

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SENSOR ULTRASÓNICO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL FLUJO Y DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

DENNIS GONZALO PINCHAO GUERRERO

dennis.pinchao@epn.edu.ec

DIRECTOR: FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE, PhD.

eduardo.avalos@epn.edu.ec

DMQ, octubre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Dennis Gonzalo Pinchao Guerrero declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Dennis Pinchao

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Dennis Gonzalo Pinchao Guerrero, bajo mi supervisión.



FAUSTO EDUARDO ÁVALOS CASCANTE, PhD.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Sr. Dennis Gonzalo Pinchao Guerrero

Fausto Eduardo Ávalos Cascante, PhD.

DEDICATORIA

A mis padres quienes me brindaron su apoyo en cada etapa de mi vida, con sus consejos y enseñanzas llenas de sabiduría.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida con bien.

Agradezco a mis padres que con esfuerzo supieron darme todo lo necesario para poder continuar con mi formación profesional, con sus palabras de aliento y su apoyo incondicional lograron formar un gran ser humano.

Agradezco a los compañeros que estuvieron presentes durante esta etapa de mi vida.

Agradezco a los profesores que me supieron enseñar lecciones que en un futuro aplicaré en mi vida profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Medición.....	3
1.4.1.1 Medición Estática	3
1.4.1.2 Medición Dinámica.....	4
1.4.2 Tipos de medidores.....	4
1.4.2.1 Medidor Coriolis	5
1.4.2.2 Medidor Placa orificio	7
1.4.2.3 Medidor ultrasónico.....	9
1.4.3 Sonido.....	10
1.4.3.1 Amplitud	12
1.4.3.2 Periodo.....	12
1.4.3.3 Frecuencia	12
1.4.3.4 Formas de onda	13
1.4.3.5 Velocidad del sonido	14
1.4.4 Ultrasonido.....	15
1.4.5 Movimiento de la onda	16
1.4.5.1 Onda longitudinal	16
1.4.5.2 Onda transversal.....	16
1.4.5.3 Onda superficial o de Rayleig	17
1.4.5.4 Onda de Lamb	17
1.4.6 Principios de función de transductores	18
1.4.6.1 Piezoeléctrico.....	18

1.4.6.2 Electromagnético	19
1.4.6.3 Electrostático.....	19
1.4.7 Principios de operación	19
1.4.7.1 Efecto Doppler	20
1.4.7.2 Tiempo de tránsito	21
1.4.8 Transductores	22
1.4.8.1 Sensor MB1000	22
1.4.8.2 Transductor Tct40-16.....	22
1.4.8.3 Sensor GUF-120A-W	22
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1 Descripción general.....	27
2.2 Acondicionameinto de sensores	28
2.3 Generador de señal.....	28
2.4 Señal de recepción.....	32
2.4.1 Amplificación	33
2.4.2 Filtrado	33
2.4.3 Rectificación.....	34
2.4.4 Detector de cruces	37
2.5 Diseño 3D	38
2.6 Desarrollo del prototipo final.....	39
2.6.1 Prefacio sensor GUF-120A-W.....	39
2.6.2 Características y principio	39
2.6.3 Aplicación.....	41
2.7 Acondicionamiento del sensor GUF-120A-W	42
2.7.1 Alimentación.....	42
2.7.2 Arquitectura.....	43
2.7.2.1 Conexión.....	43
2.7.2.2 Teclado	43
2.7.2.3 Ventanas de menú	44
2.7.3 Uso básico del sensor	45
2.8 Montaje de transductores.....	46
2.8.1 Cableado.....	46
2.8.2 Separación de transductores	47

2.8.3 Método	487
2.8.3.1 Método en V	48
2.8.3.2 Método en Z	49
2.8.3.3 Método en W	49
2.8.4 Calidad de señal	50
2.9 Errores	50
2.10 Acondicionamiento de señal de salida	51
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
3.1 Resultados	52
3.1.1 Prototipo inicial.....	52
3.1.2 Prototipo final	53
3.1.3 Pruebas de funcionamiento.....	54
3.1.3.1 Pruebas con correcciones	55
3.1.4 Pruebas de función integradas.....	56
3.1.4.1 Pruebas con bajo caudal.....	56
3.1.4.2 Pruebas con alto caudal.....	56
3.2 Conclusiones.....	58
3.3 Recomendaciones.....	59
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
5 ANEXOS.....	61
ANEXO I. Datasheet del sensor	61
ANEXO II. Diagrama de conexión	63
ANEXO III. Tipos de medición en V, Z y W	63
ANEXO IV. Manual de usuario prototipo inicial	64
ANEXO V. Manual de usuario prototipo final.....	66

RESUMEN

La modernización con automatización industrial está muy avanzada hoy en día, por lo que el control de recursos hídricos en las diferentes industrias es indispensable. El proyecto permite un monitoreo continuo de recursos hídricos, en el que el sistema de medición será diseñado usando un sensor ultrasónico para medir flujo y velocidad de agua.

El sistema de medición se desarrolla con el objetivo de mejorar la medición en la industria ya que muchos procesos industriales pueden contener fluidos peligrosos para operadores, el sistema desarrollado presenta ventajas de ubicación, eficiencia e incluso permite ser aplicable en cualquier industria que requiera un monitoreo de recurso hídricos.

Bajo esta perspectiva, el presente trabajo busca recopilar información de sistemas de medición de caudal e instrumentos electrónicos que pueden ser usados para obtener información de flujo y velocidad de agua. A partir de un análisis en cuanto a ventajas que puede tener el sensor, el cual funciona bajo el principio de ultrasonido, se desarrolla un prototipo de diseño del acondicionamiento para el sensor ultrasónico. La medición del sensor utiliza la técnica de tiempo de tránsito y el efecto Doppler, de modo que, acogiéndose a optar por tener un prototipo con las mejores características en el mercado, se desarrollan pruebas de validación, que permitan hacer el sistema de medición funcional para ser usado en las diferentes industrias con proyección a la mejora continua.

PALABRAS CLAVE: recurso hídrico, velocidad, caudal, Sensor ultrasónico, tiempo de tránsito, efecto Doppler.

ABSTRACT

Modernization with industrial automation is very advanced nowadays, so the control of water resources in different industries is indispensable. The project allows continuous monitoring of water resources, in which the measurement system will be designed using an ultrasonic sensor to measure water flow and velocity.

The measurement system is developed with the aim of improving the measurement in the industry since many industrial processes may contain hazardous fluids for operators, the developed system has advantages of location, efficiency and even allows to be applicable in any industry that requires monitoring of water resources.

Under this perspective, the present work seeks to gather information on flow measurement systems and electronic instruments that can be used to obtain information on water flow and velocity. From an analysis of the advantages of the sensor, which works under the principle of ultrasound, a prototype design of the conditioning for the ultrasonic sensor is developed. The measurement of the sensor uses the transit time technique and the Doppler effect, so that, taking the option of having a prototype with the best characteristics in the market, validation tests are developed, which allow making the measurement system functional to be used in different industries with the projection of continuous improvement.

KEYWORDS: water resource, velocity, flow rate, ultrasonic sensor, transit time, Doppler effect.

1 INTRODUCCIÓN

El tiempo pasa muy rápido de tal manera que en la antigüedad usaban los recursos hídricos sin ningún tipo de control sobre este recurso natural, sin embargo con el pasar del tiempo la tecnología fue avanzando a pasos agigantados a tal punto de enfocarse en la medición de velocidad y caudal en los recursos hídricos, pues se tuvo cuenta que al tener un control de flujo y velocidad superficial de un fluido se puede mejorar procesos, también se puede tener un control de tal manera que los sistemas hídricos permitan un ahorro económico, al tener una medición exacta de fluidos. [1]

Los principios de los avances tecnológicos tienen como objetivo principal una mejora continua en los procesos industriales, datando al siglo XVI [2] muestra el comienzo de la era tecnológica, en la que se crearon sistemas de control en tarjetas con perforaciones. En la revolución industrial muchos procesos fueron mejorados en base a las tarjetas con perforaciones que permitían una automatización de todos los procesos, que básicamente era desarrollar sistemas en los que se ejecuten procesos repetitivos hechos por un ser humano y que permitan el control de las operaciones sin la intervención de un operador. [2]

El monitoreo de los flujos hídricos en procesos industriales tiene una gran importancia a nivel mundial, ya que permite desarrollar procesos con calidad, seguros y completamente automatizados. La medición en la industria representa pérdidas o ganancias dependiendo del método de medición del flujo y velocidad de los recursos hídricos, pues al analizar proyectos externos, se puede considerar que dependiendo del sistema de medición se puede mejorar la economía en los diferentes proyectos relacionados con la medida en los sistemas de control para obtener información del flujo y velocidad.

La industria está en constante modernización, por ello se busca tener un control de todos los procesos, así buscando controlar todas las variables por haber en un proceso industrial, sin embargo, se busca mejorar los sistemas de control para un mejor rendimiento del proceso.

Las variables que se tendrán en cuenta en este trabajo, van a ser el flujo y la velocidad, con lo cual se usará un método de medida conocido, el ultrasónico, el cual basa su funcionamiento por medio de ondas acústicas que permiten una transmisión de manera que la amplitud y la dirección de una señal varíen a lo largo de las distancias que existen entre un emisor de señal y un receptor de la misma señal, para ello se aplica la técnica tiempo de tránsito ultrasónico que basa su medición en intervalos de tiempos asociados a la transmisión de una señal ultrasónica, el proceso de medición es muy útil ya que muchas

veces los recursos hídricos pueden ser corrosivos o dañinos, con este método se obtiene una buena medida en tiempo real sin contacto físico con el líquido.

El propósito de este proyecto es cumplir con el objetivo y los alcances planteados, sin embargo debido a las diferentes maneras de acondicionamientos de sensores ultrasónicos, estos pueden presentar dificultades en la toma de medidas, debido a perturbaciones en el medio ambiente o conexiones mal estructuradas, por este motivo se busca diseñar y construir un sistema que permite monitorear el flujo y la velocidad de un recurso hídrico de manera eficiente, el cual al aplicarlo en la industria de la automatización permita un manejo de datos, para ser tratado y procesado en análisis sustentables. [1]

1.1 Objetivo general

Diseñar y acondicionar del sistema de control del sensor ultrasónico para la medición del flujo y velocidad de un recurso hídrico(agua).

1.2 Objetivos específicos

Los objetivos principales que se plantearon para el siguiente proyecto son:

- Revisar información de sistemas de medición usados para obtener la información de flujo de un recurso hídrico(agua).
- Buscar información de sensores que pueden ser usados y acondicionados para la medición de tiempo que permite la obtención de la distancia entre los sensores y flujo del recurso hídrico.
- Diseñar e implementar un sistema electrónico de control para el comando del equipo de medición.
- Acondicionar el sensor ultrasónico seleccionado, en base a parametrización, utilizando la técnica del tiempo de tránsito y el efecto Doppler.
- Desarrollar pruebas midiendo velocidad y flujo, usando el sensor ultrasónico para validar el funcionamiento del prototipo completo en tuberías.

1.3 Alcance

- Se realizará una búsqueda bibliográfica de sistemas utilizados para el monitoreo de velocidades y flujos de recursos hídricos (agua).
- Se estudiará a sensores ultrasónicos que permitan obtener medidas de velocidad y flujo del agua.
- Se diseñará y se acondicionarán las señales de sensores ultrasónicos para la obtención de información del flujo y de la velocidad superficial en tuberías, a través de las técnicas del tiempo de tránsito y de la tecnología Doppler.
- Se Integrará el sistema de medición en un equipo compacto.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Medición

La medición de los recursos hídricos se puede realizar de diferentes métodos dependiendo del recurso hídrico a tratar, por ello se dividen en dos grandes grupos, las mediciones estáticas y las mediciones dinámicas:

1.4.1.1 Medición estática

La medición estática se realiza en líquidos que permanecen en un estado de reposo, en donde se podrá medir el volumen del líquido en el recipiente para ello se debe tener en cuenta ciertos parámetros:

Temperatura: es un promedio ponderado de la temperatura de la sustancia en el recipiente.

Densidad relativa: es la densidad del recurso hídrico con referencia a la densidad del agua.

Nivel de referencia: es el punto base para la medición de un tanque en vacío.

Punto de referencia: es el punto al cual debe llegar las mediciones, debe representarse con marcas, ya que van a permitir la toma de medidas en las pruebas. [3]

1.4.1.2 Medición dinámica

La medición dinámica se realiza cuando un recurso hídrico está en movimiento, de modo que este tipo de medición puede ser usado para la verificación de los volúmenes que se venden o se compran en empresas, para ser tratados o simplemente para su transportación por tuberías, pues se debe tener en cuenta algunas condiciones: [3]

- Debe cumplir con una reglamentación internacional, pues los instrumentos para una medición dinámica suelen estar sometidos a diferentes tipos de control, para lo cual se usa los medidores de flujo tipo turbina, ultrasónicos, radiación, etc.
- La medición debe realizarse en flujos constantes y mantenerse estable en condiciones de mantenimiento preventivos y correctivos dependiendo de las situaciones que ameriten, muy aparte se debe tener una confiabilidad de los equipos que realizaran la medición.
- Para la medición dinámica se debe tener una facilidad de instalación para probar en las diferentes pruebas de campo.

Ahora con el fin de realizar mediciones de este tipo se pone en consideración algunos tipos de medidores usados en la industria, por ejemplo, el de placa orificio, medidor Coriolis, turbinas y ultrasónicos. Sin embargo, los medidores de flujo pueden presentar fallas en la toma de mediciones, para ello se considera realizar una correcta calibración de los diferentes tipos de sensores, y constantes mantenimientos para el correcto funcionamiento en la toma de mediciones. [3]

1.4.2 Tipos de medidores

Los medidores se clasifican de diferentes maneras dependiendo del uso que se le vaya a dar, pues existen diferentes tipos de fluidos como los recursos hídricos con sólidos en suspensión, aceites, o pueden estar en otro tipo de fase como son gaseosos, etc.; por ello se recomienda saber el tipo de recurso hídrico que se va a tratar y seleccionar el tipo de sensor en base a la clasificación de medidores que se muestra en la Figura 1.1, toda esta previa selección para que no existan fallas en las mediciones.

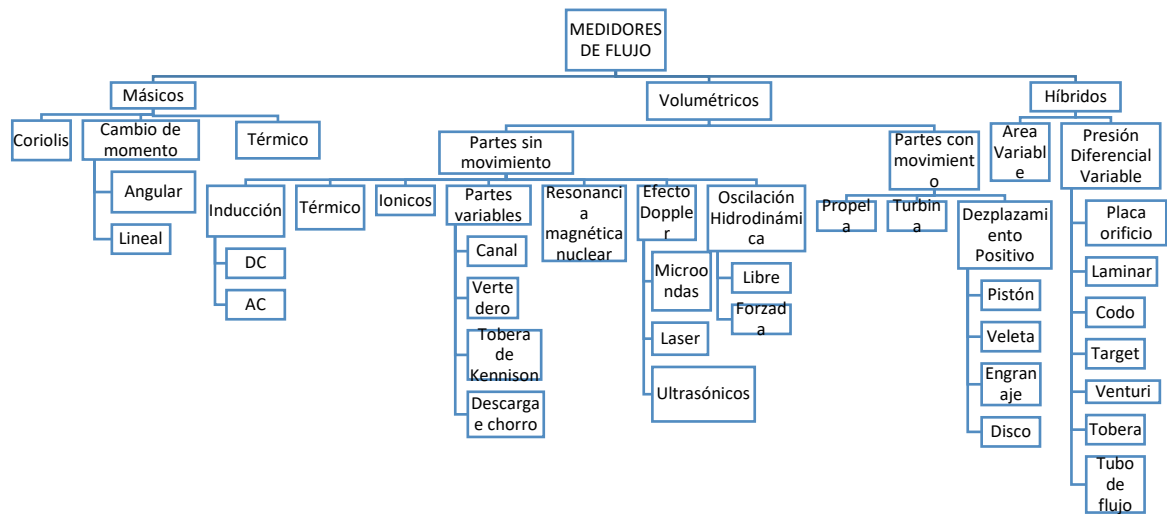


Figura 1.1. Clasificación de medidores [3]

Los diferentes recursos hídricos pueden estar en diferentes partes del campo de operación tales que puedan dificultar el acceso continuo de un operario, para ello se usan medidores de sección transversal, otras veces son gases que pueden llegar a ser tóxicos, para lo cual se pueden usar medidores de flujo hidráulicos, magnéticos, turbinas, ultrasónicos Doppler, Ultrasónicos de tiempo de tránsito y Vortex. [3]

Analizando las diferencias entre medidores, se hace una comparativa de tres de ellos, correspondientes a cada tipo de distribución: un másico, un volumétrico y un híbrido. Estos medidores son escogidos en base al conocimiento primordial de uso industrial, por lo cual se presenta una breve reseña del principio de funcionamiento, ventajas de uso y la manera de calcular el caudal usando los medidores de Coriolis, placa orificio y ultrasónico.

1.4.2.1 Medidor Coriolis

Los sistemas de rotación son generados por fuerzas de Coriolis, pues los sistemas de medición funcionan de tal manera que cuando se requiera realizar una medición de caudal se permite el paso del agua por una tubería que tiene movimiento vibratorio, lo cual permite deformar la tubería con la fuerza de Coriolis y en adición con la vibración, el flujo masico se determina en proporción a la deformación. [4]

El medidor Coriolis tiene una forma de "U", pues al tener una vibración, producida por campos magnéticos, presenta una amplitud por lo general de 1 mm, que permite la medición de densidad y flujo. La medición es tomada en una tubería especial que es diseñada de tal manera que la fuerza en una dirección sea opuesta a la que se desea medir, produciendo las vibraciones las cuales van a ser detectadas por sensores y se convierten en señales eléctricas por transmisores. [4]

Principio de medición

El medidor tipo Coriolis se lo coloca entre dos tuberías como se muestra en la Figura 1.2, su funcionamiento se basa en la energización de dos bobinas que permiten que los tubos oscilen opuestos entre sí, el voltaje que se genera por cada bobina produce una señal sinusoidal, la cual genera movimiento de un tubo con respecto al otro tubo. De modo que la señal generada permite determinar el diferencial de fases de las señales medidas por el transmisor y esta debe ser normalizada a una señal de 4 a 20 mA. [3]

En la medición de flujo usando el medidor Coriolis se recomienda estar acompañado por un transmisor de temperatura para la compensación de temperatura que existe en las instalaciones debido al material de las tuberías, también se debe tener en cuenta la dirección del fluido pues pueden generar vibraciones que afecten en la toma de medidas, como también es necesario tener en cuenta las interferencias electromagnéticas. [4]

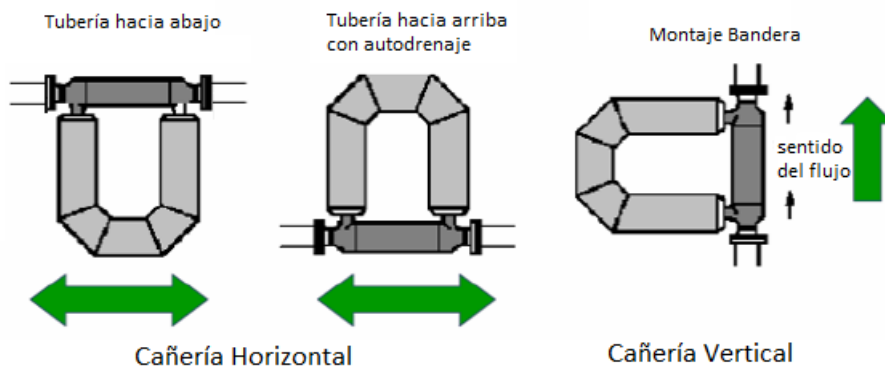


Figura 1.2. Medidor Coriolis [4]

La medición de la fuerza de Coriolis en un fluido se la calcula en base a la siguiente formula:

$$F_c = 2 * F_m * w \quad (1.1)$$

Donde "Fc" representa a la fuerza de Coriolis, el término "Fm" es el flujo masico y "w" es la Velocidad angular en la tubería.

En la tubería existe oposición de fuerzas en cada sección de la tubería produciendo una torsión en la tubería, la cual genera oscilación de igual frecuencia con un desfase de fases, la misma que está en proporción al flujo que se va a medir. Como se muestra en la Figura 1.3 se puede analizar el desfase de las señales en la medición de flujo en una tubería. [4]



Figura 1.3. Oscilaciones de las señales en un medidor Coriolis [4]

Donde se puede obtener que:

$$Fm = k * \Delta t \quad (1.2)$$

Así se puede obtener el flujo masico que viene expresado como "Fm", la letra "k" es la constante de corrección de fábrica mientras que " Δt " significa que es el ángulo de desfase.

1.4.2.2 Medidor placa orificio

El medidor de placa orificio es un instrumento que se ha estudiado por mucho tiempo ya que permite analizar comportamientos de diferentes fluidos, así pues, un orificio en una platina presenta oposición al paso del flujo como se muestra en la Figura 1.4. Su funcionamiento se basa en el principio de Bernoulli, como la disminución del área trasversal de la platina permite la reducción de la velocidad del fluido, en la que se mide la diferencia de presiones en ambos lados de la platina permitiendo obtener así el flujo aludiendo a la siguiente formula: [4]

$$Fm = k \cdot Cd \cdot d^2 \cdot \sqrt{\rho * \Delta P} \quad (1.3)$$

Donde "Fm" es el flujo masico de una sustancia, el término "Cd" representa a el coeficiente de descarga, la letra "k" representa a la constante de corrección de fábrica, y como es colocado en una tubería la "d" representa el diámetro del orificio, " ρ " viene a ser la densidad del flujo y como la medición se basa en la diferencia de presiones se considera que " ΔP " es la diferencia de presiones en el orificio.

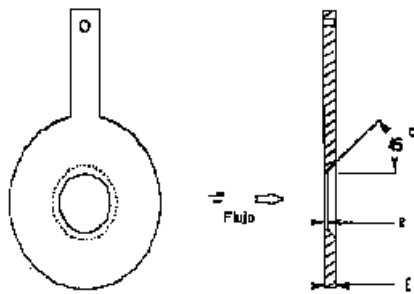


Figura 1.4. Medidor placa orificio [3]

Principio de medición

El medidor de placa orificio se basa en el principio de obstaculizar el paso del fluido en la tubería, de tal manera que permita una caída de presión del fluido, siendo la pérdida proporcional a la caída de presión en la tubería. La medición de flujo mediante este método obstruye parcialmente el flujo ya que el orificio es más pequeño que la tubería por lo que al pasar por el orificio la velocidad aumenta y la presión disminuye, y si se quiere obtener mediciones exactas la placa orificio debe ser instalada en un área con flujo desarrollado como se muestra en la Figura 1.5, es decir que no tenga remolinos, lo cual se consigue con el acondicionamiento de la tubería. [3]

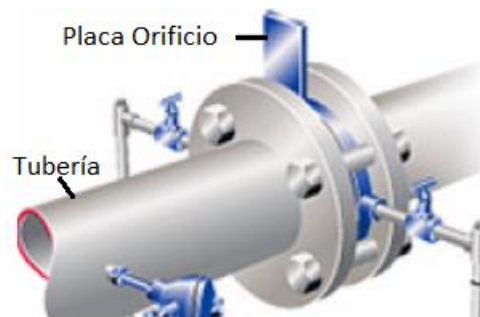


Figura 1.5. Colocación de placa orificio [4]

1.4.2.3 Medidor ultrasónico

El medidor ultrasónico es muy usado en la industria donde se trabaje con fluidos que manejen sustancias dañinas para un operador. Este tipo de medidor funciona de manera que se mide el tiempo en el que una señal ultrasónica tarda en viajar de un transductor emisor hacia un transductor receptor, pues se usan dos transductores que envían y reciben alternadamente la señal ultrasónica por un medio como se muestra en la Figura 1.6. Los medidores ultrasónicos detectan la diferencia de tiempos que es proporcional a la velocidad del fluido, pues si la señal viaja en dirección que se mueve el fluido el tiempo de tránsito presenta una variación de tiempo en cuanto a la señal que va en dirección opuesta.



Figura 1.6. Medidor ultrasónico [3]

Principio de medición

Se tiene dos transductores en una tubería, cada uno con su propio transmisor y receptor, un transductor es colocado corriente arriba y el otro corriente abajo, así se mide la diferencia de tiempos de un pulso de señal acústica de alta frecuencia, un transductor se comporta como emisor de la señal ultrasónica, y el otro transductor recibe la señal, permitiendo obtener la diferencia de tiempos debido al viaje de la onda acústica por el medio, mientras mayor sea la diferencia de tiempo mayor será la velocidad de flujo, así se puede tener la velocidad del fluido ya que es proporcional a la variación de tiempo.

El principio de medición que se usa puede permitir mejoras en la medición de flujos ya que se puede aumentar canales sónicos que ayuden a verificar las diferentes variaciones de tiempos, y así presentar mediciones más exactas, una vez se tenga la variación de tiempos en una medición, se puede procesar dicha información mediante algunas técnicas que son usadas en la industria, pues se utiliza la siguiente ecuación para determinar con más exactitud cuál es el caudal en la tubería: [4]

$$L = \frac{(D+2*Wt)}{\cos \varphi} + 2 * (CI - Fd) \quad (1.4)$$

De la Ecuación 1.4 se puede tener en cuenta que “D” representa el diámetro interno de la tubería, “Wt” es el espesor de la tubería, “ φ ” es el ángulo de inclinación en la que se colocan transductores, el término “CI” representa a la longitud de instalación del acoplamiento y la profundidad de la cara de transductor viene representada por “Fd”.

El uso del sensor ultrasónico para la medición de flujos será más preciso si se colocan los sensores con ángulos agudos pues según estudios citados se tiene que a un ángulo de 45 ° la medición va a ser con un error mínimo, como se muestra en la Figura 1.7. al tener en cuenta el diagrama de instalación el medidor funcionará de manera muy eficiente.

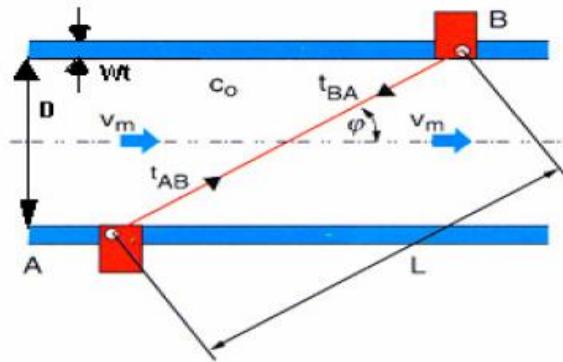


Figura 1.7. Diagrama de instalación de los transductores [4]

1.4.3 Sonido

El sonido es conocido como perturbaciones que viajan en el aire. Se puede entender de mejor manera al citar un ejemplo de los pistones de compresión de aire pues en condiciones iniciales el aire en reposo está formado por miles de partículas, así el estado en reposo de estas partículas es un movimiento en todas las direcciones de las mismas debido a un fenómeno llamado agitación térmica, todas estas partículas se encuentran uniformemente distribuidas, es decir por cada centímetro cúbico (cm³) de aire existe una cantidad proporcional de partículas de aire. Sin embargo, al comprimir el pistón como se muestra en la Figura 1.8. las partículas de aire tienen menos espacio, ósea mayores partículas de aire en menos centímetros cúbicos de espacio, este fenómeno se llama compresión y permite que el aire en reposo fluya en una dirección a través del conducto con lo cual se aleja de la fuente que lo produce. El ejemplo antes mencionado permite

entender que el sonido se produce por el movimiento de partículas que son generadas por una fuente. En la naturaleza el aire no tiene un conducto por el cual transitar, por lo que el sonido es producido por una serie de perturbaciones en constante movimiento, en la que se puede dividir por ciclos, en la que por ciclo actúan dos perturbaciones del aire al mismo tiempo. [5]

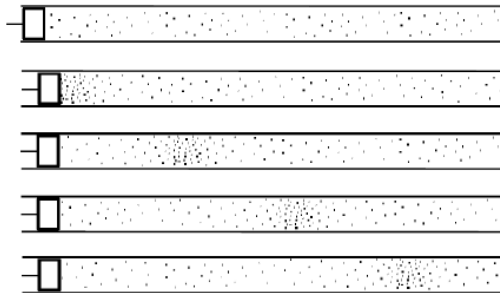


Figura 1.8. Aire en un pistón [5]

El sonido, el cual viaja en forma de una onda acústica a través de un medio, se expande y se comprime dependiendo del medio de propagación, así pues el sonido que puede apreciar un oído humano funciona en base a este principio, sin embargo al sobrepasar ciertos límites de operación el sonido se transforma en ultrasonido, este límite es aproximadamente de 20 kHz, este puede viajar a largas distancias en diferentes rangos de frecuencia, por ello presentan ciertas ventajas que permiten el uso de estas ondas en el ámbito de la electrónica. El ultrasonido que viaja en diferentes frecuencias y por diferentes medios de propagación, permite un análisis de ecos de la señal y el objetivo de esta propagación. [6]

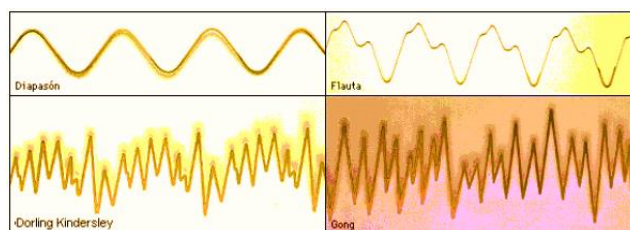


Figura 1.9. Sonidos [7]

Para obtener una imagen del sonido como se muestra en la Figura 1.9, se debe analizar la perturbación que es la causante del sonido, de tal manera que se representa mediante un oscilograma el cual muestra la perturbación en función del tiempo, en el eje vertical se representa la presión sonora y en el eje horizontal el comportamiento en el tiempo, así el sonido tiene una manera de representarse y saber los componentes físicos que son la

amplitud, periodo, la frecuencia, formas de onda, a continuación componentes físicos para el entendimiento de la función del sonido. [5]

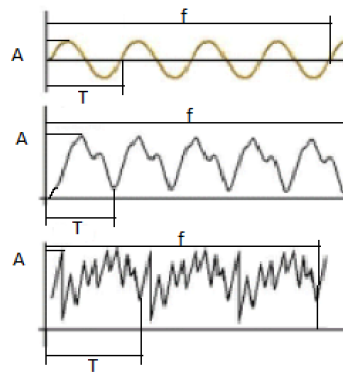


Figura 1.10. Componentes físicos del sonido

1.4.3.1 Amplitud

Es el valor máximo que alcanza una oscilación de sonido en un ciclo, también se lo puede conocer como el valor pico o valor pico-pico (V_{pp}), en el gráfico de la Figura 1.10 es representado por la letra “A”. [5]

1.4.3.2 Periodo

El periodo es el tiempo que transcurre entre una perturbación a otra perturbación, su unidad de medida es el segundo y por lo general el oído humano detecta sonidos oscilando entre ellos 0.05 (ms), así pues, hay sonidos con tiempos muy cortos que el oído del ser humano no puede percibir, en el gráfico de la Figura 1.10 se lo representa con la letra “T”. [5]

1.4.3.3 Frecuencia

La frecuencia del sonido es la cantidad de perturbaciones que existen en un segundo, y es fundamental ya que con este parámetro se puede realizar las detecciones pertinentes para este proyecto, las frecuencias que recepta el oído humano son alrededor de los 20 Hz a 20 kHz si relación con el periodo viene expresado como en la Ecuación 1.5 de la siguiente manera:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.5)$$

La frecuencia se la representa con la letra “f” en la Figura 1.10, y viene expresada en unidades de Hertz (Hz). [5]

1.4.3.4 Formas de onda

Se puede asegurar que para cada sonido se representa por formas diferentes, sin embargo, se conoce que para fines teóricos y prácticos se utilizan las señales que son sintetizadas mediante la electrónica, de tal manera que la señal más usada es una señal cuadrada en la que tiene dos niveles, el nivel positivo y el nivel negativo cada nivel representa el $T/2$, como se muestra en la Figura 1.11. [5]

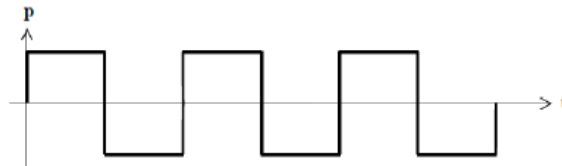


Figura 1.11. Señal cuadrada

Una señal de pulsos es una variante de la señal cuadrada en la que los tiempos de niveles cambian según el porcentaje que se necesite, de modo que el gráfico de la Figura 1.12 presenta una señal con un 25% en el nivel positivo y el 75 % en el nivel negativo. [5]

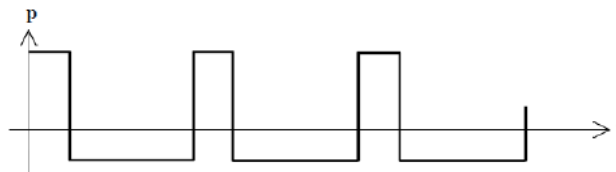


Figura 1.12. Señal de pulsos

Otras formas de onda son las que muestran la Figura 1.13, son la señal triangular y diente de sierra respectivamente son formadas por rampas en la que suben o bajan de tal manera que pueden facilitar el estudio de las mismas. [5]

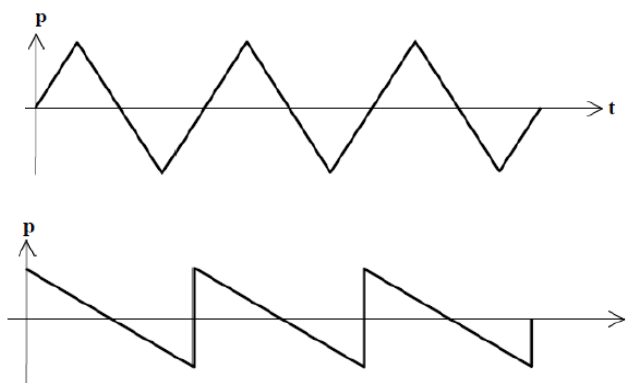


Figura 1.13. Señal triangular y diente de sierra

En el presente trabajo se pretende dar a conocer algunos conceptos básicos de cómo será el funcionamiento de nuestro sistema de medición basándose en el ultrasonido.

1.4.3.5 Velocidad del sonido

El sonido puede alejarse de la fuente que lo generó a una velocidad de la luz que es 344 m/s en el aire natural a temperaturas en condiciones normales que son aproximadamente 20 °C, la velocidad puede variar dependiendo de muchos factores entre ellos la temperatura, humedad, densidad, etc.

En el proyecto es muy importante tener en cuenta este parámetro ya que la velocidad del sonido varía dependiendo del medio por el cual va a desplazarse, pues en medios como líquidos o en sólidos suele desplazarse a mayor velocidad que en medios gaseosos, de tal manera que se evidencia como afectan en la velocidad del desplazamiento del sonido, las características de densidad, material, humedad, etc.; así se puede dejar en evidencia que la tabla 1.1 muestra las diferentes velocidades en función del medio de propagación. [7]

Tabla 1.1. Velocidades de propagación del sonido en diferentes medios

Medio de propagación	Velocidad [m/s*10³]	Impedancia acústica	Densidad [g/m³]	Temperatura [T]
Agua potable	143	1.43	0.99	18
Agua de mar	151	1.55	1.02	18
Aire	34.4	41.3	1.21	20
Monóxido de carbono	33.8	42.3	1.25	0
Hidrógeno	128	11.5	0.09	0
Nitrógeno	33.4	41.8	1.25	0
Metano	43.0	30.8	0.72	0
Etileno	31.7	39.9	1.26	0
Oxígeno	31.6	45.2	1.43	0
Material	Velocidad de longitud [m/s*10³]	Impedancia acústica	Densidad [g/m³]	Velocidad transversal [m/s*10³]
Bronce	342	2.92	8.55	425
Aluminio	524	1.42	2.7	640
Cadmio	240	2.07	8.64	278
Plata	264	2.77	10.5	360
Cobre	358	3.2	8.93	460
Oro	203	3.92	19.32	324
Hierro	517	4.07	7.87	585
Plomo	125	1.42	11.37	240
Acero	505	3.94	7.8	310

1.4.4 Ultrasonido

El ultrasonido funciona en base a las oscilaciones mecánicas de la frecuencia que supera la frecuencia límite del oído humano que son los 20 kHz, se pueden obtener de cualquier manera ya sea natural o generada y estas señales de ultrasonido no son perceptibles por lo general suele estar en un rango de 500 MHz a 20 kHz, las señales de ultrasonido son estudiadas en base a las frecuencias y sus oscilaciones así pues se determinó que solo operan con frecuencia elevadas como se muestra en a Figura 1.14 permitiendo no generar incomodidad al oído humano ya que no está en el rango permisible. Ahora para el uso de una frecuencia cave recalcar que se debe seleccionar de tal manera que no influya con otras frecuencias que se encuentren en el medio de propagación de la señal ultrasónica, de esta manera el límite superior de las señales ultrasónicas se obtiene en base a pruebas de generadores y receptores de señal ultrasónica, y el método más conocido es el de la práctica. [8]

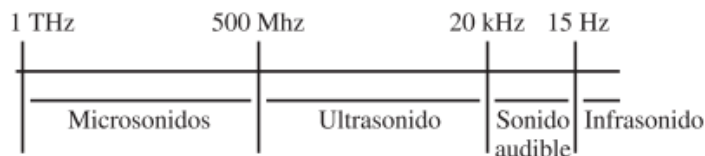


Figura 1.14. Señales de ultrasonido

El límite superior e inferior se obtuvieron en base a una serie de prácticas en las que estaban involucrados instrumentos de sonido, los cuales pertenecían al órgano permitiendo obtener sonidos muy agudos con los que se determinaron los limites correspondientes. [8]

La recepción de las señales de ultrasonido se basaba en pruebas que usaban el fuego como medio de propagación, de tal manera que cuando el sonido no estaba presente en lo absoluto la llama de fuego se prendía en su máximo esplendor, mientras que cuando estaba en alguna frecuencia de sonido, la presión se reducía y el esplendor de la llama se apagaba. Los avances tecnológicos usan los mismos principios básicos sin embargo se descubrieron varios principios de medición como lo son el electromagnético, termoeléctrico, piezo-eléctrico, etc.

1.4.5 Movimiento de la onda

El objetivo a cumplir es la medición de caudal usando el transductor ultrasónico, el cual permite el uso de mayor frecuencia con respecto a una señal sónica, el motivo es porque presenta una señal más nítida, mejor definición y mayor energía de propagación, sin embargo, presenta un reto ya que la calidad de la señal va a ser afectada por el material de la tubería. La energía del ultrasonido se ve afectada debido a que la frecuencia se disminuirá por tanto perderá energía, por ello la colocación del transductor para la emisión de la onda debe ser situada en una posición que permita sacar provecho del método de medición, con lo cual se presenta 4 tipos de ondas: [10]

1.4.5.1 Onda longitudinal

Las ondas longitudinales son llamadas así por el movimiento de la onda en dirección paralela con la dirección a propagarse es decir con la dirección del transductor como en la Figura 1.15, también son conocidas como ondas de compresión debido a que en las mediciones la separación de los transductores es de muy corta distancia, por lo que su señal es muy pequeña, su fórmula viene determinada por la siguiente expresión:

$$V_S = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)\rho}} \quad (1.6)$$

E. – Modulo dinámico de Young del material.

ν . – coeficiente de Poisson.

ρ . –Densidad del material a medir.

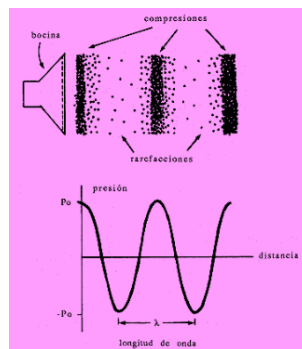


Figura 1.15. Onda longitudinal [10]

1.4.5.2 Onda transversal

Las ondas transversales reciben el nombre debido a que las partículas se mueven en dirección perpendicular con respecto a la propagación de la onda, pues el plano y la

partícula se encuentran a la misma distancia obteniendo puntos máximos y mínimos, sin embargo, una característica a tratar es que la velocidad es la mitad de una onda longitudinal y se deben aplicar en la propagación con sólidos. En la Figura 1.16 se encuentra la colocación del transductor conocido también como haz angular permitiendo una mejor toma de medición. La velocidad viene expresada de la siguiente manera. [10]

$$V_S = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} V_C \quad (1.7)$$

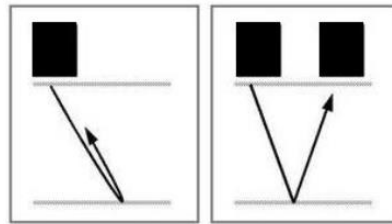


Figura 1.16. Onda transversal

1.4.5.3 Onda superficial o de Rayleigh

La onda superficial toma el nombre ya que su propagación es solo en superficies planas, o si son sólidos con rugosidad en curvas, así el movimiento de la partícula es elíptico presentando una velocidad menor a las anteriores ondas, ya que su energía decae debido a las profundidades en las superficies. Este tipo de ondas tienen un campo de uso importante, la detección de fallas en superficies debido a las profundidades y elevaciones de la superficie, detectando fallos en la continuidad por debajo del plano curvo como se muestra en la Figura 1.17, y su expresión es.

$$V_r = \frac{(0,87+1,12\nu)}{(1+\nu)} \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} V_C \quad (1.8)$$

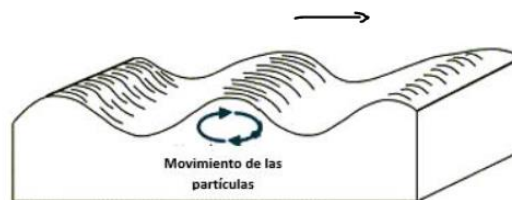


Figura 1.17. Onda superficial

1.4.5.4 Onda de Lamb

Las ondas de Lamb son conocidas debido a la propagación en un sólido con espesor menor que el ancho o su largo, dando a conocer que pueden ser simétricas o asimétricas, a continuación, en la Figura 1.18 se muestra el movimiento de la señal.

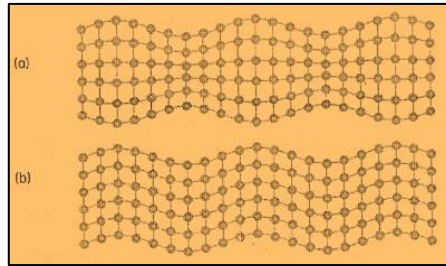


Figura 1.18. Ondas de Lamb. (a)señal simétrica (b)señal asimétrica

1.4.6 principios de función de transductores

Existen en una gran variedad de métodos, a lo cual se detalla los más importantes:

1.4.6.1 Piezoeléctrico:

El piezoeléctrico se basa en la generación de oscilaciones eléctricas a muy altas frecuencias en base a la aplicación de presión que permite una carga de electricidad, de esta manera cuando se usa el ultrasonido el método es el mismo, como también se lo puede realizar con frecuencias muy bajas sin embargo no sería útil para nuestro sistema de medición. Los componentes que permiten esta generación son instrumentos activos que permiten la conversión de oscilaciones eléctricas en ultrasonido, estos instrumentos son conocidos como transductores. El principio piezo-eléctrico consiste en aplicar presión en una capa del transductor de manera que los átomos del cristal se carguen positivamente y negativamente, pues se aplica señales eléctricas oscilatorias a cierta frecuencia que producen oscilaciones mecánicas de amplitudes muy pequeñas como se muestra en la Figura 1.19, estas oscilaciones vistas desde la parte física tienen componentes en diferentes direcciones del plano cartesiano, con la omisión del eje z, generando así la señal acústica de ultrasonido. La elección de la frecuencia adecuada permite determinar cuál va a ser el rango de operación del sensor pues de ello dependerá la generación de ondas ultrasónicas longitudinales sin obstáculos en el medio de propagación. [9]

Las frecuencias de trabajo se las eligen dependiendo de la aplicación, así pues, si se desea una estabilidad constante puede operar a frecuencia natural por debajo de los 10 kHz. al trabajar como receptor es necesario algunas etapas de amplificación de frecuencias o eliminación de ruidos para ser utilizadas en sistemas electrónicos que permitan guardar información.

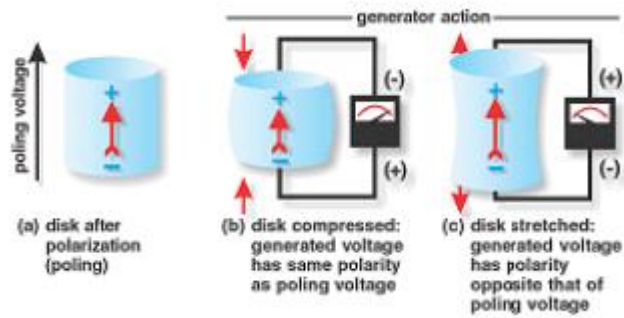


Figura 1.19. Principio piezoeléctrico [7]

1.4.6.2 Electromagnético:

Se basa en una operación de materiales componentes del hierro como los ferrimagnéticos o ferromagnéticos de ahí el nombre de operación, así pues, al dejar pasar una señal eléctrica en estos materiales se produce una deformación mecánica el dicho material produciendo las señales de alta potencia a bajas frecuencias, y de la misma manera pueden ser usados como instrumentos generadores o receptores de señales. [9]

1.4.6.3 Electrostático:

Basa su función en ondas con vibraciones mecánicas a ciertas frecuencias, actuando en placas de condensadores, permitiendo generar oscilaciones, las cuales se las puede amplificar con circuitos electrónicos y mediante las placas se genera diferencia de potenciales electrostáticos, apareciendo cargas positivas y negativas, se aplica un voltaje con modulación de amplitud generando así una fuerza proporcional a la permitividad relativa del material de las placas del condensador, finalmente produciendo la señal ultrasónica. [9]

1.4.7 Principios de operación

Los medidores que usan el ultrasonido para la detección del flujo en una tubería, usan transductores que sirven para el tratamiento de una señal, exactamente en la emisión y recepción de una onda, y las correctas mediciones pueden verse afectadas por el ángulo de inclinación de los transductores, para ello se analiza los dos tipos de medición ultrasónica, el efecto Doppler y el tiempo de tránsito.

1.4.7.1 Efecto Doppler

El Efecto Doppler es un fenómeno natural que puede ser analizado de manera simple para su fácil comprensión, pues es el movimiento de ondas que en base a sus propiedades físicas permiten ser apreciadas de manera espontánea, como lo es en una carrera de automóviles cuando el auto se acerca hacia un espectador genera un sonido que se fortifica cuando está cerca y se debilita cuando se aleja, lo mismo sucede cuando se utiliza la acústica dirigida, puede ser usada en medición de tiempo pues la frecuencia en las ondas entre un receptor y la fuente aumenta o disminuye dependiendo de la medición. [3]

El transductor que utiliza este principio de operación, en un fluido con movimiento, funciona de tal manera que el sonido se reflejará de nuevo en el medio que fluye de modo que la variación de frecuencia en la reflexión del sonido debe ser proporcional a la velocidad de las partículas, la velocidad viene expresada en la Ecuación 1.9. El primer sensor emite una onda de ultrasonido a una frecuencia determinada y el segundo recibe la onda reflejada como se muestra en la Figura 1.20. Se proyecta una onda ultrasónica en un ángulo a través de la pared de la tubería en un fluido en movimiento con partículas por un cristal transmisor, parte de la energía es reflejada por las partículas del líquido hacia un cristal receptor. [11]

La técnica de efecto Doppler es recomendable en líquidos que poseen un porcentaje alto de sólidos en suspensión hasta el 60 %, tienen una precisión del flujo hasta el 1%,

$$v = \frac{c(ft-fr)}{2ft\cos \theta} \quad (1.9)$$

La letra “c” significa la velocidad de emisión de la señal esta es igual a la velocidad de la luz, también se define que “ft” es la frecuencia de transmisión de la señal y “fr” es frecuencia de recepción de la señal, sin olvidarse que el ángulo de reflexión de la señal viene expresado por “θ”.

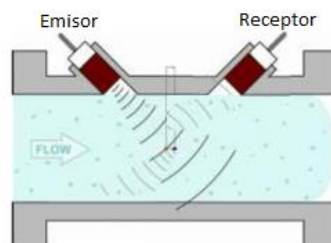


Figura 1.20. efecto Doppler [3]

1.4.7.2 Tiempo de tránsito

El tiempo de tránsito es un método de medición que basa su principio en, medir la velocidad de un fluido que está directamente relacionado con la propagación de una señal acústica en el fluido.

La técnica se usa en la medición del flujo de agua con un simple funcionamiento, pues se colocan dos transductores que transmiten y reciben impulsos del ultrasonido, si se colocan en una tubería vacía el tiempo de tránsito entre transductores debe ser el mismo, mientras que si se deja pasar un flujo de agua, la señal acústica de cada transductor necesita mayor o menor tiempo de tránsito en llegar de un transductor al otro, debido al medio de propagación, así se tiene una diferencia de tiempos la que muestra que la velocidad del fluido es directamente proporcional con esta diferencia de tiempo como de muestra en la Figura 1.21. [3]

El método de medición suele ser mejorado con la instalación de varios transductores que permiten obtener mejoras en la exactitud de tiempo y por tanto de caudal, sin embargo, representa más costo en implementación electrónica.

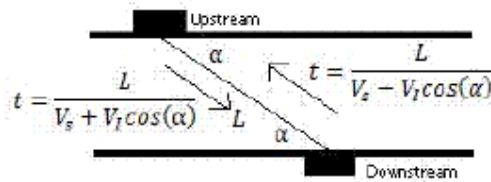


Figura 1.21. tiempo de tránsito

El medidor ultrasónico con la aplicación de la técnica de tiempo de tránsito busca encontrar la velocidad del flujo en una tubería con una precisión de lectura efectiva, para lo cual es necesario calibrar el sensor de modo se debe tener en cuenta las relaciones de velocidades, tiempos y geometría de uso de todo el sistema de medición, a continuación, se presenta la relación matemática del sistema completo, el cual puede ser aplicado para un tratamiento de información de las mediciones. [3]

$$T_u = \frac{L}{c - V_f \cos \theta} \quad (1.10)$$

$$T_d = \frac{L}{c + V_f \cos \theta} \quad (1.11)$$

$$V_f = \frac{k(T_u - T_d)}{T_u * T_d} \quad (1.12)$$

Las fórmulas 1.10, 1.11 y 1.12 permite obtener diferentes resultados en base a los siguientes términos donde: " T_u " representa el tiempo de tránsito de aguas-arriba, el " T_d " es el tiempo de tránsito de aguas-abajo, el término "L" es la distancia entre transductores, la letra "c" representa a la velocidad del sonido, " V_F " representa a las velocidades del fluido, el " θ " representa el ángulo de colocación entre transductores y el termino de " k " representa el factor de corrección para la velocidad.

1.4.8 Transductores

El sensor de ultrasonido puede tener varias presentaciones, sin embargo, todos están compuestos internamente con un principio de transducción, en el proyecto se conforma de dos módulos alineados que permiten la emisión y la recepción de la señal, a través de un fluido, estos sensores deberán ser acondicionados para que funcionen de tal manera que permitan generar una información necesaria para el uso de la medición de flujo y velocidad.

Los transductores serán colocados en una tubería de tal manera que permita la medición con un enfoque principal al caudal del agua, en la que funcionan determinando la distancia entre transductores y midiendo el tiempo de transmisión de la señal desde la emisión de la señal ultrasónica y la recepción de la misma señal.

El acondicionamiento de los sensores depende de la aplicación a implementar, puesto que se pueden realizar mediciones en las que los transductores estén en contacto directo con el fluido o como en nuestro caso ubicados en el exterior de la tubería. Se realiza un contraste de dos sensores del mercado ecuatoriano y un sensor con tecnología más avanzada, para determinar el porqué del uso del sensor seleccionado.

1.4.8.1 Sensor MB1000

Es un sensor que permite la medición mediante la emisión y recepción del ultrasonido, se lo analiza debido a que presenta características que pueden servir para un acondicionamiento, sin embargo, como se muestra en la Figura 1.22 el transductor tiene una presentación que no permitiría funcionar de manera óptima en el proyecto, debido a la presencia de circuitería que ocasionaría falla en las mediciones.



Figura 1.22. transductor [12]

El sensor de la Figura 1.22. presenta características para la medición usando el ultrasonido, referenciando el diagrama de tiempos de operación del transductor presentado en la Figura 1.23, se divide en una operación de 49 ms, comienza con una energización en la que tiene tiempos muertos de aproximadamente 1ms para su correcto funcionamiento, luego realiza la medición y finalmente un tiempo muerto para contener la lectura y enviar la información, a continuación se presenta el diagrama de tiempos del sensor con sus respectivas características. [12]

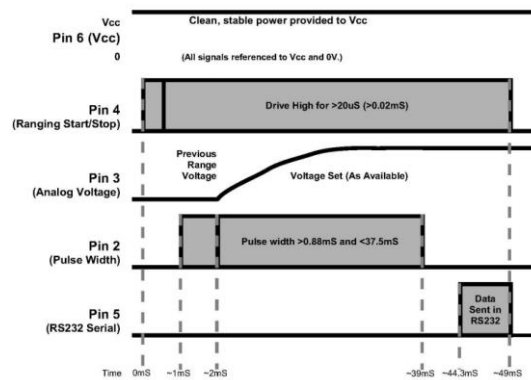


Figura 1.23. Diagrama de tiempo de operación del transductor [12]

Tabla 2. Características del sensor mb1000

Alimentación	2.5 a 5 [V]
Frecuencia de operación	42 [kHz]
Distancia de medición	0 a 645 [cm]
Tamaño	19.9mm*22.1mm*15.5mm
Transductores	1
Comunicación	Analógica, PWM
Temperatura de operación	-40 A 65 [°C]

1.4.8.2 Transductor Tct40-16

El transductor Tct40-16 es un sensor muy usado cuando se trata de emisión y recepción de ultrasonido, pues funciona como emisor y receptor de la señal ultrasónica, el cual permite la medición de caudal. Sin embargo, en la Figura 1.24 se puede observar el sensor de manera física con sus respectivas dimensiones, dando como apariencia física una cubierta de metal que en un tiempo determinado podría oxidarse, así se puede evidenciar que el sensor no es óptimo para la aplicación deseada.

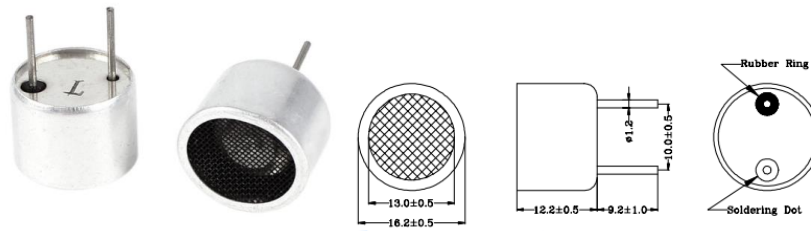


Figura 1.24. dimensiones del sensor Tct40-16 [13]

El transductor presenta características útiles, debido a que tiene una buena sensibilidad, puede trabajar en condiciones externas donde la temperatura se puede elevar por sobre las condiciones normales, de modo que, las mediciones se verían afectadas por estos cambios de condiciones ambientales, a continuación, en la Tabla 1.2. algunas de las características del transductor. [14]

Tabla 1.2. Características del transductor Tct40-16 [14]

Voltaje máximo de operación	20 [Vrms]
Frecuencia de operación	40 [kHz]
Distancia de medición	0 a 200 [cm]
Tamaño	Diámetro de 16 [mm]
Atenuación del sonido RH	30 [%]
Ancho de banda	120 [dB]
Temperatura de operación	-30 A 80 [°C]

1.4.8.2 Sensor GUF-120A-W

El medidor de caudal seleccionado para el proyecto, es en base a un análisis comparativo entre sensores que podrían servir para la aplicación deseada. Así pues, después de una investigación de instrumentos se decidió utilizar este sensor debido a sus características fundamentales como son la precisión de medición, eficiencia de medición, ahorro energético, aplicable a múltiples campos de trabajo, fácil instalación, entre otros. El sensor utiliza el ultrasonido como principio de medición, enfocado en la medición de líquidos, utiliza la técnica de medición con efecto de Doppler en el que una señal ultrasónica es acondicionada para obtener información de caudal de agua en una tubería, en la Figura 1.25 se presenta de manera física el sensor.



Figura 1.25. Sensor GUF-120A-W.

El sensor utiliza la técnica de medición de tiempo de tránsito el cual se lo explicó en el punto (1.4.7.2) permitiendo obtener el flujo y velocidad de agua en una tubería. El sensor presenta características en la cuales puede operar como instrumento en la industria 4.0 ya que puede comunicarse hasta con un protocolo de comunicación MODBUS, a continuación, en la Tabla 1.3, algunas de las características que destaca el sensor.

Tabla 1.3. Características del sensor GUF-120A-W

Alimentación	12-24 [VDC]
Señal de salida	4-20 [mA]
Precisión	+1 [%]
Presión normal	2.5 [Mpa]
Rango de operación del fluido	3.53-36191.5 [m3/h]
Ancho de banda	120 [dB]
Temperatura de operación	-30-150 [°C]
Potencia	Menor a 1.5 [W]

1.4.5 TARJETA DE DESARROLLO ESP-32

La tarjeta de desarrollo ESP-32 es elegida para obtener las mediciones del sistema, se escogió esta tarjeta debido a su uso en áreas en la que se requiere un rendimiento muy alto, pues presenta características de funcionamiento mejoradas en cuanto a tarjetas ya conocidas como el Arduino o una tarjeta STM, esta tarjeta tiene un procesador que está en uso de modo single o dual, con la presencia de dos núcleos de hasta 240 MHz de tal manera que se los puede controlar de manera individual, además tiene 36 pines de uso múltiple en la que tiene señales PWM, canales ADC, DCE, sensores con diferente principios e medición amplificadores con bajo ruido, SPI de alta velocidad, UART, I2C y módulos de Wireless con wifi o Bluetooth. Estas son algunas de las características

necesarias para obtener la información del caudal y flujo del recurso hídrico, también se debe considerar que la tarjeta presenta una variedad de software y lenguajes de programación a usar como ejemplo: C++, Python, JavaScript, LUA, RTO's con Zephyr, etc.

Aparte de las especificaciones necesarias para la aplicación, la tarjeta se escogió debido a que es muy económica, y muy eficiente en el campo laboral. En la Figura 1.26. se puede ver la tarjeta de manera física.



Figura 1.26. Tarjeta ESP-32.

Características:

Tabla 1.4. Características de la tarjeta de adquisición de datos ESP-32

característica	dato
Voltaje alimentación	5 VDC
Voltaje de entrada y salida	3.3 VDC
CPU	Tensilica Xtensa 32-bit LX6
Frecuencia de reloj	240 MHz
Desempeño	Hasta 600 DMIPS
Memoria	448 Kbyte ROM 520 Kbyte SRAM 16 Kbyte SRAM in RTC
Pines digitales	24
Convertor analógico digital	2 ADC de 12 bits SAR, soporta amplificación con ganancia programable.
Chip USB-Serial	CP2102

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción general

Desarrollo del prototipo inicial

El sistema de medición en primera instancia se desarrolla con diseños y con elección de instrumentos electrónicos que se pueden encontrar en el mercado ecuatoriano. El prototipo inicial pretende mostrar ventajas y desventajas de realizar un sistema de medición desde cero. El sistema permite aportar con una idea de cuales deben ser las mejores opciones de instrumentación que se deben usar en la actualidad.

El trabajo se realiza en base a una previa investigación, de diseños de filtrados para el tratamiento de una señal ultrasónica, pues se enfoca a realizar un control para el monitoreo de recursos hídricos.

El prototipo inicial se compone de algunas etapas de filtrado para la medición, y está compuesta por etapas definidas, las cuales serán detalladas a continuación:

- Acondicionamiento de los transductores mediante circuitería que permite el tratamiento de la señal de ultrasonido en la parte de emisión y recepción de la señal, de manera que la información pueda ser tratada con un sistema centralizado.
- Medición del tiempo la cual se pone en función a partir de una tarjeta de adquisición de información, trata la señal emitida y la señal de recepción para obtener información de tiempo.
- integración en un modelo 3D, donde la instrumentación se junta.

En la Figura 2.1. Se muestra un diagrama en bloques de la medición:

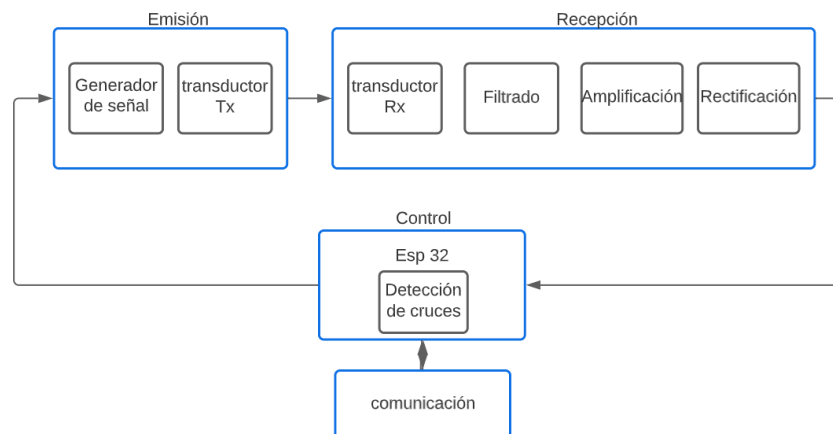


Figura 2.1. Diagrama en bloques del sistema de medición [1]

2.2 Acondicionamiento de sensores

El sistema de acondicionamiento de transductores usa electrónica que sirve para tratar la señal de ultrasonido mediante la emisión y recepción de la misma, de modo que, al analizar las posibles perturbaciones en el medio ambiente, mediante la alta frecuencia que se maneja la señal será tratada con filtros los cuales permitirán obtener mediciones, en la Figura 2.2. se puede observar el diagrama de emisión y recepción de la señal.

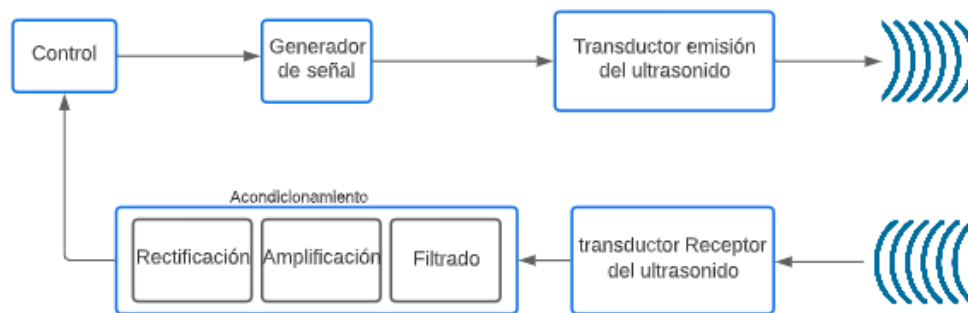


Figura 2.2. Diagrama general del acondicionamiento

2.3 Generador de señal

Como elección para el prototipo se usa el Tct40-16, debido a las características de funcionamiento, como también debido a que se lo puede encontrar de manera más fácil en el mercado.

Para la generación de la señal ultrasónica se utilizó en un principio la señal cuadrada que puede ser generada por una tarjeta de desarrollo ESP32, con lo que se podía probar de manera correcta la emisión de la señal, sin embargo, al recibir la señal no fue lo suficiente fuerte como para pasar a través de la tubería.

Después se probó con el oscilador de puente de Wien, en el cual se utilizó la topología de circuitería que se presenta en la Figura 2.3, la cual muestra los componentes electrónicos para la generación a frecuencia de 40 kHz, pero con una amplitud diferente. [9]

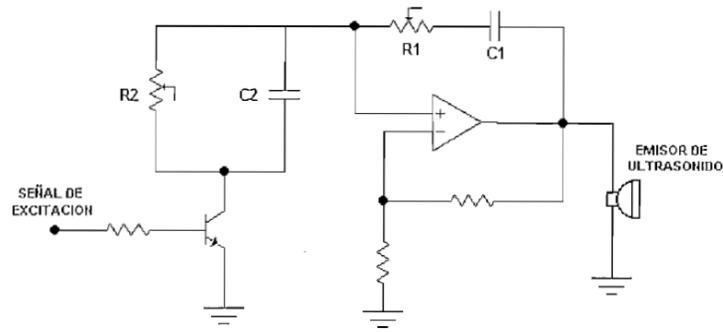


Figura 2.3. Oscilador de puente de Wien

Los cálculos para obtener una señal adecuada se determinaron en base a la Ecuación 2.1. Donde se tiene presente los valores comerciales de resistencias para poder implementarlos de manera eficiente.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 * R_2 * C_1 * C_2}} \quad (2.1)$$

Después de realizar pruebas de operación en tuberías se intentó aumentar la potencia de emisión, para lo cual se utilizó el principio de oscilación de Royer para la generación de una señal con más potencia, lo cual se desarrolló con la configuración mostrada en la Figura 2.4.

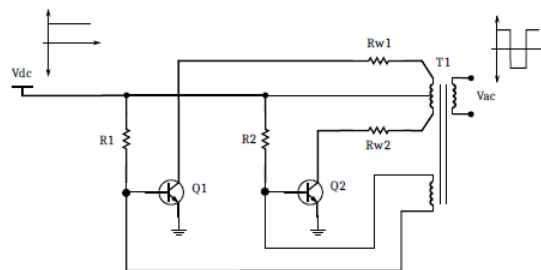


Figura 2.4. Oscilador de Royer simplificado

En la Figura 2.4 se muestra el esquema de la función de Royer simplificado, utiliza un transformador con Tap central, en el cual el voltaje se amplifica según la necesidad en el transformador 1, mientras que para el transformador 2 se usa como etapa de filtrado, así pues la señal del transformador 1 es aplicada a una bobina (toroide) para luego realimentar en el encendido y apagado de los transistores de potencia, se manejan dos transistores de potencia en configuración push-pull, en la que los transistores son alimentados mediante el segundo devanado con una realimentación positiva la cual produce la oscilación que permitirá al transductor de salida emitir una señal con más potencia, esta oscilación se desarrolló en base a la frecuencia de operación de los 40 kHz y se determina por la máxima

cantidad de densidad de flujo magnético. Este circuito es muy usado en electrónica de potencia, para la obtención de una señal cuadrada, sin embargo, no garantiza la calidad de bus de voltaje DC. En la Figura 2.5 se puede analizar de mejor manera el esquema eléctrico de emisión de la señal utilizando el principio de oscilación de Royer.

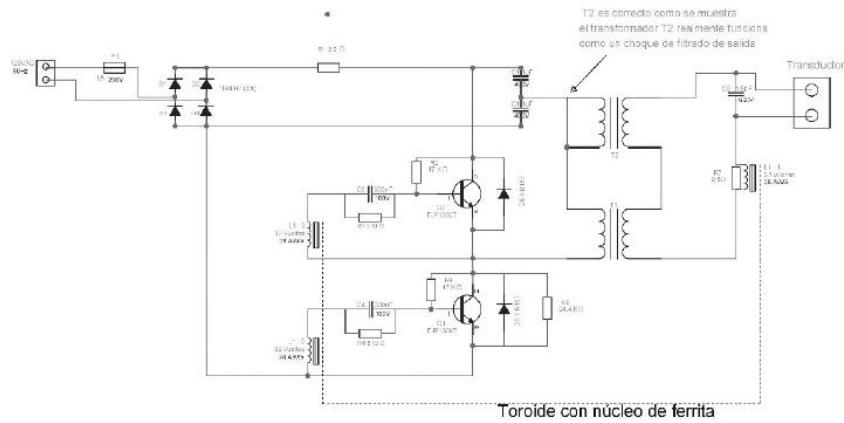


Figura 2.5. Generación de la señal

Para el cálculo de los elementos electrónicos se debe tener en cuenta la potencia de salida y la de entrada:

$$P_o = 60 \text{ [W]} \quad (2.2)$$

$$P_{in} = 120 * \sqrt{2} = 169.7 \text{ [W]} \quad (2.3)$$

Después se utilizó los diodos 1n1004 para el desarrollo del rectificador de onda completa, en la salida un condensador de 330 [uF], que soporte un valor mayor a los 350[V], ya que se va a soportar el voltaje de salida en el puente. El filtrado de la señal se calcula en base a la Ecuación 2.4.

$$C = \frac{I}{v * F} \quad (2.4)$$

Para tener el transductor alimentado de manera segura se debe conocer el valor de la frecuencia de resonancia correcta, esto se lo pudo determinar en base a pruebas y ayuda del Datasheet Y se eligió en base a una búsqueda el IRF840, así se analizó las gráficas y se obtuvo que el valor aproximado de impedancia para el semiconductor de potencia es de 319 [Ω] con lo cual se puede encontrar el voltaje adecuado, despejando de la Ecuación 2.5.

$$P = \frac{v_o^2}{R} \quad (2.5)$$

$$v_o = \sqrt[2]{60 * 319} = 138 \text{ [V]} \quad (2.6)$$

De modo que la corriente viene determinada con la Ecuación 2.7.

$$I_o = \frac{60 \text{ W}}{138 \text{ V}} = 0,434 \text{ [A]} \quad (2.7)$$

Así se puede asumir que el transistor de potencia va a operar con una eficiencia mayor a 70 % y se obtiene el valor de la potencia inicial con la Ecuación 2.8.

$$\eta = 70\%$$

$$P_{in} = \frac{P_o * 100}{\eta} = \frac{60 * 100}{70} = 85,714 \text{ [W]} \quad (2.8)$$

La corriente de alimentación al tener mi rectificación de onda completa y mi señal cuadrada es como lo indica la Ecuación 2.9.

$$I_{in} = \frac{P_{in}}{v_{in}} = \frac{85,714}{170} = 0,5 \text{ [A]} \quad (2.9)$$

Haciendo referencia a la ecuación 2.4, se puede obtener el valor de la capacitancia de filtrado

$$C = \frac{0.5}{170 * 40 \text{ [kHz]}} = 73.53 \text{ [nF]}$$

Una vez se realizaron los cálculos para obtener una alimentación adecuada se procede a calcular los valores adecuados para el correcto disparo de los Mosfet, se coloca una resistencia de 330 [Ω] para proteger la base del transistor de potencia ya que limita la corriente de entrada a la base, y se coloca una resistencia de 100 [$k\Omega$] para la definición del estado lógico en caso de que el la Esp 32 no lo hiciera en un inicio.

Y la resistencia de base se calcula usando la Fórmula 2.10, ya que el valor minino de corriente es 8.33 [mA] pues se garantiza la carga de los capacitores y la ganancia aproximada de 30.

$$R_b = \frac{\text{voltaje}-0.7}{\frac{\text{corriente}}{hfe}} = \frac{5-0.7}{\frac{8.33 \text{ [mA]}}{30}} = 15.487 \text{ [k}\Omega] \quad (2.10)$$

$$R_b = 18 \text{ [k}\Omega]$$

De modo que el circuito queda compuesto como se muestra en la Figura 2.6 la cual se procedió a la implementación de una placa para poder verificar su funcionamiento.

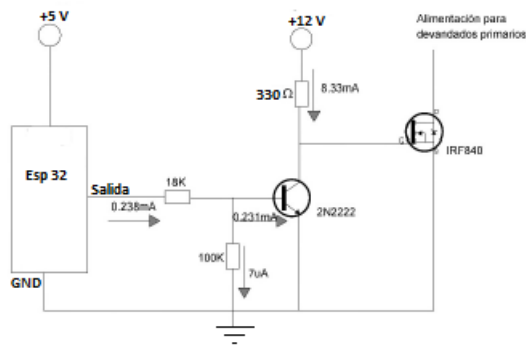


Figura 2.6. Disparo del Mosfet.

Se realizó el diseño de una placa PCB y se imprimió en una baquelita de modo que las pistas no deben ser muy delgadas ya que se quiere mantener un margen de buen camino para la corriente que circulará en el circuito, se desarrolló protección a tierra sin embargo al realizarle pruebas presentaba más fallas de lo normal, así que se diseñó sin la malla de tierras como se muestra en la Figura 2.7.

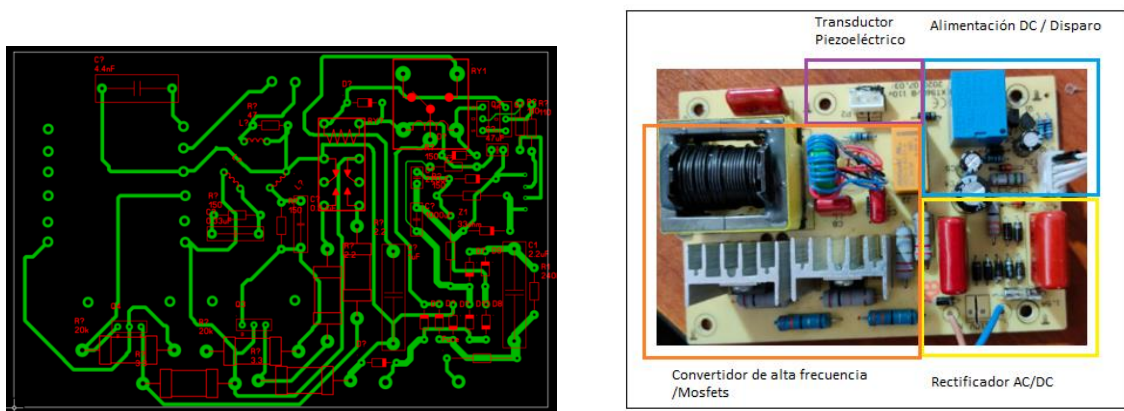


Figura 2.7. Diseño y placa del circuito de generación de señal

En la Figura 2.7 se puede ver de manera física el armado de la generación de la señal mediante el oscilador de Royer.

2.4 Señal de recepción

Para la recepción de la señal se tiene una señal de baja amplitud por lo que se necesita una etapa de amplificación hasta un valor necesario, a esta señal se la filtra y se la rectifica para luego ser enviada hacia una tarjeta de procesamiento de señal, en la Figura 2.8 se puede apreciar el esquema en general del proceso de recepción de la señal.

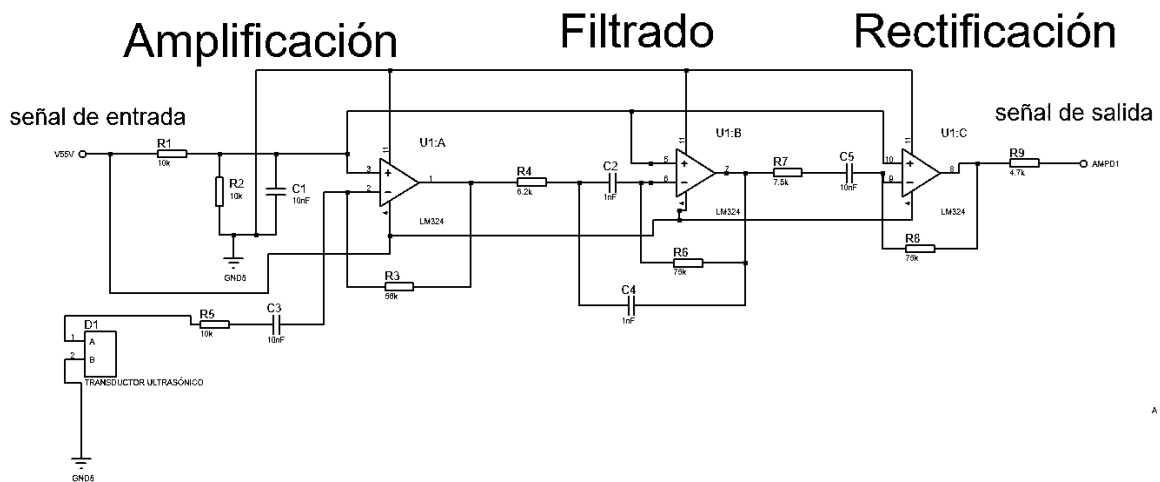


Figura 2.8. Esquema de recepción de la señal.

2.4.1 Amplificación

La señal que se obtiene está en el orden de los 10 mV, por ello se amplifica de modo que la ganancia permita obtener una amplitud para luego ser procesada, de modo que se calcula los valores y se implementa de forma que se presenta en la Figura 2.9.

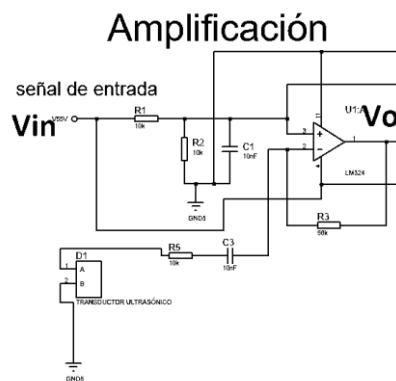


Figura 2.9. Amplificación de la señal de recepción

Cálculos:

$$\begin{aligned}
 A &= 1 + R_1 / R_2 = 10 \\
 R_2 &= 6.2 \text{ [k}\Omega\text{]} \\
 R_1 &= 5800 \text{ }\Omega \rightarrow R_1 = 56 \text{ [K}\Omega\text{]}
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

2.4.2 Filtrado

En la etapa de filtrado se compone de un filtro pasa-banda, en el que instrumentos electrónicos (resistencias y capacitores) se conectan en serie o paralelo, dependiendo de la aplicación, los cuales permiten tener la señal a una frecuencia requerida, y con ello

eliminar el ruido que tenga una señal, también sirve para la eliminación de armónicos que pueden tener en la señal. A continuación, se presenta la Figura 2.10 donde se procede a generar el cálculo del valor de las resistencias y capacitores para el filtrado adecuado.

Filtrado

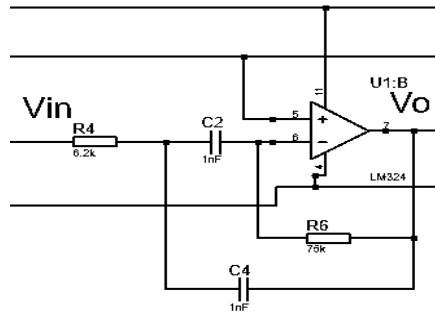


Figura 2.10. Circuito de filtrado pasa-banda

Cálculos:

$$fr = 40 \text{ [kHz]}$$

$$Q = 10$$

Cálculo del ancho de banda:

$$B = \frac{fr}{Q} = \frac{40000}{10} = 4000 \text{ [Hz]} \quad (2.12)$$

Se asume un capacitor de $C1 = 1 \text{ [nF]}$ debido a que la ganancia no es muy alta.

$$C1 = C2 = 1 \text{ [nF]}$$

$$R6 = \frac{0.1591}{B \cdot C1} = \frac{0.1591 \cdot 2}{4000 [1 E^{-9}]} = 79550 \Omega \approx 75 \text{ [k}\Omega] \quad (2.13)$$

$$R4 = \frac{R5}{2Q^2 - 1} = \frac{75000}{2 \cdot 10^2 - [1 E^{-9}]} = 3768.84 \Omega \approx 6.2 \text{ [k}\Omega] \quad (2.14)$$

2.4.3 Rectificación

La etapa de rectificación busca tener una señal más amplificada con menos ruido para ello se diseña la amplificación con valores de capacitores más altos y así tener un filtrado de mejor calidad, de modo que se puede mostrar el diseño en la Figura 2.11. donde se tiene ya la salida para ser tratada.

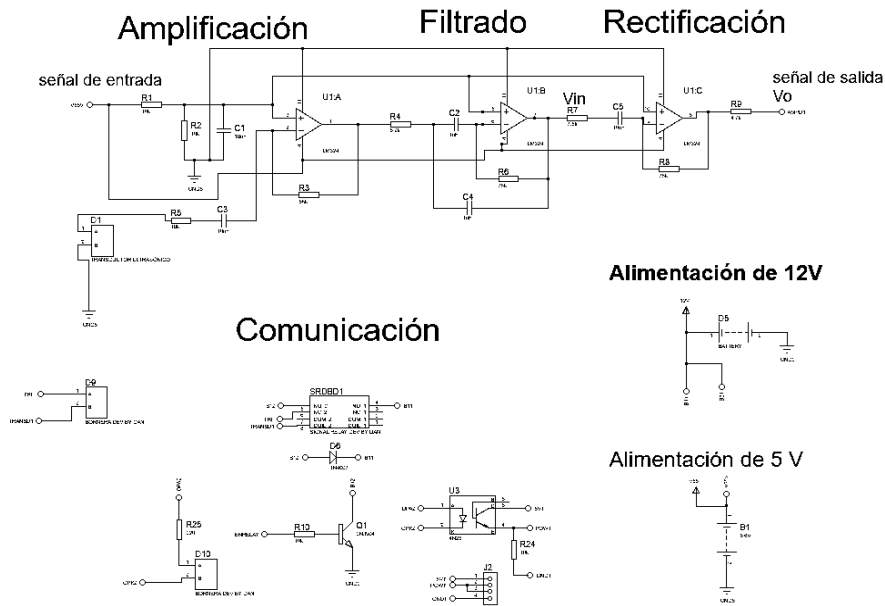


Figura 2.13. Circuito completo de recepción de la señal

El software de Proteus ofrece una ayuda el cual se hace un escaneo mediante PCB Layout, que permite realizar el diseño de la placa a desarrollar, se muestra en la Figura 2.14. como quedaría el diseño para la colocación en físico de los elementos electrónicos.

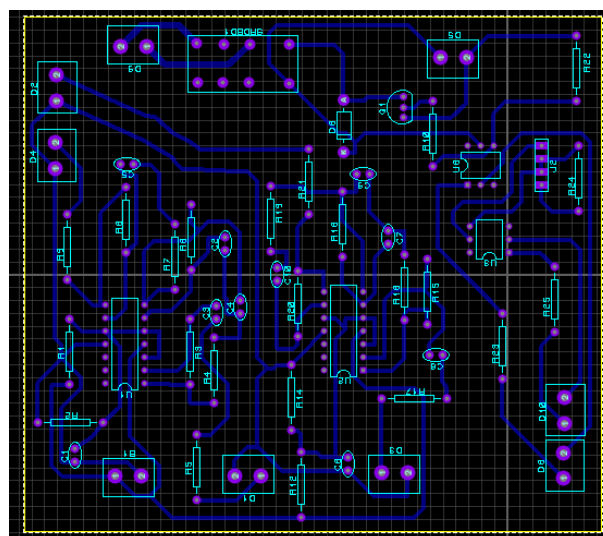


Figura 2.14. Circuito para impresión de la placa

Para ver la colocación de los instrumentos se utilizó la opción 3D Visualizer, la cual me permite ver cómo serán colocados los elementos en físico, la Figura 2.15. muestra el diseño de la placa en 3D.

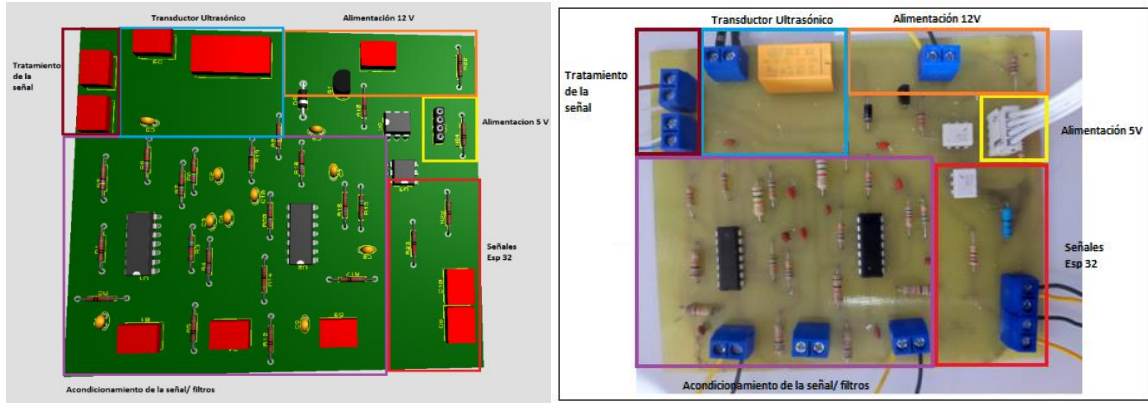


Figura 2.15. Circuito implementado en placa

Se armó de tal manera como lo muestra la Figura 2.15 y se obtuvo de manera física, con los instrumentos electrónicos soldados un circuito funcional de acuerdo al diseño.

2.4.4 Detector de cruces

La señal ya filtrada se compara con un voltaje seteado de modo que el voltaje de la salida de 5 V equivale a un 1 lógico y el valor de 0 V, equivale al 0 lógico. Permitiendo la detección como se muestra la Figura 2.16.

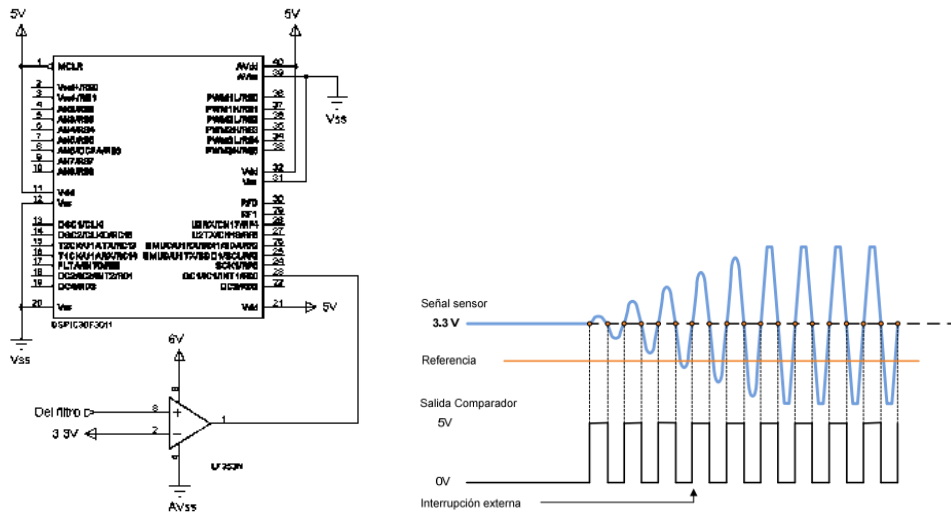


Figura 2.16. Conexión y detección de cruces

La señal debe ingresar a la tarjeta Esp 32 configurado como interrupción externa, de modo que cuando detecte un cambio de estado el Esp 32 entra en la subrutina de interrupción, también se muestra el diagrama de conexión realizado en primera instancia.

2.5 Diseño 3D

Para que el sistema sea posible llevarlo al lugar de medición de flujo se desarrolló una estructura implementada con impresión en 3D, de modo que se procedió al diseñar el modelo según las necesidades planteadas, como se muestra en la Figura 2.17.

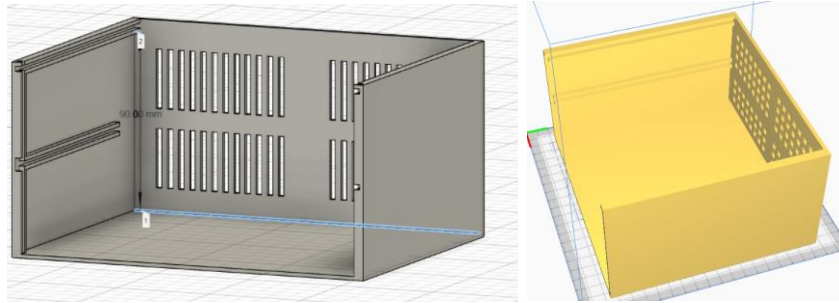


Figura 2.17. Diseño de impresión en 3D

El diseño para la colocación de los sensores se los tiene en la Figura 2.18.

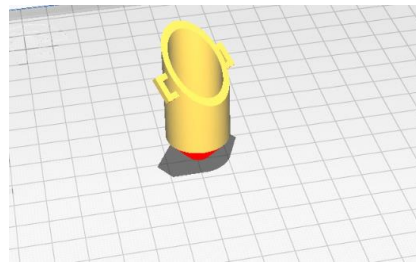


Figura 2.18. Diseño de impresión 3D, para los transductores.

De tal manera se puede evidenciar la impresión en 3D, y también se pone a prueba la colocación de estos transductores en el campo de funcionamiento, sin embargo, las pruebas brindan resultados como mala protección de los transductores, lo que puede deteriorar la vida útil, lo que significa que es una mala práctica. También en la Figura 2.19 se puede evidenciar la integración de la etapa de medición en los modelos 3D diseñados.

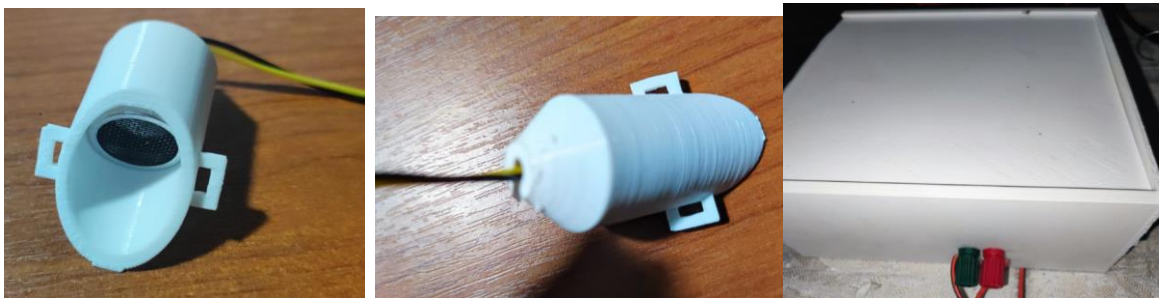


Figura 2.19. Detector de ultrasonido con las puntas de prueba (prototipo inicial)

2.6 Desarrollo del prototipo final

El prototipo inicial se lo desarrolló en base a la electrónica aprendida en una investigación de cada etapa de la medición usando el ultrasonido, sin embargo, no fue posible obtener valores de medida coherentes. La búsqueda de información para solucionar los problemas encontrados en el desarrollo del prototipo inicial, nos lleva a encontrar un sensor con características de última generación que aportan con conocimiento tanto académico como industrial. El uso del sensor ultrasónico permite tener una confiabilidad muy alta en base a la precisión de medida, puede ser usado de manera sencilla, incluso el uso es muy fiable con poco mantenimiento, pues la larga vida útil permite que se opte por prestar uso del servicio de este sensor.

El desarrollo de un prototipo funcional es la clave para que el proyecto cumpla con su objetivo principal, para lo cual se realizó un análisis extenso en cuanto a sistemas de medición que utilizan el ultrasonido, llegando a elegir un sensor que cumplía con las características del proyecto, así el prototipo final se formó de tal manera que se acondiciona el sensor y se trata las señales de ultrasonido en base a las técnicas de medición ya conocidas, que son la técnica de tiempo de tránsito y el efecto Doppler.

2.6.1 Prefacio sensor GUF-120A-W

El objetivo del monitoreo de caudal y velocidad de un recurso hídrico es obtener medidas eficientes para un futuro análisis que desarrolla un operador, recalcando que el operador no debe correr ningún riesgo en la toma de medidas. El sensor tiene una arquitectura ideal para el monitoreo ya que el uso de los transductores ultrasónicos es de manera más sencilla y eficiente. También facilita la movilidad del instrumento de medida de manera segura, permitiendo tener confiabilidad en la etapa de medición.

2.6.2 Características y principio

El sensor GUF-120A-W es un sistema de medición que se necesita acondicionamiento de manera muy simple, pues es un medidor de caudal que utiliza el ultrasonido como principio de medición, enfocado en la medición de líquidos. Utiliza la técnica de medición tiempo de tránsito y con efecto de Doppler en el que una señal ultrasónica es acondicionada para obtener información de velocidad y caudal de agua en una tubería, a continuación, se muestra en la Figura 2.20. el sistema de medición que se va a usar.



Figura 2.20. Sensor GUF-120A-W

El sensor se lo eligió en base a investigación, la cual permita determinar la medición de flujo de agua en tubería, donde se destaca por su precisión, linealidad y una repetibilidad muy baja, también se puede acondicionar transductores para diferentes tuberías, como también opera a bajos niveles de voltajes lo cual permite ser un instrumento de medida con fácil operación industrial.

En la Figura 2.21 se puede apreciar un tipo de medición el cual permite la obtención de caudal, mediante el uso de transductores que emiten y reciben una señal ultrasónica. Los transductores deben ser colocados en una tubería a una distancia calculada, pues en base a la colocación de los transductores los métodos de medida varían para diferentes aplicaciones.

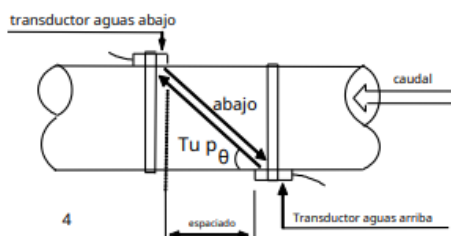


Figura 2.21. Configuración z [17]

El sensor puede hacer uso de tres métodos de medición usando el principio de medición de tiempo de tránsito, en el método en “V” el ultrasonido viaja a través de una tubería dos veces, en el método en “W” el ultrasonido atraviesa la tubería cuatro veces y en el método “Z” el ultrasonido cruza a través de la tubería una sola vez. El método es seleccionado en base a la aplicación pues existen diferentes tipos de tuberías en la industria, el material y las dimensiones de tubería pueden resultar difíciles de tratar, por lo que al seleccionar bien estos parámetros la medición se hará efectiva.

La ecuación para obtener el caudal y velocidad en una tubería viene expresada como se muestra en la Ecuación 2.16, pues el ultrasonido es modulado y mide el tiempo de tránsito que tarda el ultrasonido en viajar entre el transductor de emisión y el de recepción.

$$V = \frac{MD}{\sin 2\theta} = \frac{\Delta T}{T_{arriba} * T_{abajo}} \quad (2.16)$$

Donde el “ θ ” representa el ángulo de emisión de la señal ultrasónica, la letra “M” representa el tiempo de viaje de la señal, “D” significa el diámetro de la tubería, “ T_{arriba} ” significa el tiempo que se demora en llegar el ultrasonido en agua hacia arriba, “ T_{abajo} ” representa el tiempo que se demora en llegar el ultrasonido en agua hacia abajo y “ ΔT ” es la diferencia de tiempos para el cálculo de velocidad.

Se analizará las características de la Tabla 2.1. de la cual podremos concluir que el sensor es óptimo para cumplir con el objetivo principal.

Tabla 2.1. Características del sensor del prototipo final [17]

Característica	especificaciones
Precisión	➤ +- 1%
Repetibilidad	➤ +- 0.2%
Principio de medición	Tiempo de transito
Salida analógica	4-20 [mA] o 0-20 [mA]
Entradas analógicas	3 entradas y permite entrada de PT100
material	Acero, hierro fundido, cobre, aluminio
Tipos de líquidos	Agua, aceite, agua de mar, aguas residuales, alcohol, ácidos, etc.
Temperatura de operación	Normal: -30 a 90°C puede llegar a los 160°C
alimentación	12/24 [Vd.] o 220[Va]
Potencia de consumo	< 1.5 [W]
Salidas tipo	OCT: señal de frecuencia Relé

2.6.3 Aplicación

El sistema de medición puede ser aplicado bajo diferentes criterios de aplicación, pues si bien en muchas industrias se busca tener los instrumentos fijos, también se tiene lugares donde se desea un sistema de medición móvil. Se puede aplicar en una gran variedad de mediciones en tuberías, pueden ser líquidos con a sin solidos en suspensión, líquidos en su estado puro, a continuación, algunos de los ejemplos que puede medir:

- Químicos (ácidos, bases, alcohol, etc.)
- Aguas negras con pequeñas partículas de sólidos en suspensión.
- Agua (fría, caliente, potable, de mar, etc.)
- Petróleos (aceite, gasolina, aceite lubricante, etc.)
- Disolventes y solutos, etc.

El sistema puede ser utilizado bajo diferentes criterios de aplicación, sin embargo, para que la medición pueda ser más fiable en aplicaciones de extremas condiciones fuera de lo normal, se hace uso de diferentes transductores en la que los tipos de abrazaderas dependerá del tamaño de la tubería.

2.7 Acondicionamiento del sensor GUF-120A-W

2.7.1 Alimentación

El sistema de alimentación en las industrias suele ser complejo, debido a que en un principio no se tiene en cuenta los diferentes instrumentos de medida para los procesos, por tal motivo es necesario tener en cuenta el tipo de alimentación que necesita nuestro sistema de medición. El sensor puede ser alimentado con 220 [Vac] si se tiene disposición, esta alimentación puede ser usada cuando el sistema este en un lugar fijo, sin necesidad de movimiento.

Si las condiciones de operación son móviles, el sensor puede ser alimentado con 12 [Vdc] o 24 [Vdc], pues el proyecto busca ser alimentado con un sistema de alimentación fotovoltaico, lo cual permite ser adaptado a las condiciones del proyecto, es decir el sistema será energizado con 12 [Vdc] como se puede apreciar en la Figura 2.22.



Figura 2.22. Alimentación.

2.7.2 Arquitectura

2.7.2.1 Conexión

El análisis en las propiedades de nuestro sensor, presenta una manera de realizar el respectivo cableado de los transductores hacia el equipo, de modo que se analizan la distribución de entradas y salidas y tipo de conectores que son necesarios para el conexionado adecuado, en la Figura 2.23 se muestra el diagrama de conexión del equipo, el cual muestra donde van a ser las salidas de corriente de 4-20 mA, también la salida de los cables hacia los transductores y por último recalcando donde se debe realizar la conexión de alimentación del sistema de medición.

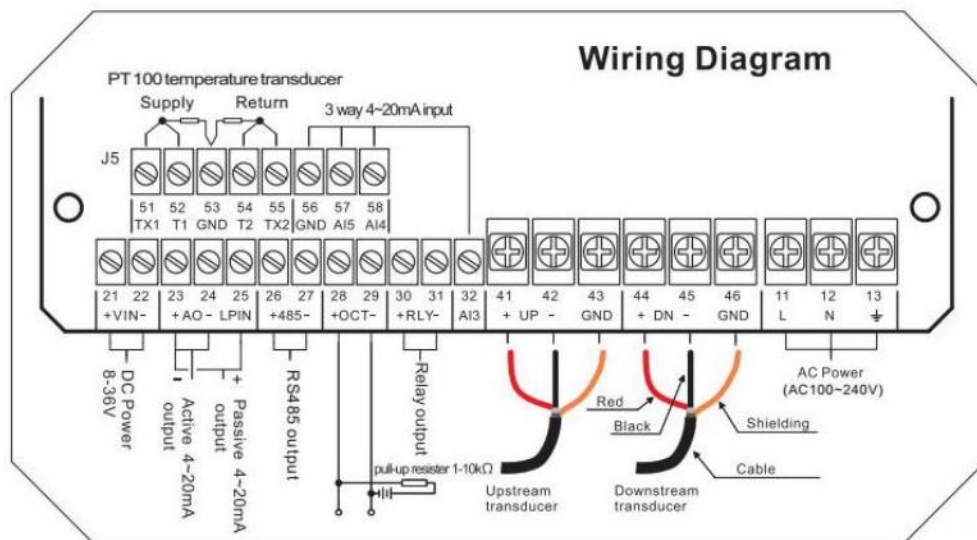


Figura 2.23. Diagrama de conexión del sensor [18]

2.7.2.2 Teclado

El sensor es operado bajo un teclado con la configuración mostrada en la Figura 2.24, donde tiene los numero del 0 al 9 los cuales servirán para colocar comandos de acceso a configuraciones, también hay una flecha hacia arriba con un símbolo de + para subir de ventana o para ingresar algún código numérico. La flecha hacia abajo cambia de ventana y también sirve para ingresar códigos numéricos. La flecha hacia el lado izquierdo sirve para retroceder, mientras que la tecla que tiene la palabra "MENÚ" permite al operador ingresar a cualquier ventana.

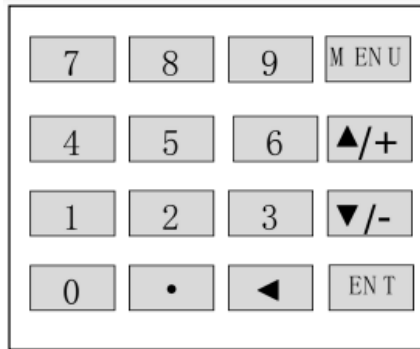


Figura 2.24. Teclado de operación.

2.7.2.3 Ventanas de menú

Las ventanas de menú son accesibles a un operador en un orden establecido, estas ventanas vienen numeradas del 1 al 100 de manera consecutiva, existen dos métodos para ingresar a la ventana deseada:

1. el ingreso a la ventana es presionando la tecla “MENÚ” y después colocar el número de la ventana hacia donde se quiere dirigir.
2. Se presiona las teclas en las que están una flecha hacia arriba y la flecha hacia abajo, de modo que navegará por las ventanas de manera consecutiva hacia donde quiera el operador.

La organización de las ventanas para su configuración es de tal manera que se ingresa los comandos en base a un teclado y comandos para definir el tipo de medición, para ello se organizan de la siguiente manera:

M00 a M09 son comandos que muestran los parámetros de medición

M10 al M29 son requisitos de dimensión de tuberías

M30 al M38 son para configurar unidades de medición

M40 al M49 configuraciones por tiempos de respuestas

M50 al M53 son registros integrados

M60 al M78 inicialización de parámetros de salidas.

M90 al M94 diagnóstico de mediciones.

M97 al M99 salidas de copia de pantalla.

Para un detalle más a profundidad de cada parámetro se debe remitir al manual del sensor.

2.7.3 Uso básico del sensor

El uso del sistema de medición viene dado con una previa configuración, para lo cual se detalla cómo debe ser el ingreso de parámetros para una medición estándar:

Para ingresar cada parámetro primero se debe ingresar presionando la tecla menú y después el número, de modo que para ingresar el primer parámetro de diámetro de tubería se analiza la codificación y se presiona "MENU" luego el número 11 y después el diámetro en milímetros y para finalizar la tecla "ENT".

La configuración para el ingreso de cada parámetro es de la misma manera, para lo cual se muestra en la Figura 2.25 la configuración para realizar una medición de manera eficiente de una medición estándar.

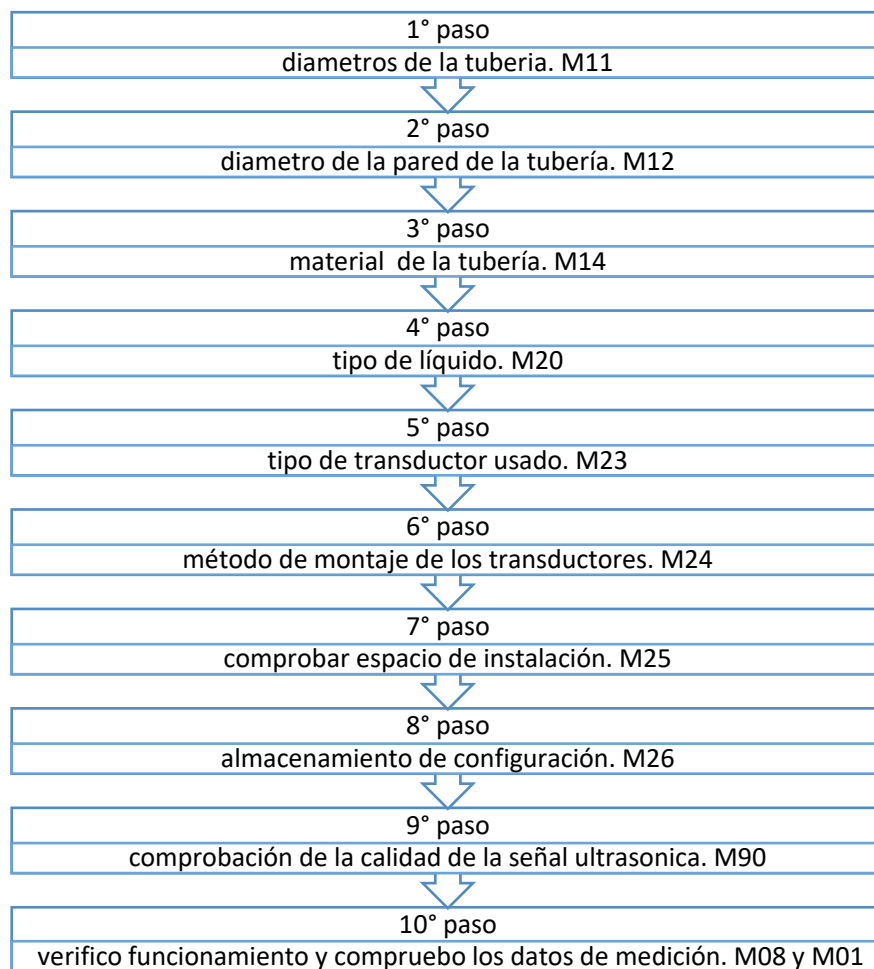


Figura 2.25. configuración para una medición estándar.

El resto de parámetros que no se especifican a detalle, se los deja como parámetros de fabrica debido a que son aplicaciones genéricas, ya que están en el rango de las

aplicaciones generales, pero si la aplicación a desarrollar necesita parámetros más específicos se debe remitir al manual del sensor, el cual indica punto a punto cada parámetro de operación.

2.8 Montaje de transductores

Los transductores deben ser bien colocados antes del uso del sistema de medición ya que si no es óptima su ubicación la medición no va a ser posible, para ello se recomienda conocer el sistema de tubería del lugar donde se van a realizar las medidas, como también es necesario que el lugar este limpio. La temperatura es importante ya que debe estar dentro del rango de operación y verificar que la señal de medición tenga una calidad alta para tener una óptima medición del caudal.

2.8.1 Cableado

Los transductores tienen una protección muy buena debido a que debe ser muy seguro el trato de la señal ultrasónica, de modo que se conecta en base al diagrama de conexión mostrado en la Figura 2.26 en la que se puede observar que el cable de conexión debe tener una protección contra el ruido que pueda existir en el área de trabajo.

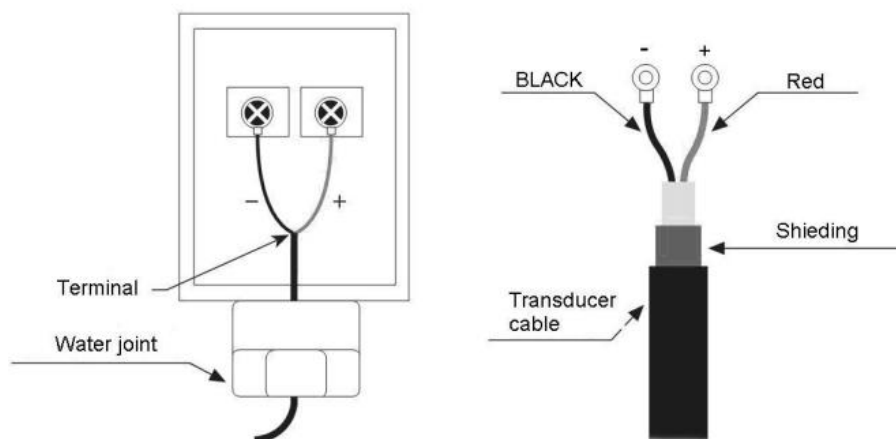


Figura 2.26. Diagrama de conexión de los transductores.

En la Figura 2.27 se puede detallar como los terminales para la medición vienen acompañados de una protección que es la tierra, dando como resultado que las mediciones van a ser tomadas en la manera más eficiente.

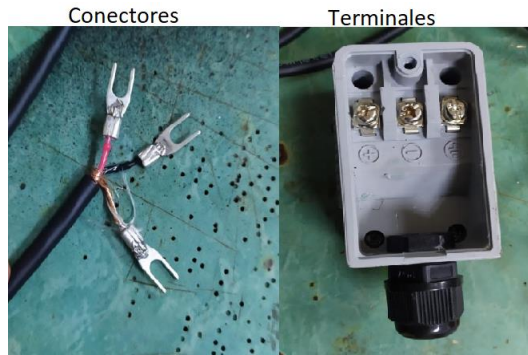


Figura 2.27. Conexión física de los transductores.

2.8.2 Separación de transductores

Los transductores deben ser colocados de manera específica dependiendo de la instalación, esta ubicación de los transductores va a ser óptima dependiendo de la tubería y la posición de las mismas ya que pueden realizarse mediciones en tuberías que estén colocadas en manera horizontal o de manera vertical. Para el trabajo en el proyecto se realizaron pruebas en base a la Figura 2.28 la cual ayudo bastante en cuanto a la colocación de los transductores para obtener una medida óptima.

Piping Configuration and Transducer Position	Upstream Dimension	Downstream Dimension
	L up x Diameters	L dn x Diameters
	10D	5D
	10D	5D
	10D	5D
	12D	5D
	20D	5D
	20D	5D
	30D	5D

Figura 2.28. diagrama colocación de los transductores.

El montaje de los transductores debe cumplir un distanciamiento óptimo, por ello se debe tener algunos principios de selección, por ejemplo, los transductores se deben instalar en el tramo más recto de una tubería, asegurándose que la tubería este completamente llena.

También se debe tener en cuenta si la tubería esta sucia o en pésimas condiciones, pues en la industria puede existir muchos residuos, por tanto, se debe buscar la tubería más nueva o el tramo más favorable y dejarlos instalados de manera permanente si se desean realizar mediciones por un largo periodo de tiempo.

Un aspecto muy importante es el aplicar un gel de transmisión de ultrasonido en los transductores, esto se lo realiza como buena práctica ya que el ultrasonido va a poder viajar más fácil.

El espacio entre transductores se lo puede verificar en el equipo al ingresar en la opción 25, este valor debe ser lo más cercano a valor real ya que en base a estos parámetros se obtendrá una medición fiable de caudal.

2.8.3 Método

La aplicación de medición es el causante de la selección del método de medición, este sensor puede medir en base a tres métodos, el método en V, Z y W.

2.8.3.1 Método en V

EL método en V se lo usa con más frecuencia ya que su aplicación se da en tuberías que miden desde 15 mm hasta los 200 mm, este método muestra la aplicación del efecto Doppler, pues la señal se refleja y dependiendo de la distancia entre transductores la señal va a ser mejor o peor, permitiendo obtener el tiempo y consecuentemente el caudal. A continuación, se puede ver en la Figura 2.29 el método en “V”.

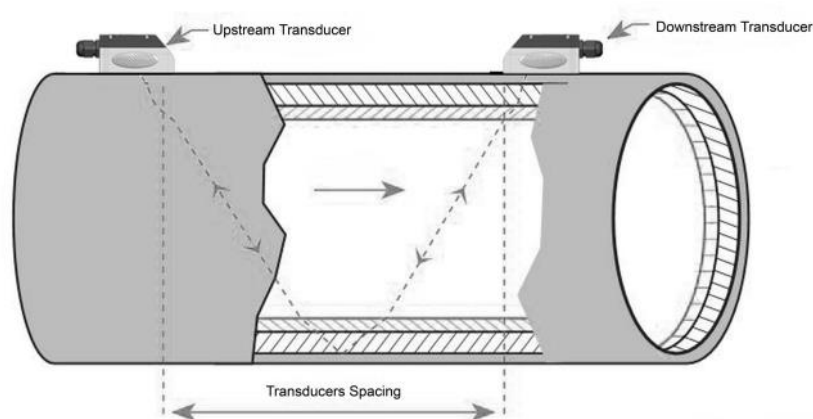


Figura 2.29. Método en V.

2.8.3.2 Método en Z

El método en Z, es muy usado en la industria ya que se usa para realizar mediciones en tuberías donde el diámetro de la tubería es mayor a 200 mm, pues en las industrias se usa por lo general tuberías grandes para el transporte de líquidos en grandes cantidades, en la Figura 2.30 se puede apreciar el método en "Z".

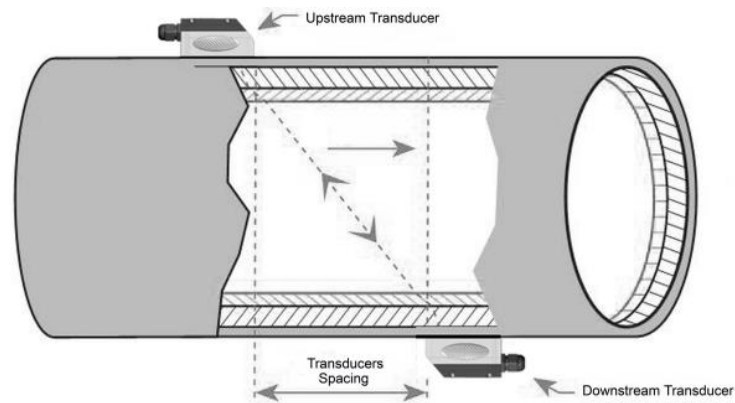


Figura 2.30. Método en Z.

2.8.3.3 Método en W

El método en W, no es muy común ya que es usado en tuberías con un diámetro menor a los 50 mm, este método no es común porque se busca tener un control de un fluido a grandes escalas. En la Figura 2.31 se puede apreciar el método en "W".

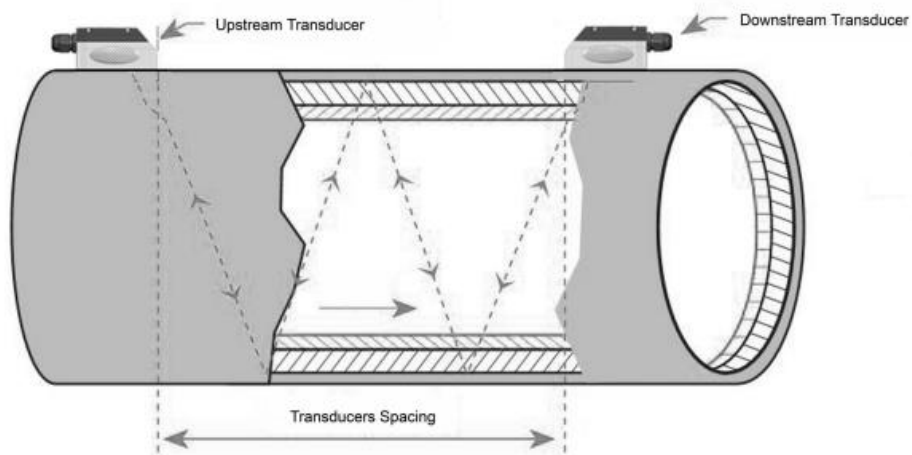


Figura 2.31. Método en W

2.8.4 Calidad de señal

Para verificar que la instalación de los transductores en la tubería se lo realizó de la manera más correcta posible, se verifica la calidad de la emisión y recepción de la señal ultrasónica, en base al parámetro Q, que representa a la calidad de la señal y se obtiene con lo obtención de información de la relación de tiempo de viaje estimado y calculado.

Los transductores tienen un campo de operación, mostrado en la Figura 2.32, esta área es en la cual los transductores reciben el ultrasonido, dependiendo de la intensidad de recepción de la señal se puede confiar en la medición del sensor. La intensidad del ultrasonido está en un rango de 0 a 99.9 si la señal es de 50 a 99.9 se puede considerar una medición, si no está en este rango se recomienda lo siguiente:

- Reubicación de transductores, pues es recomendable tener un valor de calidad de señal superior a los 60, y de no ser así se recomienda mover los transductores.
- Limpiar de manera adecuada la tubería, o incluso colocar más gel de transmisión de ultrasonido para que así la señal pueda ser de mejor calidad.
- Se recomienda una medición de la tubería y posicionar los transductores usando el método de prueba y error para verificar de nuevo el espaciamiento de los transductores.



Figura 2.32. Campo de operación del transductor.

2.8 Errores

El sistema puede presentar ciertos códigos de error cuando se realicen mediciones, los cuales deben ser atendidos de manera inmediata para su correcto funcionamiento, en la Tabla 2.2 se puede tener una idea de cómo solucionar los errores más comunes.

Tabla 2.2. solución de errores.

Error	Significado	causa	solución
R	Sistema normal	-Sin error	-
yo	No hay señal	-Transductores mal instalados. -Instalaciones sucias. -Mala conexión del cable	-Reubicación de transductores -Limpiar el área de trabajo -Comprobar conexión de cables.
k	Tubería vacía	-No hay liquido en la tubería.	-Llenar tubería
H	Detección de señal pobre	-Señal débil -Transductores mal instalados. -Problemas de cableado.	-Reubicar transductores. -Limpiar tubería. -Comprobar conexiones.

2.9 Acondicionamiento de señal de salida

El sensor ultrasónico presenta una señal de salida de 4 a 20 mA por tal motivo se debe acondicionar la salida, esta señal debe pasar a la siguiente etapa que trata del procesamiento de información, para ello se acondiciona mediante las características del sensor y de la tarjeta de adquisición de datos, por ello se define los valores que sirven para el acondicionamiento en base a la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Acondicionamiento.

E/S	Señal	Rango de operación
E	Corriente	4-20 [mA]
S	Voltaje	0.6-3[v]

En la Figura 2.33. se puede analizar el acondicionamiento de la señal del sensor ultrasónico, con la cual se procede a realizar cálculos para obtención de un diseño de acoplamiento de señal.

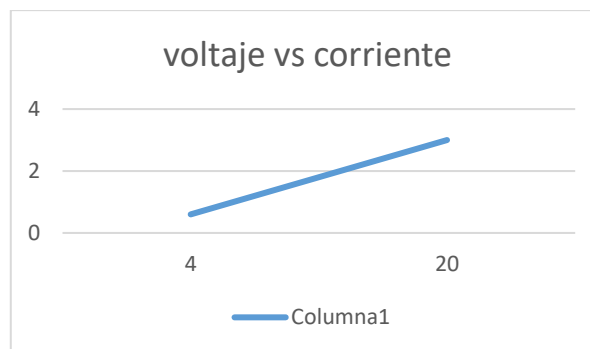


Figura 2.33. Diagrama de acondicionamiento de la señal de salida.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

3.1.1 Prototipo inicial

Como primer resultado se tiene el diseño del acondicionamiento de la señal ultrasónica de manera muy económica, el cual no fue de todo funcional, aun cuando las protecciones de tierra fueron tomadas en cuenta, se tiene que la señal de ultrasonido debía ser tratada con mucho cuidado, así podemos ver el modelo de las placas por separado en la Figura 3.1 permitiendo dar a conocer la primera limitación técnica en cuanto a filtrado de la señal.



Figura 3.1. Impresión de la placa.

Al inicio de las pruebas se realizaron mediciones de la señal para tratar de obtener la señal más limpia posible aun con filtros la señal era de la siguiente manera como se muestra en la Figura 3.2, no es una sinusoidal perfecta, y la medición del tiempo de vuelo es pobre.



Figura 3.2. Señal de ultrasonido en el primer prototipo.

El modo de obtener resultados para la medición con el primer prototipo fue, hacer pruebas de laboratorio, para ello se presenta la Figura 3.2 donde se puede apreciar la medición usando la señal ultrasónica a través de una tubería de PVC, aquí se puede ver una limitación práctica definiendo al sistema del prototipo inicial como una mala práctica.

Al obtener resultados favorables se diseñó un modelo 3D para que se pueda integrar todo el prototipo funcional, de tal manera que permita ser un dispositivo portátil como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3. Prototipo inicial integrado.

El prototipo inicial se muestra a modo de lo que no se debe hacer al momento de diseño del filtro con electrónica básica, pues puede resultar económico, sin embargo, presenta limitaciones técnicas, limitaciones prácticas incluso imitaciones de funcionalidad, lo cual permite dar paso a lo que se debe realizar en la industria con tecnología más fiable.

3.1.2 Prototipo final

Como resultado final del proyecto, una vez seleccionado el sensor en base a la búsqueda de soluciones de la mala práctica, se determina que la mejor opción para esta problemática es un sensor que brinde una precisión de medición fiable, también debe tener características de funcionamiento confiables, y protecciones ante ruidos industriales de alto rango. La elección del sistema de medición permite su uso en el campo de operación para lo cual se realizó un acondicionamiento de señal de salida y un modelo 3D para que el sensor pueda ser portable y se pueda realizar mediciones con precisión y exactitud. En la Figura 3.4 se puede ver la integración del modelo 3D con el sensor ultrasónico, el mismo que va a ser acondicionado en las pruebas de funcionamiento.



Figura 3.4. Prototipo final acondicionado.

3.1.3 Pruebas de funcionamiento

El uso del prototipo final presentó un funcionamiento muy confiable, pues al realizar las pruebas en el laboratorio de hidráulica de la facultad de ingeniería civil, en la escuela politécnica nacional, dio como resultado medidas con precisión. Las pruebas se realizaron siguiendo los pasos de ubicación de los transductores detallado en el literal 2.8, como también fue necesario realizar pruebas para obtener la mejor calidad de la señal ultrasónica, en la Figura 3.5 se puede observar cómo se desarrolló el montaje de los transductores en una tubería de metal.



Figura 3.5. montaje de transductores.

Para la primera prueba se tomaron datos de caudal y se los comparó con los datos enviados a un servidor mediante el acondicionamiento de la señal, para ello se puede analizar los registros en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados de las pruebas realizadas

No. Prueba	Resultado del sensor [m ³ /h]	Resultado de medición en interfaz gráfica [m ³ /h]
1	13	22
2	22	30
3	41	22
4	30	22
5	17	32

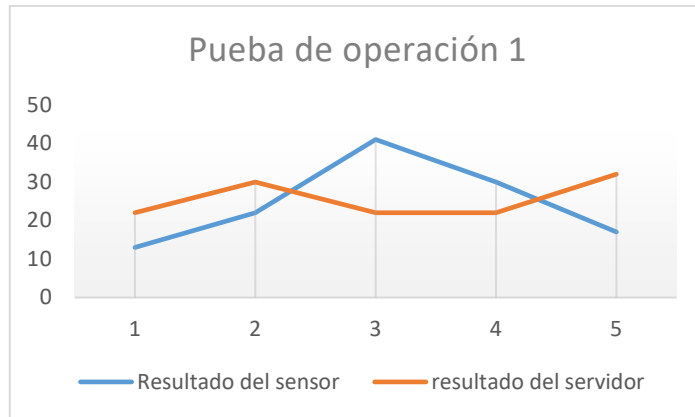


Figura 3.6. Gráfica de operación de la prueba 1

Como se puede notar en la Figura 3.6 las mediciones fueron diferentes por lo que se necesitaría un ajuste en la toma de mediciones del servidor, comprobar la comunicación desde la tarjeta de adquisición de datos y el servidor. Estos valores pueden ser resultado de una mala práctica del sistema de medición por lo cual se procedió a verificar la calidad de señal para la medición. La prueba 1 permite dar a conocer que, si se siguen los pasos de manera adecuada para poner en funcionamiento a todo el sistema, este puede presentar algunos errores que va a ser solucionados en base al estudio de ingeniería realizado.

3.1.3.1 Pruebas con correcciones

Después de realizar varias pruebas de funcionamiento, se realizó corrección de errores en el sistema de medida, pues la calidad de la señal era menor a 80 unidades en la escala de calidad que tiene un rango de 1 a 100, de modo que se corrigió de la siguiente manera:

1. Limpieza de la tubería donde van a ser colocados los transductores.
2. Colocación de gel ultrasónico para facilitar el viaje de la señal ultrasónica.
3. Verificación de la calidad de la señal de medición en cual presento un valor de 91 unidades.
4. Nueva configuración siguiendo los pasos citados en el punto 2.7.3.

El acondicionamiento del sensor de manera más eficiente, permite verificar que el sistema de medición y la comunicación en tiempo real, funcionen de manera adecuada, de modo que en la Tabla 3.2 se puede ver los siguientes resultados.

Tabla 3.2. Resultados de las pruebas finales

No. Prueba	Resultado del sensor [m3/h]	Resultado de medición en interfaz gráfica [m3/h]
1	15.21	16.3
2	26.42	23.4
3	43.75	42.3
4	50.26	51.3
5	59.39	60.2

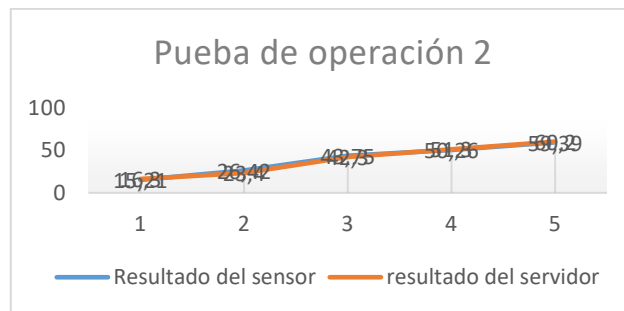


Figura 3.7. Gráfica de operación de la prueba 2

Los resultados mostrados en la Figura 3.7 fueron más exactos por lo que se cumple con los objetivos del proyecto planteados. El sistema de medida puede ser usado de manera prolongada permitiendo vender el sistema de medida de mejor manera, en cualquier industria que requiera un monitoreo de recursos hídricos continuo.

3.1.4 Pruebas de función integradas

Para las pruebas de funcionamiento ya integradas se unió la parte de alimentación, medición, adquisición y procesamiento, dando como resultado un proyecto unido que es posible trasladarlo de un lugar a otro sin inconvenientes, permitiendo la toma de medidas optimas en el campo de operación que es el monitoreo del recurso hídrico, en la Figura 3.8 se puede observar cómo los sistemas funcionan de tal manera que brindan seguridad al operador.



Figura 3.8. Proyecto integrado con todas las etapas del proyecto

3.1.4.1 Pruebas con bajo caudal

Las pruebas con bajo caudal fueron realizadas con el objetivo de determinar cual es el valor mínimo de flujo que puede medir el sistema, para ello se realizó toma de medidas continuas como se puede apreciar en la Figura 3.9 la cual muestra el límite de operación del sistema de medición a caudales bajos.



Figura 3.9. Prueba con bajo caudal.

El menor valor medido de caudal, de manera correcta y eficiente es el valor de aproximadamente 5 [m^3/h] con una velocidad de 0.0759 [m/s], al realizar la disminución de caudal la señal logra medir un caudal de hasta 2.268 [m^3/h] y velocidad de 0.0302 [m/s] como se muestra en la Figura 3.10 pero la señal se pierde, por tanto, el límite mínimo de medición eficiente es a un caudal de 5[m^3/h].



Figura 3.10. Mínima medición

3.1.4.2 Pruebas con alto caudal

Las pruebas que permiten delimitar el rango máximo de la medición, se realizaron en base a las características de potencia de la bomba en el laboratorio ya que al tener la válvula de operación en un punto de apertura máximo el caudal llega a su punto máximo de flujo,

estos fueron alrededor de los 56.229 [m^3/h] con una velocidad de 0.7485 [m/s], como se muestra en la Figura 3.11.



Figura 3.11. Prueba con alto caudal

Cabe recalcar que en base al manual de operación del sensor este puede medir hasta un punto máximo de 1000 [m^3/h], pero no se puede operar a ese caudal ya que no hay una infraestructura para poder realizar las mediciones pertinentes.

3.2 Conclusiones

- La selección de un sensor ultrasónico de manera adecuada, permite que el monitoreo de recursos hídricos aporte a la industria con tecnología avanzada, permitiendo realizar mediciones continuas de manera exacta, para realizar un mantenimiento preventivo en procesos donde no puede existir derrame de fluidos.
- La medición del caudal y velocidad del flujo utilizando sensores ultrasónicos en la industria, presenta ventajas de operación, permitiendo verificar mediante la práctica, como el operador no sufre ningún riesgo laboral y las mediciones permiten obtener análisis que aportan un crecimiento económico en base a las mediciones obtenidas.
- El diseño del sistema de medición se realizó con el motivo de presentar mediciones de manera fiable, en el cual se puede concluir que, dependiendo del sistema de filtrado para una señal se puede obtener mediciones más exactas, dando como mejor opción adquirir sensores que permitan cumplir con el objetivo de mejora continua en la industria, de manera muy eficiente.
- El mantenimiento continuo en un sistema de medida permite que la toma de medidas sea eficiente, de modo que es muy necesario realizar las configuraciones

y verificaciones de medición, desarrolladas en el laboratorio, ya que sin este proceso adecuado el sistema podría verse afectado en su vida útil.

3.3 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el estudio del prototipo inicial para una posible operación del mismo en la industria.
- Al momento de usar el prototipo funcional en la medición de caudal se debe cuidar mucho de las parametrizaciones del sensor, y de la ubicación de los transductores.
- Es recomendable realizar medidas de colocación del ultrasonido en el área de trabajo, y guardarlos en registros, ya que, si se realiza un mantenimiento preventivo, los valores podrían quedar guardados y al momento de querer tomar de nuevo medidas, estos valores pueden ser nuevamente cargados al sensor.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Pinchao, *Diseño y acondicionamiento del sistema de control del sensor ultrasonico para la obtención de información del flujo y de la velocidad superficial.*, Quito: EPN, 2022.
- [2] L. A. S. Arreortua, «El Desarrollo Tecnológico en el contexto de la modernidad,» *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. VIII, nº 26, p. 170, 2004.
- [3] S. J. A. Fuentes, «Diseño de un Medidor Ultrasónico No intrusivo para Hidrocarburos Gaseosos,» Ciudad Universitaria, México, 2016.
- [4] Vicepresidencia de suministro y Mercadeo, «Medición Dinámica,» *Manual de medición de hidrocarburos*, vol. 5, nº 01, p. 67, 2008.
- [5] I. J. G. C. Ortiz, «Acustica y Fundamentos del Sonido,» UNAD, Bogota, 2010.
- [6] Concepto, «concepto,» Etecé, 01 08 2021. [En línea]. Available: <https://concepto.de/sonido/>. [Último acceso: 18 03 2022].
- [7] N. Ortiz y R. Vinueza, «Sistema de limpieza por ultrasonido para muestras metalográficas y fractográficas,» ESPE, Quito, 2005.
- [8] L. M. A. B. C. P. Angelica Vargas, «Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos,» *acta ortopedica*, Mexico, 2008.

- [9] J. L. A. Llerena, «bibdigital,» 12 2000. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10556/1/T1681.pdf>. [Último acceso: 18 11 2021].
- [10] M. M. P. Sánchez, «Propagacion de Ondas Ultrasónicas en materiales compuestos,» Instituto Politécnico Nacional, México D.F., 2014.
- [11] J. C. Villajulca, «InstrumentacionyControl.NET,» TBD, 24 10 2010. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/principios-de-medicion-de-flujometros-ultrasonicos-efecto-doppler-y-tiempo-de-transito-de-la-senal/>. [Último acceso: 22 05 2022].
- [12] Maxbotix, «Maxbotix,» MaxBotix Inc., 2021. [En línea]. Available: https://www.maxbotix.com/ultrasonic_sensors/mb1000.htm. [Último acceso: 3 6 2022].
- [13] Waitrony, «Waitrony Ultrasonic Transducer,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.estudioelectronica.com/wp-content/uploads/2018/09/SHT-USW-1.pdf>. [Último acceso: 20 11 2021].
- [14] lxxtech, «Lxxtech,» 2009-20022. [En línea]. Available: <https://www.lxxtech.com/tct40-16rt-rt-split-ultrasound-ultrasonic-sensor-ultrasonic-probe-center-frequency-40khz-dia-p433.html>. [Último acceso: 20 3 2022].
- [15] J. A. H. Aguirre, «Desarrollo de un prototipo de sensor inteligente de bajo costo para dispositivos de navegación de personasno videntes,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2019.
- [16] A. Hernández, «Configuraciones Basicas de Amplificadores operacionales,» tallerelectronica.com, 2018. [En línea]. Available: <https://tallerelectronica.com/2018/01/04/configuraciones-basicas-de-amplificadores-operacionales/?fbclid=IwAR18bQp7q2XYzhVVT65iYaPkn1AUJBlm1leQ1GrCgLz56u6ytSd8y3Z7T0>. [Último acceso: 21 07 2022].
- [17] M. Nathaniel Page Stites, «Ondas y Movimiento Ondulatorio: La Descripción de las Ondas,» Vision Learning, 2003. [En línea]. Available: <https://www.visionlearning.com/es/library/Fsica/24/Ondas-y-Movimiento-Ondulatorio/102/reading>. [Último acceso: 29 02 2022].
- [18] Amazon, «Ultrasonic Flow Meter User Manual,» [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiKu_mot9L5AhX7RDABHclFDJoQFnoECDcQAQ&url=https%3A%2F%2Fimages-na.ssl-images-amazon.com%2Fimages%2F%2FA1zO3f5tsAL.pdf&usg=AOvVaw2FORzo-0GAKW3zaLn4jDeU. [Último acceso: 18 07 2022].
- [19] diytrade, «Ultrasonic Flow/ Heat Meter User Manual,» [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiKu_mot9L5AhX7RDABHclFDJoQFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Fdoc.diytrade.com%2Fdocdvr%2F2386800%2F48467626%2F1540810546.pdf&usg=AOvVaw2a02WhRwx_gmCPhxEt7gYg. [Último acceso: 18 7 2022].

5 ANEXOS

ANEXO I. Datasheet del sensor

1.7 Specifications

Items	Specifications	
Main unit	Accuracy	Better than $\pm 1\%$
	Repeatability	Better than 0.2%
	Principle	Transit-time measuring principle
	Measurement Period	500ms
	Display	LCD with backlight, display accumulated flow/heat, instantaneous flow/heat, velocity, time etc.
	Output	Analogue output: 4-20mA or 0-20mA current output. Impedance 0-1k Ω . Accuracy 0.1%. OCT output: Frequency signal (1-9999HZ) Relay output: over 20 source signal (no signal, reverse flow etc.) RS485 serial port
Input	Three analogue input	
	Three-wire PT100 resistor input (optional)	
Other functions	Automatically record the totaliser data of the last 64 days / 64 months / 5 years; The power-on time and corresponding flow rate of the last 64 power on and off events. Allow manual or automatic flow loss compensation The instrument working status of the last 64 days	
pipe	material	Steel, stainless steel, cast iron, cement pipe, copper, PVC, aluminum, FRP etc. Liner is allowed
	Size	15-6000mm
	Straight pipe section	In the upstream it must be beyond 10D, in the downstream it must be beyond 5D, in the upstream the length must be beyond 30D from the access of the pump. (D stands for pipe diameter)
Liquid	Types	Water, sea water, industrial sewage, acid & alkali liquid, alcohol, beer, all kinds of oils which can transmit ultrasonic single uniform liquid
	Temperature	Standard: -30°C - 90°C , High-temperature: -30°C - 160°C
	Turbidity	Less than 10000ppm, with a little bubble
Flow Direction	Bi-directional measuring, net flow/heat measuring	
Environment	Temperature	Main Unit: -30°C - 80°C Transducer: -40 °C - -110 °C , Temperature transducer: select on enquiry
	Humidity	Main Unit: 85% RH Transducer: water-immersible, water depth less than 3m
Cable	Twisted Pair Line, standard length of 20m, can be extended to 500m (not recommended); Contact the manufacturer for longer cable requirement. RS-485 interface, transmission distance up to 1000m	
Power Supply	AC220V or DC24V	
Power Consumption	Less than 1.5W	
Protocols	MODBUS, M-BUS, Fuji extended protocol and other factory protocol	

TR40-16

1. General Description

The T40-16 and R40-16 are matched pair ultrasonic transmitter and receiver respectively operated at 40kHz center frequency with $\varnothing 16\text{mm}$ diameter. This transducer utilizes the piezoelectric properties of engineering ceramic that provides high sound pressure and high sensitivity.

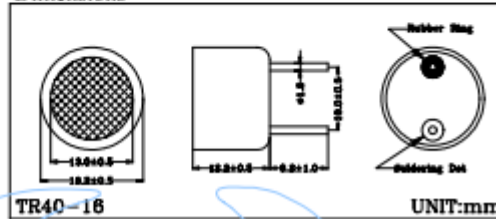
2. Features

- High sound pressure
- High sensitivity
- Air medium
- Metal housing

3. Applications

- ▣ Auto switching
- ▣ Car obstacle avoidance
- ▣ Range finder
- ▣ Fluid level control
- ▣ burglar alarm

Dimensions



4. Absolute Maximum Ratings

(Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Maximum Input Voltage	V _{MAX}	20	V _{rms}
Shock Impact	Si	50	G
Operating Relative Humidity *1	RHopr	10 ~ +90	%
Operating Temperature	Topr	-30 ~ +80	°C
Storage Temperature *2	Tstg	-40 ~ +90	°C
Soldering Temperature *3	Tsol	240	°C

*1 - Ambient temperature Ta = 25°C.

*2 - Within 24 hours.

*3 - At the position of 2mm from the bottom face within 5 second.

5. Electro-Sonic Characteristics

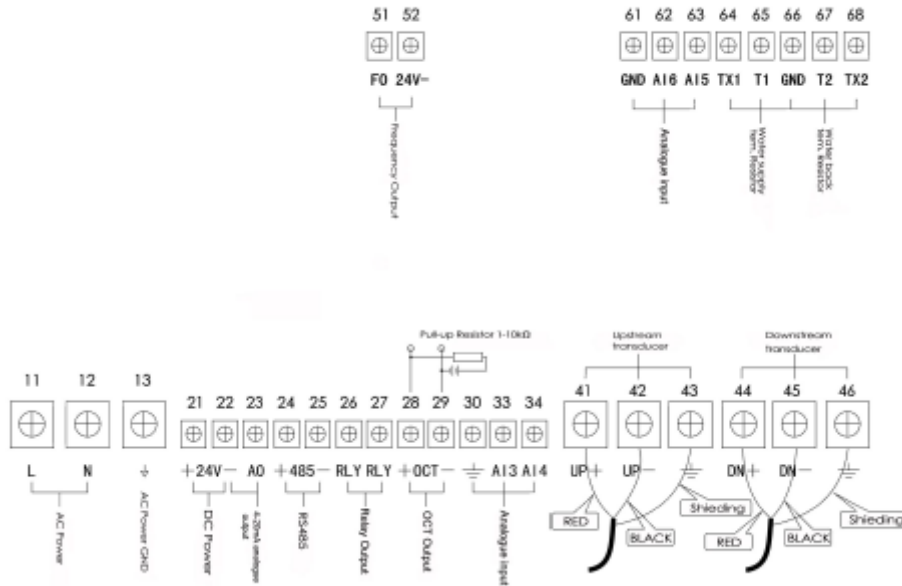
(Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Transmitter T40-16	Center Frequency	fc	Still Air	40.0±1.0		kHz	
	Sound Pressure Level *4	P	f=40kHz	120		dB	
	Attenuation of Sound Pressure Level	ΔP	T=-30°C~+80°C, RH=30%			-10	dB
	Bandwidth	Δλ	P=120dB, f=40kHz	5.0			kHz
Receiver R40-16	Center Frequency	fc	Still Air	40.0±1.0		kHz	
	Sensitivity	S	f=40kHz	-59		dB/v/ubar	
	-6dB Directivity	θ _{-6dB}	f=40kHz		55	deg.	
	Bandwidth	Δλ	f=40kHz	5.0			kHz
Capacitance	Cs			2100		pF	

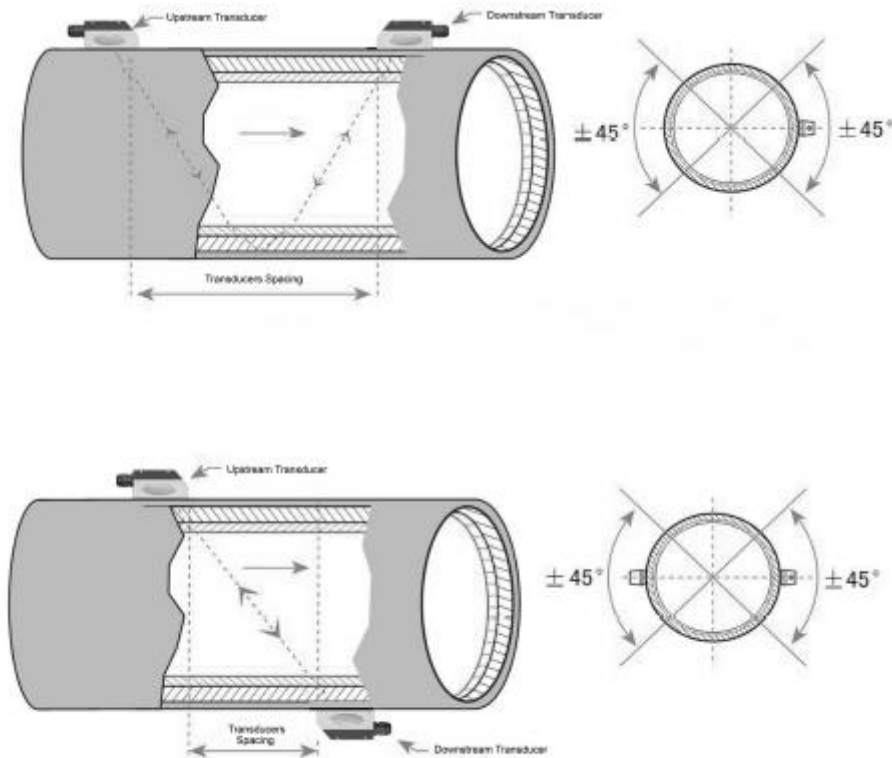
*4 - 0dB = 0.00024bar (1 atm = 1.01325 bar)

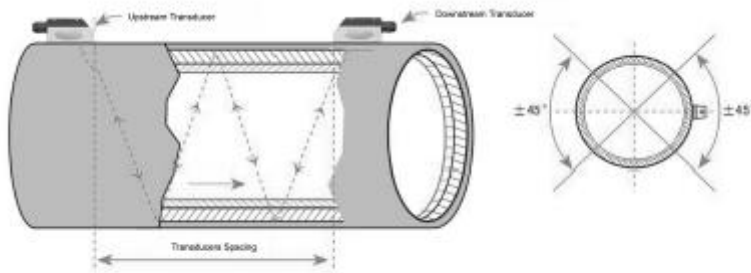
www.Waitrony.com

ANEXO II. Diagrama de conexión



ANEXO III. Tipos de medición en V, Z o W





ANEXO IV. Manual de usuario prototipo inicial

El siguiente contenido pretende explicar el modo de uso del prototipo inicial.

Generalidades

El dispositivo de medición de flujo y velocidad usando el ultrasonido funciona con dos transductores los cuales van a ser colocados uno frente al otro como se muestra en la figura A.1, mientras el dispositivo es energizado mediante cualquier sistema de alimentación que brinde una señal de voltaje de 5 V y de 12 V respectivamente.



Figura A.1. Prototipo inicial

Advertencia

Este sensor funciona con la medición de ultrasonido en el aire por lo que no tiene pruebas realizadas con flujos de agua.

El prototipo inicial tiene una alimentación de 120 [Vac], 5 y 12 [Vdc], por lo que es necesario un sistema de alimentación de AC y DC respectivamente.

Garantía limitada y limitación de responsabilidad

El medidor de flujo no tiene garantía en la medición de caudal, ya que la medición de tiempo presentaba falla en la emisión de la señal a través de la tubería de cualquier tipo de material.

Especificaciones de error

Tabla A.1. Especificaciones de error

Rango de flujo[m ³ /h]	Distancias [m]	Precisión
0-10	0.25	+10
10-20	0.0	-
20-30	0.00	-
30-40	0.00	-
40-50	0.25	-

Los errores de flujo en las distancias se deben a que el acondicionamiento de la señal no es de buena calidad como para dar un valor exacto de medida, por tanto, la distancia y precisión no se la pueden apreciar.

Instrucciones de funcionamiento

Advertencia lea el manual antes de usar

1. Conecte el prototipo con una fuente de voltaje de 5 y 12 [Vdc]. correspondientemente para la etapa de circuitería y 120 [Vac] para la emisión de la señal.
2. Conecte las puntas de los transductores en la tubería para realizar mediciones de tiempo.
3. Compruebe que los transductores estén alineados.
4. Compruebe la emisión de información de la Esp 32.

PRECAUCIÓN

- NO colocar los transductores a distancias muy lejanas mayores a 50 cm.
- El fluido aplicado afecta a las mediciones de tiempo entre los transductores.
- Al tener mucho tiempo en funcionamiento se recalienta mucho.
- Colocar los transductores en contraposición para que recepte la señal.
- No derramar agua en el prototipo ya que no tiene ningún grado de protección contra agua o polvos.

Instrucciones de limpieza

1. Realizar una limpieza preventiva con la desconexión de toda alimentación energética.
2. Limpiar los transductores con paños húmedos, NO con agua
3. Secar bien todo antes de volver a usar.

Localización de problemas

Tabla A.2. Problemas

Problema	Causa Probable	Solución
Instrumentos sobre calentados	- mal dimensionamiento - mal uso de los microprocesadores	Sustituir los microprocesadores.
filtrado	Falta más filtro en la señal	Estudio de creación de jaula de Faraday para mejores filtrados
transductores	No son muy potentes	Mandar a traer de otro país transductores de mejores características ya que en el mercado ecuatoriano no se encuentra.
No mide de forma correcta	Tipos de materiales de las tuberías.	Investigar cómo solucionar el problema de rebote de la señal en diferentes materiales
Conexión	Mal funcionamiento de la comunicación.	Tener la cuenta el ruido que se genera y realizar filtro en las entradas y salidas.

ANEXO V. Manual de usuario prototipo final

El contenido del siguiente manual permite el uso correcto del prototipo Final.

Generalidades

El sistema de medición de prototipo funcional utiliza tecnología de última generación, ya que permite realizar mediciones con más exactitud en condiciones reales de funcionamiento, utiliza la técnica de medición utilizando el efecto Doppler, fue diseñado para poder transportarlo de un lugar a otro de manera más fácil y realizar mediciones de manera eficiente.



Figura A.3. Prototipo final

Advertencia

Este sistema de medición funciona de manera correcta al realizar una previa calibración de colocación de los transductores ya que, si no se colocan a la distancia adecuada, puede presentar malas mediciones. La señal de calidad de la señal es revisada de tal manera que, si tiene un valor superior a 70, la medición va a ser correcta, si la calidad es menor a 50 la medición no es posible. En la figura A.4. se presenta el registro de la revisión de la calidad de la señal.



Figura A.4. calidad de la señal

Garantía limitada y limitación de responsabilidad

El sistema de medición presenta una garantía de medición totalmente fiable en base a cálculos realizados para comprobar el funcionamiento, la colocación de los transductores debe ser realizada con una previa calibración ya que al colocar de manera inadecuada la medición no será fiable.

La garantía no cubre mal funcionamiento si no se procede con una calibración previa.

Especificaciones

Tabla A.3. Especificaciones de funcionamiento

Característica	especificaciones
Precisión	➤ +- 1%
Repetibilidad	➤ +- 0.2%
Principio de medición	Tiempo de transito
Salida analógica	4-20 [mA] o 0-20 [mA]
Entradas analógicas	3 entradas y permite entrada de PT100
material	Acero, hierro fundido, cobre, aluminio
Tipos de líquidos	Agua, aceite, agua de mar, aguas residuales, alcohol, ácidos, etc.
Temperatura de operación	Normal: -30 a 90°C puede llegar a los 160°C
alimentación	12/24 [Vd.] o 220[Va]
Potencia de consumo	< 1.5 [W]

Salidas tipo	OCT: señal de frecuencia Relé
--------------	----------------------------------

Las especificaciones nos permiten realizar un análisis en función de la necesidad requerida.

Instrucciones de funcionamiento

Advertencia lea el manual antes de usar

1. Conecte el prototipo con una fuente de voltaje de 12 [Vdc].
2. Coloque los transductores en una posición adecuada.
3. Coloque los parámetros de configuración dependiendo de la aplicación.
 - 3.1 Diámetro de la tubería, comando M11.
 - 3.2 Diámetro de la pared de la tubería, comando M12.
 - 3.3 Material de la tubería, comando M14.
 - 3.4 Tipo de líquido a medir, comando M20.
 - 3.5 Tipo de transductor que se usa, comando M23.
 - 3.6 Método de montaje de transductores, comando M24.
 - 3.7 Probar espacio de instalación, comando M25.
 - 3.8 Almacenamiento de configuración, comando M26.
4. Verifique la calidad de la señal de medición, comando M90.
5. Verificación de funcionamiento, utilizando en comando M08.
6. Comprobación de medidas el caudal y flujo, comando M01.

PRECAUCIÓN

- NO colocar los transductores a distancias muy lejanas mayores a 1 m.
- Realizar una correcta configuración de parámetros.
- Realizar mediciones de la tubería, material de la tubería y el tipo de líquido a medir antes de realizar cualquier medición.
- Colocar todo el sistema integrado en una posición segura.
- La medición no será segura si no se coloca una crema para que la señal viaje de manera más fácil.

Instrucciones de limpieza

7. Realizar una limpieza preventiva con la desconexión de toda alimentación energética.
8. Limpiar los transductores con paños húmedos, NO con agua
9. Secar bien todo antes de volver a usar.

Localización de problemas

Tabla A.4. Problemas

Problema	Causa Probable	Solución
Calibración	- mala colocación de los transductores	Realizar un análisis de la medida a tomar.
Líquido ultrasónico	- No proveer de líquido para que el ultrasonido viaje de manera más fácil.	Tener en cuenta la adquisición de este líquido.