

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL CAPACITIVO

JULIETH ANDREA ARCOS MONTEZUMA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
2010**

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL CAPACITIVO

JULIETH ANDREA ARCOS MONTEZUMA

PROYECTO DE GRADO

**JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
2010**

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, 03 de Agosto de 2010

DEDICATORIA

A mis padres: Carlos Arcos y Luz Montezuma.

A mis amigos

Julieth Andrea Arcos M.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor e ingeniero electrónico Juan Carlos Mantilla Saavedra, Director del Proyecto, por su constante apoyo y estímulo.

Al profesor e Ingeniero Juan Carlos Villamizar por su colaboración y asesorías.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCION.....	1
1. VARIABLE PRIMARIA NIVEL.....	2
1.1 TIPOS DE MEDIDORES Y UNIDADES DE MEDICION.....	2
1.2 APLICACIONES.....	2
1.2.1 Medición de nivel de sólidos.....	2
1.2.2 Medición de nivel de líquidos.....	3
1.3 TECNOLOGIAS APLICADAS PARA LA MEDICION DE NIVEL EN SOLIDOS Y EN LIQUIDOS.....	3
1.3.1 Medidor de sonda y medidor de cinta métrica.....	4
1.3.2 Medidores de nivel tipo flotador.....	4
1.3.3 Medidor nivel de cristal.....	5
1.3.4 Medidor de presión hidrostática.....	6
1.3.5 Medidor manométrico.....	7
1.3.6 Medidor de nivel tipo burbujeo.....	8
1.3.7 Medidor conductivo.....	8
1.3.8 Medidor de capacidad.....	8
1.3.9 Medidor de Nivel Ultrasónico.....	9
1.3.10 Medidor de Nivel de radiación.....	11
1.3.11 Medidor de nivel láser.....	12

1.3.12 Medidor de nivel de radar.....	13
1.3.13 Medidor radar de onda guiada.....	14
1.3.14 Medidor de diafragma.....	15
1.3.15 Medidor de cono suspendido	15
1.3.16 Medidor de varilla flexible.....	16
1.3.17 Medidor de paletas rotativas.....	16
1.3.18 Medidor de nivel de sondeo electromecánico.....	17
1.3.19 Medidor de Nivel de Báscula.....	18
1.3.20 Medidor de diapasón.....	18
1.4 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MEDICION.....	19
2. MEDIDOR DE NIVEL CAPACITIVO.....	20
2.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN (TIPOS).....	20
2.2 CONSTRUCCION DEL MEDIDOR DE NIVEL CAPACITIVO.....	20
2.2.1 Diseño e implementación del sensor.....	20
2.2.2 Diseño e implementación del Transmisor e indicador de nivel.....	29
2.2.3 Caracterización del instrumento.....	40
3. MODULO DE PROCESO PARA LA MEDICION DE NIVEL.....	43
3.1 Diseño del tanque.....	43
3.2 Diseño del cabezal.....	44
3.3 Diseño de la fuente	47
3.4 Diseño de tarjetas (PCBs).....	47

4. RECOMENDACIONES.....	50
5. CONCLUSIONES.....	51
6. REFERENCIAS	53
7. ANEXOS (manual de fabricante).....	55

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Comparación entre las diferentes tecnologías para la Medición de nivel.....	19
Tabla 2. Valores de permitividad relativa.....	23
Tabla 3. Valores de capacitancia medidos con el Fluke.....	24
Tabla 4. Valores de capacitancia calculados con la ecuación 5.....	25
Tabla 5. Datos obtenidos con el primer método.....	26
Tabla 6. Datos obtenidos con el segundo método.....	28
Tabla 7. Voltajes de salida en el sensor.....	34
Tabla 8. Datos de la primera prueba.....	40
Tabla 9. Datos de la segunda prueba	41
Tabla 10. Datos de la tercera prueba	41
Tabla 11. Datos de la cuarta prueba	42
Tabla 12. Datos de la quinta prueba	42

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Medidor de sonda.....	4
Figura 2. Instrumentos de flotador.....	5
Figura 3. Medidor de cristal.....	6
Figura 4. Medidor de presión hidrostática.....	7
Figura 5. Medidor manométrico.....	7
Figura 6. Medidor de tipo burbujeo.....	8
Figura 7. Medidor conductivo.....	9
Figura 8. Medidor de capacidad.....	10
Figura 9. Medidor de nivel ultrasónico.....	11
Figura 10. Medidor de nivel de radiación.....	12
Figura 11. Medidor de nivel láser.....	13
Figura 12. Medidor de nivel de radar.....	14
Figura 13. Medidor de nivel de radar de onda guiada.....	14
Figura 14. Medidor de diafragma.....	15
Figura 15. Medidor de Cono suspendido.....	15
Figura 16. Medidor de Varilla flexible.....	16
Figura 17. Medición por paletas rotativas.....	17
Figura 18. Medidor de sondeo electromagnético o de peso móvil.....	17
Figura 19. Medidor de nivel de báscula.....	18
Figura 20. Medidor de nivel por diapason.....	18
Figura 21. Cilindro sólido interno.....	21

Figura 22.	Cilindro hueco externo.....	21
Figura 23.	O-Ring.....	21
Figura 24.	Elementos del sensor.....	22
Figura 25.	Medición de capacitancia con el Fluke.....	24
Figura 26.	Capacitancia hallada con la ecuación 5.....	25
Figura 27.	Frecuencia de corte de un filtro pasa bajas.....	26
Figura 28.	Medición de la frecuencia de corte en vacío.....	27
Figura 29.	Medición de la frecuencia de corte en 25 cm de nivel de agua.....	27
Figura 30.	Circuito para cargar y descargar un condensador.....	28
Figura 31.	Ejemplo de cómo hallar la constante τ	29
Figura 32.	Diagrama esquemático XR2206.....	30
Figura 33.	Puente de AC.....	31
Figura 34.	Modelo real del capacitor.....	31
Figura 35.	Oscilador Astable con LM555.....	32
Figura 36.	Oscilador de Colpitts.....	32
Figura 37.	Filtro Pasa bajas	33
Figura 38.	Conversión de señal alterna a continua.....	34
Figura 39.	Grafica de los voltajes de salida en el sensor.....	35
Figura 40.	Aproximación polinómica fragmentaria.....	37
Figura 41.	Diagrama de flujo del programa diseñado en Matlab.....	38
Figura 42.	Diagrama de flujo del programa diseñado con el microcontrolador.....	39
Figura 43.	Esquema de conexiones del DAC 908.....	40

Figura 44.	Altura y profundidad del tanque.....	43
Figura 45.	Anchura y grosor del tanque.....	43
Figura 46.	Elementos adicionales en el tanque.....	44
Figura 47.	Vista lateral del cabezal.....	45
Figura 48.	Vista frontal del cabezal.....	45
Figura 49.	Medidas internas del cabezal	46
Figura 50.	tapa del cabezal	46
Figura 51.	Diagrama esquemático de la fuente.....	47
Figura 52.	Tarjeta de la fuente.....	48
Figura 53.	Tarjeta generador y adquisición de señales.....	48
Figura 54.	Tarjeta del procesamiento con el microcontrolador y el DAC.....	49

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1.** Manual de usuario Transmisor de Nivel Capacitivo.
- ANEXO2.** Diagrama en bloques de la programación en el microcontrolador PIC16F873 A.
- ANEXO3.** Histéresis y repetibilidad del Transmisor de Nivel Capacitivo.

GLOSARIO

Capacitancia. Es un parámetro del capacitor que indica la capacidad de almacenamiento de carga que éste tiene y su unidad es el Faradio. Esta unidad es muy grande y para representar valores comerciales de este elemento se utilizan los submúltiplos del Faradio, como por ejemplo:

- El μF (microfaradio)
- El pF (picofaradio)
- El nF (nanofaradio) [20]

Capacitor. Se llama capacitor a un dispositivo que almacena carga eléctrica. El capacitor está formado por dos conductores próximos uno a otro, separados por un aislante, de tal modo que puedan estar cargados con el mismo valor, pero con signos contrarios. [21]

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Realizar el diseño y la construcción de un transmisor de nivel continuo para agua, de tecnología capacitiva, con indicador local.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Estudiar el estado del arte de las técnicas para la medición de nivel continuo de líquidos.

Diseñar el sensor de nivel capacitivo para agua.

Implementar el transmisor de nivel capacitivo con la señal de salida estandarizada de 4 a 20 mA e indicador local.

Desarrollar el manual de usuario y fabricante.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL CAPACITIVO

AUTOR(ES): JULIETH ANDREA ARCOS MONTEZUMA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA

DIRECTOR(A): JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

RESUMEN

En la industria existe una gran variedad de tecnologías cuyo fin es lograr medir la variable Nivel en líquidos y sólidos, entre ellas la tecnología capacitiva, que resulta ser la más conveniente por su construcción, bajo costo y su buena precisión. El transmisor de nivel capacitivo esta conformado en dos partes, la primer parte consiste en un sensor que es básicamente un capacitor variable y la segunda parte es la circuitería necesaria para captar y procesar la señal proveniente del sensor. Para la construcción del sensor se usa un capacitor elaborado con dos tubos conductores y un dieléctrico, su funcionamiento se basa en detectar el cambio de la capacitancia que depende de la alteración del nivel del dieléctrico (agua).

Con la implementación del transmisor de nivel capacitivo se logra medir el nivel de agua contenido en un tanque con una altura máxima de 25 cm, adicionalmente se genera una señal de corriente bajo el estándar de 4 a 20 mA, la cual es proporcional al nivel de agua existente dentro del tanque en todo momento. Finalmente se obtiene un instrumento de medición analógica capaz de medir y transmitir la variable nivel de agua contenida en un tanque.

PALABRAS CLAVE: Capacitor cilíndrico, transmisor de nivel, medición de nivel

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CAPACITANCE LEVEL TRANSMITER

AUTHOR(S): JULIETH ANDREA ARCOS MONTEZUMA

DEPARTAMENT: ELECTRONIC ENGINEERING

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

ABSTRACT

In the industry there is a wide range of technologies that are designed to sense the level on solids and liquids. The capacitive technology is one of those technologies and It becomes in the better choose to sense the level variable given that It is a low-cost and good accuracy method. The capacitive level transmitter is comprised of two parts, the first part consists of a sensor that is basically a variable capacitor and the second part is the hardware needed to capture and process the signal from the sensor.

For the sensor implementation, It is used a cylindrical-kind capacitive that is built from two conductors tubes one inside the other. Its functionality is based on the detection of changes on the capacitance. Due that the changes in the amount of dielectric increase or decrease the electric field between the tubes.

Trough the implementation of the capacitive level sensor it is possible to know the water level inside of the tank with 25 cm of high, apart from generate a current signal under the range of 4 to 20 mA that is proportional to the water level all time.

KEYWORDS: Cylindrical Capacitor, level transmitter, level measurement

V° B° THESIS DIRECTOR

INTRODUCCION

En la industria existe una gran variedad de tecnologías cuyo fin es lograr medir la variable Nivel en líquidos y sólidos, entre ellas la tecnología capacitiva, el Transmisor de nivel capacitivo es un instrumento de medición con funciones y características establecidas por el tipo de elemento a medir.

En el presente proyecto se diseña e implementa un transmisor de nivel capacitivo cuyas funciones son, registrar la altura de agua dentro de un tanque, la construcción física del transmisor se diseña para medir un rango máximo de 20 centímetros de agua, delimitados desde 5 centímetros a partir del fondo del tanque hasta 25 centímetros de llenado máximo. Además, se genera una señal en corriente con el estándar de 4 a 20 [mA] proporcional al cambio de nivel, dicha señal se encuentra presente en los conectores externos del prototipo final, permitiendo su rápido acceso y fácil medición.

Las características del Transmisor construido están determinadas por el tipo de sensor que se utiliza para captar el nivel del fluido, por los circuitos electrónicos diseñados para detectar y modificar la señal proveniente del sensor. El sensor es la construcción de un capacitor cilíndrico que consta de dos piezas, un cilindro metálico y un tubo metálico, el cilindro se encuentra centrado dentro del tubo por la acción de dos O-Rings de goma que impiden su desplazamiento. Dentro de los circuitos electrónicos con que consta el diseño final están, un generador de señal senoidal de voltaje para alimentar el sensor, un convertidor de señal alterna a directa aplicado en la salida del sensor, una fuente de poder con salida de voltaje DC para alimentación del transmisor, el circuito de procesamiento de señal basado en un microcontrolador PIC de 8 bits y un módulo de conversión de señal digital a señal analógica con salida en corriente de 0 a 20 mA (DAC).

En la primer parte de este documento se hace una recopilación acerca de las diferentes tecnologías para medir nivel, en la segunda parte se describe la construcción e implementación del transmisor de nivel capacitivo (prototipo), en la tercera parte se describe la construcción del modulo para realizar la medición (fuente de alimentación, tarjetas o PCBs tanque, electro bombas, y diseño de las carcasas), en la cuarta, quinta y sexta parte se escriben las recomendaciones, las conclusiones, y las referencias bibliográficas y en la séptima parte se presenta el manual de fabricante.

1. VARIABLE PRIMARIA NIVEL

El termino nivel hace alusión a la altura que posee un producto sólido o líquido contenido en un tanque, además, la medición del nivel ayuda en la determinación de la cantidad de producto contenido en dicho recipiente.

1.1 TIPOS DE MEDIDORES Y UNIDADES DE MEDICION

Los medidores se pueden clasificar de dos formas, la primera es por los tipos de nivel, líquidos ó sólidos. Y la segunda tiene relación con la forma de medición que el aparato de medida posea, es decir, si se miden de forma análoga o discreta, en este caso habría medidores de nivel continuos y medidores de nivel discretos (digitales).

Como se había mencionado anteriormente el nivel hace referencia a una altura, por este motivo en la medición de nivel de sólidos y líquidos se usan las unidades de distancia, Sin embargo para estandarizar la medida se crea un porcentaje de nivel en donde los valores de menor y mayor valor equivalen al cero y al 100 por ciento de nivel respectivamente.

Adicionalmente se puede hallar indirectamente la cantidad de material, volumen, caudales de entrada o salida del contenedor de fluido al que se le mide el nivel, si se aplica la ecuación correspondiente a cada caso.

1.2 APLICACIONES

La medición de nivel es muy importante en los procesos industriales porque brinda una información acerca de La cantidad de material almacenado en un contenedor, al poseer estos datos, se pueden realizar diversas operaciones para lograr un funcionamiento apropiado en cualquier procedimiento industrial.

1.2.1 Medición de nivel en sólidos: debido a las necesidades industriales se han desarrollado instrumentos que emplean dos clases de medición, la primera es la medición en puntos fijos que brinda una medición entre uno o mas puntos fijos

definidos y la segunda es la medición en forma continua que provee una medida continua del nivel desde el punto mas bajo hasta el punto más alto.

Existe una gran variedad de instrumentos para medir el nivel en sólidos, por esta razón hay que considerar algunos aspectos del proceso de llenado tales como el tamaño del sólido, la posición del sólido al caer al tanque, es decir, si el llenado es horizontal o irregular y algunas alteraciones como el levantamiento de polvo.

1.2.2 Medición de nivel en líquidos: la medida en un líquido puede realizarse de cuatro formas. La primera midiendo directamente la altura de líquido, la segunda midiendo la presión hidrostática, la tercera midiendo el desplazamiento obtenido de un flotador y la cuarta medida beneficiándose de las propiedades eléctricas del líquido.

Para escoger un método de medida es indispensable conocer las propiedades del líquido como la viscosidad, densidad y ductilidad. También es importante estimar si el líquido es corrosivo, si tiene sólidos en suspensión, si es turbulento o si genera espumas en la superficie.

1.3 TECNOLOGIAS APLICADAS PARA LA MEDICION DE NIVEL EN SOLIDOS Y LIQUIDOS

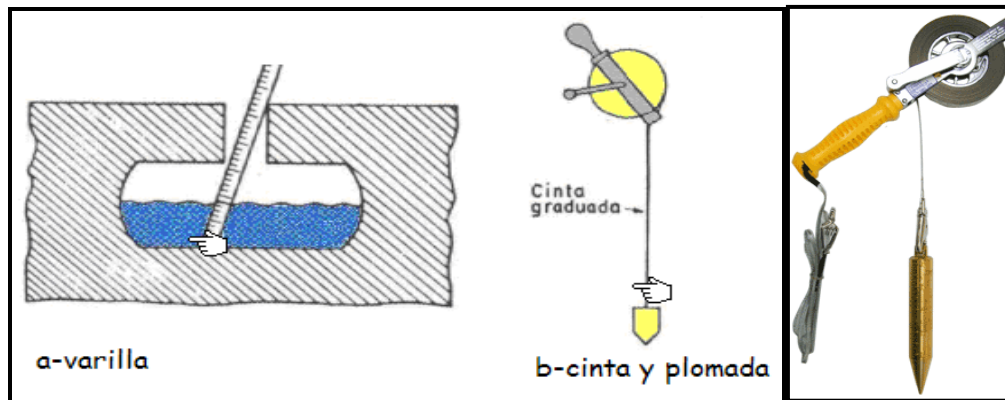
Entre los medidores de nivel sólido se encuentran dos categorías, la primera categoría es medidores de nivel de punto fijo, dentro de ésta se encuentran: el detector de diafragma, el cono suspendido, la varilla flexible, el medidor conductivo, el medidor capacitivo y las paletas rotativas. La segunda categoría es medidores de nivel continuo, dentro de ésta se encuentran: medidor de sondeo electromecánico o de peso móvil, medidor de nivel de bascula, medidor de nivel capacitivo, medidor de nivel de presión diferencial, medidor de nivel ultrasónicos y medidor de nivel de radiación.

Entre los medidores de nivel líquido se encuentran tres categorías, la primera son los instrumentos de medida directa dentro de ésta se encuentran: el medidor de sonda, el medidor de nivel de cristal, y los medidores tipo flotador. La segunda categoría son los instrumentos que miden beneficiándose de la presión hidrostática dentro de estos instrumentos se encuentran: el medidor manométrico, el medidor de membrana, el medidor tipo burbujeo, y el medidor de presión diferencial tipo diafragma. Y la tercera categoría son los instrumentos que aprovechan las características eléctricas del líquido como el medidor resistivo, el medidor conductivo, el medidor capacitivo, el medidor de radiación, el medidor de láser, y el medidor de radar.

1.3.1 Medidor de sonda y medidor de cinta métrica: el medidor de sonda representado en la figura 1 a consiste en una varilla o regla graduada. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. El medidor de cinta métrica, representado en la figura 1 b se emplea cuando es difícil que la regla graduada tenga acceso al fondo del tanque. [1]

La cinta métrica es el instrumento patrón para la medida de nivel. Con base en este instrumento se realiza caracterización de un tanque, basándose en el nivel para la determinación del volumen del mismo. [7]

Figura 1: Medidor de sonda, tomado de [3].



1.3.2 Medidores de nivel tipo flotador: consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, magnética o hidráulica.

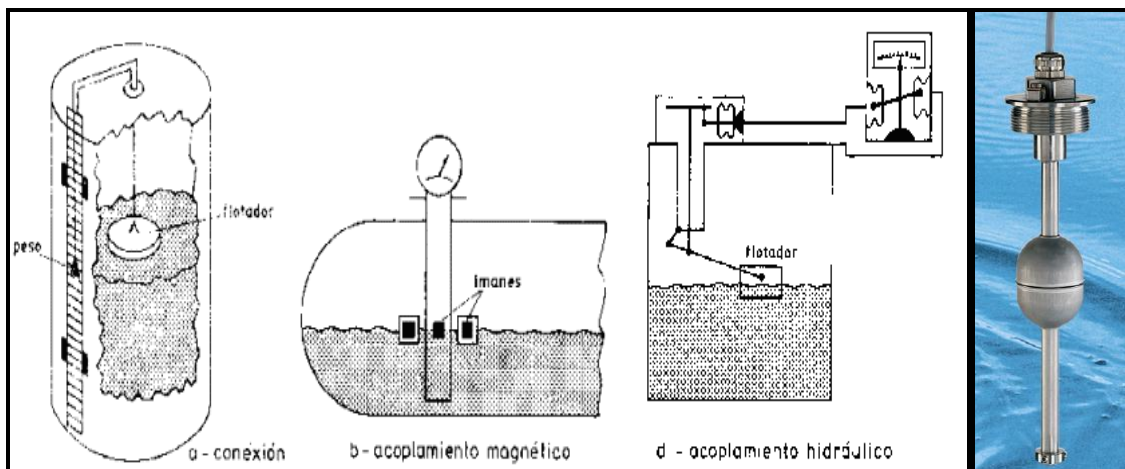
El flotador conectado directamente, ver figura 2 a, está unido por un cable que desliza un juego de poleas a un índice exterior que señala sobre una escala graduada.

El flotador acoplado magnéticamente, ver figura 2 b, desliza exteriormente a lo largo de un tubo guía sellado, situado verticalmente en el interior del tanque. Dentro del tubo, una pieza magnética sigue al flotador en su movimiento y mediante un cable y un juego de poleas arrastra el índice de un instrumento situado en la parte superior del tanque.

El flotador acoplado hidráulicamente, ver figura 2 d, actúa en su movimiento sobre un fuelle, de tal modo, que varía la presión de un circuito hidráulico y señala la distancia en el receptor el nivel correspondiente.

Estos instrumentos son adecuados en la medida de niveles en tanques abiertos y cerrados a presión o al vacío y son independientes del peso específico del líquido. Por otro lado, el flotador puede agarrotarse en el tubo guía por un eventual depósito de sólidos o cristales que el líquido pueda contener. [1]

Figura 2: Instrumentos de flotador, tomado de [1].

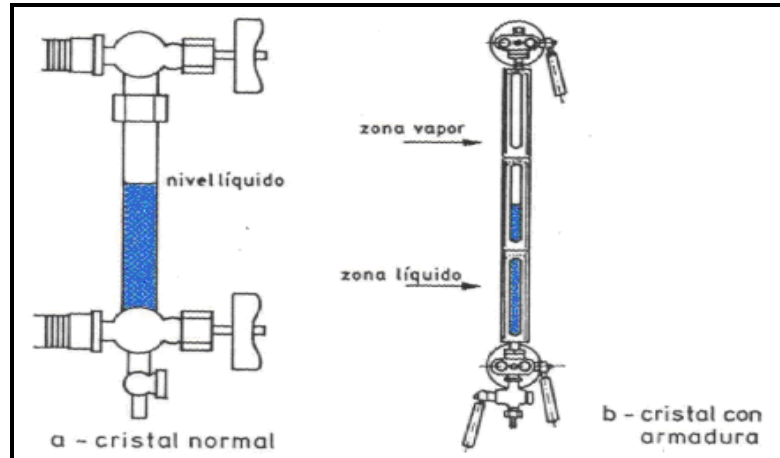


1.3.3 Medidor nivel de cristal: consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque generalmente mediante tres válvulas , dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de ruptura del cristal y una de purga.

El nivel de cristal normal (figura 3 a) se emplea para presiones hasta 7 bar. A presiones más elevadas el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica (figura 3 b).

El nivel de vidrio permite sólo una indicación local, su ventaja principal es la gran seguridad que ofrece en la lectura del nivel del líquido pudiendo controlar con ellos la lectura de otros tipos de aparatos de nivel. [1]

Figura 3: Medidor nivel de cristal, tomado de [3].



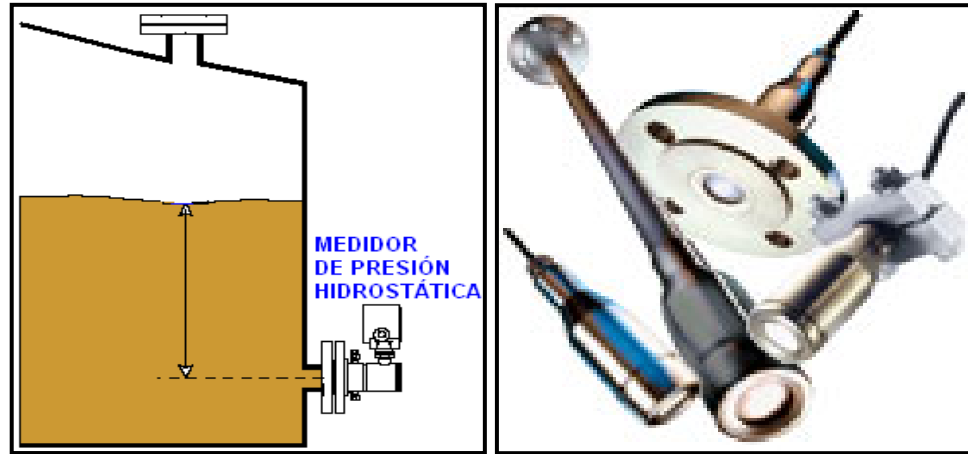
1.3.4 Medidor de presión hidrostática: ver figura 4, consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico. Es decir:

$$P = H\gamma g \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde P es la presión, H es la altura del líquido sobre el instrumento, γ es la densidad del líquido y g es la gravedad $9,8 \text{ m/s}^2$.

En el caso de que el tanque esté cerrado y bajo presión, hay que corregir la indicación del aparato para la presión ejercida sobre el líquido debiendo señalar que la lectura será muy poco precisa, si la presión es grande. Se suele conectar un tubo en la parte superior del tanque y medir la diferencia de presiones entre la toma inferior y superior, utilizando transmisores de presión diferencial de diafragma. [1]

Figura 4: Medidor de presión hidrostática, tomado de [7].

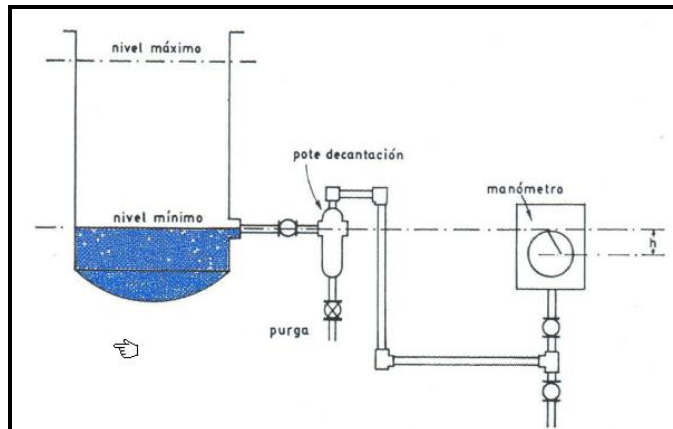


1.3.5 Medidor manométrico: ver figura 5, consiste en un sensor de presión suspendido de la parte superior del tanque e inmerso en el líquido, transmitiendo la señal de 4-20 mA c.c. o una señal digital, a través de un cable que acompaña la suspensión. El sensor mide la presión debida a la altura de líquido h que existe entre el nivel del tanque y eje del instrumento. Así pues el campo de medida del instrumento corresponderá:

$$0 - h \cdot \gamma \cdot g \text{ pascal} \quad \text{Ecuación 2}$$

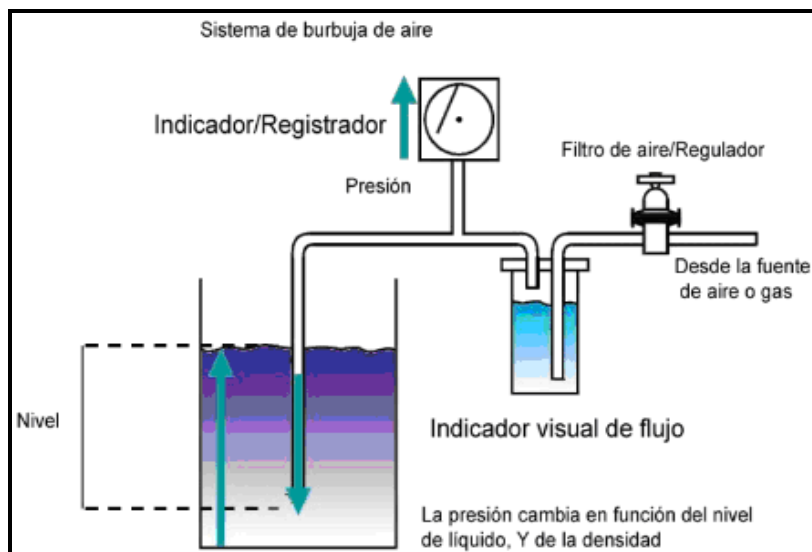
Con: h = altura de el líquido en m, γ = densidad del líquido en Kg / m^3 y $g = 9.8 \text{ m} / s^2$.

Figura 5: Medidor manométrico tomado de [3].



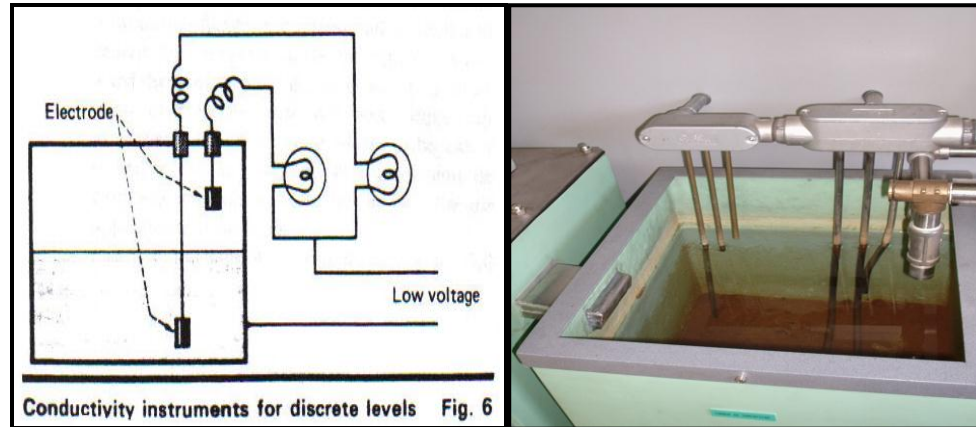
1.3.6 Medidor de nivel tipo burbujeo: ver figura 6, el medidor de tipo burbujeo emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado. La presión de aire en la tubería, es decir, el nivel, se mide mediante un manómetro de fuelles cuyo campo de medida corresponde a la presión máxima ejercida por el líquido. El sistema puede emplearse también en tanques cerrados con dos rotámetro-regulador y con las señales de aire conectadas a un transmisor de presión diferencial. Como es lógico, la presión del aire de purga debe ser superior a la presión interna del tanque. El método de burbujeo es simple y da buen resultado, en particular, en el caso de líquidos muy corrosivos o con sólidos en suspensión y en emulsiones.[1]

Figura 6: Medidor de nivel tipo burbujeo tomado de [3].



1.3.7 Medidor conductivo: es usado en la medición de líquidos y sólidos, ver figura 7, este método de medición es discreto. Consiste en un electrodo dispuesto en el interior de unas placas puestas en conjunto y con el circuito eléctrico abierto. Cuando el material a medir alcanza el aparato, se cierra el circuito y la pequeña corriente originada es amplificada actuando sobre un relé de alarma. Los materiales deben poseer una conductividad eléctrica apreciable para poder excitar el circuito. Este instrumento puede utilizarse en tanques abiertos y a presión, trabaja hasta temperaturas máximas de 300 °C, está limitado a materiales que tengan una conductividad de 1 a 1.4×10^{-7} mho y sólo puede emplearse como alarma de nivel alto o niveles intermedios.[2]

Figura 7: Medidor conductivo, tomado de [7].



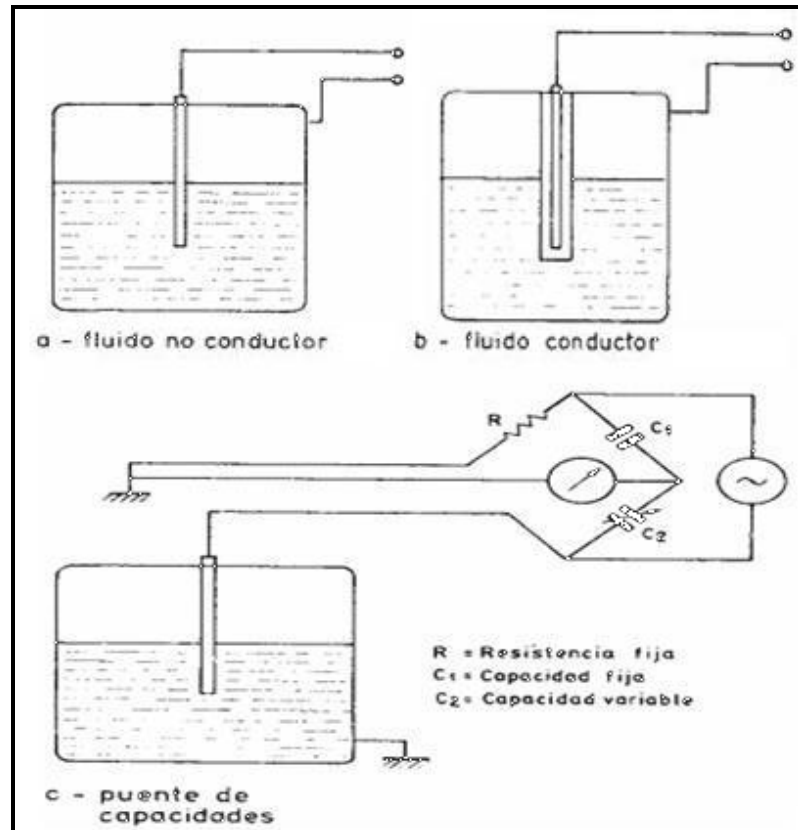
1.3.8 Medidor de capacidad: mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque como se ve en la figura 8 a. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En los fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores, ver figura 8 c.

En fluidos conductores, ver figura 8 b, con una conductividad mínima de 100 microhmios/c.c, el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

La precisión de los transductores de capacidad es de $\pm 1 \%$. Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Tienen el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0.1 % de aumento de la constante dieléctrica / °C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido pueden adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura, en particular en el caso de los líquidos conductores. [1]

Figura 8: Medidor de capacidad tomado de [1].

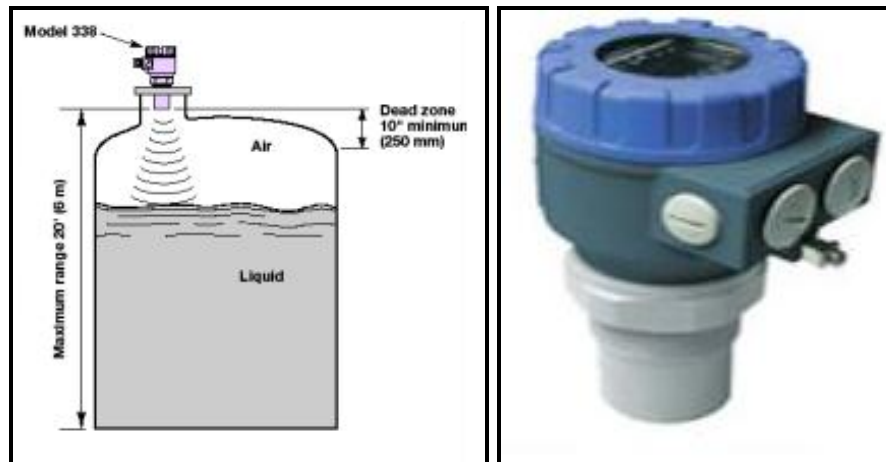


1.3.9 Medidor de nivel ultrasónico: ver figura 9, el sistema ultrasónico de medición de nivel en sólidos y líquidos se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 khz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión del medio ambiente de gases o vapores aumentando o disminuyendo la velocidad del sonido y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

El sensor emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el sensor receptor recibe esta señal reflejada enviando una señal función del tiempo transcurrido. Los instrumentos son adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales

erróneas si hay obstrucciones en el interior del tanque o bien cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida. [1]

Figura 9: Medidor de nivel ultrasónico, tomado de [6].

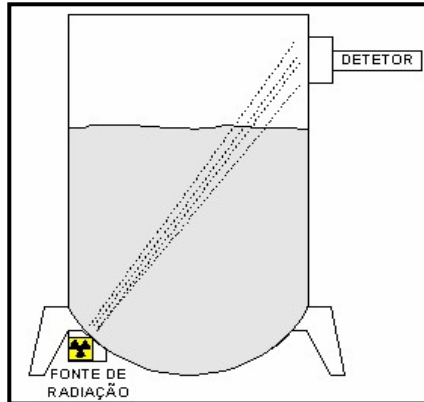


1.3.10 Medidor de nivel de radiación o rayos gama: este método es usado para la medición de líquidos y sólidos, ver figura 10, consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Como la transmisión de rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida.

Los rayos emitidos por la fuente son similares a los Rayos X, pero de longitud de onda más corta. La fuente radioactiva pierde igualmente su radioactividad en función exponencial del tiempo.

El instrumento puede emplearse para todo tipo de líquidos ya que no está en contacto con el proceso, el sistema se emplea en caso de medida de nivel en tanques de acceso difícil o peligroso. Es ventajoso cuando existen presiones elevadas en el interior del tanque que impiden el empleo de otros sistemas de medición. [1]

Figura 10: Medidor de nivel de radiación, tomado de [7].



1.3.11 Medidor de nivel láser: ver figura 11, en aplicaciones donde las condiciones son muy duras y donde los instrumentos convencionales de nivel fallan, encuentra aplicación el medidor de láser. Tal es el caso de la medición de metal fundido, donde la medida de nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a mayor distancia posible. El medidor consiste en un rayo láser enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. La señal puede ser por impulsos o por onda continua modulada en alta frecuencia. En el primer caso, cada impulso láser llega hasta el nivel de líquido y regresa al receptor. En forma parecida a la de nivel por radar, la distancia desde el sensor hasta el nivel se calcula por la fórmula:

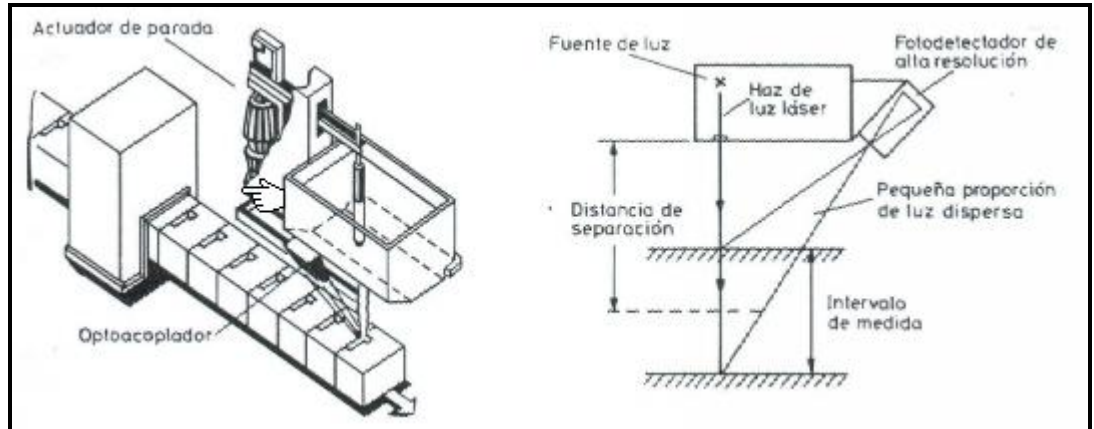
$$DISTANCIA = \frac{velocidad_de_la_luz * tiempo_transcurrido}{2} \quad \text{Ecuación 3}$$

La señal pulsante tiene buena penetración y un gran intervalo de medida por lo que es la típica usada en aplicaciones industriales.

La señal láser de onda continua está modulada en alta frecuencia y cambia de fase al chocar contra el nivel del líquido. Cuando alcanza el receptor, el circuito electrónico calcula la distancia midiendo el desfase entre la onda emitida y la recibida, la frecuencia y la longitud de onda.

El sistema de rayos láser no es influido por los cambios de temperatura, ni por las turbulencias ni las capas de gases, ni por los materiales absorbentes del sonido. Es inmune a reflexiones y ecos de polvo y al movimiento de palas de agitador. [1]

Figura 11: Medidor de nivel láser, tomado de [1].



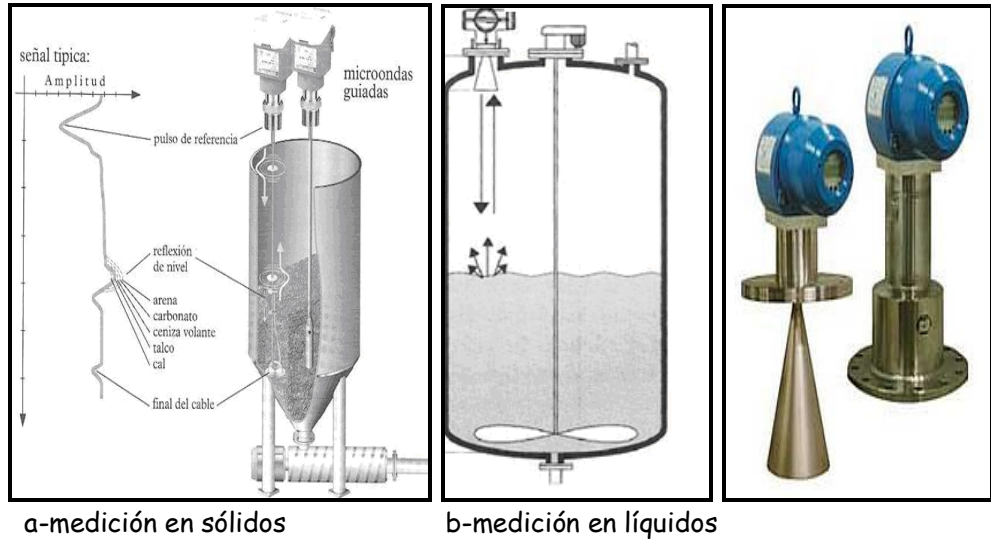
1.3.12 Medidor de nivel de radar: ver figura 12, el sistema de radar de microondas es usado en la medición de sólidos (figura 12 a) y líquidos (figura 12 b), se basa en la emisión continua de una onda electromagnética que no es influida por la temperatura ni por variaciones de densidad que puedan existir sobre el líquido. La onda es continua y esta modulada en alta frecuencia, de modo que se detecta la diferencia de frecuencias entre la señal emitida y el eco recibido. La técnica recibe el nombre de FMCW (frequency modulated continuous wave, onda continua modulada en frecuencia). La diferencia en frecuencias es proporcional al tiempo empleado por estas señales de transmisión y retorno, es decir al nivel. Y así:

$$d = \frac{v \cdot dt}{2} \quad \text{Con} \quad v = \frac{c}{\sqrt{e}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Siendo: d=distancia del emisor al líquido, v=señal de velocidad, dt=tiempo recorrido, c=velocidad de la luz, e=constante dieléctrica.

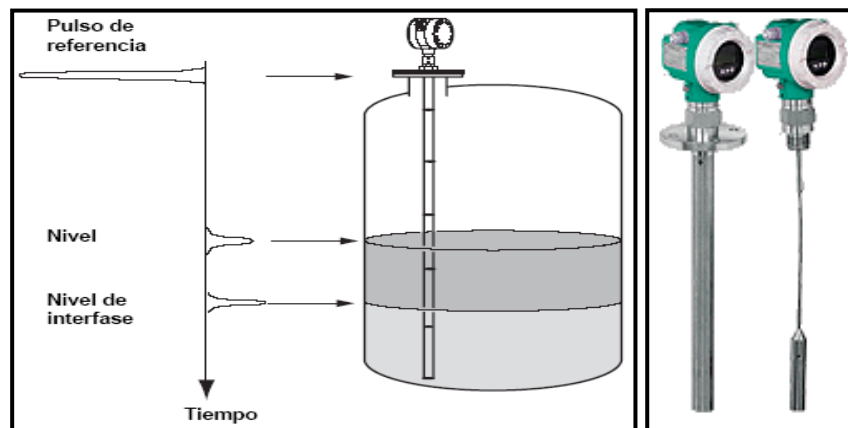
El sistema de medida de nivel tipo radar, es adecuado para asfaltos, parafinas y productos muy densos o viscosos, que no sean homogéneos y sufran estratificaciones, en aplicaciones con productos corrosivos, tóxicos y presurizados. El equipo es capaz de despreciar medidas de nivel con constantes dieléctricas cercanas a 1 para evitar medidas sobre espumas o cuando se forma una capa de nata, que no permite al radar seguir el nivel del líquido. [1]

Figura 12: Medidor de nivel de radar tomado de [5].



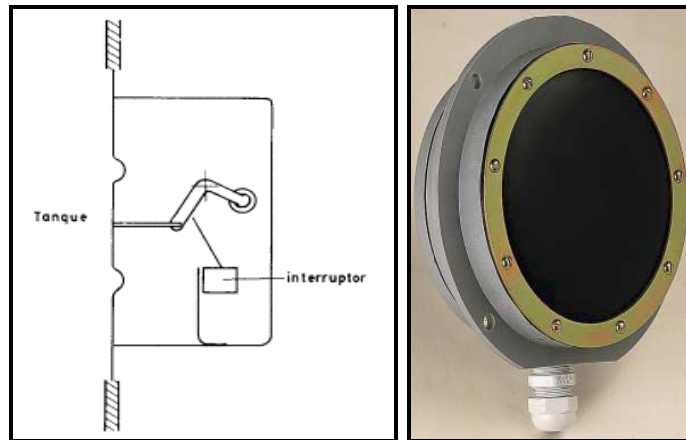
1.3.13 Medidor radar de onda guiada: ver figura 13, los pulsos de microondas de baja potencia son guiados hacia abajo en una sonda sumergida en el fluido del proceso. Cuando un pulso de radar alcanza el fluido con una constante dieléctrica diferente, parte de la energía es reflejada de regreso al transmisor. La diferencia de tiempo entre el pulso transmitido y reflejado es convertida en una distancia a partir de la cual se calcula el nivel total o el nivel de interfase. La intensidad de la reflexión depende de la constante dieléctrica del producto. Cuanto mayor sea el valor de la constante dieléctrica, mayor será la reflexión. La principal ventaja del radar de onda guiada es su capacidad de medición cuando hay más de una fase en un tanque. [7]

Figura 13: Medidor de radar de onda guiada tomado de [5].



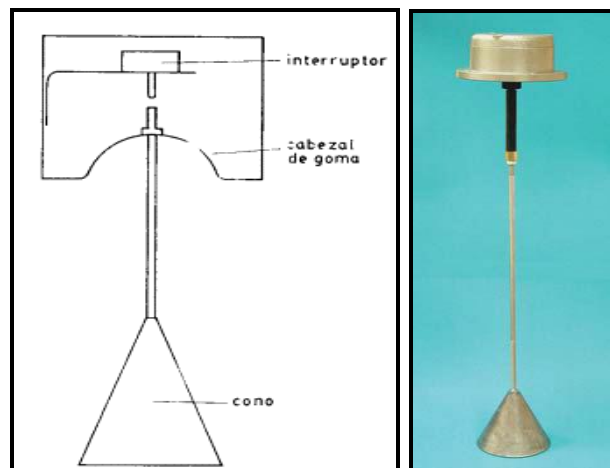
1.3.14 Medidor de diafragma: ver figura 14, consiste en una membrana flexible que puede entrar en contacto con el producto dentro del tanque y que actúa sobre un interruptor. El material del diafragma puede ser tela, goma, neopreno o fibra de vidrio. El medidor de diafragma tiene la ventaja de su bajo coste y trabaja bien con materiales de muy diversa densidad.[1]

Figura 14: Medidor de diafragma, tomado de [2].



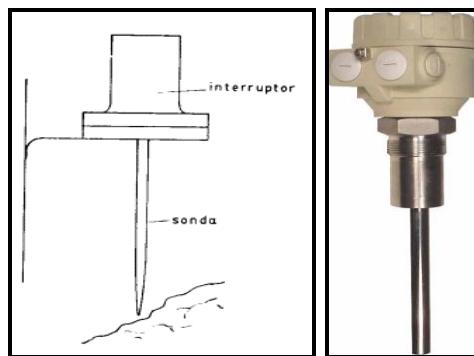
1.3.15 Medidor de cono suspendido: ver figura 15, consiste en un pequeño interruptor montado dentro de una caja impenetrable al polvo, con una cazoleta o pieza pequeña de goma de la que está suspendida una varilla que termina en un cono. Cuando el nivel de sólidos alcanza el cono, el interruptor es excitado. El aparato es barato y se utiliza sólo en tanques abiertos, además sus aplicaciones típicas son la alarma y el control de nivel en carbón, granos y caliza.[2]

Figura 15: Medidor de cono suspendido, tomado de [2].



1.3.16 Medidor de varilla flexible: ver figura 16, consiste en una varilla de acero conectada a un diafragma de latón donde está contenido un interruptor. Cuando los sólidos presionan, aunque sólo sea ligeramente en la varilla, el interruptor se cierra y actúa sobre una alarma. El aparato se emplea como alarma de alto nivel estando dispuesto en la parte superior del tanque. Para impedir que la simple caída del producto pueda causar una alarma infundada, éste incorpora un relé de retardo. El instrumento se emplea en tanques abiertos como alarma de nivel alto y se utiliza para materiales tales como el carbón.[2]

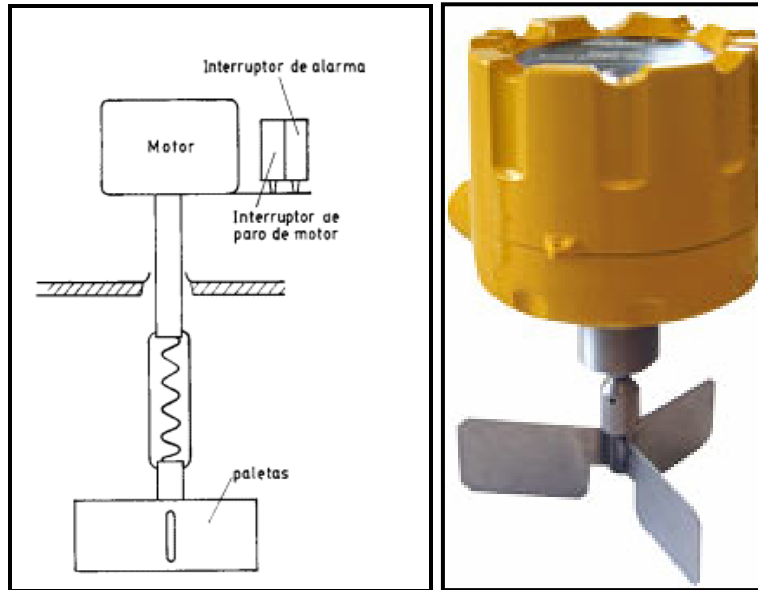
Figura 16: Medidor de varilla flexible, tomado de [2].



1.3.17 Medidor de paletas rotativas: ver figura 17, consisten en un eje vertical, dotado de paletas, que gira continuamente a baja velocidad accionado por un motor síncrono. Cuando el producto sólido llega hasta las paletas, las inmoviliza, con lo que el soporte del motor y la caja de engranajes empiezan a girar en sentido contrario. En su giro, el soporte del motor actúa consecutivamente sobre dos interruptores, el primero excita el equipo de protección, por ejemplo una alarma, y el segundo desconecta la alimentación eléctrica del motor con lo cual éste queda bloqueado. Cuando el producto baja de nivel y deja las palas al descubierto, un resorte vuelve el motor a su posición inicial liberando los dos microrruptores. De este modo, el motor se excita con lo que las palas vuelven a girar, y la alarma queda desconectada. El eje de las palas puede ser flexible o rígido para adaptarse así a las diversas condiciones de trabajo dentro del silo, tales como caída de producto, deslizamientos del producto, etc.

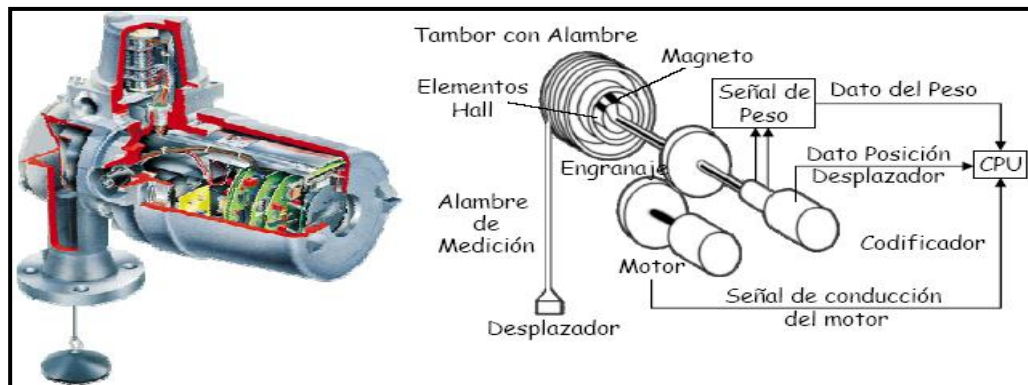
Estos aparatos son adecuados en tanques abiertos o a baja presión (máximo 10 kg/cm²) y se emplean preferentemente como detectores de nivel de materiales granulares y carbón. Pueden trabajar con materiales de muy diversa densidad y existen modelos a prueba de explosión. [2]

Figura 17: Medición por paletas rotativas tomado de [2].



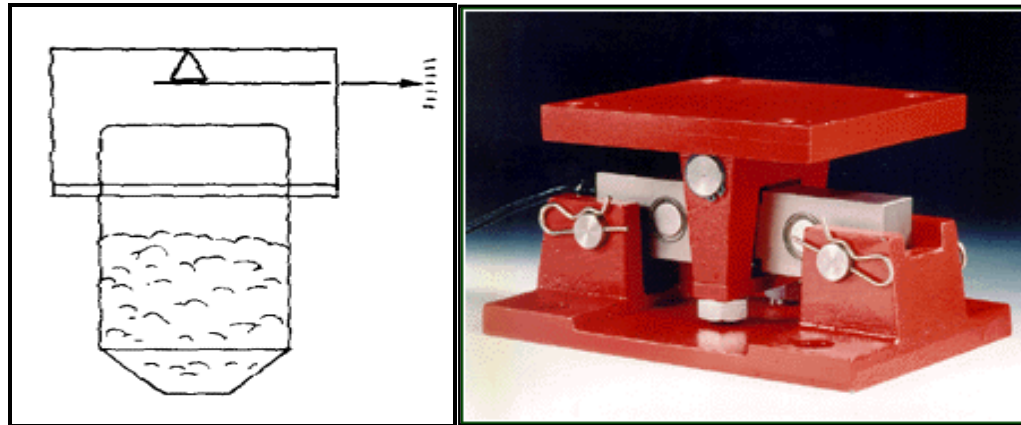
1.3.18 Medidor de sondeo electromecánico o de peso móvil: Este tipo de medidor, representado en la figura 18, consiste en un pequeño peso móvil sostenido por un cable desde la parte superior del silo mediante poleas. Un motor y un programador situados en el exterior establecen un ciclo de trabajo del peso. Éste baja suavemente en el interior de la tolva hasta que choca contra el acopio de sólidos. En este instante, el cable se afloja, y un detector adecuado invierte el sentido del movimiento del peso con lo que éste asciende hasta la parte superior de la tolva, donde se para, repitiéndose el ciclo nuevamente. Un indicador exterior señala el punto donde el peso ha invertido su movimiento indicando así el nivel en aquel momento.[2]

Figura 18: Medidor de sondeo electromecánico o de peso móvil tomado de [7].



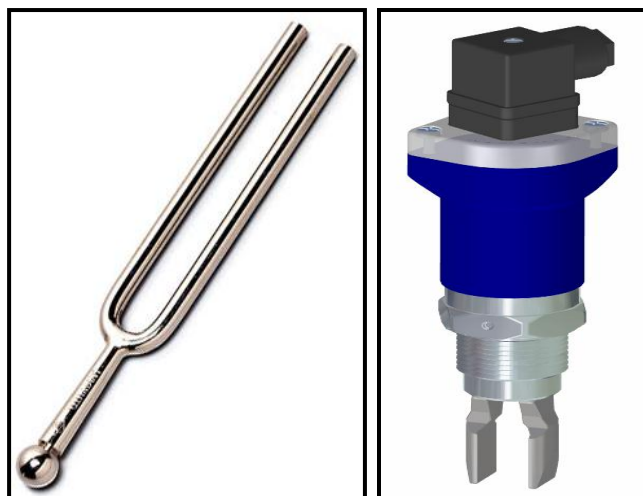
1.3.19 Medidor de nivel de báscula: el medidor de nivel de báscula, representado en la figura 19, mide el nivel de sólidos indirectamente a través del peso del conjunto tolva más producto. Como el peso de la tolva es conocido, es fácil determinar el peso del producto y por lo tanto, el nivel. La tolva se apoya en una plataforma de carga actuando sobre la palanca de la báscula o bien carga sobre otros elementos de medida neumáticos, hidráulicos o eléctricos.[2]

Figura 19: Medidor de nivel de báscula, tomado de [1].



1.3.20 Medidor de nivel por diapasón: El diapasón (ALUMINIO) vibra a su frecuencia de resonancia cuando está al aire, cuando es cubierto por el sólido, la vibración cesa. Cuando está libre de material, la vibración se reanuda. El cambio de estado es sensado electrónicamente y un relé es accionado.

Figura 20: Medidor de nivel por diapasón, tomado de [7].



1.4 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MEDICION

Tabla 1: Comparación entre las tecnologías para la medición de nivel, tomado de [1].

Instrumento	Pres. max. bar	Temp Max. °C	Desventajas	Ventajas	Tipo de material a medir	Precisión % escala	Tipo De tanque
Sonda	Atm.	60	Manual sin olas	Barato y preciso	líquido	0,5mm	abierto
Cristal	150	200	Sin transmisión	Seguro y preciso	líquido	*****	Abierto y cerrado
Flotador	400	250	Posible agarrotamiento	Simple, indep. Naturaleza líquida	líquido	± 1-2%	abierto
Manométrico	Atm.	60	Solo para fluidos limpios	barato	líquido	± 1%	Abierto
Burbujeo	400	200	Mantenimiento contamina. Líquida	Barato, versátil	líquido	± 1%	abierto
Presión hidrostática	150	200	Posible agarrotamiento	Interfase líquido	líquido	± 0.15% a ± 0.5% *****	Abierto y cerrado
Conductivo	80	200	Líquido conductor	versátil	líquido y sólido	*****	Abierto y cerrado
Capacitivo	80 a 250	200 a 400	Recubrimiento del electrodo	Resistencia a la corrosión	Líquido y sólido	± 1%	Abierto y cerrado
ultrasónico	400	200	Sensible a densidad	Todo tipo de tanques y líquidos	Líquido y sólido	± 1%	Abierto y cerrado
Radar	*****		Sensible a la const. Dieléctrica	cualquier líquido, espuma	Líquido y sólido	± 2.5 mm	cerrado
Radar de onda guiada	*****		Costo	Detecta mas de un líquido	Líquido y sólido		cerrado
Radiación	*****	150	Fuente radioactiva	Todo tipo de tanques sin contacto	Líquido y sólido	± 0.5%	Abierto y cerrado
Láser	*****	1500	Láser	Todo tipo de tanques, sin contacto	Líquido y sólido	± 0.5%	cerrado
Diafragma	*****	60	No admite materiales granulares.	Bajo coste, sensible a materiales de variada densidad	sólido	50 mm	Cerrado y abierto
Cono suspendido	*****	60	Debe estar protegido	Bajo coste	sólido	50 mm	abierto
Varilla flexible	*****	300	Relé retardo, sólo nivel alto	Muy sensible	sólido	25 mm	Abierto
Paletas rotativas	*****	60	Tanques abiertos a baja presión	Materiales diversos a prueba de explosión	sólido	25 mm	Abierto
Sondeo electromagnético	*****	60	Resistencia mecánica media	sencillo	sólido	± 1 %	abierto
Báscula	*****	900	Coste elevado	Preciso y seguro alta presión y temperatura	Líquido y sólido	± 0.5-1 %	Abierto y cerrado
Diapasón	*****	60	Tanques abiertos o a baja presión	Variedad de polvos	sólido	± 1 %	cerrados

2. MEDIDOR DE NIVEL CAPACITIVO

2.1 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

Los fabricantes de instrumentos para la medición de nivel por tecnología capacitiva han desarrollado dos técnicas principales que son:

- **Medición de nivel por medio de tanque conductor:** mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del estanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.[8]
- **Medición de nivel por medio de electrodo normal:** En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

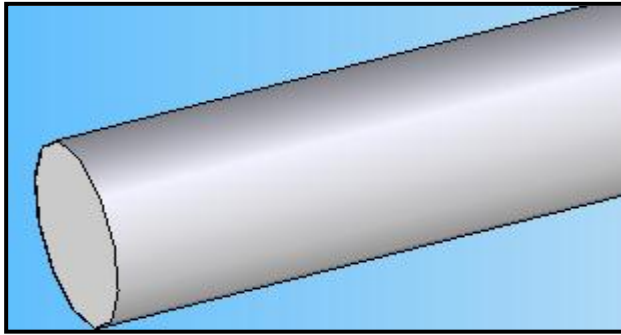
La precisión de los transductores de capacidad es de $\pm 1 \%$. Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado. Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica / °C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura, en particular en el caso de líquidos conductores. [8]

2.2 CONSTRUCCION DEL MEDIDOR DE NIVEL CAPACITIVO.

2.2.1 Diseño e implementación del sensor. Se diseña e implementa el sensor basándose en el modelo del capacitor cilíndrico. El material que se escoge para formar el sensor es el acero inoxidable, se escoge éste material por que no se oxida o corroe con el agua y porque es un buen conductor.

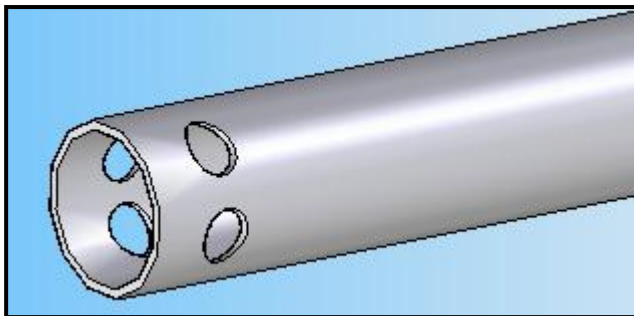
- **Partes del sensor:** El primer conductor (figura 21), es un cilindro sólido interno con una longitud de 30 cm y un radio de 0,6 cm.

Figura 21: Cilindro sólido interno, fuente autor.



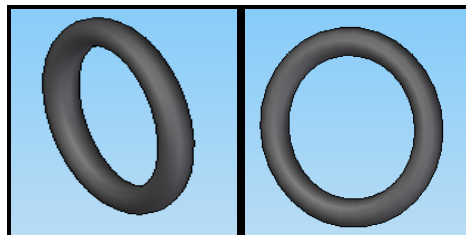
El segundo conductor, ver figura 22, cilindro hueco externo con una longitud de 30 cm y un radio de 0,9 cm.

Figura 22: Cilindro hueco externo, fuente autor.



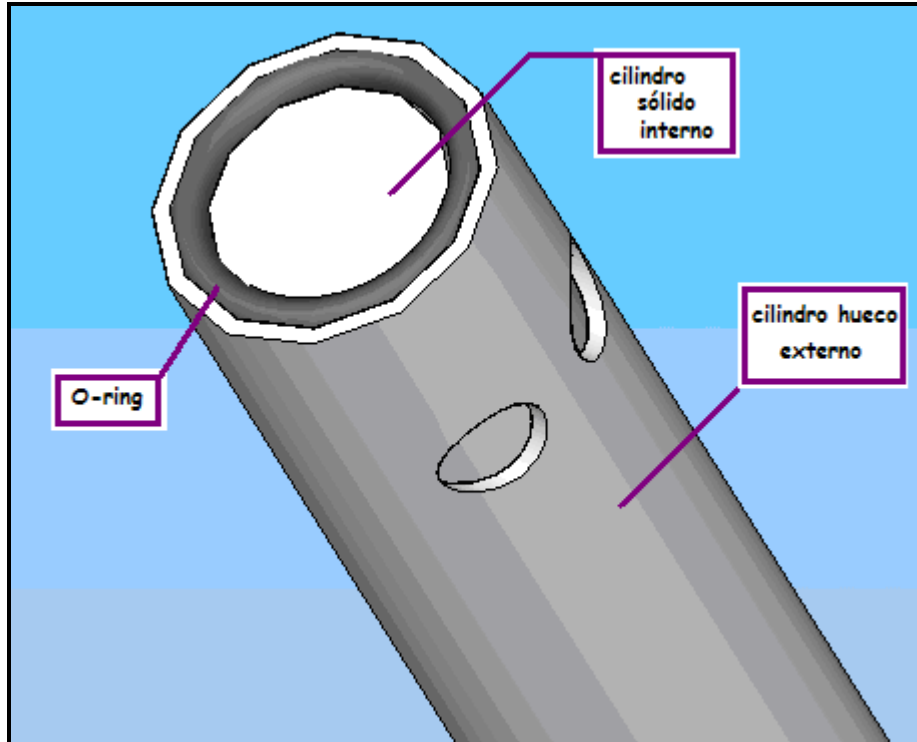
Para armar el capacitor cilíndrico se hacen coincidir los ejes de los conductores por medio de dos o-ring de material aislante (figura 23).

Figura 23: O-ring, fuente autor.



El conjunto de todos los elementos que conforman el sensor capacitivo se observa en la figura 24.

Figura 24: Elementos del sensor, fuente autor.



- **Geometría del sensor:** La ecuación que permite hallar la capacitancia de un condensador cilíndrico en función de su geometría es:

$$C = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Siendo ϵ la permitividad o constante dieléctrica, L la longitud, R_e el radio exterior y R_i el radio interior. [10]

La permitividad ε es una propiedad eléctrica del medio en el que estén situadas las dos cargas, el símbolo ε_0 denota la permitividad cuando el medio es el vacío. La permitividad de un material suele darse con relación a la del vacío.

$$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} F / m$$

Si la permitividad relativa se denota con ε_r , para calcular la permitividad sólo hay que multiplicar ε_r por ε_0 .

En la tabla 3 se recogen algunos valores aproximados de permitividad relativa a temperatura ambiente; estos valores pueden variar con la temperatura y con la composición precisa del material de estudio. [14]

Tabla 2: Valores de permitividad relativa, tomado de [14].

Material	Valores aproximados de Permitividad relativa a 300°K
Vacío	1
Aire	1,0005
Polietileno	2,2
plexiglás	2,8
Cocaína	3,1
Papel	3,3
Mica moscovita	5,4
Neopreno	6,6
Hueso esponjoso	26
Metanol	32
Cerebro, materia gris	56
Agua (°C)	80
Titanato de plomo	200

- **Zona de nivel muerto:** El sensor que se diseña tiene una zona de nivel muerto de 10 cm, 5cm en la parte inferior que corresponde al rango de valores en los cuales la capacitancia cambia de forma abrupta, y 8cm en la parte superior correspondiente a la distancia del cabezal, debido a lo anterior la longitud de medida del sensor es desde 5cm hasta 25 cm. La información correspondiente al cabezal se dará en el siguiente capítulo.
- **Medición de capacitancia en el sensor:** Los valores de capacitancia de la tabla 3 fueron medidos con un fluke (figura 25) y los de la tabla 4 calculados teóricamente con la ecuación 5 (figura 26).

Tabla 3: Valores de capacitancia medidos con el Fluke, fuente autor.

Altura del Agua en cm	Capacitancia En uF
1	11,3
2	56,4
3	91,6
4	131,2
5	184,5
6	227,8
7	273,1
8	314,4
9	369,8
10	405,1
11	443,2
12	493,8
13	529
14	572
15	593,1

Figura 25.: Medición de capacitancia con el Fluke, fuente autor.

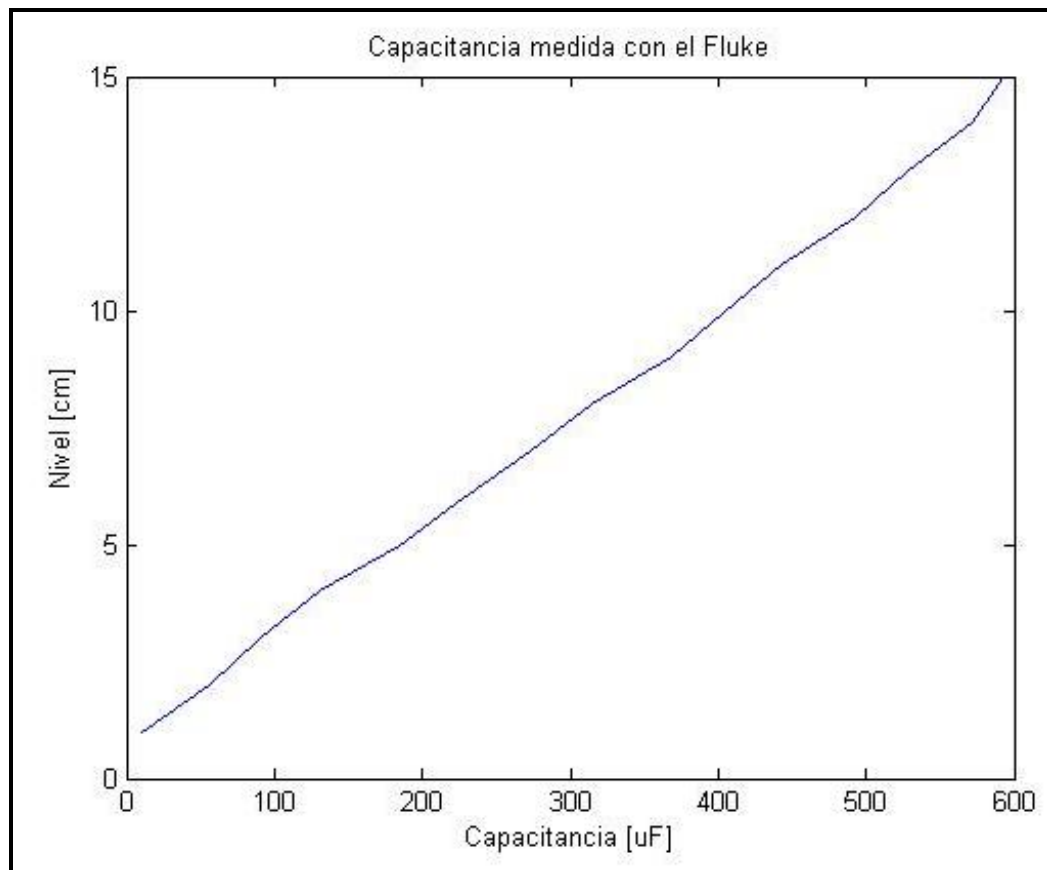
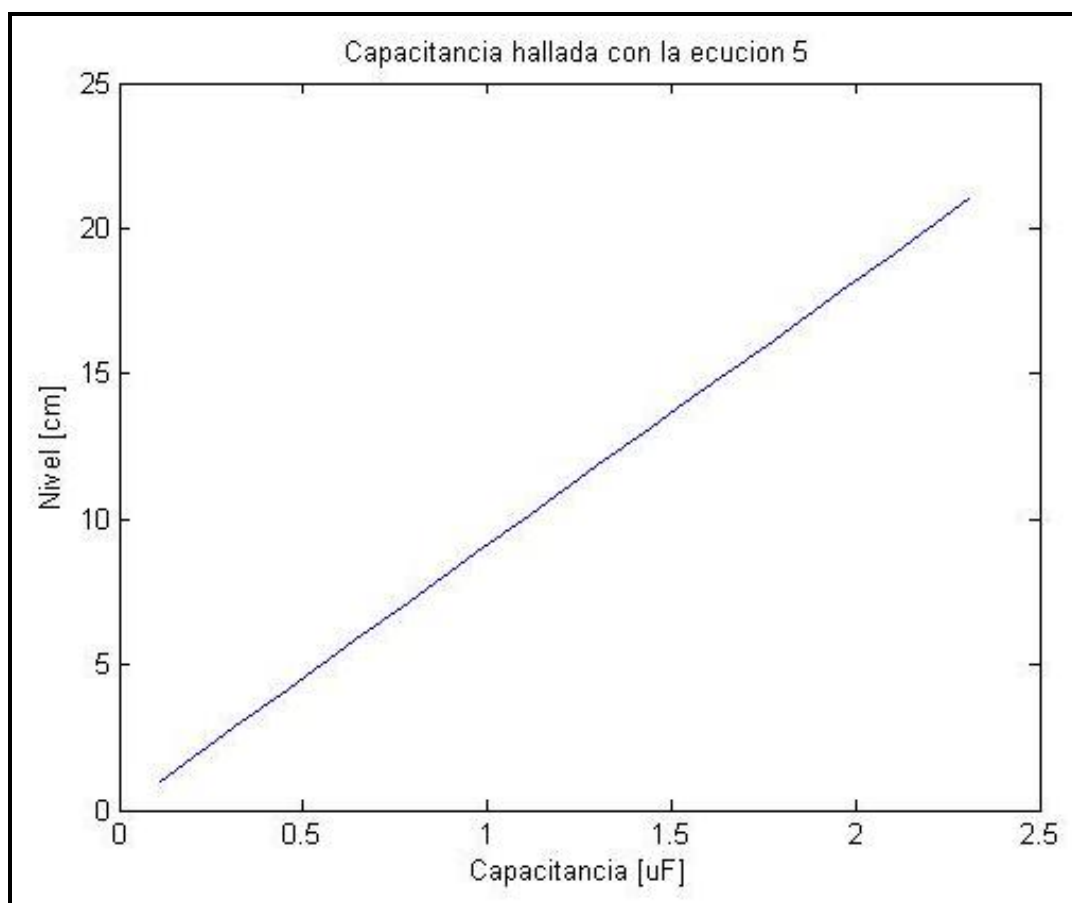


Tabla 4: Valores de capacitancia calculados con la ecuación 5, fuente autor.

Altura del Agua en cm	Capacitancia En nF	Altura del Agua en cm	Capacitancia En nF
1	0,109839012	12	1,318068148
2	0,219678025	13	1,42790716
3	0,329517037	14	1,537746173
4	0,439356049	15	1,647585185
5	0,549195062	16	1,757424198
6	0,659034074	17	1,86726321
7	0,768873086	18	1,977102222
8	0,878712099	19	2,086941235
9	0,988551111	20	2,196780247
10	1,098390123	21	2,306619259
11	1,208229136		

Figura 26: Capacitancia hallada con la ecuación 5, fuente autor.

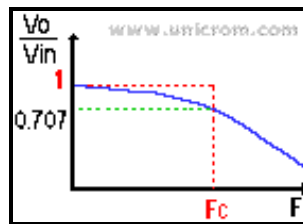


Para comparar los datos anteriores también se halló el valor de capacitancia por dos métodos. El primer método consiste en un filtro RC pasa bajas de primer orden, observando por medio del fluke la frecuencia de corte correspondiente a cada nivel y despejando C de la siguiente ecuación:

$$F_{corte} = 1 / (2 * \pi * R * C) \quad \text{Ecuación 6}$$

La frecuencia de corte es aquella donde la amplitud de la señal entrante cae hasta un 70.7 % de su valor máximo, esto ocurre cuando $X_C = R$. (reactancia capacitiva = resistencia). [15]

Figura 27: Frecuencia de corte de un filtro pasa bajas, tomado de [15].



Los datos obtenidos para hallar la capacitancia por medio de la ecuación 6 se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Datos obtenidos con el primer método, fuente autor.

Nivel en cm	Resistencia en ohmios	Frecuencia De corte	Voltaje de Entrada en	Voltaje de Salida en mV	Capacidad
Vacío	15000	6 KHz	1 V	707	1,76 nF
1	220	11,71 Hz	1,01 V	708	61,77 uF
5	220	3,616Hz	1,01 V	707	200,06 uF
7	220	2,314Hz	1 V	707	312,63 uF
9	220	1,818Hz	1 V	707	397,92 uF
11	220	1,462 Hz	1 V	708	494,82uF
13	220	1,143 Hz	999 mV	707	632,92 uF
15	220	1,077 Hz	1,02 V	708	671,70 uF
17	220	0,930 Hz	936 mV	824	777,88 uF
19	220	0,921 Hz	200 mV	705	785,48 uF
20	220	0,842 Hz	1,01	711	859,18 uF

A continuación se muestran los resultados de la medición en las figuras 28 y 29, para el menor y mayor valor de capacitancia respectivamente.

Figura 28: Medición de la frecuencia de corte en vacío, fuente autor.

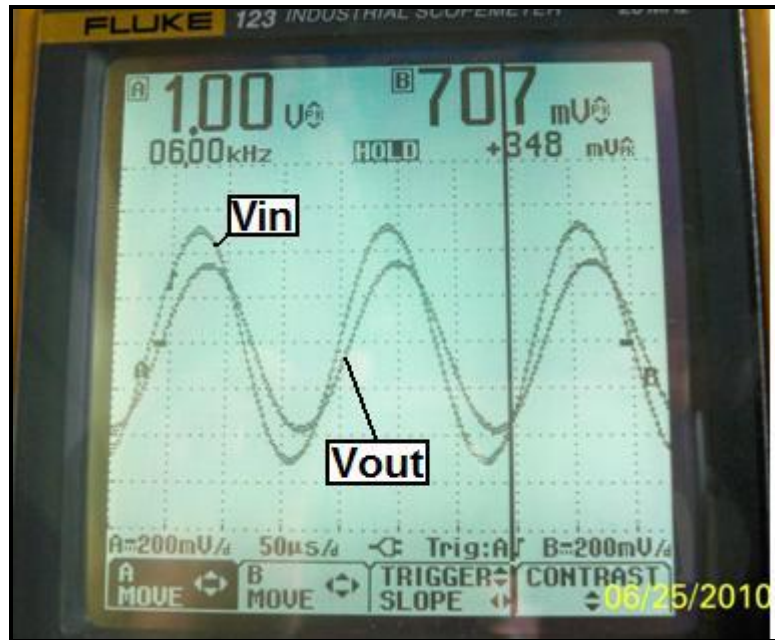
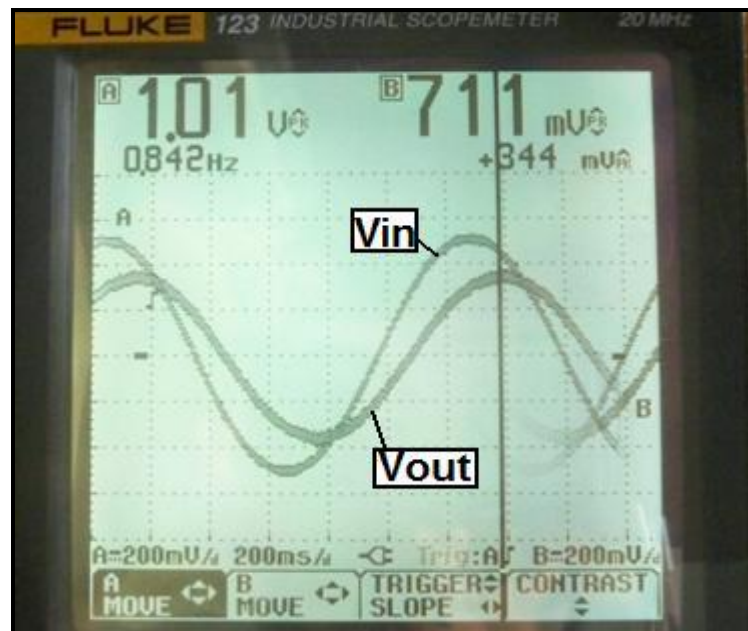


Figura 29: Medición de la frecuencia de corte en 25 cm de nivel de agua, fuente autor.

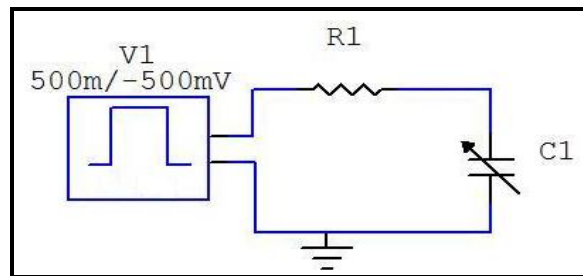


El segundo método se basa en la carga y descarga de un condensador (figura 30), por medio de la constante de tiempo de carga (τ) del condensador es posible hallar el valor de la capacitancia si se despeja de la siguiente ecuación:

$$\tau = R \times C \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde τ es el tiempo requerido en segundos para que un condensador alcance un voltaje igual al 63,2 % del voltaje de entrada aplicado en él, R es la resistencia en ohmios conectada en serie con el condensador, y C es la capacidad en faradios.

Figura 30: Circuito para cargar y descargar un condensador, fuente autor.



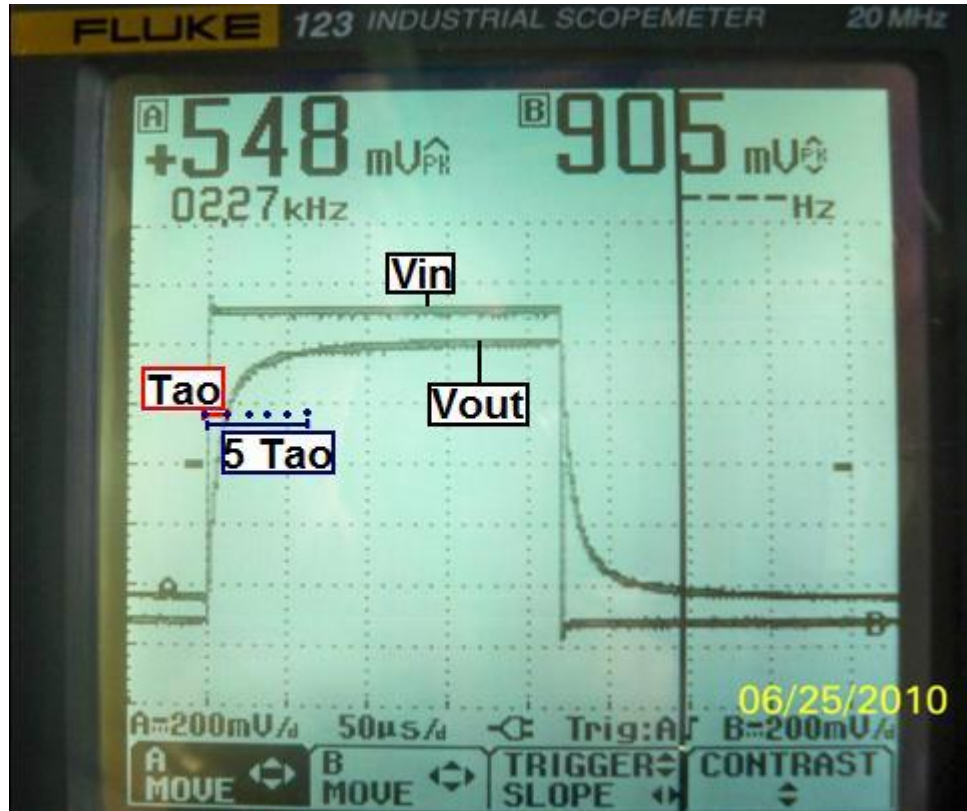
Los datos adquiridos para calcular la capacitancia por medio de la constante de tiempo de carga del condensador están registrados en la tabla 6.

Tabla 6: Datos obtenidos con el segundo método, fuente autor.

Nivel en cm	Resistencia En ohmios	Tao	Capacidad
Vacío	15000	10 uS	0,66 nF
5	220	40 mS	181,8 uF
9	220	56 mS	254,5 uF
11	220	80 mS	363,6 uF
13	220	88 mS	400 uF
15	220	120 mS	545,4 uF
17	220	140 mS	636,36 uF
20	220	160 mS	727,2 uF

La siguiente figura representa un ejemplo de como fue hallada la constante Tao en los diferentes niveles.

Figura 31: Ejemplo de cómo hallar la constante τ , fuente autor.



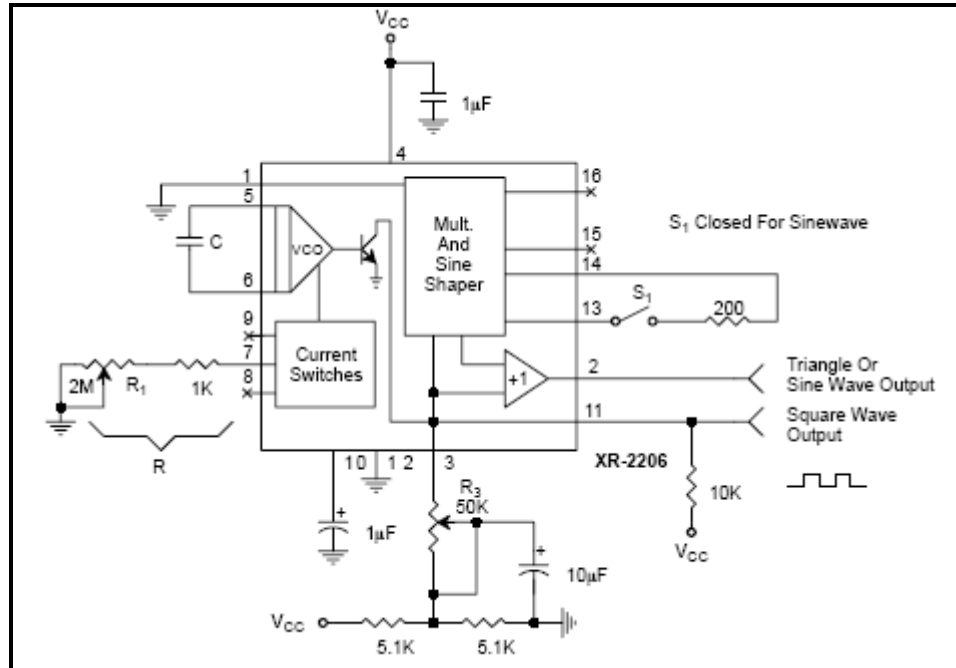
Para verificar que el valor de τ es correcto, también se halla 5τ , que es el tiempo en donde la señal se estabiliza o adquiere el valor del voltaje aplicado en el condensador.

2.2.2 Construcción e implementación del Transmisor Indicador de Nivel.

Para comprender el funcionamiento y el diseño del transmisor e indicador de nivel continuación se detallará sus etapas.

- **Etapas de diseño e implementación del Generador de Señal:** En esta etapa se genera una señal senoidal con amplitud y frecuencia variable, esto se logra por medio del circuito integrado XR 2206. La función de esta etapa es suplir un voltaje alterno en una resistencia conectada en serie con el sensor. El esquema de conexiones que se realizó se muestra a continuación en la figura 32.

Figura 32: Diagrama esquemático XR2206, tomada de [11].



En la anterior figura hay dos potenciómetros, el primero es R, por medio de éste es posible variar la frecuencia de la señal, el segundo es R3, que permite ajustar la amplitud de la señal.

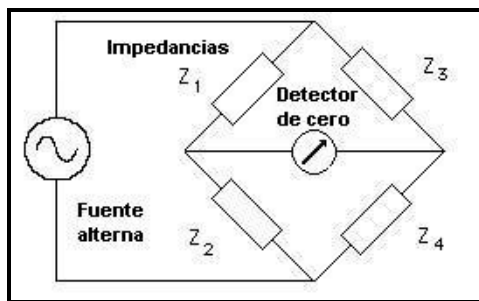
- **Etapas de diseño e implementación del amplificador de señal:** en esta parte simplemente se amplifica la señal en un factor de 3,73 por medio de un inversor de voltaje utilizando el integrado OPA 4277 de Texas Instrument.

La principal razón del porque se utilizó el integrado mencionado en el párrafo anterior, y no otro es que esté pertenece a la familia de amplificadores operacionales de precisión, lo cual garantiza menor ruido y bajo voltaje de off-set.

- **Etapas de diseño de la adquisición de señal:** El objetivo de esta etapa fue hallar un método que permitiera captar el cambio del nivel de agua, por medio del voltaje en el sensor capacitivo, para llevarlo a cabo se efectuaron pruebas con tres métodos.

Los puentes de AC fue el primer método, cuyo circuito se muestra en la figura 33 y tiene como componentes cuatro impedancias, una fuente alterna y un detector de cero que puede ser un galvanómetro de AC, unos audífonos o un osciloscopio. Su funcionamiento de basa en conseguir el equilibrio de las cargas es decir que se cumpla la siguiente relación $Z_1 \times Z_4 = Z_2 \times Z_3$, con esto se garantiza que la corriente que fluye por el detector es cero y se pueden aplicar las ecuaciones respectivas para hallar el valor del elemento que se desea medir.

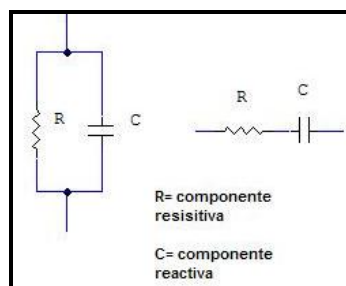
Figura 33: Puente de AC, fuente autor.



Para saber que tipo de puente se debe usar es indispensable saber la clase de elemento a medir (inductores o capacitores), y conocer el modelo real del elemento (serie o paralelo). Los principales puentes de AC son el puente de Maxwell (independiente de la frecuencia) y el puente de Hay (dependiente de la frecuencia) y son usados para la medición de capacitares e inductores.

Aunque los puentes de AC representaban la mejor opción para hallar el valor del condensador y detectar el cambio del nivel, los resultados obtenidos no fueron muy buenos por dos factores, primero porque era muy tedioso conseguir el equilibrio y el otro factor que influyo para no utilizar este método fue el no conocer el modelo real del capacitor, es decir, la componente reactiva y la componente resistiva de esté (ver figura 34).

Figura 34: Modelo real del capacitor, fuente autor.



Los osciladores fue el segundo método implementado, se buscaba hallar el valor del capacitor y la variabilidad de su voltaje por medio de la frecuencia de oscilación, aplicando las ecuaciones respectivas para cada oscilador.

Los osciladores construidos fueron el oscilador de Colpitts (figura 35) y el oscilador astable con el circuito integrado LM 555 (figura 36). Este método resulta ser un fracaso porque ni siquiera se logra obtener una oscilación, debido a que el capacitor no es como los condensadores convencionales, además de que ya se comprobó que la capacitancia del sensor es muy grande, por esta razón no es útil aplicarlo como elemento en un oscilador.

Figura 35: Oscilador Astable con LM555, tomado de [16].

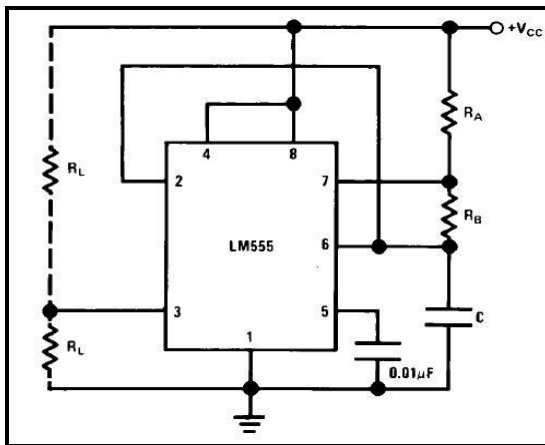
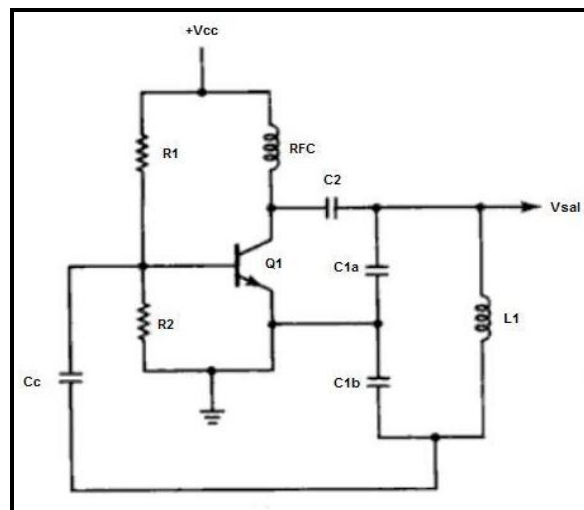
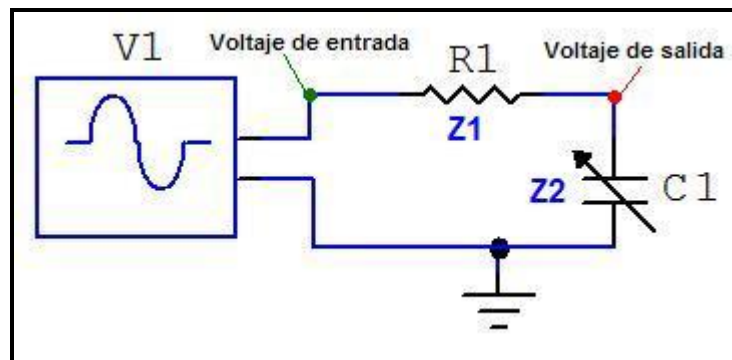


Figura 36: Oscilador de Colpitts, tomado de [17].



El filtro RC pasabajas de primer orden, fue el tercer y ultimo método que se realizó, con éste se obtuvieron buenos resultados pues se logro captar el cambio de voltaje en el sensor y se hicieron pruebas para determinar el valor del condensador (tabla 4). La medición de voltaje por medio del filtro RC (figura 37) consiste en aplicar una señal senoidal a una resistencia conectada en serie con el sensor (condensador cilíndrico construido anteriormente), al variar el valor de C variara respectivamente el voltaje en la salida que será proporcional al cambio de nivel.

Figura 37: Filtro RC pasa bajas, fuente autor.



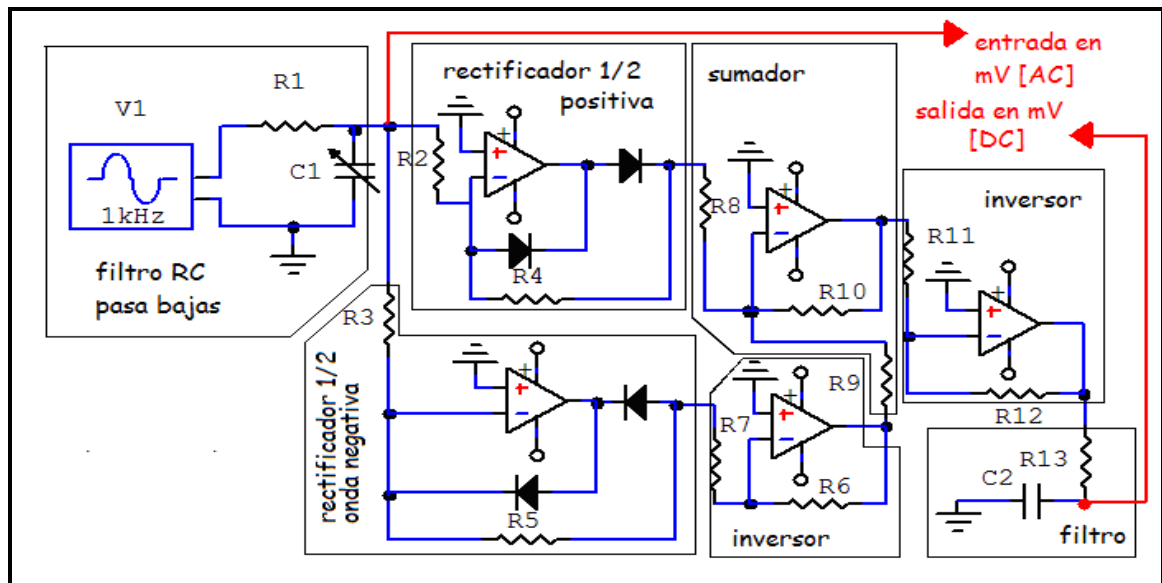
La función de transferencia del filtro pasivo RC se muestra en el siguiente procedimiento, se debe asumir que la resistencia uno es la impedancia uno, y que el capacitor uno es la impedancia 2.

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= R_1 \\
 Z_2 &= X_s = \frac{1}{j\omega C_1} \\
 \omega &= 2\pi f \\
 V_{sal} &= \frac{V_{ent} \times Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{V_{ent} \times \frac{1}{j\omega C_1}}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1} = V_{ent} \times \frac{\frac{1}{j\omega C_1}}{\frac{1 + R_1 j\omega C_1}{j\omega C_1}} \\
 \frac{V_{sal}}{V_{ent}} &= \times \frac{1}{1 + j2\pi f R_1 C_1} = H_f
 \end{aligned}$$

- **Etapas de diseño de la conversión alterna a directa:** ver figura 38, en la etapa anterior se logra obtener un valor de voltaje correspondiente al cambio de

nivel, sin embargo la señal es alterna. Es indispensable convertir la señal alterna a señal continua para que pueda ser procesada. La conversión se realiza por medio de la implementación de dos rectificadores de instrumentación de media onda, uno para la parte positiva y otro para la parte negativa, después se invierte la señal proveniente de la rectificación negativa y por ultimo se suman las dos rectificaciones obteniendo una señal en DC que posteriormente es filtrada por un filtro RC pasa bajas.

Figura 38: Conversión de la señal alterna a continua, fuente autor.

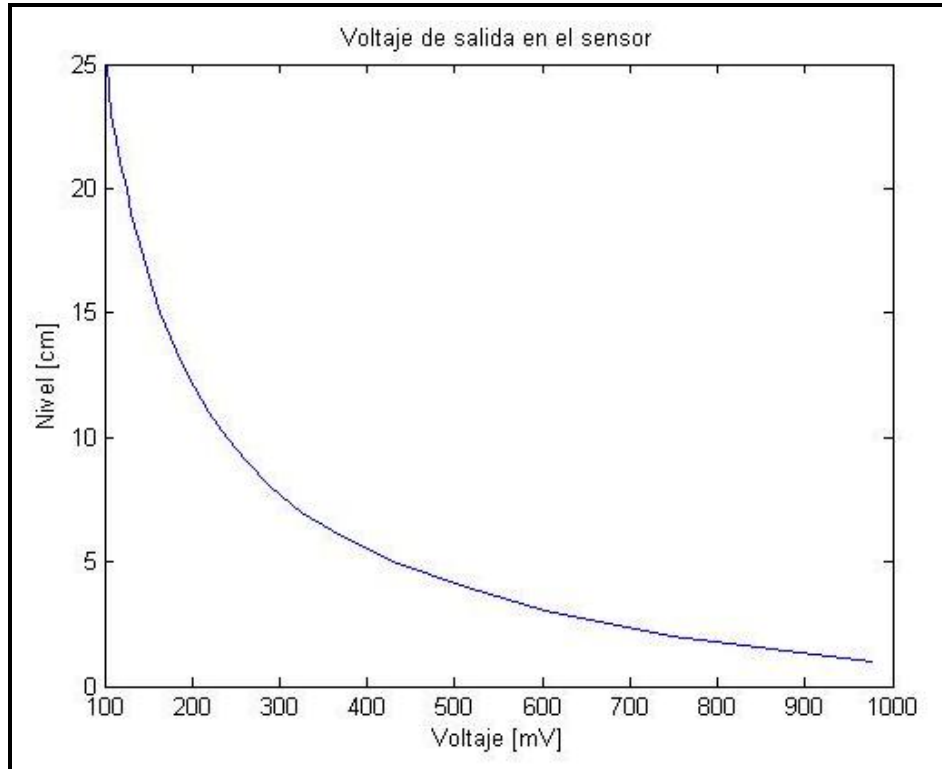


La salida del circuito 38, son valores de voltaje correspondientes al cambio de nivel, ver tabla 7 y figura 39.

Tabla 7: Voltajes de salida en el sensor, fuente autor.

Nivel en cm	Voltaje en mV	Nivel en cm	Voltaje en mV
1	977	14	176,36
2	749	15	164,06
3	602	16	155,17
4	514	17	146,97
5	429,98	18	138,76
6	370,5	19	130,56
7	326,07	20	125,09
8	290,52	21	118,94
9	263,86	22	113,47
10	239,25	23	108,69
11	220,11	24	105,27
12	203,71	25	102,53
13	189,35		

Figura 39: Grafica de los voltajes de salida en el sensor, fuente autor.



Como se puede observar en la grafica anterior la respuesta es de tipo exponencial, sin embargo el sistema es lineal, para comprobar la linealidad de éste se muestra a continuación que cumple con las dos propiedades de linealidad que son: la propiedad aditiva y la propiedad de homogeneidad.

$$\frac{V_{sal}}{V_{ent}} = \frac{1}{WRC + 1} = \frac{y(t)}{x(t)}$$

si

$$x(t) = ax_1(t) + bx_2(t)$$

$$y(t) = \frac{ax_1(t) + bx_2(t)}{WRC + 1} = \frac{ax_1(t)}{WRC + 1} + \frac{bx_2(t)}{WRC + 1}$$

$$y_1(t) = \frac{x_1(t)}{WRC + 1}$$

$$y_2(t) = \frac{x_2(t)}{WRC + 1}$$

$$y(t) = ay_1(t) + by_2(t)$$

- **Etapla de determinación del sistema (lineal o no lineal):** cuando un sistema es lineal se puede aplicar el principio de superposición. Este hecho tan importante ha sido la causa de que se hallan desarrollado tanto las técnicas de análisis de sistemas lineales. El principio de superposición establece simplemente que la respuesta de un sistema a una suma de señales de entrada es la suma de las respuestas del sistema a cada señal de entrada por separado. Matemáticamente, el principio de superposición se puede enunciar como sigue: sea $y_1(t)$ la respuesta de un sistema a la entrada $x_1(t)$, e $y_2(t)$ la respuesta correspondiente a la entrada $x_2(t)$.
El sistema es lineal (es decir sigue el principio de superposición) si:

1. la respuesta a $x_1(t) + x_2(t)$ es $y_1(t) + y_2(t)$, y
2. la respuesta a $x_1(t)$, $\alpha x_1(t)$ es $\alpha y_1(t)$, siendo α una constante arbitraria.

La primera propiedad se denomina propiedad de aditividad, y la segunda, propiedad de homogeneidad. Estas propiedades que definen un sistema lineal se pueden combinar en una sola

$$\alpha x_1(t) + \beta x_2(t) \rightarrow \alpha y_1(t) + \beta y_2(t)$$

En donde la notación $x(t) \rightarrow y(t)$ representa la relación entrada salida del sistema en tiempo continuo. Se dice que un sistema no es lineal si la anterior relación no es válida para al menos un conjunto de $x_1(t)$, $x_2(t)$, α y β . [19]

- **Etapla de diseño del programa en Matlab para la interpolación:** los datos de voltaje en la salida de la etapa anterior, corresponden a la altura en centímetros (cm). Inicialmente se tomaron 40 datos con un paso de 0,5 cm, no se tomaron mas muestras debido a que el espacio entre cada muestra era muy pequeño para observar la medida, debido a esto fue necesario hacer una aproximación por medio de métodos numéricos.

Para obtener la correlación entre los valores de voltaje del circuito de excitación al sensor capacitivo y el correspondiente nivel expresado en centímetros, es indispensable conocer el modelo matemático del mismo, por esta razón se utiliza el método de aproximación polinomial fragmentaria (figura 40) en donde cada uno

de los rangos o fragmentos se describen a través de polinomios de segundo orden de la forma $ax^2 + bx + c$ cuyos coeficientes fueron calculados usando el método de mínimos cuadrados.

Por esta razón se calculan los polinomios que describen la función característica del sensor por medio de un programa diseñado en Matlab, con el fin de conseguir una interpolación a través del método de mínimos cuadrados, para lograr mayor cantidad y precisión en la información. En el programa se utilizan dos funciones *polyfit* y *polyval*, diseñadas por Mathworks.

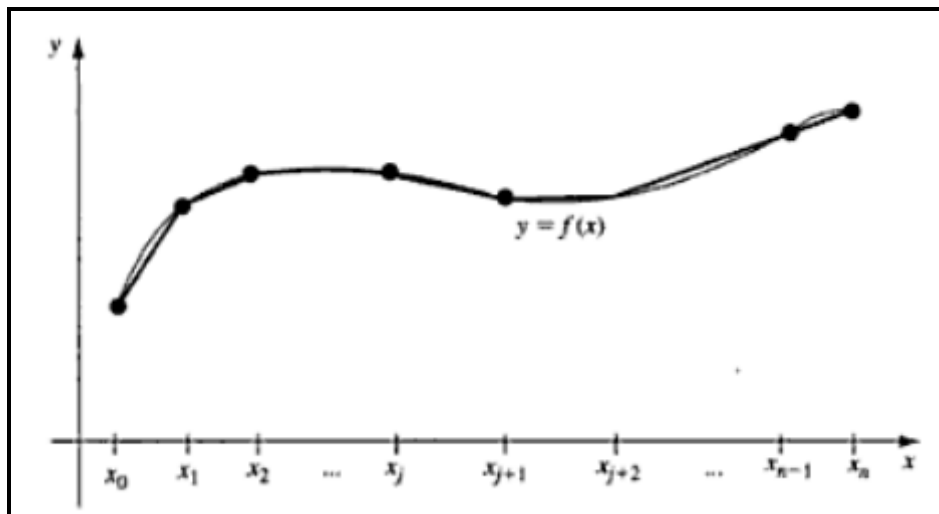
La primera función: " $p = \text{polyfit}(x,y,n)$ " encuentra los coeficientes del polinomio $p(x)$ de grado n que se ajustan a los datos, $p(x(i))$ hasta $y(i)$, por medio del método de mínimos cuadrados, el resultado de *polyfit* es un vector p de longitud $n+1$, que contiene los coeficientes del polinomio resultante. [18]

$$p(x) = p_1x^n + p_2x^{n-1} + \dots + p_nx + p_{n+1}$$

Ecuación 8. [18]

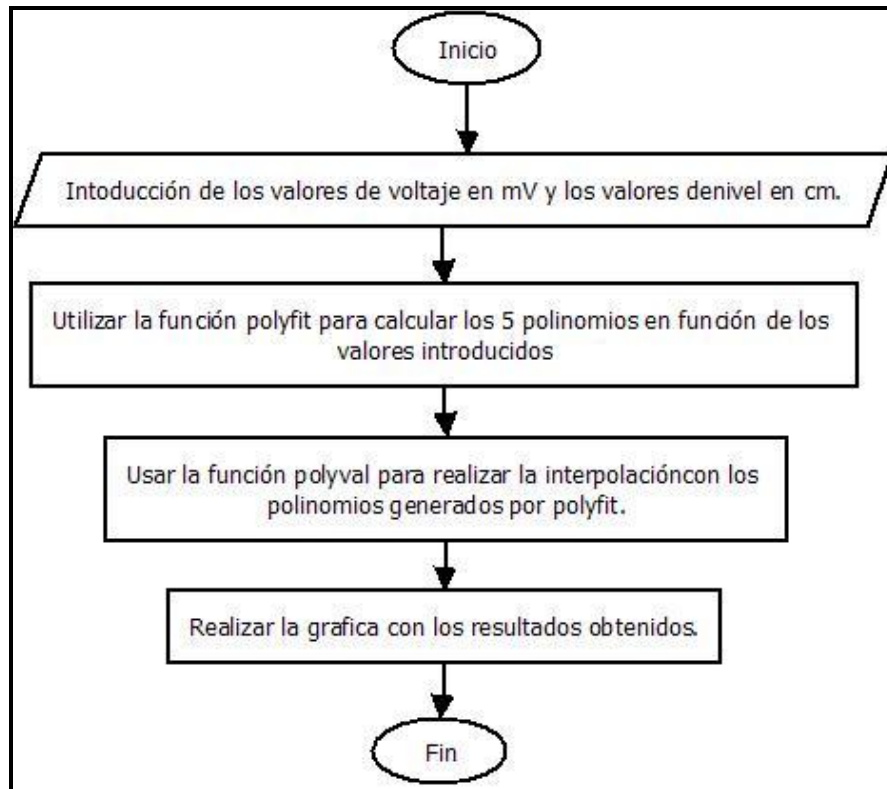
La segunda función: " $y = \text{polyval}(p,x)$ " retorna el valor de un polinomio de grado n evaluado en x . La entrada o argumento p es un vector de longitud $n+1$ cuyos elementos son los coeficientes del polinomio a ser evaluado.

Figura 40: Aproximación polinómica fragmentaria, tomado de [12].



A continuación se muestra en la figura 41 el diagrama de flujo del programa elaborado en Matlab.

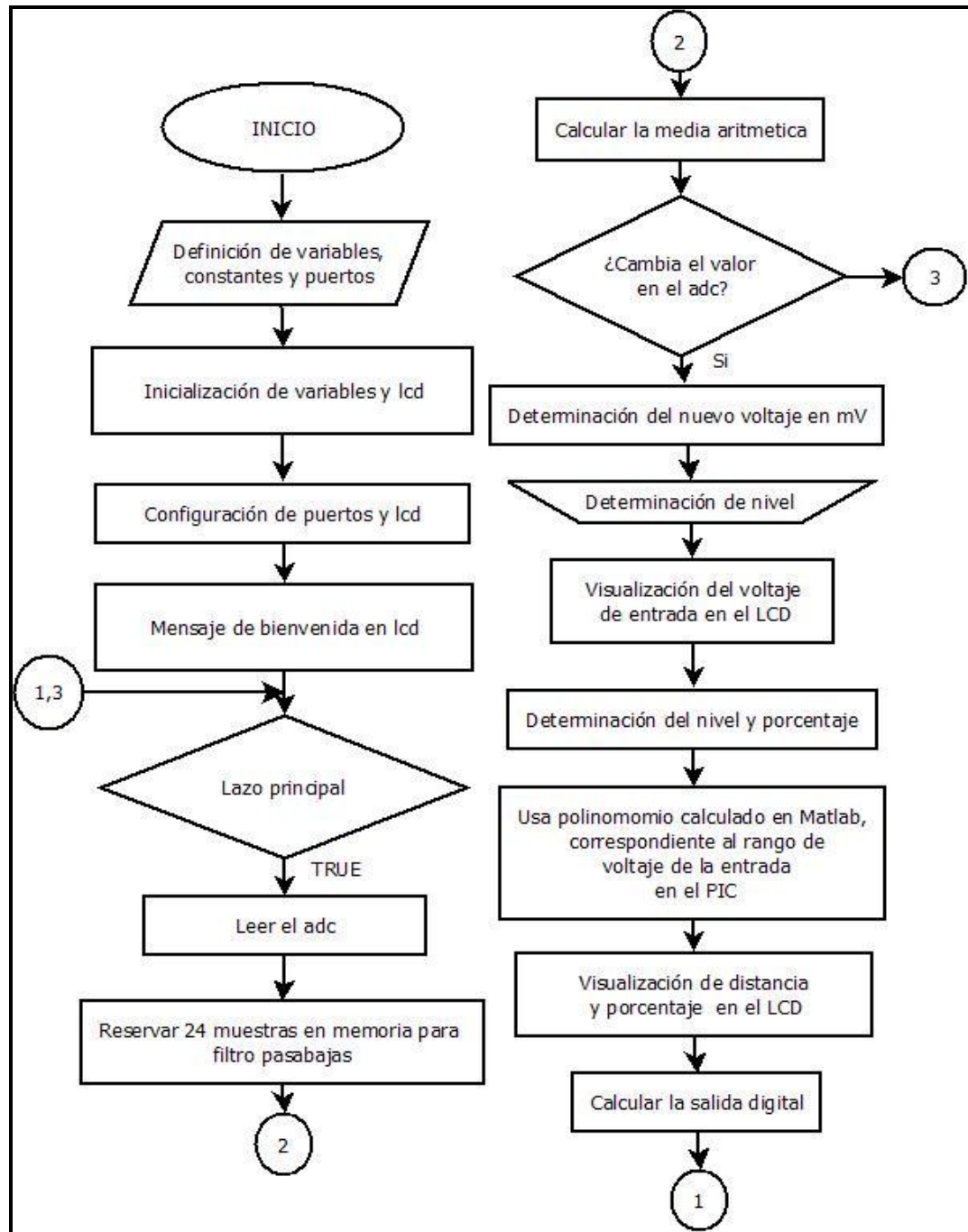
Figura 41: Diagrama de flujo del programa diseñado en Matlab, fuente autor.



- **Etapas de diseño del programa con el microcontrolador (PIC 16F873A):** El microcontrolador utilizado en la etapa de procesamiento de la señal fue el PIC 16F873A, dada la versatilidad de éste dispositivo se le programaron cuatro procedimientos. El primero es digitalizar la señal de la salida del circuito mostrado en la figura 38, por medio del modulo ADC (10 bits de resolución) del microcontrolador, el segundo es calcular los valores de nivel en función de la señal previamente digitalizada, para este fin se debe tener en cuenta el procedimiento descrito en la etapa anterior (etapa de interpolación en Matlab), el tercero consiste en realizar una transformación proporcional desde los valores de nivel a los valores de corriente, dentro del rango de 4 a 20 mA, para este propósito se emplea un conversor digital análogo con salida en corriente (DAC 908 de Texas Instruments), en el cuarto y ultimo procedimiento se implementa un algoritmo para el control de una pantalla alfa numérica donde es visualizada la información correspondiente al nivel expresado en cm y porcentaje.

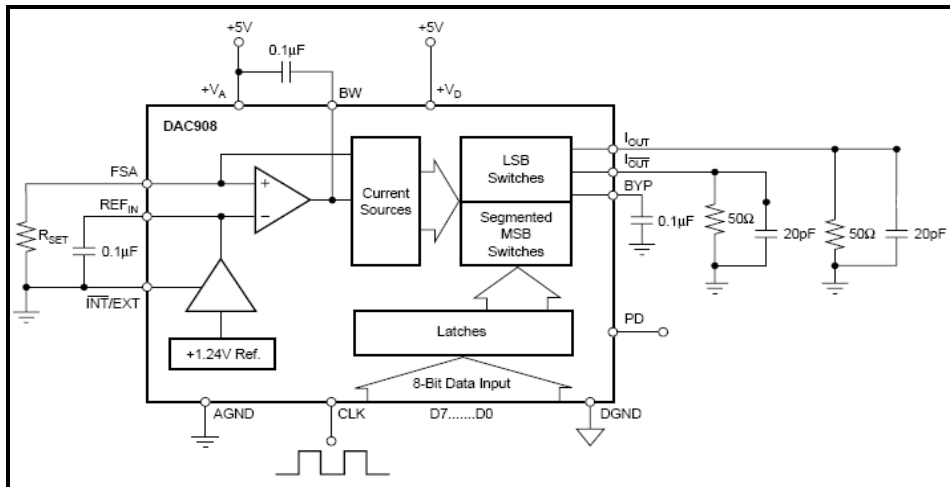
El procedimiento descrito en el párrafo anterior se observa con más detalle en el diagrama de flujo que se muestra en la figura 42.

Figura 42: Diagrama de flujo del programa diseñado con el microcontrolador, fuente autor.



- **Etapla de implementación del DAC para general la corriente de salida:** el integrado usado fue el DAC 908 con 8 bits de resolución y salida de corriente desde 0mA hasta 20 mA. El esquema de conexiones se muestra en la figura 43.

Figura 43: Esquema de conexiones del DAC 908, tomado de [13].



2.2.3 Caracterización del instrumento:

Primera prueba:

Tabla 8: Datos de la primera prueba, fuente autor

Nivel en cm	Corriente en mA	% de nivel
25	19.8	100
24.44	19.3	97.2
23.28	18.4	91.4
21.99	17.5	84.9
21	16.7	80
19.92	15.8	74.6
19	15	70
17.94	14.3	64.7
16.97	13.5	59.8
15.94	12.6	54.7
14.96	11.8	49.8
13.96	11	44.8
12.93	10.2	39.6
12.11	9.6	35.5
11.09	8.8	30.4
10.13	8	25.6
9.12	7.2	20.61
8.01	6.3	15.07
7.01	5.5	10.05
5.97	4.6	4.895
5.03	3.9	0.185

Segunda prueba:

Tabla 9: Datos de la segunda prueba, fuente autor.

Nivel en cm	Corriente en mA	% de nivel
25	19.8	100
24.44	19.3	97.2
23.28	18.4	91.4
21.99	17.5	84.9
21	16.7	80
20.03	15.9	75.1
19.1	15.1	70.5
18.93	14.2	65.1
16.97	13.5	59.3
16.01	12.7	55
15.03	11.9	50.1
14.02	11.1	45.1
12.93	10.2	39.6
12.24	9.6	36.2
11.17	8.8	30.8
10.13	8	25.6
9.17	7.2	20.87
8.1	6.4	15.52
7.01	5.5	10.05
6.12	4.8	5.635
5.07	3.9	0.366

Tercera prueba:

Tabla 10: Datos de la tercera prueba, fuente autor.

Nivel en cm	Corriente en mA	% de nivel
25	19.9	100
24.65	19.6	98.2
23.46	18.6	92.3
22.28	17.7	86.4
21.45	17	82.2
20.24	16	76.2
19.3	15.3	71.3
18.41	14.6	67
17.22	13.6	61.5
16.24	12.8	56.2
15.23	12.1	51.1
14.26	11.3	46.3
13.29	10.5	41.4
12.42	9.8	37.1
11.44	9	32.2
10.4	8.2	27
9.38	7.4	21.79
8.35	6.6	16.77
7.14	5.6	10.72
6.23	4.9	6.175
5.11	4	0.555

Cuarta prueba:

Tabla 11: Datos de la cuarta prueba, fuente autor.

Nivel en cm	Corriente en mA	% de nivel
25	19.9	100
24.04	19.1	95.2
23.1	18.3	90.5
21.99	17.5	84.9
21	16.7	80
19.92	15.8	74.6
19	15	70
17.85	14.2	64.2
16.88	13.4	59.4
15.87	12.5	54.3
14.96	11.8	49.8
13.96	11	44.8
12.83	10.1	39.1
12.11	9.6	35.5
11.09	8.8	30.4
10.16	8	25.8
9.12	7.2	20.61
8.03	6.3	15.18
6.99	5.5	9.965
6.02	4.7	5.115
5.06	3.9	0.325

Quinta prueba:

Tabla 12: Datos de la quinta prueba, fuente autor.

Nivel en cm	Corriente en mA	% de nivel
25	19.9	100
24.04	19.1	95.2
23.28	18.5	91.4
22.3	17.5	85.6
21	16.7	80
20.03	15.9	75.1
19.1	15.1	70.5
18.03	14.3	65.1
16.97	13.5	59.8
15.94	12.6	54.7
14.9	11.8	49.5
13.96	11	44.8
12.93	10.2	39.6
12.2	9.6	36
11.2	8.9	31
10.2	8.1	26
9.2	7.2	21
8.08	6.4	15.4
7.01	5.5	10.05
6.08	4.8	5.415
5.03	3.9	0.185

3. MODULO DE PROCESO PARA LA MEDICION DE NIVEL

3.1 DISEÑO DEL TANQUE.

El diseño se realizó con el programa SOLID EDGE V18, además se añadieron 2 electro bombas y dos tubos dentro del tanque para facilitar el llenado y el vaciado del mismo. El diseño se muestra con más detalle en las siguientes figuras (las unidades de medida se tomaron en milímetros).

Figura 44: Altura y profundidad del tanque, fuente autor.

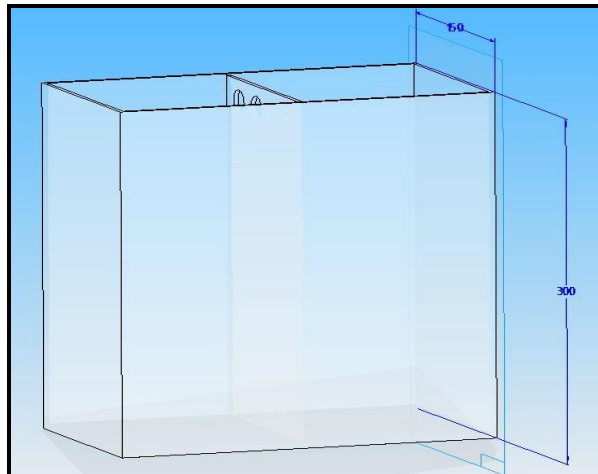


Figura 45: Anchura y grosor del tanque, fuente autor.

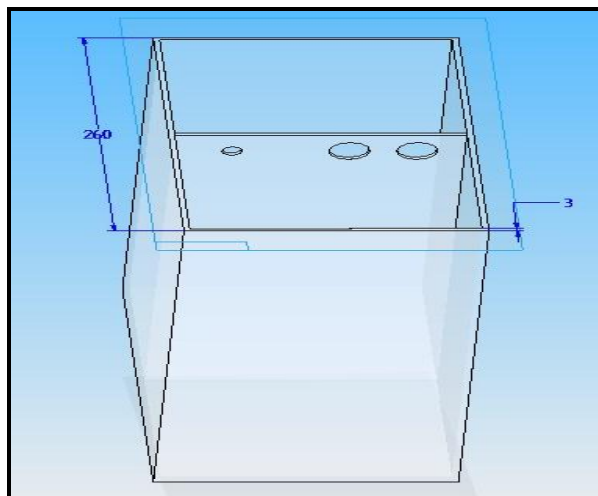
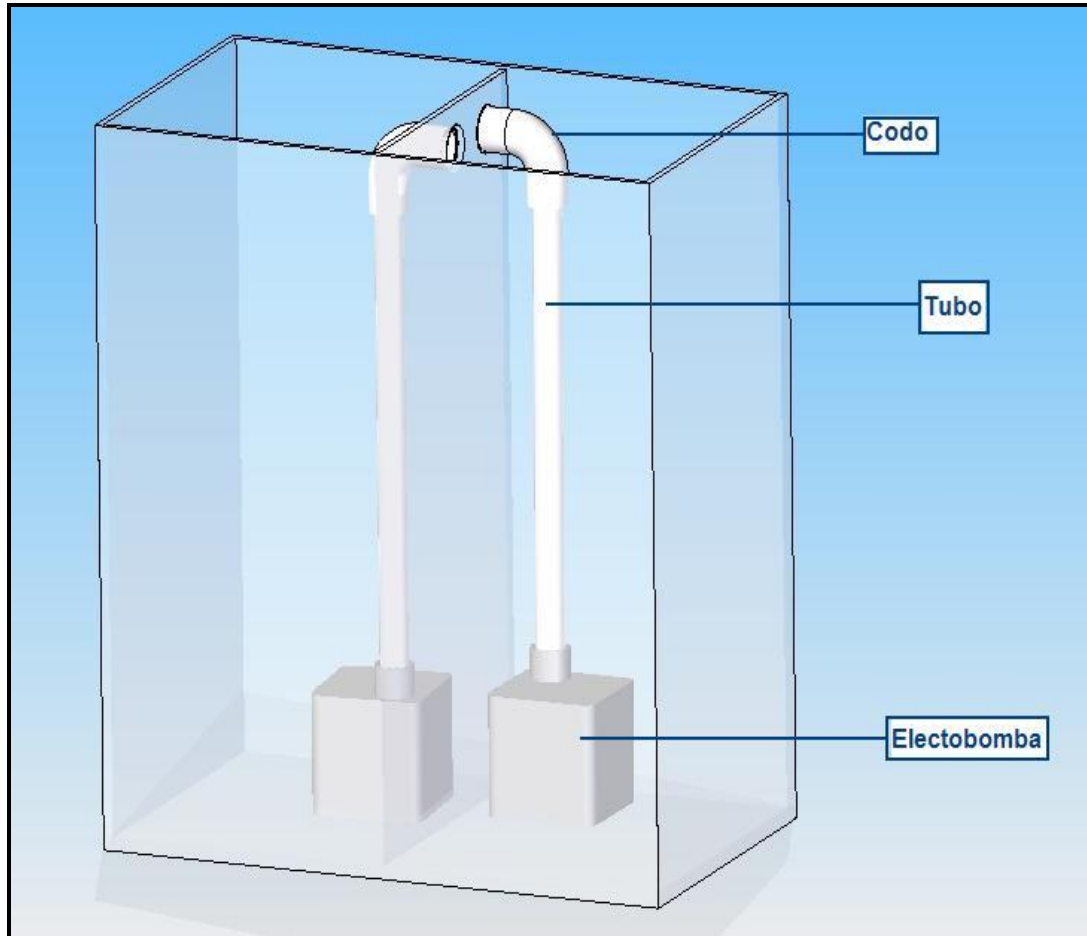


Figura 46: Elementos adicionados en el tanque, fuente autor.



3.2 DISEÑO DEL CABEZAL

Dentro del cabezal se encuentran: el sensor, la pantalla de visualización y las tarjetas con los circuitos diseñados para el transmisor de nivel capacitivo, el diseño del cabezal también se realizó en SOLID EDGE V18, y se puede observar desde la figura 47 hasta la figura 50.

Figura 47: Vista lateral del cabezal, fuente autor .

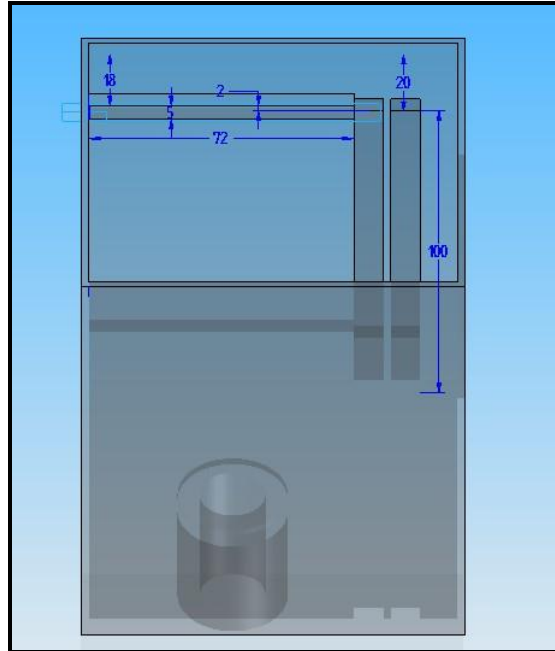


Figura 48: Vista frontal del cabezal, fuente autor.

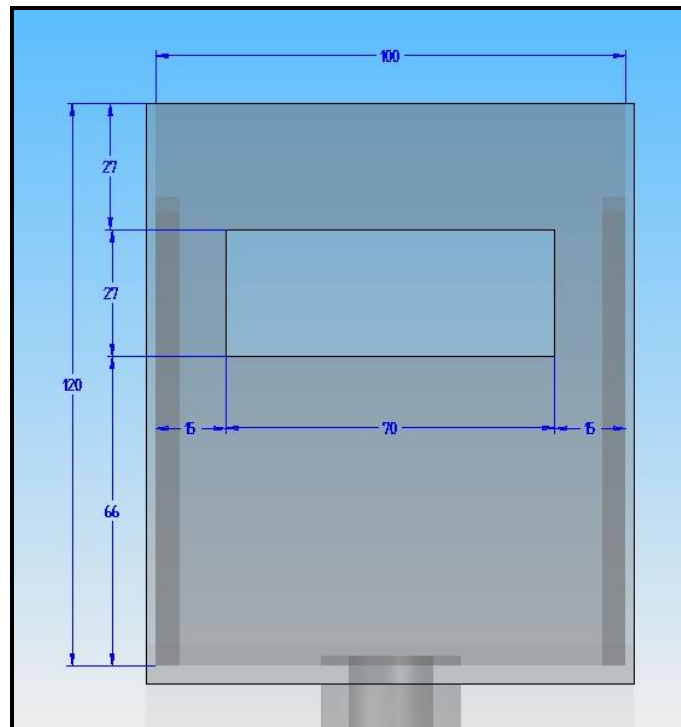


Figura 49. Medidas internas del cabezal. [22]

Figura 49: Medidas internas del cabezal, fuente autor.

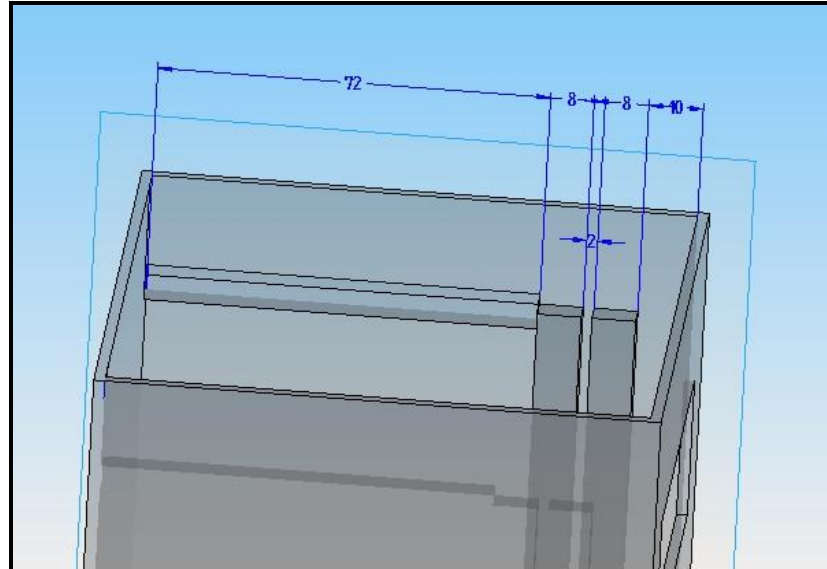
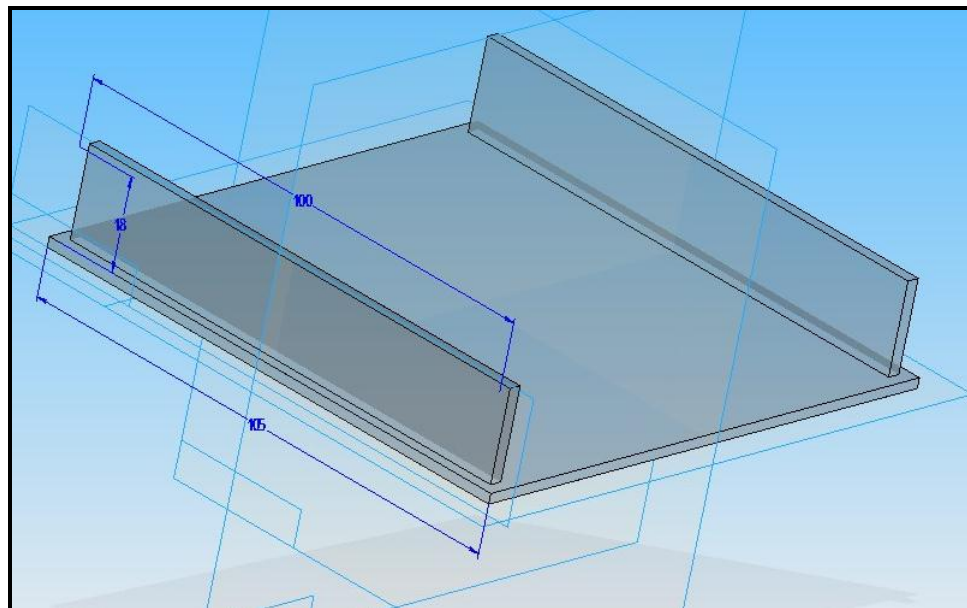


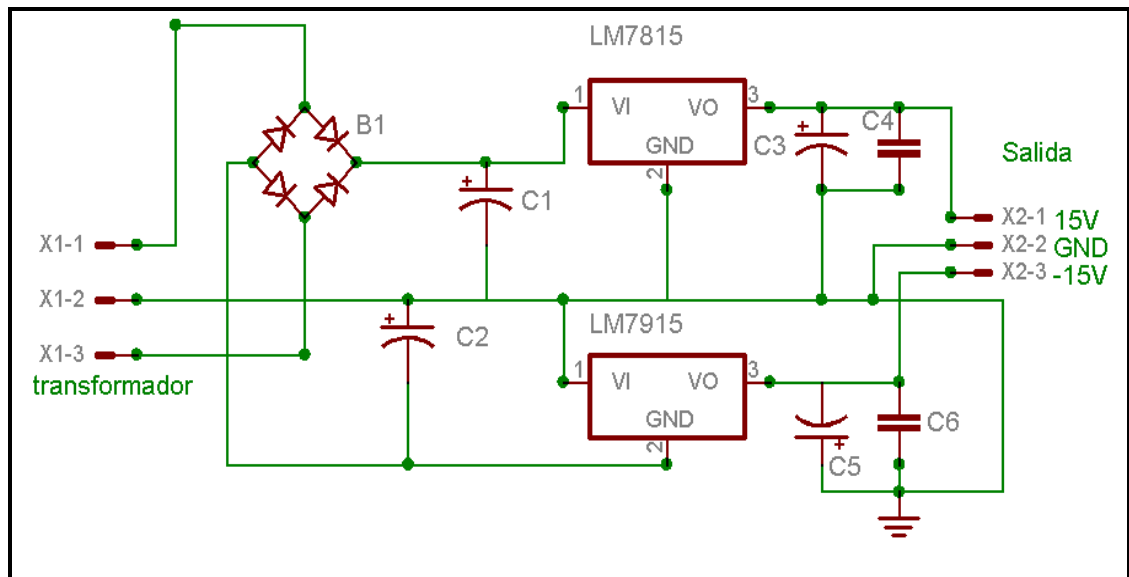
Figura 50: Tapa del cabezal, fuente autor.



3.3 DISEÑO DE LA FUENTE

Los componentes de la fuente son un transformador con tap central, un puente rectificador, los reguladores LM 7815 y LM 7915, 4 condensadores electrolíticos y dos condensadores cerámicos (figura 51).

Figura 51: Diagrama esquemático de la fuente, fuente autor.



El transformador convierte el voltaje de 120 voltios a un voltaje de 48 voltios o 24 voltios y -24 voltios, si se toma como referencia el tap central, el puente rectificador convierte la señal AC en señal DC, los condensadores C1 y C2 disminuyen el voltaje de rizado, los reguladores LM 7815 y LM 7915 rectifican el voltaje para obtener una salida de 15 voltios y -15 voltios respectivamente, los condensadores C3, C4, C5 y C6, se utilizan para filtrar la señal.

3.4 DISEÑO DE TARJETAS(PCBS)

Las tarjetas fueron diseñadas con el programa EAGLE 4.16r2, y se pueden observar en las siguientes figuras.

Figura 52: Tarjeta de la fuente, fuente autor.

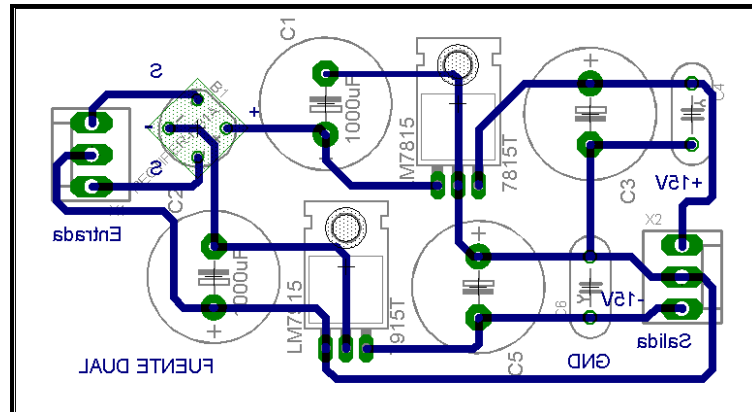


Figura 53: Tarjeta generador y adquisición de la señal, fuente autor.

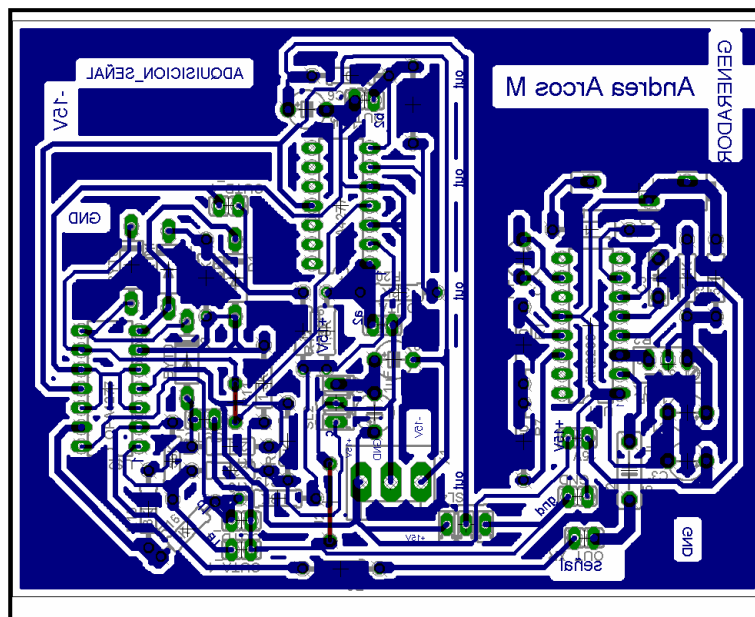
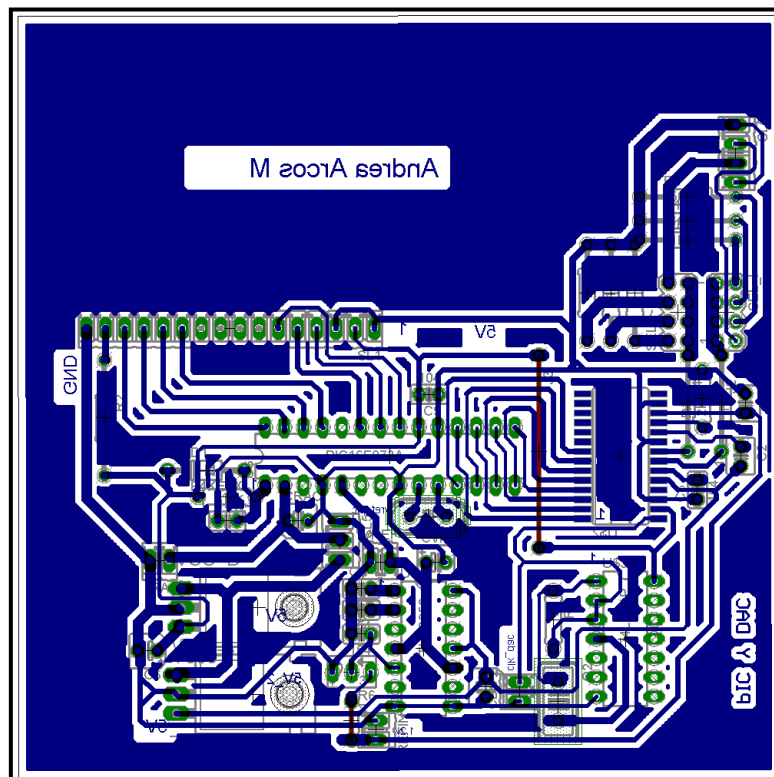


Figura 54: Tarjeta procesamiento con el microcontrolador y el DAC, fuente autor.



RECOMENDACIONES

El tanque debe ser llenado con agua a temperatura ambiente, de otro modo el resultado se vera alterado.

El transmisor de nivel capacitivo debe ser ubicado en las bases, del tanque.

Es necesario cierta cantidad de agua dentro del tanque para que las electro bombas no se dañen, por este motivo el tanque debe estar lleno hasta donde se indique.

Para que el funcionamiento del Transmisor de nivel capacitivo sea óptimo, es necesario calibrarlo por medio del trimer de calibración, que se encuentra en la parte superior del cabezal.

Las condiciones de calibración son las siguientes: primera, el tanque debe estar lleno hasta 25 cm, segunda, se debe ajustar el trimer de calibración de modo que en la pantalla indicadora aparezcan los siguientes datos: voltaje en milivoltios 102.53, altura en cm 25 cm y porcentaje de nivel 100%.

Para poder observar la corriente proporcional al cambio de nivel, es necesario utilizar un amperímetro, la conexión del amperímetro puede ir con o sin resistencia, y se deben colocar las puntas de prueba en el lugar indicado por el transmisor.

CONCLUSIONES

Por medio de dos mediciones indirectas, la primera, medición de la frecuencia de corte en un filtro RC pasa bajas y la segunda, medición del tiempo de carga y descarga del condensador, se comprobó que los valores de capacitancia en el sensor son muy elevados si se usa como material dieléctrico el agua, si se usa como material dieléctrico el aire, el valor de capacitancia en el condensador es pequeño.

Mediante las pruebas experimentales realizadas para captar el cambio de capacitancia del sensor, se determinó que el método más conveniente es el filtro pasabajas RC de primer orden, porque a medida que cambia el valor del condensador también varía la frecuencia de corte y por ende el voltaje en la salida. El método menos conveniente es el de los osciladores, debido a que los valores de capacitancia son muy elevados, lo cual impide una oscilación.

Al realizar la conversión alterna a directa de la señal correspondiente al voltaje de salida en el sensor, no es posible utilizar un rectificador de onda completa (puente de diodos), porque la salida sería diferencial, debido a que se necesita una salida de un solo hilo, se debe rectificar cada media onda, para luego sumarlas e invertirlas y así obtener una salida no diferencial.

Debido a que la señal de salida en el sensor esta dada en mV y no supe suficiente corriente, no es posible usar como rectificador de media onda un diodo, porque no es capaz de activarse o si lo hace distorsiona la señal, por esta razón es necesario utilizar el rectificador de media onda de instrumentación, ya que al haber un elemento activo (amplificador operacional), entrega la energía necesaria para activar y desactivar los diodos sin afectar la señal proveniente del sensor.

El sensor debe estar sumergido 5cm en el agua, lo cual se considera como la zona de nivel muerto del sensor, en donde se tiene una capacitancia inicial aproximadamente de 185 μF . De otra forma la medición no sería tan asertiva, porque de acuerdo con las medidas realizadas para hallar el valor del capacitor, entre los valores de 1 cm hasta 5cm el cambio de la capacitancia entre cada cm es considerablemente mas grande con respecto a las mediciones anteriores.

La respuesta del sensor es de forma exponencial, sin embargo el sistema es lineal porque cumple las propiedades de aditividad y homogeneidad.

REFERENCIAS:

- [1] Antonio Creus Sole. Instrumentación Industrial, editoriales técnicas Marcombo, séptima edición. (2005)
- [2]<http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Solidos/index.htm>. Fecha de consulta 20 de abril del año 2010.
- [3] <http://www.scribd.com/doc/23575897/TRABAJO-DE-NIVEL>. Fecha de consulta 20 de abril del año 2010.
- [4] <http://medicionesi.blogspot.com/>. Fecha de consulta 20 de abril del año 2010.
- [5] http://sensormicroondas.blogspot.com/2007/05/montaje_1863.html. Fecha de consulta 20 de abril del año 2010.
- [6] www.resetsa.com/Magnetrol.ppt. Fecha de consulta 20 de abril del año 2010
- [7] diapositivas de Sergio Mauricio Moreno Quintero.
- [8]http://www.infoplcn.net/Documentacion/Docu_Instrumentacion/infoPLC_net_MEDICION_DE%20_NIVEL.html. Fecha de consulta 19 de junio del año 2010.
- [9] http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb_08_II/pb0803t.pdf. Fecha de consulta 27 de septiembre del año 2009.
- [10] Fundamentos físicos de la edificación I, publicaciones Delta, primera edición. (2008)
- [11] Hoja de datos integrado XR 2206.
- [12] Richard L. Burden y J. Douglas Faires .Análisis Numérico, Thomson, séptima edición.(2002)
- [13] Hoja de datos integrado DAC 908.
- [14] Clifford A. Pickover. De Arquímedes a Hawking las leyes de la ciencia y sus descubridores. Editorial Crítica, 2009.
- [15] http://www.unicrom.com/Tut_filtroRCpasabajo.asp. Fecha de consulta 19 de Junio del año 2010.
- [16] Hoja de datos del integrado LM555.

- [17] Tomasi Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas, Pearson Education de Mexico, cuarta edición (2003).
- [18] ayuda de Matlab versión 7.1.0.246 (R14) Service Pack 3.
- [19] Samir S. soliman y Mandyam D. Srinath. Señales y sistemas continuos y discretos, Prentice Hall, segunda edición, Madrid (1999).
- [20] http://www.unicrom.com/Tut_valor_capacitivo.asp. Fecha de consulta 08 de Agosto del año 2010.
- [21] <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/capacitores/capacitores.htm>. Fecha de consulta 08 de Agosto del año 2010.
- [22] Julieth Andrea Arcos. Libro de tesis, Diseño y construcción de un Transmisor de nivel capacitivo. (2010)

ANEXOS

ANEXO 1. Manual de fabricante Transmisor de Nivel Capacitivo.

Transmisor de Nivel Capacitivo



Por favor lea estas instrucciones antes de operar. El contenido esta sujeto a cambios sin previo aviso u obligación.

IMPRESO EN COLOMBIA.

INDICE DE CONTENIDO

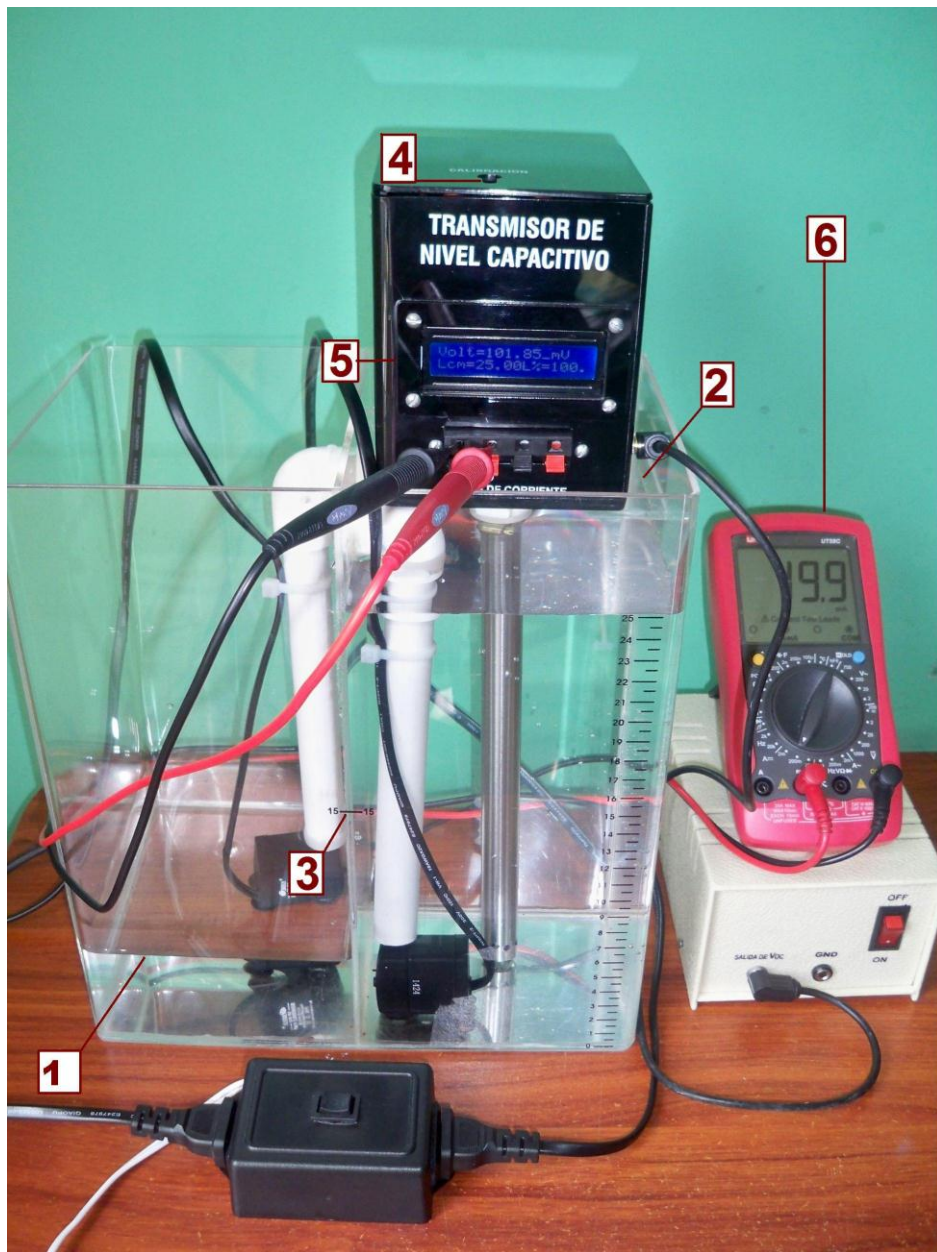
	Pág.
Instrucciones de seguridad	3
Recomendaciones	3
Especificaciones	4
Introducción	5
Cuidado y limpieza	5
Tanque.....	5
Elemento sensor.....	6
Cabezal.....	6
Fuente.....	7
Tarjetas.....	7
Pantalla visualizadora.....	8
Instalación	8
Llenado del tanque.....	8
Ubicación del Transmisor de nivel capacitivo.....	8
Fuente de alimentación.....	8
Cable de alimentación de corriente DC.....	9
Cabezal.....	9
Ubicación y función de controles en el Transmisor de nivel capacitivo	10
Ubicación y función de controles en la fuente	11

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

- El tanque debe ser llenado hasta donde las marcas inscritas en éste lo indiquen.
- Graduar la electro bomba que se encuentra al lado derecho del tanque en velocidad media, para evitar que el agua salga de éste antes de introducir el transmisor de nivel capacitivo.
- Graduar la electro bomba que se encuentra a lado izquierdo del tanque en velocidad mínima, para evitar que le caiga agua al cabezal del transmisor.

RECOMENDACIONES

- 1** El tanque debe ser llenado con agua a temperatura ambiente, de otro modo el resultado se vera alterado.
- 2** El transmisor de nivel capacitivo debe ser ubicado en las bases, del tanque.
- 3** Es necesario cierta cantidad de agua dentro del tanque para que las electro bombas no se dañen, por este motivo el tanque debe estar lleno hasta donde se indique.
- 4** Para que el funcionamiento del Transmisor de nivel capacitivo sea optimo, es necesario calibrarlo por medio del trimer de calibración, que se encuentra el la parte superior del cabezal.
- 5** Las condiciones de calibración son las siguientes: primera, el tanque debe estar lleno hasta 25 cm, segunda, se debe ajustar el trimer de calibración de modo que en la pantalla indicadora aparezcan los siguientes datos: voltaje en milivoltios 102.53, altura en cm 25 cm y porcentaje de nivel 100%.
- 6** Para poder observar la corriente proporcional al cambio de nivel, es necesario utilizar un amperímetro, la conexión del amperímetro puede ir con o sin resistencia, y se deben colocar las puntas de prueba en el lugar indicado por el transmisor.



ESPECIFICACIONES

El cuadro de especificaciones del Transmisor de nivel capacitivo que se muestra continuación esta basado en la norma ISA-S20-1981.

Hoja <u>1</u> de <u>1</u>		TRANSMISOR-INDICADOR DE NIVEL CAPACITIVO		Fecha <u>09/09/10</u>	
Tipo de instrumento: Transmisor -indicador de nivel					
Marca: UPB					
Serial: 01				Variable medida: Nivel	
GENERAL	1	Tag N0	TLI		
	2	Función	Grabar <u> </u>	Indicar <u>x</u>	Controlar <u> </u>
			Otra: <u>Transmitir una señal de corriente</u>		
	3	Carcasa	Tipo: <u>Acrílico</u>	Tamaño: <u>10cm*12cm*10cm</u>	
	4	Montaje	Tubería <u> </u>	Rack <u> </u>	Superficie <u> </u>
			Otra: <u>Tanque</u>		
	5	Encerramiento	De propósito General <u> </u>		A prueba de agua <u> </u>
			A prueba de explosivo <u> </u>		Otro: <u> </u>
	6	Fuente	AC <u> </u>	DC <u>+15 y 15V</u>	Otra: <u>Ninguno</u>
	7	Características	Precisión: <u> </u>		
			Rango de medida: <u>Máximo 25 cm</u>		
			Condiciones de Temperatura: <u>25°C</u>		
			Condiciones de Presión: <u> </u>		
	CONTROLADOR	8	Tipo de Control	Proporcional: <u> </u> Integral: <u> </u> Derivativo: <u> </u>	
			Otro: <u> </u>		
9		Acción en la salida	Incrementar: <u> </u>		Decrementar: <u> </u>
10		Set POINT	Manual: <u> </u>	Externo: <u> </u>	Remoto: <u> </u>
			Otro: <u> </u>		
			Set point del proceso: <u> </u>		
					Variable: <u> </u>
					Set POINT: <u> </u>
11		Salida	Corriente	S/N <u>x</u>	Valor: <u>4 a 20 mA</u>
			Voltaje	S/N <u> </u>	Valor: <u> </u>
			Presión	S/N <u> </u>	Valor: <u> </u>
		Otra: <u> </u>			
ENTRADAS	12	Señales de entrada	Corriente	S/N <u> </u>	Valor: <u> </u>
			Voltaje	S/N <u> </u>	Valor: <u> </u>
			Presión	S/N <u> </u>	Valor: <u> </u>
			Otra: <u> </u>		
	13	Numero de entradas	1 <u>x</u> 2 <u> </u> 3 <u> </u> 4 <u> </u> Mas: <u> </u>		
	14	Tipo de alarma	Software <u> </u>	Switch <u> </u>	
			Sonora <u> </u>	Visual <u> </u>	Silenciosa <u> </u>
			Otra: <u> </u>		
NOTAS/OBSERVACIONES					
El valor del voltaje de salida en el sensor es desde 102mV hasta 977mV					

INTRODUCCION

El transmisor de nivel capacitivo, es un instrumento dedicado a la medición de nivel de agua, su rango de medida es desde 5cm hasta 25 cm, su función es indicar el cambio de nivel de agua por medio de la pantalla de visualización y generar una corriente estandarizada de 4mA a 20 mA DC proporcional al cambio de nivel.

El elemento de sensado del transmisor de nivel capacitivo, como su nombre lo indica es un capacitor cilíndrico que cambia su valor de capacitancia a medida que cambia el nivel de agua.

Las unidades de medida que entrega el transmisor están dadas de dos formas, la primera en cm y la segunda en porcentaje de nivel, adicionalmente también se puede observar el voltaje en la salida del sensor que esta dado en milivoltios.

CUIDADO Y LIMPIEZA

Tanque



Para lavar el tanque, se debe usar un jabón suave y un paño limpio, esto es sólo para las paredes del tanque y los tubos , para las electro bombas no se debe usar ningún tipo de producto únicamente lavar con suficiente agua. No utilizar ningún tipo de limpiador corrosivo.

Elemento sensor



Para el cuidado y limpieza del elemento sensor primero se debe separar las partes que son: el cilindro externo, el cilindro interno y O-Rings. Cada una de ellas se puede lavar con un jabón suave y una esponja no corrosiva, si los O-Ring están desgastados en necesario cambiarlos por sus respectivos repuestos.

Cabezal



Dentro del cabezal se encuentran las tarjetas, los cables de conexión, el visualizador, el conector de salida, el elemento sensor, en fin todo lo necesario para el funcionamiento del transmisor.

Si se quiere limpiar la superficie externa del cabezal, se puede utilizar alcohol y un pañito suave para evitar ralladuras, se debe limpiar en seco no se debe lavar como el tanque.

Si se quiere limpiar la superficie interna se deben realizar los siguientes pasos: primero desconectar los cables, segundo retirar la tarjeta generador y adquisición de la señal, tercero retirar suavemente hacia arriba la tarjeta procesamiento con el microcontrolador y el DAC y sus respectivas conexiones, después de estos pasos

se puede limpiar el interior del cabezal con una pequeña aspiradora o un secador para retirar el exceso de polvo que pueda haber allí.

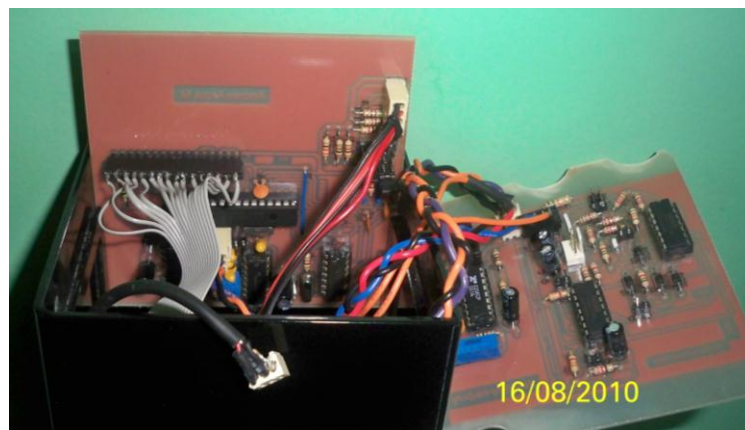
Fuente



Si se quiere limpiar la superficie exterior de la fuente, primero se debe retirar el polvo con una paño seco, después se puede utilizar una paño húmedo y pararlo sobre toda la superficie.

Para retirar el polvo del interior de la fuente se puede usar una pequeña aspiradora o un secador, no es necesario retirar los componentes como en el caso anterior.

Tarjetas



Para limpiar las tarjetas, primero se deben retirar del cabezal, segundo aspirar o retirar el polvo con un secador.

Pantalla visualizadora

Limpiar suavemente con un pañito humedecido con limpiavidrios o un poquito de alcohol.

INSTALACION

Llenado del tanque

El tanque debe ser llenado con agua a temperatura ambiente, de otro modo el resultado se vera alterado.

Es necesario cierta cantidad de agua dentro del tanque para que las electro bombas no se dañen, por este motivo el tanque debe estar lleno hasta donde se indique.

Ubicación del Transmisor de nivel capacitivo

El transmisor de nivel capacitivo debe ser ubicado en las bases que se encuentran en la parte derecha del tanque, recuerde que antes de esto es necesario verificar que la electro bomba del lado derecho del tanque esté en velocidad media y la electro bomba del lado izquierdo esté velocidad mínima.



Fuente de alimentación

Conectar la fuente de alimentación a una toma de 110-120 V AC, y prenderla, la fuente tiene dos salidas, la primera es de corriente DC y la segunda es una conexión a tierra.

Cable de alimentación de corriente DC

Conecte el cable de alimentación entre la salida de corriente DC de la fuente y la entrada de corriente DC del cabezal.



Cabezal

Encienda el cabezal después de haber realizado la conexión y encendido de la fuente y la conexión del cable de alimentación entre la fuente y el cabezal.

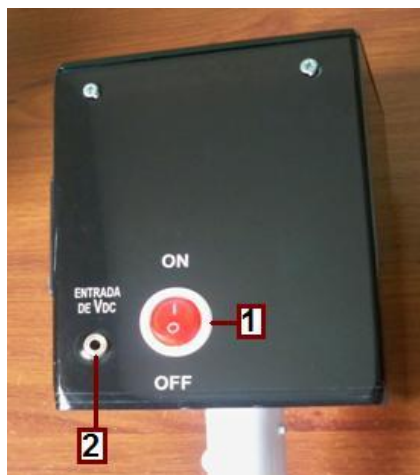
Para que el funcionamiento del Transmisor de nivel capacitivo sea optimo, es necesario calibrarlo por medio del trimer de calibración, que se encuentra en la parte superior del cabezal.

Las condiciones de calibración son las siguientes: primera, el tanque debe estar lleno hasta 25 cm, segunda, se debe ajustar el trimer de calibración de modo que en la pantalla indicadora aparezcan los siguientes datos: voltaje en milivoltios 102.53, altura en cm 25 cm y porcentaje de nivel 100%.

Para poder observar la corriente proporcional al cambio de nivel, es necesario utilizar un amperímetro, la conexión del amperímetro puede ir con o sin resistencia, y se deben colocar las puntas de prueba en el lugar indicado por el transmisor.

UBICACION Y FUNCION DE CONTROLES EN EL TRANSMISOR DE NIVEL CAPACITIVO

Vista lateral izquierda:



Vista frontal:



Vista superior:



- 1** Switch de on/off
- 2** Entrada de voltaje DC
- 3** Salida de corriente de 4 a 20 mA DC
- 4** Pantalla de visualización
- 5** Calibración

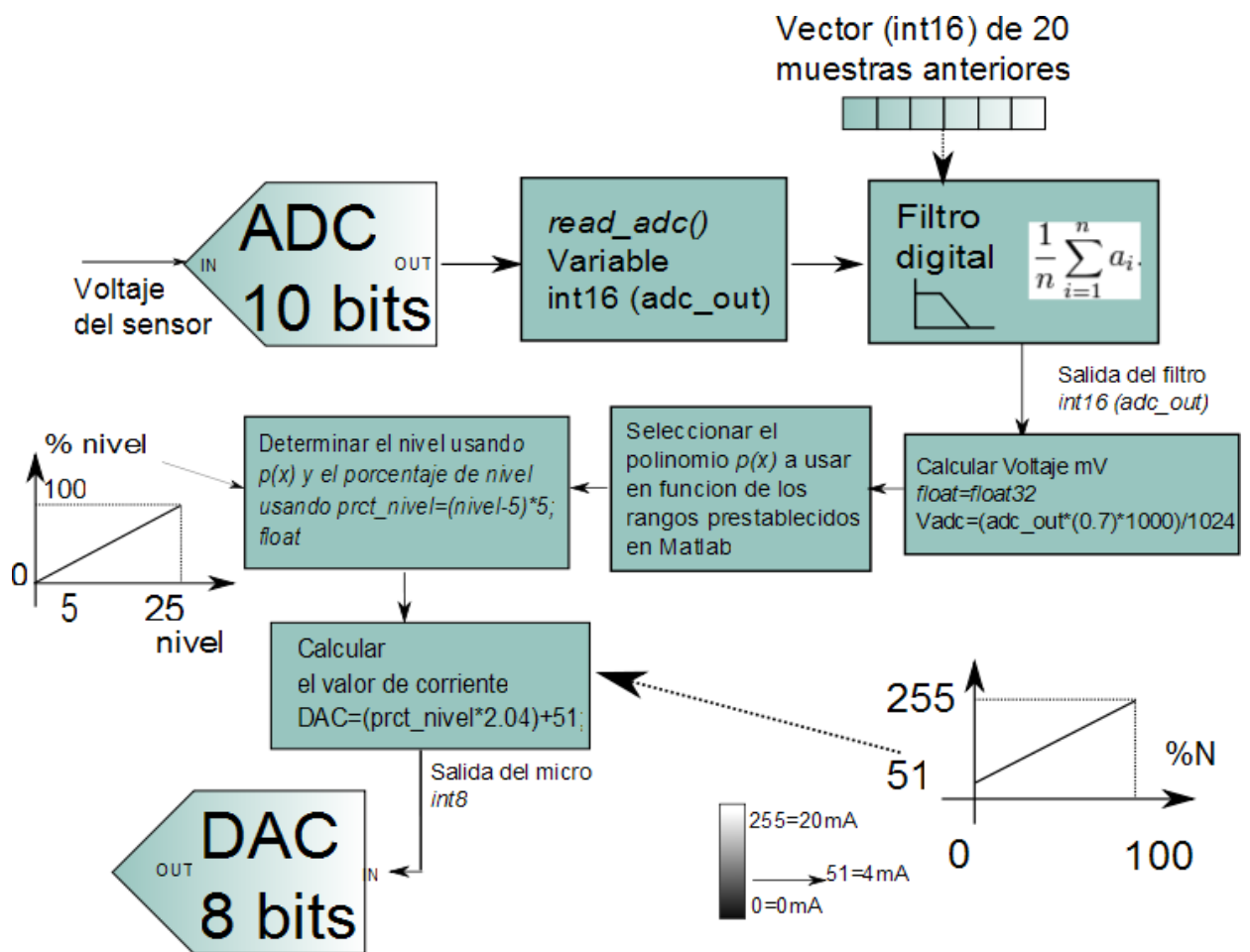
UBICACION Y FUNCION DE CONTROLES EN LA FUENTE

Vista frontal:



- 1** Switch de on/off
- 2** Salida de voltaje DC
- 3** Conexión a tierra

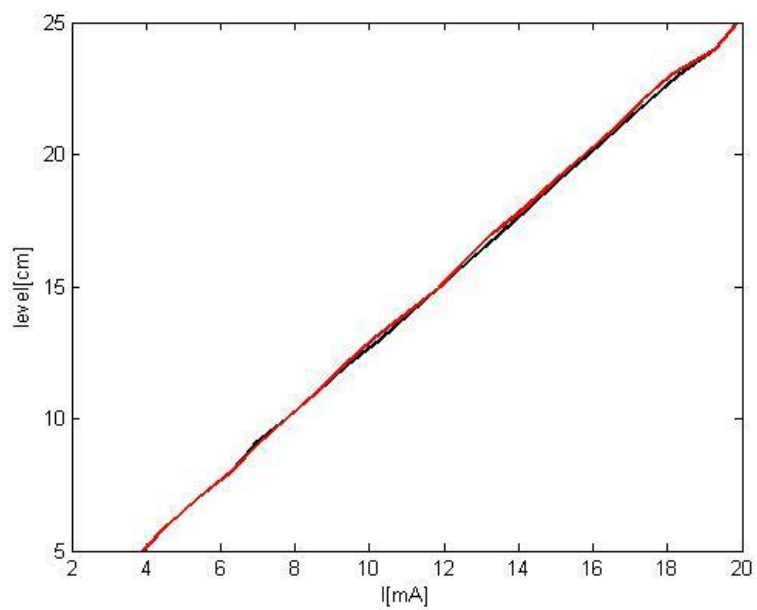
ANEXO 2. Diagrama en bloques de la programación en el microcontrolador PIC16F873 A.



ANEXO 3. Histéresis y repetibilidad en el Transmisor de Nivel Capacitivo.

La histéresis y repetibilidad se hallan tomando las medidas de nivel al vaciar y al llenar el tanque. Este procedimiento se hace dos veces para corroborar los datos.

Nivel en cm	corriente en mA(llenado)	corriente en mA(vaciado)
5	3.9	3.9
6	4.6	4.6
7	5.4	5.4
8	6.3	6.3
9	6.9	7
10	7.8	7.8
11	8.6	8.6
12	9.4	9.3
13	10.3	10.1
14	11.1	11
15	11.9	11.9
16	12.7	12.6
17	13.5	13.3
18	14.3	14.2
19	15.1	15
20	15.9	15.8
21	16.7	16.6
22	17.5	17.3
23	18.3	18.1
24	19.3	19.3
25	19.9	19.9



Nivel en cm	corriente en mA(llenado)	corriente en mA(vaciado)
5	3.9	3.9
6	4.6	4.6
7	5.4	5.4
8	6.3	6.3
9	7	7.1
10	7.8	7.8
11	8.6	8.5
12	9.3	9.3
13	10.11	10.11
14	11	11.1
15	11.9	11.9
16	12.6	12.6
17	13.4	13.4
18	14.3	14.3
19	15.1	15.1
20	15.9	15.8
21	16.7	16.7
22	17.3	17.3
23	18.3	18.1
24	19.3	19.3
25	19.9	19.9

