



# Propuesta de Creación de Prototipo de Medidor de Flujo Ultrasónico para Gasoductos CL-1

Proposal to create prototype ultrasonic flow meter for CL-1 gas  
pipelines

**Carlos Armando López Vargas**

**Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana. Estado  
Monagas. VENEZUELA.**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental mostrar una propuesta para la creación de un prototipo medidor de flujo ultrasónico denominado CL-1. Este permitiría realizar la medición del caudal de gas que se transporta en tuberías en tiempo real. Para esto se propone crear un sistema automatizado conformado por una hardware utilizando la plataforma Arduino y una interfaz gráfica utilizando un software de código abierto denominado MyOpenLab. Previamente se propone estudiar las propiedades fisicoquímicas del fluido mediante correlaciones, formulas y simulaciones utilizando el software de código abierto que lleva el nombre de OpenFOAM con el cual se espera obtener una estimación en las propiedades del flujo.

Palabras clave: Prototipo – Medidor – Flujo – Ultrasónico

## ABSTRACT

*The present research work has as main objective to show a proposal for the creation of an ultrasonic flowmeter prototype called CL-1. This would allow the measurement of the gas flow that is transported in pipelines*



*in real time. For this it is proposed to create an automated system made up of a hardware using the Arduino platform and a graphical interface using an open source software called MyOpenLab. Previously, it is proposed to study the physiochemical properties of the fluid by means of correlations and formulas using another open-source software called OpenFOAM with which it is expected to obtain an estimate of the acoustic properties of the flow.*

*Keywords: Prototype – Measurer – Flow – Ultrasonic*

## INTRODUCCIÓN

En cualquier planta industrial siempre existen variables que afectan directamente el proceso de producción y por lo tanto el funcionamiento óptimo de la misma. En la explotación de los hidrocarburos (Petróleo y Gas) las variables más comunes son presión, flujo, nivel y temperatura, las cuales en todos los casos poseen rangos y puntos de operación que deben mantenerse para que las instalaciones operen de manera confiable y segura. En sus inicios, el control era realizado manualmente por operadores quienes se encargaban de abrir o cerrar válvulas para mantener los procesos dentro de los parámetros, lo cual generaba graves accidentes y múltiples problemas operacionales además de los altos costos y desgastes humano. Luego nacieron los sistemas automáticos de control, que han venido avanzando técnicamente en forma exponencial hasta los sistemas inteligentes que hoy conocemos. Con ellos se logra mantener en valores constantes las variables de proceso y dentro de los rangos o puntos deseados con tiempos de repuesta muy rápidos ante cualquier perturbación y garantizando la estabilidad del sistema.

La importancia de mantener la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones, se debe fundamental a tres grandes razones que han sido producto de la experiencia industrial. Tal vez no sean las únicas, pero si las más resaltantes:

**Seguridad:** se evitan lesiones al personal que labora en la planta o a los equipos existentes en ella. La seguridad debe ser siempre el factor más importante al diseñar, modificar o evaluar sistemas de control.

**Calidad:** es importante mantener siempre la calidad del producto (composición, pureza, color, dureza, espesor, etc.) en un nivel continuo y a bajo costo.

**Costos:** evidentemente un adecuado control de procesos permitirá un mejor aprovechamiento de los insumos requeridos por la planta y por lo tanto optimizará sus costos de operación, incrementando su eficiencia y ganancias.

## Métodos y materiales

El presente trabajo de investigación es una propuesta documental con planes de implementación para la creación de un prototipo de medidor de flujo ultrasónico para gas. A continuación, se definen conceptos básicos e importantes para esta investigación.



**Fluido:**

Se denomina a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas sólo hay una fuerza de atracción débil. La propiedad definitoria es que los fluidos pueden cambiar de forma sin que aparezcan en su seno fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma “original” (lo cual constituye la principal diferencia con un sólido deformable, donde sí hay fuerzas restitutivas).

Un fluido es un conjunto de partículas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas cohesivas débiles y las paredes de un recipiente; el término engloba a los líquidos y los gases. En el cambio de forma de un fluido la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen. Los líquidos toman la forma del recipiente que los aloja, manteniendo su propio volumen, mientras que los gases carecen tanto de volumen como de forma propias. Las moléculas no cohesionadas se deslizan en los líquidos, y se mueven con libertad en los gases. Los fluidos están conformados por los líquidos y los gases, siendo los segundos mucho menos viscosos (casi fluidos ideales). (Ver figura N°1)



Figura N°1: Fluido(Fuente:<https://www.muralesyvinilos.com/fotomurales/abstracto/flujo-de-agua-3271599>)

**Propiedades de los fluidos:**

Densidad ( $\rho$ ): se define como la masa por unidad de volumen, sus dimensiones son  $M/L^3$ . En mecánica de fluidos, las unidades son slug/pie<sup>3</sup> y lbf·s<sup>2</sup>/pie<sup>4</sup> (515,3788 kg/m<sup>3</sup>). En termodinámica las unidades son lbf·s<sup>2</sup>/pie<sup>3</sup> (16,01846 Kg/m<sup>3</sup>).

Volumen Específico ( $v$ ): es el volumen por unidad de masa; sus dimensiones son  $L^3/M$ ; las unidades son pie<sup>3</sup>/lbf·s<sup>2</sup>. Está relacionada con la densidad por:

$$(1) v = 1/\rho \cdot g$$

en donde  $g$  es la constante de proporcionalidad (32,1740) pueden calcularse con base en la ecuación de estado:

$$(2) v = R \cdot T/p$$

En donde  $R$  es la constante de los gases, en pie·lbf/(lbf·m) (°R). La temperatura se utiliza en grados Rankin (°F+459,67) y  $p$  es la presión en lbf/pie<sup>2</sup>

El Peso Específico ( $r$ ): es el peso del fluido por la unidad de volumen y tiene las dimensiones de  $F/L^3$ , o sea,  $M/(L^2)(T^2)$ ; las unidades son  $\text{lb}/\text{pie}^3$  o  $\text{slug}/(\text{pie}^2)\cdot(\text{s}^2)$  ( $157,087 \text{ N}/\text{m}^3$ ). El peso específico se relaciona con la densidad por:

$$(3) \quad r = \rho \cdot g \text{ en donde } g \text{ es la aceleración de la gravedad.}$$

La Gravedad Específica (sp. gr.) (Densidad Relativa): es una relación adimensional de la densidad de un fluido a la de un fluido de referencia. Para los sólidos y líquidos, se usa el agua como referencia y para los gases el aire. Como la densidad de los líquidos cambia con la temperatura, para dar una definición precisa de la gravedad específica, es necesario enunciar las temperaturas del fluido y del fluido de referencia, por ejemplo,  $60/60^\circ\text{F}$ , en donde la temperatura superior pertenece al líquido y la inferior, al agua. Si no se dan las temperaturas, se hace referencia al agua a su densidad máxima, lo cual se presenta a  $3.98^\circ\text{C}$  y a la presión atmosférica. La densidad máxima del agua es  $1,9403 \text{ slug}/\text{pie}^3$  ( $999,973 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ). Para los gases es práctica común utilizar la relación del peso molecular del gas al del aire ( $28,9644$ ) con lo que se elimina de esta manera la necesidad de expresar la presión y la temperatura, para los gases ideales.

El Módulo Volumétrico de Elasticidad ( $E$ ): es la relación del esfuerzo de presión a la deformación volumétrica; sus dimensiones son  $F/L^2$ ; las unidades son  $\text{lb}/\text{pulg}^2$  o  $\text{lb}/\text{pie}^2$ . Con esta podemos relacionar la velocidad del sonido en un fluido, se expresa por fórmula.

La Viscosidad: es la resistencia que presenta un fluido al movimiento provocado por una fuerza cortante; es su fricción interna. Esta resistencia se debe a dos fenómenos:

### La cohesión de las moléculas.

La transferencia molecular de una capa a otra, lo que establece un esfuerzo tangencial o cortante. En los líquidos predomina la cohesión y como ésta disminuye al aumentar la temperatura provoca un incremento en la transferencia molecular, con un aumento consecuente en la viscosidad.

La Viscosidad dinámica, ( $\mu$ ): es la relación del esfuerzo cortante a la razón de deformación; sus dimensiones son  $(F)(T)/L^2$ , o bien,  $M/(L)(T)$ ; las unidades son  $\text{lb}\cdot\text{s}/\text{pie}^2$ , o bien,  $\text{slug}/(\text{pie})(\text{s})$  [ $47,88164 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ]. En el sistema cgs, la unidad de viscosidad dinámica es el poise,  $2089 \times 10^{-6} (\text{lb}\cdot\text{s})/\text{pie}^2$  [ $0,1 (\text{N}\cdot\text{s})/\text{m}^2$ ], pero por conveniencia se usa con mayor amplitud el centipoise ( $1/100$  poise).

### La Simulación de Fluidos:

Es una herramienta cada vez más popular en gráficos por computadora para generar animaciones realistas de agua, humo, explosiones, y fenómenos relacionados. Dada alguna configuración de entrada de un fluido y una geometría de escenario, un simulador de fluidos realiza la evolución del movimiento del fluido hacia adelante en el tiempo, haciendo uso de las (posiblemente muy simplificadas) ecuaciones de Navier-Stokes que describen la física de los fluidos. En los gráficos por computadora, tales simulaciones varían en complejidad desde animaciones de alta calidad que consumen una cantidad notable de tiempo para efectos visuales y de películas, hasta sistemas simples de partícula en tiempo real usados en juegos modernos.



## Enfoques de la Simulación de Fluidos:

Existen varias técnicas competentes para la simulación de líquidos con una variedad de ventajas y desventajas. Las más comunes son los métodos Eulerianos basados en malla, métodos de hidrodinámica de partícula suavizada (SPH), métodos basados en vorticidad, y métodos de red de Boltzmann. Estos métodos se originaron en la comunidad que estudia mecánica de fluidos computacional, y han sido continuamente adoptados por profesionales en gráficos.

## Dinámica de Fluidos Computacional (CFD):

Es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de sustancias. Los ordenadores son utilizados para realizar millones de cálculos requeridos para simular la interacción de los líquidos y los gases con superficies complejas proyectadas por la ingeniería. Aun con ecuaciones simplificadas y superordenadores de alto rendimiento, solo se pueden alcanzar resultados aproximados en muchos casos. La continua investigación, sin embargo, permite la incorporación de software que aumenta la velocidad de cálculo como así disminuye también el margen de error, al tiempo que permite analizar situaciones cada vez más complejas como los fluidos transónicos y los flujos turbulentos. La verificación de los datos obtenidos por CFD suele ser realizada en túneles de viento u otros modelos físicos a escala.

## OpenFOAM:

Es el software gratuito de CFD de código abierto lanzado y desarrollado principalmente por OpenCFD Ltd desde 2004. Cuenta con una gran base de usuarios en la mayoría de las áreas de ingeniería y ciencia, tanto de organizaciones comerciales como académicas. OpenFOAM tiene una amplia gama de características para resolver cualquier cosa, desde flujos de fluidos complejos que involucran reacciones químicas, turbulencia y transferencia de calor, hasta acústica, mecánica de sólidos y electromagnetismo. (Ver figura N°2)

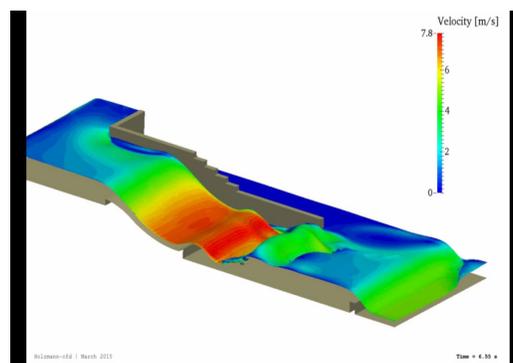


Figura N°2: Captura de video Multiphase flow, river flow using OpenFOAM® (Fuente: Holzmann 2015)

## Arduino:

Es una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.

Cuando hablamos de “placa hardware” nos estamos refiriendo en concreto a una PCB (del inglés “printed circuit board”, o sea, placa de circuito impreso). Las PCBs son superficies fabricadas de un material no conductor (normalmente resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica o plástico) sobre las cuales aparecen laminadas (“pegadas”) pistas de material conductor (normalmente cobre).

Las PCB se utilizan para conectar eléctricamente, a través de los caminos conductores, diferentes componentes electrónicos soldados a ella. Una PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico (en contraposición a una breadboard, perfboard o similar) pero, al contrario que estas, una vez fabricada, su diseño es bastante difícil de modificar. Así pues, la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna.

El diseño hardware de la placa Arduino está inspirado originalmente en el de otra placa de hardware libre preexistente, la placa Wiring (<http://www.wiring.co>).

Esta placa surgió en 2003 como proyecto personal de Hernando Barragán, estudiante por aquel entonces del Instituto de Diseño de Ivrea (lugar donde surgió en 2005 precisamente la placa Arduino). Un software (más en concreto, un “entorno de desarrollo”) gratis, libre y multiplataforma (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que debemos instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (“cargar”) en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el conjunto de instrucciones que deseamos que este empiece a ejecutar. Es

decir: nos permite programarlo. La manera estándar de conectar nuestro computador con la placa Arduino para poder enviarle y grabarle dichas instrucciones es mediante un simple cable USB, gracias a que la mayoría de placas Arduino incorporan un conector de este tipo.

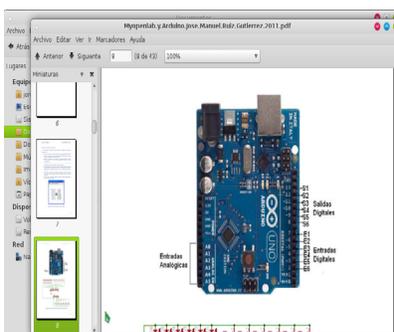


Figura N°3: Placa Arduino (Fuente: Ruiz 2011)

## MyOpenLab:

Es un entorno orientado a la simulación y modelado de sistemas físicos, electrónicos y de control con un amplio campo de aplicaciones. La aplicación está desarrollada en el lenguaje JAVA y por ello resulta



Este contenido se publica bajo licencia CC-BY 4.0

portable a distintas plataformas. En el campo del modelado y simulación es muy interesante contar con una herramienta flexible que a partir de una amplia biblioteca de bloques funcionales permita realizar modelos. Es capaz de conectarse al mundo físico mediante una interface de amplia difusión en el mercado K8055 de Valleman y también a la tarjeta Arduino. (Ver figura N°4)

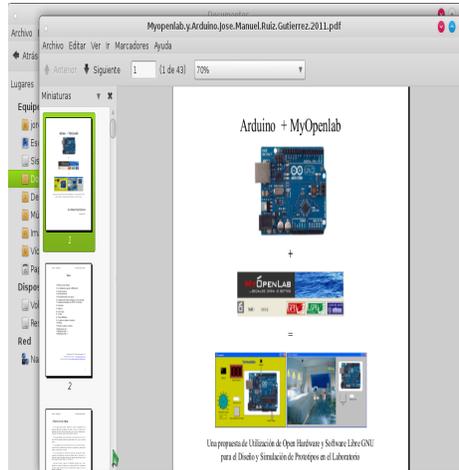


Figura N°4: Ilustración de Compatibilidad de Arduino+MyOpenLab (Fuente: Ruiz 2011)

La presentación de los resultados y/o el control de las simulaciones se hace mediante un potente conjunto de bloques de función de visualización y/o interacción capaz de manejar todo tipo de datos (analógicos, digitales, matrices, vectores, imágenes, sonidos, etc.). Mediante MyOpenLab es posible diseñar instrumentos virtuales (VI) a través de los cuales se puede realizar una aproximación a los sistemas de medida y control de una manera más realista. (Ver figura N°5)

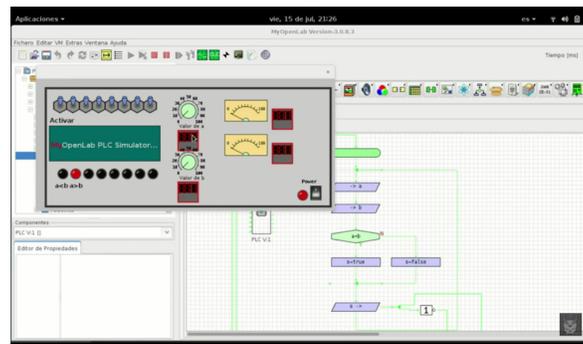


Figura N°5: Visualización Software MyOpenLab (Fuente: Ruiz 2011)

La realización de una simulación se hace mediante dos pantallas o áreas de trabajo: Panel Circuito y Panel Visualización. En el primero se diseña el algoritmo de simulación mediante “bloques” o “elementos de función” y el segundo se muestran los datos o se generan los estímulos cuando se está en el modo de “simulación” El programa puede funcionar en plataformas Linux y sus requerimientos de sistema son muy poco restrictivos, lo cual lo hace ideal para usar en casi cualquier equipo. bastará que se instale el runtime de JAVA JRE o JDK.

## La Medición del Flujo:

Es la acción de medir la velocidad, el flujo volumétrico o el flujo másico de cualquier líquido o gas. La medición adecuada del flujo es esencial para el control de procesos industriales, transferir la vigilancia de fluidos y evaluar el rendimiento de motores, sistemas de refrigeración y otros sistemas que emplean fluidos en movimiento.

### Factores de selección de un medidor de flujo.

Hay muchos dispositivos para medir el flujo. Algunos miden el flujo volumétrico en forma directa, mientras que otros miden una velocidad promedio del flujo que se convierte a flujo volumétrico por medio de:

$$(4) Q = A \cdot v$$

Algunos proporcionan mediciones primarias directas, en tanto otros requieren de calibración o la aplicación de un coeficiente de descarga a la salida observada del instrumento. La forma de la salida del medidor de flujo también varía en forma considerable de un tipo a otro. La lectura puede provenir de la presión, nivel de líquido, contador mecánico, posición de un indicador en la corriente de fluido, señal eléctrica continua o una serie de pulsos eléctricos. La selección del tipo básico de medidor de fluidos y su sistema indicador depende de varios factores, algunos de los cuales estudiaremos a continuación:

**Rango:** Es una medida de la capacidad de funcionamiento del medidor para operar en las condiciones de flujo esperadas en la aplicación.

**Exactitud:** requerida: virtualmente, cualquier dispositivo de medición del flujo que se instale y opere en forma apropiada tiene una exactitud dentro de 5% del flujo real. La mayor parte de los medidores comerciales poseen una exactitud de 2%, y hay algunos de los que afirma es de 0,5%. Por lo general, si se desea más exactitud el costo es un factor importante.

**Pérdida de presión:** debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, producen cantidades de pérdida de energía diferentes conformes el fluido pasa a través de ellos. Con la excepción de unos cuantos tipos, llevan a cabo la medida colocando una restricción o dispositivo mecánico en la corriente de flujo, lo que origina la pérdida de energía.

**Tipo de indicación:** los factores por considerar al elegir el tipo de indicación de flujo incluyen si el control automático va a actuar sobre la salida, si el operador necesita vigilar ésta y si existen condiciones ambientales severas.

**Tipo de fluido:** el rendimiento de algunos medidores de flujo se ve afectado por la propiedades y condiciones del fluido. Una consideración fundamental es saber si el fluido es líquido o gas. Si hay factores importantes como: viscosidad, temperatura, corrosión, conductividad eléctrica, visibilidad, propiedades lubricantes y homogeneidad.

**Calibración:** ciertos medidores de flujo requieren calibrarse. Algunos fabricantes proporcionan la calibración en forma de gráfica o tabla de resultados reales versus la lectura del indicador. Algunos están



equipados para la lectura directa, con escalas calibradas en las unidades de flujo que se desea.

Otros factores: en la mayoría de casos, también debe considerarse el tamaño físico del aparato, su costo, el sistema de presión y la aptitud del operador.

### Los medidores de flujo ultrasónicos:

Son dispositivos que miden la velocidad del flujo por la diferencia de velocidad del sonido al propagarse ésta en el sentido del flujo y en sentido contrario(Ver figura N°6).

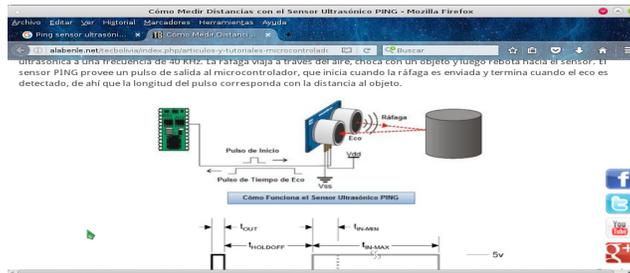


Figura N°6: Sensor de Ultrasonido Arduino(Fuente: <http://alabende.net/tecbolivia/index.php/articulos-y-tutoriales-microcontroladores/17-como-medir-distancias-con-el-sensor-ultrasonico-ping>)

Los componentes básicos de un medidor ultrasónico de flujo son:

La unidad sensora compuesta por uno o más transceptores.

La unidad electrónica, la cual realiza funciones de acondicionamiento de señales y calibración del instrumento.

El herraje, constituido por varias piezas que sirven para fijar los transceptores a la tubería.



Figura N°7: Medidor de Flujo Ultrasónico Comercial. (Fuente:Dynasonics)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del análisis de elementos fundamentales en este trabajo de investigación mostramos algunas proyecciones que se esperan alcanzarse, así como potenciales herramientas que se utilizarán:

1. Estudiar las características y especificaciones de los Gaseoductos de Plantas Petroleras en donde se transporte hidrocarburos gaseosos. Para lograr este objetivo se realizará una revisión documental de las especificaciones descrita por fabricantes de gaseoductos. Además, se calcularán mediante fórmulas, modelos matemáticos y simulaciones en software OpenFOAM las propiedades acústicas de estos ductos para gases. (Ver figura N°8)

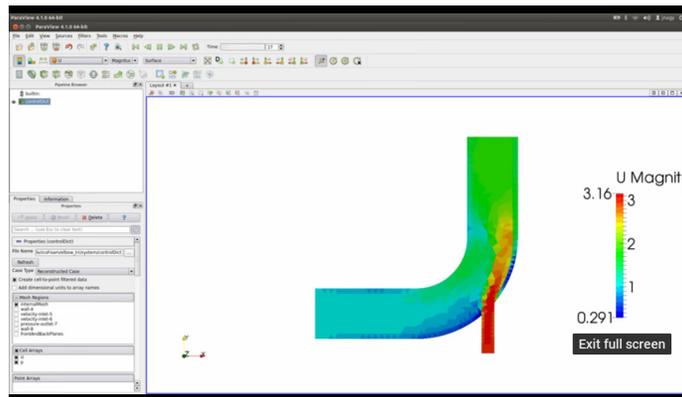


Figura N°8: Captura de video How to run your first simulation in OpenFOAM® - Part 1 (Fuente: Nagy 2014)

2. Identificar las propiedades fisicoquímicas del flujo que circula por los Gaseoductos de plantas petroleras. Se realizará un análisis del gas natural que se transportan en estas tuberías partiendo cromatografías para determinar propiedades fisicoquímicas como: peso molecular, densidad, viscosidad, gravedad específica, presión y temperatura pseudo-crítica, factor de compresibilidad, volumen específico, capacidad calorífica isobárica e isocórica, fugacidad, entalpía, entropía, energía interna, energía libre de Gibbs, coeficiente de Joule Thomson, coeficiente de expansión del gas, factor de compresibilidad isotérmico, coeficiente de expansión térmica y las propiedades acústicas. Para estos se revisarán las siguientes ecuaciones: Lewis Randall (LR), Peng-Robinson (PR) y Redlich-Kwong-Soaver (RKS).

De igual forma se considerará el uso de las correlaciones numéricas de Kay W.B., correlaciones de Wichert-Aziz, Lee-Gonzalez-Eakin, Dean-Stiel, B.G. Kyle y para propiedades residuales la correlación de Smith. Todo esto apoyándose en el uso del simulador OpenFOAM.

3. Para el cálculo de caudal en gasoductos mediante transeptores ultrasónicos se propone la teoría básica de la técnica ultrasónica de reflexión múltiple la cual se basa en un par de transductores angulares de viga sujetos en el exterior del tubo. En esta técnica, la diferencia de tiempo de tránsito entre los haces ultrasónicos transmitidos aguas arriba y aguas abajo en el medio que fluye es proporcional a la velocidad del flujo, y por lo tanto se utiliza para predecir la velocidad del flujo. El método de tiempo de tránsito ultrasónico consiste básicamente en enviar dos impulsos ultrasónicos en un ángulo a través del tubo, uno en la dirección de flujo y el otro en dirección opuesta. Los

impulsos emitidos en la dirección del flujo recorrerán la distancia entre los dos transductores en un tiempo más corto que los impulsos que se desplazan contra el flujo. (Ver figura N°9)

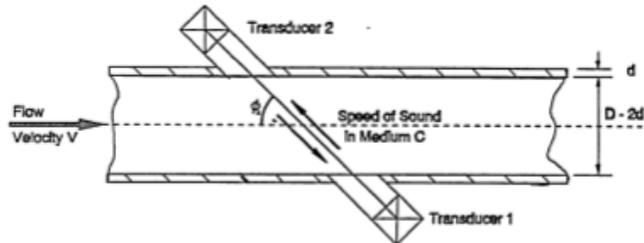


Figura N°9: Transit Time Ultrasonic Flowmeter (Fuente: Sanderson 1994)

Si el fluido de la (figura) se mueve con la velocidad  $V$  en un ángulo  $\theta$  al haz de ultrasonidos en un fluido para el cual la velocidad del haz sonoro es  $C$ , entonces el tiempo de tránsito para que los haces de ultrasonido viajen desde el transductor 1 a transductor 2 y desde transductor 2 al transductor 1 respectivamente son:

$$(5) \quad t_{12} = \frac{N(D-2d)}{\sin(\theta)LC + V\cos(\theta)} + \tau_d$$

$$(6) \quad t_{21} = \frac{N(D-2d)}{\sin(\theta)LC - V\cos(\theta)} + \tau_d$$

Donde  $t_{12}$  es el tiempo de tránsito desde el transductor 1 al transductor 2,  $t_{21}$  es el tiempo de tránsito desde el transductor 2 al transductor 1.  $(D-2d)$  es el diámetro interior de la tubería,  $N$  es el número de reflexiones y  $\tau_d$  es el tiempo de retardo de los transductores y la electrónica. La diferencia de tiempo de tránsito,  $\Delta t_{AB}$ , se obtiene restando  $t_{12}$  de  $t_{21}$ ,

$$(7) \quad \Delta t_{AB} = t_{21} - t_{12} = \frac{2N(D-2d) \cdot \cot(\theta)}{C^2 - V^2 \cos^2(\theta)} V$$

Ya que en general,  $C^2 > V^2 \cos^2 \theta$ , la ecuación puede simplificarse a

$$(8) \quad t_{21} - t_{12} = \frac{2N(D-2d) \cdot \cos(\theta)}{C^2} V$$

La diferencia en el tiempo de tránsito de las dos señales ultrasónicas  $\Delta t_{AB}$  es una medida del caudal.

$$(9) \quad \Delta t_{AB} = t_{21} - t_{12} = \frac{2N(D-2d) \cdot \cos(\theta)}{C^2} V$$

$$(10) V = k_M \cdot \Delta t_{AB}$$

Donde  $k_M$  es un coeficiente, la velocidad del flujo es proporcional al tiempo de tránsito diferente  $\Delta t_{AB}$ .

Construir una estación de flujo a escala laboratorio que servirá como banco de pruebas para realizar prácticas de medición de caudales.

Diseño y construcción de interfaz gráfica y prototipo electrónico de medidor flujo electrónico con la plataforma Arduino y MyOpenLab.

Actualmente se han iniciado ensayos experimentales con las placas Arduino 1 y el Módulo Ultrasónico Hc Sr04, en el Sistema Operativo Canaima 5 GNU/Linux y con el software que proporciona la placa Arduino utilizando algunas librerías, con el objetivo de calcular y mostrar en el ordenador el tiempo de tránsito de las ondas ultrasónicas, utilizando las fórmulas básicas de Movimiento Rectilíneo Uniforme (M.R.U.), en una fase inicial de la propuesta.



Figura N°10: Ordenador con Sistema Operativo Canaima 5 GNU/Linux. (Fuente: Autor, 2018).



Figura N°11: Prueba de Placa Arduino conectada a Ordenador y Módulo Ultrasónico Hc Sr04 para determinar tiempo de tránsito. (Fuente: Autor, 2018).

## CONCLUSIONES

Se propone crear un dispositivo industrial indispensable para estaciones de flujo petroleras y gasíferas industriales, utilizando herramientas educativas amigables, en las cuales su filosofía está relacionada con el Software libre y el código abierto de manera de no depender de licencias corporativas de empresas transnacionales y de software privativo. Con el objetivo de crear tecnología propia y creada en Venezuela con cierto grado de independencia y soberanía. Para esto recurrimos a conceptos y definiciones básicas de mecánica de fluidos, electrónica, termodinámica entre otras. Además, se elabora un trabajo de investigación mixto entre documental y proyectista, con expectativas a ejecutarse.

## Referencias

- MOTT, R.(2006). Mecánica de fluidos. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Hely Mier, T (2005). Instrumentación para técnicos de plantas de procesos de petróleo y gas.
- Ruiz Gutiérrez, J. (Noviembre 2011) Una propuesta de Utilización de Open Hardware y Software Libre GNU para el Diseño y Simulación de Prototipos en el Laboratorio.
- Torrente, O. (2013). Arduino curso práctico de formación. Madrid, España: Alfaomega Grupo Editor.
- Sanderson, M. (1994). The Development and Modelling of a Novel Clamp-on Ultrasonic-Thermal and Ultrasonic Multiple Reflection Flowmeter for Liquid Applications (Ph.D Tesis). Cranfield University, England
- Jiménez, D. (2011). Arquitectura de un sistema SCADA.
- Oxer, Jonathan; Blemings, Hugh (28 de diciembre de 2009). Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware (1ª edición). Apress. p. 500. ISBN 1430224770.
- Noble, Joshua (15 de julio de 2009). Programming Interactivity: A Designer's Guide to Processing, Arduino, and openFramework (1ª edición). O'Reilly Media. p. 768. ISBN 0596154143.
- Banzi, Massimo (24 de marzo de 2009). Getting Started with Arduino (en inglés) (1ª edición). Make Books. p. 128. ISBN 9781449363291.
- Martínez de Carvajal Hedrich, Ernesto (20 de diciembre de 2015). 100 Proyectos de Robótica con Bitbloq y Arduino (2ª edición). Martínez de Carvajal Hedrich. p. 386. ISBN 978-8460843177.
- Anderson, John D. (1995). Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications. Science/Engineering/Math. McGraw-Hill Science. ISBN 0-07-001685-2Plantilla:Inconsistent citations .
- Patankar, Suhas (1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal Science. Taylor & Francis. ISBN 0-89116-522-3Plantilla:Inconsistent citations .
- Shah, Tasneem M.; Sadaf Siddiq; Zafar U. Koreshi. «An analysis and comparison of tube natural frequency modes with fluctuating force frequency from the thermal cross-flow fluid in 300 MWe PWR». International Journal of Engineering and Technology 9 (9): 201-205.

