg]	VELOCIDAD TEORICA [mm/ μ seg]	% ERROR
ACERO INOXIDABLE	5.7599	5.790	-0.51
ALUMINIO	6.2721	6.383	-1.73
HIERRO	5.9108	5.960	-0.82

TABLA 5.1

Así como se hizo un análisis para determinar la velocidad del sonido en materiales sólidos, también se hizo para algunos líquidos, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

La primera medición se realizó en un recipiente de acero inoxidable de 1/2" de espesor y con agua a 20° C, con la ayuda del osciloscopio logramos observar dos ecos, el primero es producido por la interfase sólido-fluido y el segundo es por la interfase fluido-aire, el cual es de mayor magnitud.

Para obtener la velocidad del sonido en el agua, se llenó el recipiente a 50 mm de nivel, se midió el tiempo que tarda la señal ultrasonica desde el primero hasta el segundo eco, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$T = 32.8947 \text{ } [\mu\text{seg}].$$

$$D = 50 \text{ } [\text{mm}]. \quad ; \quad V = 1.52 \text{ } [\text{mm}/\mu\text{seg}].$$

El segundo liquido de prueba utilizado fue el diesel y los resultados fueron:

$$T = 38.6 \text{ } [\mu\text{seg}].$$

$$D = 50 \text{ } [\text{mm}]. \quad ; \quad V = 1.2953 \text{ } [\text{mm}/\mu\text{seg}].$$

El tercer liquido de prueba fue aceite automotriz del tipo SAE 20 y los resultados fueron:

$$T = 26.223 \text{ } [\mu\text{seg}].$$

$$D = 50 \text{ } [\text{mm}]. \quad ; \quad V = 1.906 \text{ } [\text{mm}/\mu\text{seg}].$$

En la tabla 5.2 se muestra una comparación con los datos teóricos.

MATERIAL	VELOCIDAD EXPERIMENTAL [mm/ μ seg]	VELOCIDAD TEORICA [mm/ μ seg]	% ERROR
AGUA (20°C)	1.52	1.498	+1.44
DIESEL	1.2953	1.25	+3.49
ACEITE SAE 20	1.906	1.74	+8.71

TABLA 5.2

Las velocidades obtenidas experimentalmente son valores que pueden variar, debido a diferentes causas, como su composición, orientación cristalográfica, porosidad ó temperatura. Por lo tanto, para obtener una exactitud mayor se deben de realizar varias pruebas en el material.

Como puede observarse en las Tablas 5.1 y 5.2, se muestran las velocidades obtenidas con el medidor de nivel en algunos materiales, los resultados son muy aproximados a los datos teóricos. La diferencia se debe a las condiciones del laboratorio y a características propias de los materiales arriba mencionadas.

Algunas de las características que presentó este equipo son: su rango de medición sin presentar señales distorsionadas en aceros fué aproximadamente 0.05 a 100 mm, en plásticos fué de 0.012 a 100 mm y en líquidos fué de 0.03 a 2000 mm.

Este rango puede variar en algunos materiales debido a las condiciones de la superficie y a la selección del transductor, su exactitud se ha estimado en ± 0.01 mm, puede operar sin presentar mucha variación en un rango de temperatura de 0°C a 50°C , los transductores de contacto apropiados para un adecuado funcionamiento deben encontrarse entre 500 Khz y 20 Mhz.

La Tabla 5.3 muestra valores apropiados para la frecuencia y el diámetro del transductor, dependiendo del espesor y del tipo de material.

FRECUENCIA (MHZ)	DIAMETRO (IN)	RANGO DE ESPESOR	
		ACERO (IN)	PLASTICOS (IN)
5.0	0.5	0.05-10	0.025-5.0
10.0	0.25	0.02-10	0.010-2.0
20.0	0.125	0.02-1.0	0.005-0.3

TABLA 5.3

**5.3 COSTO APROXIMADO DEL MEDIDOR DE NIVEL ULTRASONICO
NO-INVASIVO PARA LIQUIDOS LIMPIOS.**

Las partes con las que cuenta este medidor de nivel ultrasonico no-invasivo para líquidos limpios son basicamente tarjetas de circuito impreso y componentes electrónicos, para dar una explicación clara se presenta la información en las siguientes tablas:

SECCION	DESCRIPCION	COSTO (USD)
ETAPA DE TRANSMISION.		
HARDWARE	EN ESTA SECCION QUEDAN COMPRENDIDOS TODOS LOS COMPONENTES DEL APENDICE A	30
TRANSDUCTOR ULTRASONICO Y DE TEMPERATURA	TRANSDUCTORES ULTRASONICOS DE 1MHZ, 1.5MHZ, 2.5MHZ, CABLE COAXIAL 3 m 1 TRANSDUCTOR DE TEMPERATURA, MATERIAL ACOPLANTE.	500
TARJETA DE TRANSMISION	COMPRENDE LA TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO.	25

SECCION	DESCRIPCION	COSTO (USD)
ETAPA DE RECEPCION.		
HARDWARE	EN ESTA SECCION QUEDAN COMPRENDIDOS TODOS LOS COMPONENTES DEL APENDICE B	35
BLINDAJE	EN ESTA SECCION SE CONSIDERA UN BLINDAJE DE ALUMINIO.	20
TARJETA DE RECEPCION	COMPRENDE LA TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO.	25
ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO.		
HARDWARE	EN ESTA SECCION QUEDAN COMPRENDIDOS TODOS LOS COMPONENTES DEL APENDICE C	50
TARJETA DE ACOND.	COMPRENDE LA TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO.	25
ETAPA DE EXHIBIDORES.		
HARDWARE	EN ESTA SECCION QUEDAN COMPRENDIDOS TODOS LOS COMPONENTES DEL APENDICE D.	20
TARJETA DE EXHIBIDOR	ESTA SECCION COMPRENDE LA TARJETA DE EXHIBIDOR DE DATOS.	25
ETAPA DE DIGITALIZACION.		
HARDWARE	EN ESTA SECCION QUEDAN COMPRENDIDOS TODOS LOS COMPONENTES DEL APENDICE E.	10
TARJETA DE DIGITALIZACION	ESTA SECCION COMPRENDE LA TARJETA DE DIGITALIZACION.	25
ETAPA DE FUENTES DE ALIMENTACION.		
HARDWARE	EN ESTA SECCION QUEDAN COMPRENDIDOS TODOS LOS COMPONENTES DEL APENDICE F.	25

FUENTE DE
ALIMENTACION

ESTA FUENTE PROPORCIONA VOLTAJES DE
+5, +18, +6, -6, +420 VOLTS. DE C.D.,
SIENDO ALIMENTADO POR 127 V C.A.

45

GABINETE.

GABINETE

ESTA SECCION COMPRENDE EL GABINETE, LA
TORNILLERIA Y FIJACIONES UTILIZADAS
ASI COMO LOS CONECTORES.

85

T O T A L

945

5.4 CONCLUSIONES.

La medición de nivel de líquidos, utilizando el principio ultrasónico ha resultado ser un método muy confiable, veloz y preciso, ya que la forma de operación es sencilla y su mantenimiento es mínimo.

En México, el uso del ultrasonido para la medición de nivel, prácticamente es nuevo, ya que esta área de la ingeniería no ha sido explotada adecuadamente. Este diseño, sienta las bases necesarias para trabajar el ultrasonido en aplicaciones industriales, tal como en la medición de espesores, flujo de fluidos, temperatura, etc., ya que el principio de operación es muy similar.

El empleo de un microcontrolador en este diseño, ha permitido que el equipo pueda tener diversas aplicaciones, así como de mejorarlo, se le puede agregar un teclado para entrada de datos a través del puerto 4.

APENDICES

A P E N D I C E A

COMPONENTES DE LA ETAPA DE TRANSMISION ANALOGICA.

RESISTENCIAS: [Ω]	CAPACITORES [μF]
R1 47 1/2 W	C1 4.7 63V ELECTROLITICO
R2 100 1/2 W	C2 0.022 250V POLIESTER
R3 20K 1/2 W	C3 0.022 250V POLIESTER
R4 47 1/2 W	C4 0.01 500V POLIESTER
R5 62 1/2 W	C5 510 pF 500V MICA PLATA
R6 220 1/2 W	C6 100 pF 400V CERAMICO
R7 100 1/2 W	C7 100 pF 400V CERAMICO
R8 10K 1 W	C8 100 pF 400V CERAMICO
R9 390K 1 W	C9 1000 pF 63V CERAMICO
R10 100 1/2 W	C10 4.7 63V ELECTROLITICO
R11 100 1/2 W	C14 300 pF 500V MICA PLATA
R12 1.5M 1/2 W	C15 1800 pF 400V CERAMICO
R13 15K 1/2 W	C16 100 pF 400V CERAMICO
R14 5.6K 1/2 W	C17 100 pF 400V CERAMICO
R15 47 1/2 W	C18 1 nF 100V POLIESTER
R16 1.5M 1/2 W	C19 1 nF 100V POLIESTER
R17 1.5M 1/2 W	
R18 5.6 1/2 W	
R19 10 1/2 W	
R20 100 1/2 W	
R21 1.5M 1/2 W	
P1 500K 1/2 W	Q1 2N2646 UJT Q3 106D1
R22 10 1/2 W	Q2 MJ13004 Q4 106D1
R23 10K 1/2 W	CR1 1N4148 Q5 106D1
R24 10K 1/2 W	CR2 1N4148 Q6 106D1
R25 110 1/2 W	CR3 1N4148 U1 CD4098
R26 820 1/2 W	CR4 1N4148
P3 10K 1/2 W	CR5 1N4148
P4 10K 1/2 W	CR6 1N4148
	CR7 1N4148

TRANSISTORES, DIODOS, C.I.'S, SCR'S

A P E N D I C E B

COMPONENTES DE LA ETAPA DE RECEPCION ANALOGICA.

RESISTENCIAS: [Ω]

R20	499	1/8	
R21	75	1/2	W
R22	27	1/2	W
R23	18	1/2	W
R24	100K	1/2	W
R26	18	1/2	W
R28	1K	1/2	W
R29	100K	1/2	W
R30	75K	1/2	W
R31	150	1/2	W
R32	1.2K	1/2	W
R33	220	1/2	W
R34	220	1/2	W
R37	680	1/2	W
R38	18	1/2	W
R39	200	1/2	W
R40	3.3K	1/2	W
R42	18	1/2	W
R43	510	1/2	W
R44	18	1/2	W
R45	68	1/2	W
R46	3.3K	1/2	W
R47	4.7	1/2	W
R48	4.7	1/2	W
R49	46	1/2	W
R50	100K	1/2	W

CAPACITORES [μF]

C17	10	nF	64V
C18	4.7		35V
C19	10	nF	63V
C22	15		20V
C23	15		20V
C24	100		6V
C25	15		20V
C26	15		20V
C27	10	nF	63V
C30	16		20V
C31	10	nF	63V
C32	15		20V
C33	15		20V
C35	15		20V
C36	510	pF	400V
C37	15		20V
C38	100		.6V
C39	100		6V
C40	10	nF	63V
C41	15		20V

CIRCUITOS INTEGRADOS

Q6	MPSH10	NPN
Q7	U431	JFET DUAL
Q8	MPSH10	NPN
Z1	NE592N	AMPLIFICADOR DE VIDEO
Q9	2N3904	NPN
Q10	2N3906	PNP

A P E N D I C E C

COMPONENTES DE LA ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO.

RESISTENCIAS: [Ω]

P2A 200
 P2B 220
 R5V 330
 R9 10K
 R10 100
 R11 4.7K
 R12 4.7K
 R21 10K
 R22 100K
 R23 20K
 R24 100K
 R25 20K
 R26 27K
 R27 1K
 R28 8.2K
 R29 100K
 R30 100K
 R31 100K
 R32 100K
 R33 100K
 R34 390K
 R35 182K
 R36 182K
 R37 182K
 R38 39.2
 R39 270
 R40 182K

CAPACITORES [μF]

C1 22pF CERAMICO
 C2 22pF CERAMICO
 C3 10 TANTALIO
 C4 0.1 TANTALIO
 C5 0.1 TANTALIO
 C6 0.1 TANTALIO
 C7 1nF MAYLAR
 C8 10nF TANTALIO

CIRCUITOS INTEGRADOS

U1 MC68701-U4
 U2 LM555
 U3 ADC0820
 U4 LM312H
 U5 74LS05
 U6 74LS245
 U7 4066
 U8 MC1408
 U9 LM358

A P E N D I C E D

COMPONENTES DE LA ETAPA DE EXHIBIDORES.

RESISTENCIAS:
[Ω]

R1 470
 R2 470
 R3 470
 R4 470
 R5 470
 R6 470
 R7 470
 R8 470
 R9 4.7K
 R10 4.7K
 R11 10K
 R12 10K
 R13 10K
 R14 100
 R15 10K
 R16 470
 R17 470
 R18 330
 R19 330
 R20 330
 R21 330
 R22 330
 R23 330
 R24 22
 R25 22
 R26 22
 R27 22
 R28 22
 R29 22
 R30 22
 R31 22

CAPACITORES
[μF]

C1 22pF
 C2 22pF
 C3 10
 C4 0.1
 C5 0.1
 C6 0.1

DIODOS

D1-D10 LED'S

CIRCUITOS INTEGRADOS

U1 MC68701-L1
 U2 LM555
 U3 CD4049
 U4 MM74C912
 U5 CA3081
 D1-D6 HDSP3903

A P E N D I C E E

COMPONENTES DE LA ETAPA DE DIGITALIZACION.

RESISTENCIAS: [Ω]

R1 2.7K
R2 1.2K
R3 390
R4 10
R5 10K
R6 820
R7 8.2K
R8 8.2K
P1 10K
P2 100

CAPACITORES [μ F]

C1 1nF/63V
C2 1nF/63V
C3 1nF/63V

INTEGRADOS

U1 LF357N
U2 LM301AH
U3 MC14093B
U4 CD4081BCN
U5 SN74HC32N
U6 HCF4013BE
U7 HCF4098BE
U8 HCF4098BE

A P E N D I C E F

COMPONENTES DE LA ETAPA DE FUENTES DE ALIMENTACION.

RESISTENCIAS:		CAPACITORES	
[Ω]		[μF]	
R1	10K 1W	C1	1000/ 35V ELECTROLITICO
		C2	44/ 15V TANTALIO
		C3	1000/ 35V ELECTROLITICO
		C4	15/ 15V TANTALIO
		C5	330/ 35V ELECTROLITICO
		C6	4.7/ 35V TANTALIO
		C7	1000/ 35V ELECTROLITICO
		C8	44/ 15V TANTALIO
		C9	4.7/450V ELECTROLITICO
		C10	4.7/450V ELECTROLITICO
P1, P2, P3	1N4002	PUENTE DE DIODOS	
P4	1N4007	PUENTE DE DIODOS	
F1	250V	3 AMP	FUSIBLE
Z1	HC78H06CP	REGULADOR DE VOLTAJE	
Z2	HC79H06CP	REGULADOR DE VOLTAJE	
Z3	HC78K18CP	REGULADOR DE VOLTAJE	
Z4	HC78H05CP	REGULADOR DE VOLTAJE	

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

W.P. MASON, PHYSICAL ACOUSTICS AND THE PROPERTIES OF SOLIDS, D. VAN NOSTRAND Co. NEW YORK, 1958.

E.P. PAPADAKIS, PANAMETRICS-UNPUBLISHED NOTES, 1972.

JULIAN R. FREDERICKS, ULTRASONIC ENGINEERING, JOHN WILEY & SONS Inc, NEW YORK, 1965.

D.L. FOLDS, "EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ULTRASONIC WAVE VELOCITIES IN PLASTICS, ELASTOMERS, AND SYNTACTIC FOAM AS A FUNCTION OF TEMPERATURE", NAVAL RESEARCH AND DEVELOPMENT LABORATORY, PANAMA CITY, FLORIDA, 1971.

HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS, CHEMICAL RUBBER Co., CLEVELAND, OHIO, 1963.

ULTRASONIC TESTING OF MATERIALS

JOSEF KRAUTKRÄMER, HERBERT KRAUTKRÄMER, SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG NEW YORK, 1983, THIRD EDITION.

ULTRASONIC METHODS OF TESTING MATERIALS

LESZEK FILIPCZYNSKI, ZDZISŁAW PAWLOWSKI, JERZY WEHR LONDON BUTTERWORTHS, 1966.

AKELEY, L.T. "EIGHT WAYS TO MEASURE LIQUID LEVEL". CONTROL ENGINEERING, MAY 1973.

MC6801 8-BIT SINGLE-CHIP MICROCOMPUTER, REFERENCE HANDBOOK-MOTOROLA MOTOROLA Inc., 1984.

HANDBOOK MICROPROCESSOR DATA MOTOROLA 1986.

THE TTL DATA BOOK
TEXAS INSTRUMENTS, 1976.

HANDBOOK LOGIC DATABOOK VOL. 1
NATIONAL SEMICONDUCTOR, 1984

HANDBOOK LINEAR DATA BOOK VOL. 1
NATIONAL SEMICONDUCTOR, 1980.

HANDBOOK LINEAR DATA BOOK VOLUMEN 2
NATIONAL SEMICONDUCTOR, 1980.

TOWER'S INTERNATIONAL TRANSISTOR SELECTOR
T.D. TOWERS, THIRD EDITION, 1982.

INTEGRATE CIRCUITS
MOTOROLA LINEAR VOL. 007.