

COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE FLUJO
CORRESPONDIENTES A UN PROBADOR BIDIRECCIONAL Y UN SENSOR
TIPO CORIOLIS.



MIGUEL FELIPE BERNAL NAVARRO

DIRECTOR:
EMIL HERNANDEZ ARROYO

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIAS

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO

BUCARAMANGA

2017

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE FLUJO
CORRESPONDIENTES A UN PROBADOR BIDIRECCIONAL Y UN SENSOR
TIPO CORIOLIS.

El proyecto se enfoca en la comparación de dos técnicas diferentes de medición de flujo usando un probador bidireccional y un sensor tipo Coriolis, para esto se elige el sensor flujo que mejor se adaptase a las condiciones del sistema y a su vez se lleva a cabo la instalación de este.

Firma Estudiante
MIGUEL FELIPE BERNAL N.
ID: 220389
Email: Miguel.bernaln@hotmail.com

Firma Director
EMIL HERNANDEZ ARROYO

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A mi familia que fue fundamental en mi proceso ya que gracias a ellos he podido desarrollar mi plan de vida.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por brindarnos la oportunidad de desarrollar capacidades, competencias y poder optar al título de ingenieros mecanismos.

A todos mi compañeros y personas cercanas que me apoyaron a realizar este proyecto de grado.

MIGUEL FELIPE BERNAL N.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. ALCANCE	13
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1 Definición probador bidireccional.....	15
4.2 Componentes del probador bidimensional	15
4.2.1 Sensores capacitivos.....	15
4.2.2 Funcionamiento de los Sensores capacitivos.....	15
4.3 Efecto Coriolis	16
4.3.1 Efecto Coriolis en el Sensor de Flujo.....	17
4.4 Caudalímetros máxicos Coriolis	17
4.5 Medidores Coriolis para caudal y densidad	18
4.5.1 Medidores Coriolis CNG050.....	19
4.5.2 Medidores Coriolis de la serie R para caudal y densidad de uso general	19
4.5.3 Medidores Coriolis ELITE de caudal y densidad de máxicas prestaciones	20
4.5.4 Medidores de caudal y densidad Coriolis de 2 hilos.....	251
4.5.5 Medidores de caudal y densidad Coriolis de tubo recto de paso total de la serie T.....	25
4.5.6 Medidores drenables compactos de caudal y densidad Coriolis serie F de altas prestaciones	252
4.5.7 Medidores drenables, compactos e higiénicos de caudal y densidad Coriolis de la serie H	25
5. METODOLOGIA	24

5.1 METODOLOGIA GENERAL.....	245
5.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA	255
5.2.1 Revisión bibliográfica.....	255
5.2.2 Análisis de la información y selección de equipos.....	25
5.2.3 Instalación del sensor de flujo tipo Coriolis.....	25
5.2.4 Comparación de las dos técnicas de medición	32
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	39
7. CONCLUSIONES	47
9. BIBLIOGRAFIA	478

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PROBADOR BIDIRECCIONAL DE ESFERA.....	16
FIGURA 2. EFECTO CORIOLIS EN EL SENSOR DE FLUJO.....	17
FIGURA 3. CAUDALÍMETRO MÁSCOS	18
FIGURA 4. MEDIDOR CORIOLIS CNG050	19
FIGURA 5. MEDIDOR CORIOLIS DE LA SERIE R PARA CAUDAL Y DENSIDAD	20
FIGURA 6. MEDIDOR CORIOLIS ELITE DE CAUDAL Y DENSIDAD	20
FIGURA 7. MEDIDOR DE CAUDAL Y DENSIDAD CORIOLIS DE 2 HILOS.	21
FIGURA 8. MEDIDOR DE CAUDAL Y DENSIDAD CORIOLIS DE TUBO RECTO	21
FIGURA 9. MEDIDOR DRENABLE DE CAUDAL Y DENSIDAD CORIOLIS SERIE F.....	22
FIGURA 10. MEDIDOR DRENABLE DE CAUDAL Y DENSIDAD CORIOLIS DE LA SERIE H	22
FIGURA 11. METODOLOGIA GENERAL	23
FIGURA 12. PRIMER MONTAJE DEL SENSOR DE FLUJO	25
FIGURA 13. REDISEÑO DEL MONTAJE.....	25
FIGURA 14. INSTALACIÓN DE TUBERÍA SENSOR DE FLUJO.....	26
FIGURA 15. INSTALACIÓN DEL SENSOR DE FLUJO.....	26
FIGURA 16. INSTALACIÓN DE APOYOS DEL SENSOR.....	27
FIGURA 17. RESULTADO FINAL INSTALACIÓN DEL SENSOR DE FLUJO TIPO CORIOLIS	27
FIGURA 18. IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO A RETIRAR	28
FIGURA 19. RETIRADA DEL TRAMO PREVIAMENTE IDENTIFICADO	29
FIGURA 20. SOLDADURA NUEVO TRAMO EN ACERO INOXIDABLE	29
FIGURA 21. ADECUACIÓN DEL PROBADOR BIDIRECCIONAL TERMINADA.....	30
FIGURA 22. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN T STUDENT	35
FIGURA 23. GRAFICA DISTRIBUCIÓN T STUDENT.....	36
FIGURA 24. VALORES DE PROBABILIDAD PARA LA DISTRIBUCIÓN T STUDENT	37
FIGURA 25. GRAFICA DE PROBABILIDAD PARA LA DISTRIBUCIÓN T STUDENT	38
FIGURA 26. G GRAFICA DE PROBABILIDAD PARA LA DISTRIBUCIÓN T STUDENT (ANÁLISIS DE RESULTADOS).	46

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: TIEMPO PROBADOR BIDIRECCIONAL VS CAUDAL SENSOR CORIOLIS	39
TABLA 2. CAUDAL PROBADOR BIDIRECCIONAL VS CAUDAL SENSOR CORIOLIS.....	40

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: COTIZACIÓN SENSOR DE FLUJO CORIOLIS MASTER FCB430	48
ANEXO B: COTIZACIÓN INSTALACIÓN SENSOR DE FLUJO TIPO CORIOLIS	51
ANEXO C: COTIZACIÓN MÓDULO DE ENTRADA DIGITAL DE 8 CANALES, 24 V (NI 9472)	53

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE FLUJO CORRESPONDIENTES A UN PROBADOR BIDIRECCIONAL Y UN SENSOR TIPO CORIOLIS.

AUTOR(ES): MIGUEL FELIPE BERNAL NAVARRO

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): EMIL HERNANDEZ ARROYO

RESUMEN

Existen diferentes tipos de probadores para medidores de flujo como son los probadores unidireccionales de pistón o esfera, probadores para volúmenes pequeños, probadores bidireccionales de esfera. Sobre este último se realiza un estudio en el cual se comparan dos técnicas diferentes de medición de flujo usando un probador bidireccional y un sensor de flujo tipo Coriolis simultáneamente. El probador bidireccional se construyó por estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana el sensor de flujo tipo Coriolis se elige de acuerdo a la presión caudal y demás especificaciones del sistema, a su vez se realiza la instalación y acondicionamiento de este. Al comparar las dos técnicas de medición de flujo se concluyó que los valores de caudal obtenidos simultáneamente por cada sensor no varían significativamente la prueba de hipótesis tiene un valor probabilístico (Valor-p) de 9.4%.

PALABRAS CLAVE:

sensor, flujo, medición, Coriolis

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: COMPARISON OF TWO FLOW MEASUREMENT TECHNIQUES
CORRESPONDING TO A BIDIRECTIONAL TESTER AND A
CORIOLIS TYPE SENSOR

AUTHOR(S): MIGUEL FELIPE BERNAL NAVARRO

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: EMIL HERNANDEZ ARROYO

ABSTRACT

There are different types of testers for flow meters such as unidirectional piston or dial testers, testers for small, bidirectional sphere testers. On the latter, a study was carried out in which two different flow measurement techniques were compared using a bidirectional tester and a Coriolis type flow sensor simultaneously. The bidirectional tester was built by mechanical engineering students of the Universidad Pontificia Bolivariana. The Coriolis type flow sensor chooses the agreement to the flow pressure and the other requirements of the system, in turn, the installation and conditioning of it. The hypothesis comparison has a probabilistic value (value-p) of 9.4%.

KEYWORDS:

sensor, flujo, medición, Coriolis

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El hecho de que un probador sea de desplazamiento bidireccional, supone una gran ventaja sobre los Unidireccionales y más si su operación es automática, debido a que al ser bidireccional permite un gran número de carreras de pruebas constantes un tras de otra y por largos tiempos sin necesidad de esperar a que el desplazador se devuelva a su posición inicial para iniciar un nuevo conteo. No importa la dirección del desplazamiento pues ya sea en un sentido o en otro, al pasar la esfera por los detectores se inicia una corrida de prueba y el conteo dentro del volumen calibrado [1].

El propósito de este proyecto es comparar dos técnicas diferentes para la medición de flujo usando un probador bidireccional y un sensor de flujo tipo Coriolis.

Este proyecto se llevará a cabo en dos fases:

La primera fase, consiste en la recolección de información, análisis y cotización tanto de equipos como lo son el sensor de flujo tipo Coriolis como a su vez con empresas que realicen la instalación de este.

En la segunda fase se realizará la instalación del sensor de flujo de acuerdo a las especificaciones del fabricante y se llevará a cabo la comparación entre dos técnicas de medición correspondientes.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar dos técnicas diferentes para la medición de flujo usando un probador bidireccional y un sensor tipo Coriolis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el sensor de flujo tipo Coriolis que mejor se adapte a las especificaciones técnicas del sistema RESULTADO: Sensor de flujo tipo Coriolis seleccionado de acuerdo a las necesidades del sistema. INDICADOR: El sensor de flujo tipo Coriolis se selecciona según el caudal, presión y demás especificaciones.
- Realizar la instalación del sensor de flujo tipo Coriolis de acuerdo a las especificaciones del fabricante. RESULTADO: instalación del sensor de flujo tipo Coriolis. INDICADOR: Sensor de flujo tipo Coriolis instalado debe corresponder a la ficha técnica del fabricante.
- Realizar la comparación entre dos técnicas de medición de flujo correspondientes a un probador bidireccional y un sensor de flujo tipo Coriolis. RESULTADO: Informe comparando el desempeño de los dos sensores. INDICADOR: EL valor probabilístico (Valor-p) de la diferencia de flujo de los dos sensores debe ser mayor del 5% de tal forma que no exista diferencia significativa entre los flujos medidos.

2. JUSTIFICACIÓN

En el laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana se tiene un anillo de calibración que cuenta con un probador bidireccional, pero hace falta la instalación de un medidor de flujo tipo Coriolis.

El probador bidireccional servirá para tomar los datos del tiempo que tarda en desplazarse la esfera imantada de un sensor piezoeléctrico al otro, estos tiempos se toman con el fin de calcular el caudal que pasa por él.

Es necesario llevar acabo la instalación del sensor de flujo tipo Coriolis para así poder tabular los datos obtenidos por el probador bidireccional junto con los obtenidos simultáneamente por el sensor de flujo tipo Coriolis y así poder realizar una comparación entre el flujo medido por este y el flujo que se calculará en el probador bidireccional con los tiempos y el volumen del mismo.

3. ALCANCE

Los resultados que se entregarán en este proyecto de grado serán los siguientes:

- Verificación operacional del probador bidireccional.
- Instalación del sensor de flujo tipo Coriolis
- Verificación del método de calibración del segundo anillo de flujo.
- Puesta en marcha del segundo anillo de calibración del laboratorio de instrumentación.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Definición probador bidireccional

El típico probador bidireccional de esfera tiene una longitud de tubo por donde el desplazador circula ida y vuelta sucesivamente, donde hay detectores de accionamiento en cada extremo de la sección calibrada.

Tubería complementaria adecuada y una válvula de inversión o conjunto de válvulas que sea de accionamiento manual o automáticamente para hacer posible la inversión del flujo a través del probador. El cuerpo principal del probador es a menudo una pieza recta de tubería, pero puede estar contorneada o doblado para caber en un espacio limitado o para hacer que sea más fácil de mover. Estos probadores suelen utilizar interruptores detectores mecánicos [2].

4.2 Componentes del probador bidimensional

Se usará un probador bidireccional según quedo establecido, aquí podemos observar los diferentes elementos y componentes que son utilizados para darle un óptimo funcionamiento (Ver figura 1) [2].

4.2.1 Sensores capacitivos.

Sensor capacitivo. Es un tipo de sensor eléctrico. Los sensores capacitivos (KAS) reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica.

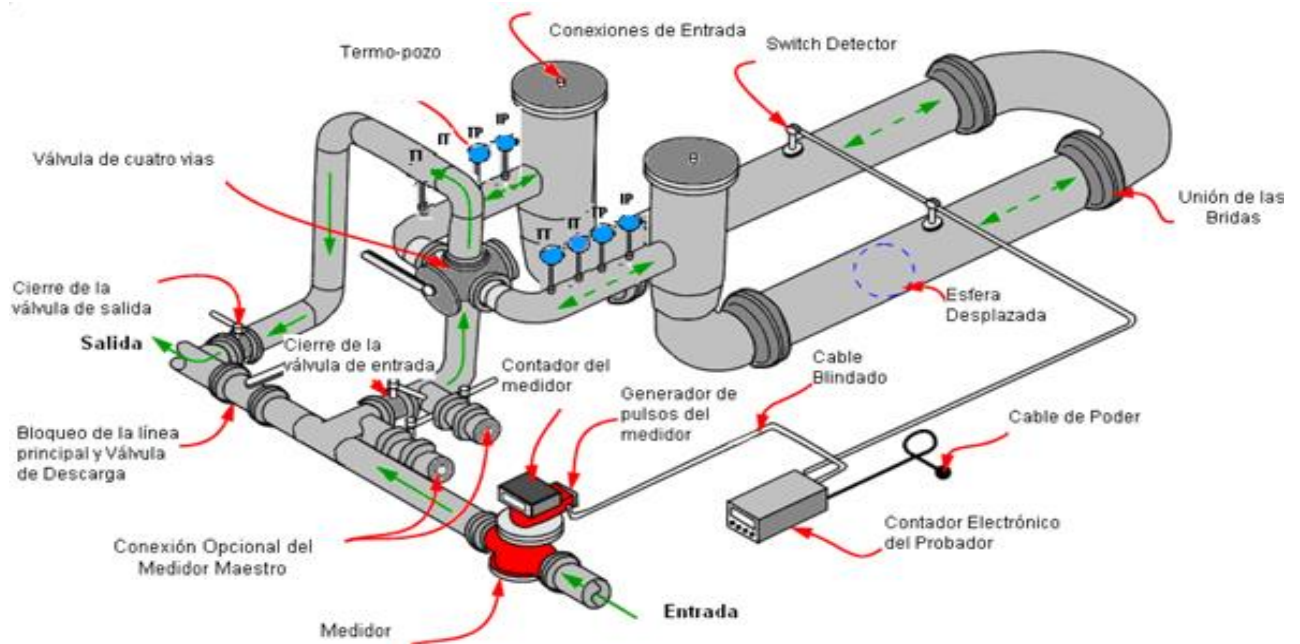
Este tipo de detector será el encargado de reaccionar ante el paso de la esfera de nitrilo por el volumen calibrado y mirar la respectiva medición [3].

4.2.2 Funcionamiento de los Sensores capacitivos.

Desde el punto de vista puramente teórico, se dice que el sensor está formado por un oscilador cuya capacidad la forman un electrodo interno (parte del propio sensor) y otro externo (constituido por una pieza conectada a masa). El electrodo externo puede estar realizado de dos modos diferentes; en algunas aplicaciones dicho electrodo es el propio objeto a sensor, previamente conectado a masa; entonces la

capacidad en cuestión variará en función de la distancia que hay entre el sensor y el objeto. En cambio, en otras aplicaciones se coloca una masa fija y, entonces, el cuerpo a detectar utilizado como dieléctrico se introduce entre la masa y la placa activa, modificando así las características del condensador equivalente [3].

Figura 1: Probador Bidireccional de Esfera.



Fuente [2].

4.3 Efecto Coriolis

Se trata de la fuerza producida por la rotación de la Tierra en el espacio, que tiende a desviar la trayectoria de los objetos que se desplazan sobre la superficie terrestre; a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda, en el sur. Esta fuerza no sólo aparece durante la rotación de la Tierra sino, en general, para cualquier objeto con masa que se desplaza a una determinada velocidad sobre otro objeto en rotación [4].

4.3.1 Efecto Coriolis en el Sensor de Flujo

Los Fluidos que pasan a través del sensor son forzados a adquirir el movimiento vertical del tubo que vibra. Cuando el tubo se está moviendo hacia arriba durante la mitad del ciclo de vibración (figura 2.1), el fluido que está pasando a través del tubo ejerce una fuerza opuesta al movimiento hacia arriba y tiende a empujar el tubo hacia abajo. Una vez que el fluido atraviesa la curva y comienza a salir del sensor el fluido empuja el tubo hacia arriba (figura 2.2). Estos dos movimientos hacen que los tubos se retuerzan (figura 2.3). Cuando el tubo se está moviendo hacia abajo en la segunda mitad [4].

Figura 2: Efecto Coriolis en el Sensor de Flujo

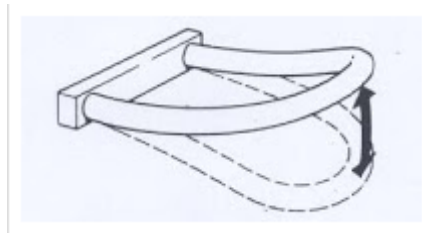


Figura 2.1

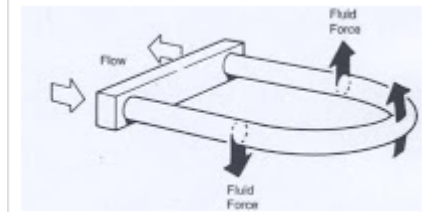


Figura 2.2

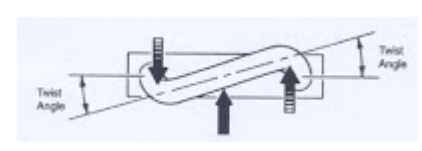


Figura 2.3

Fuente [4].

4.4 Caudalímetros máscicos Coriolis

En muchos ámbitos de la industria es más interesante medir caudales máscicos que caudales volumétricos. En algunos procesos de la industria alimentaria, por ejemplo, productos como las pastas, las pulpas o el yogur se suelen envasar por

peso, y no por volumen. Por este motivo, en las etiquetas de los envases de estos productos se informa al consumidor del peso del producto en lugar de su volumen. El motivo de ello es que el volumen de la mayoría de líquidos puede variar notablemente por influencia de las condiciones físicas de presión, temperatura y densidad.

El modo habitual de determinar la masa de un cuerpo es pesarlo. Pero desde el punto de vista de la ingeniería surgen grandes dificultades cuando se intenta pesar directamente una masa que fluye de manera continua por un sistema de tuberías. Sin embargo, en las últimas décadas ha aparecido un principio de medición que posibilita medir de forma directa y continúa caudales másicos en tuberías, a saber: la medición de caudales másicos por principio Coriolis. En algunas aplicaciones es más razonable aplicar este principio que determinar la masa por métodos indirectos a partir de la medición del caudal volumétrico y la densidad (volumen x densidad = masa) [5].

Figura 3: Caudalímetro másicos



Fuente [5].

4.5 Medidores Coriolis para caudal y densidad

Los medidores Micro Motion líderes en el mundo son los dispositivos de medición de caudal y densidad tipo Coriolis de las mayores prestaciones disponibles actualmente. Es por eso, que ya hay más de 1,000,000 medidores instalados en

todo el mundo, y con la mayor gama de productos disponibles, tenemos lo que usted necesita. Desde alimentación mediante el lazo hasta verificación del medidor, caudal extremadamente bajo hasta altos caudales, transferencia de custodia fiscal hasta proceso general, usted puede contar con los medidores Micro Motion como la mejor solución de medición para cualquier desafío de proceso [6].

4.5.1 Medidores Coriolis CNG050

Los medidores Micro Motion CNG050 para Gas Natural Comprimido fueron diseñados específicamente para la industria de distribución de combustible GNC para cumplir con los retos de medir gas natural comprimido para transferencia de custodia [6].

Figura 4: Medidores Coriolis CNG050.



Fuente [6].

4.5.2 Medidores Coriolis de la serie R para caudal y densidad de uso general

Los medidores Coriolis de la serie R son simples y confiables, y se utilizan para obtener mediciones básicas de caudal y densidad, además de aprovechar las ventajas fundamentales de la tecnología de medidores de caudal Coriolis [6].

Figura 5: Medidor Coriolis de la serie R para caudal y densidad



Fuente [6].

4.5.3 Medidores Coriolis ELITE de caudal y densidad de máximas prestaciones

Los medidores ELITE de Micro Motion ofrecen un rendimiento inigualable de medición de caudal y densidad en las aplicaciones más complejas y adversas de líquidos, gases y lodos [6].

Figura 6: Medidor Coriolis ELITE de caudal y densidad



Fuente [6].

4.5.4 Medidores de caudal y densidad Coriolis de 2 hilos

Los nuevos medidores Coriolis Micro Motion de 2 hilos de Emerson con tecnología MVD™ amplían la medición muy precisa de caudal másico y densidad a aplicaciones alimentadas por el lazo, eliminando la necesidad de cableado adicional para alimentación [6].

Figura 7: Medidor de caudal y densidad Coriolis de 2 hilos



Fuente [6].

4.5.5 Medidores de caudal y densidad Coriolis de tubo recto de paso total de la serie T

Los medidores serie T ofrecen la mejor medición de caudal en un diseño de medidor de tubo recto de paso total. Las partes de la serie T que están en contacto con el proceso son de titanio para proporcionar una excelente resistencia a la corrosión [6].

Figura 8: Medidor de caudal y densidad Coriolis de tubo recto



Fuente [6].

4.5.6 Medidores drenables compactos de caudal y densidad Coriolis serie F de altas prestaciones

Los medidores Coriolis de Micro Motion serie F están diseñados para medir con alta precisión caudal másico, caudal volumétrico y densidad en aplicaciones que requieren un diseño compacto y drenable [6].

Figura 9: Medidor drenable de caudal y densidad Coriolis serie F



Fuente [6].

4.5.7 Medidores drenables, compactos e higiénicos de caudal y densidad Coriolis de la serie H

Todos los medidores higiénicos serie H ofrecen medición de gran precisión en caudal másico, caudal volumétrico y densidad con un diseño compacto y drenable que se puede limpiar. Son ideales para aplicaciones sanitarias e higiénicas [6].

Figura 10: Medidor drenable de caudal y densidad Coriolis de la serie H



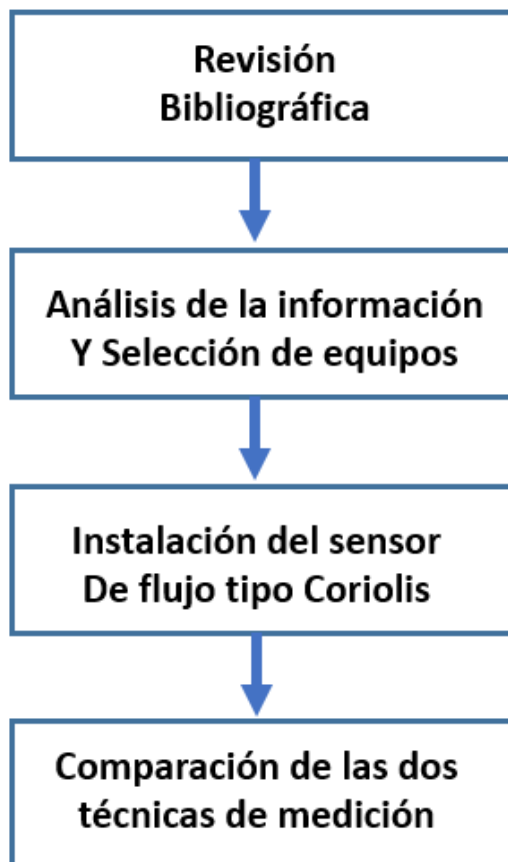
Fuente [6].

5. METODOLOGIA

5.1 METODOLOGIA GENERAL

El proceso metodológico utilizado para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto contempló cuatro segmentos los cuales serán detallados en la figura 11:

Figura 11. Metodología general



Fuente: Autores

5.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

5.2.1 Revisión bibliográfica:

En esta fase se seleccionará trabajos que ayudaran a entender el funcionamiento de un probador bidireccional y los efectos que suceden dentro de él. Además, se investigará los diferentes sensores de flujo tipo Coriolis que existen en el mercado.

5.2.2 Análisis de la información y selección de equipos:

En esta fase se analizará la información de una manera detallada para poder así seleccionar los diferentes dispositivos que se deban comprar y cuál es el más indicado para seleccionar. El sensor de flujo tipo Coriolis que se selecciona debe cumplir con las necesidades del sistema.

Algunos de los equipos que se cotizaran y seleccionaran son los siguientes:

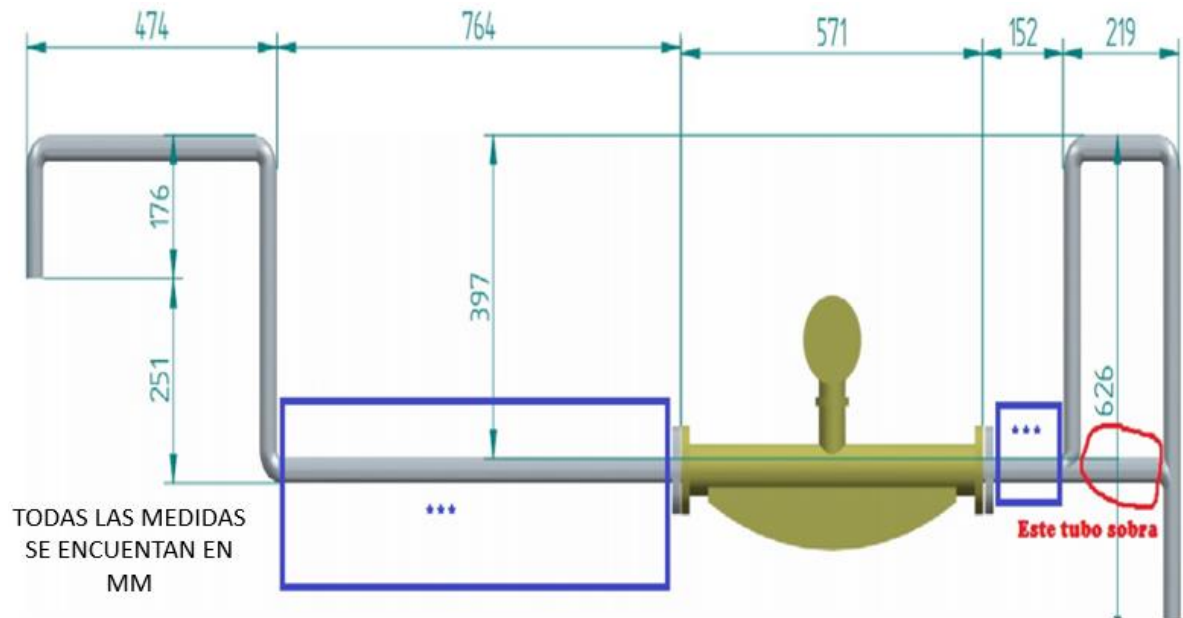
- Módulo de entrada digital sinking de 8 canales, 24 V (NI 9472).
- Sensor de flujo Coriolis Master FCB430 Coriolis Mass Flowmeter.
- Válvula de membrana de 2/2 vías servocontrolada TIPO 6213
-

5.2.3 Instalación del sensor de flujo tipo Coriolis:

Instalación del sensor de flujo tipo Coriolis.

- Para la instalación del sensor se realizó una cotización con la empresa ING Y MAQUINAS (**anexo 1**).
- Luego se hizo un primer diseño del montaje (**Figura 12**).

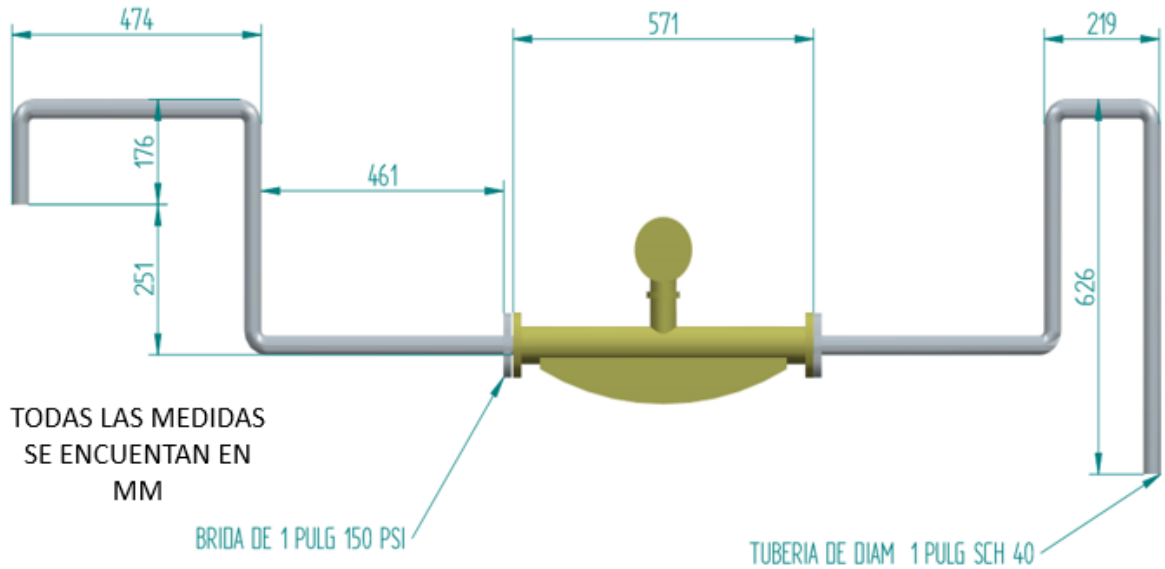
Figura 12: Primer montaje del sensor de flujo.



Fuente: Autores

- Se hizo el rediseño con los siguientes cambios:
 1. Se ubicó el sensor en el centro de la tubería para mejorar su funcionamiento.
 2. Se modificaron distancias para cumplir con especificaciones de instalación.

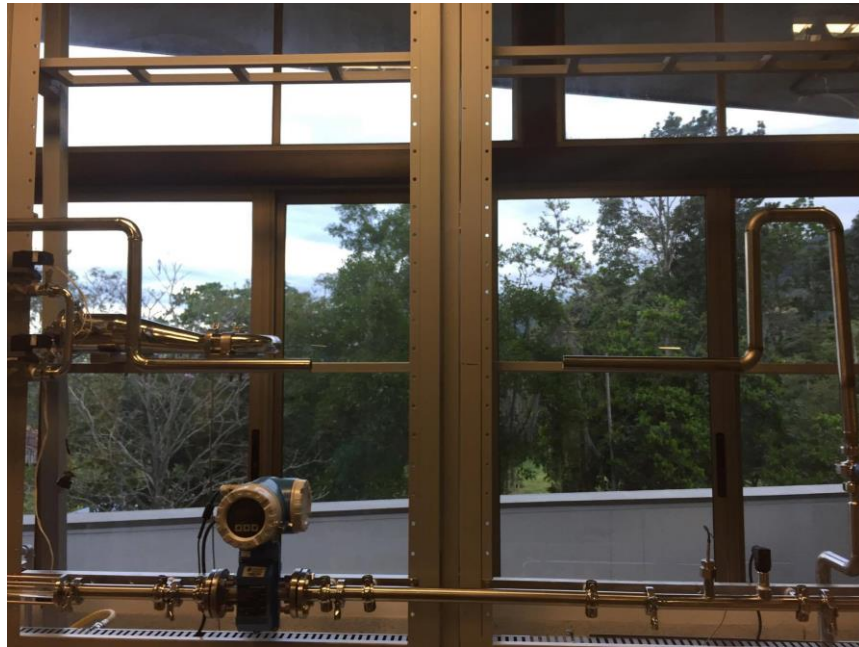
Figura 13: Rediseño del montaje.



Fuente: Autores

- Al rediseñar y estar seguros de las medidas se lleva a cabo la instalación del sensor de flujo tipo Coriolis.

Figura 14: Instalación de tubería sensor de flujo.



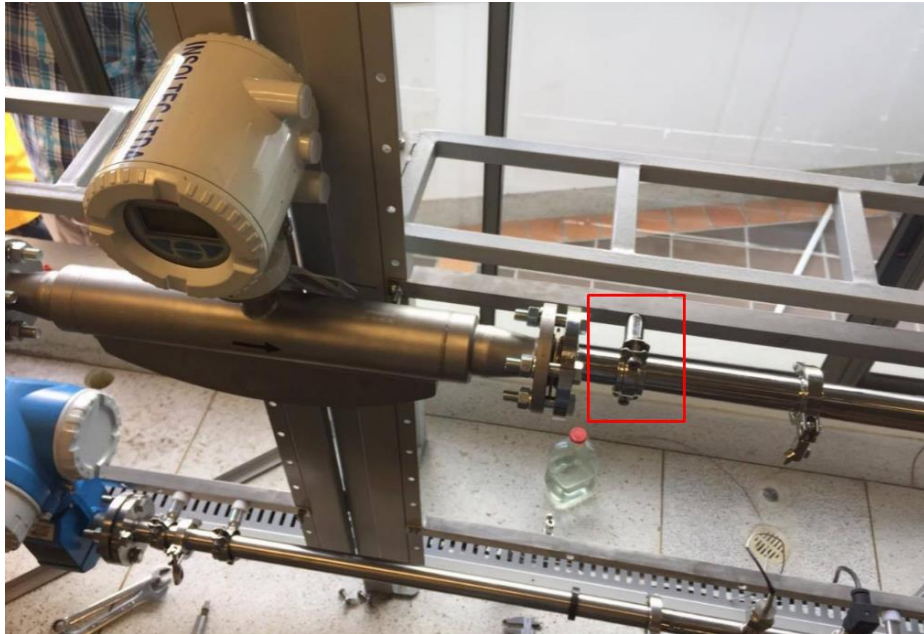
Fuente: Autores

Figura 15: Instalación del sensor de flujo.



Fuente: Autores

Figura 16: Instalación de apoyos del sensor.



Fuente: Autores

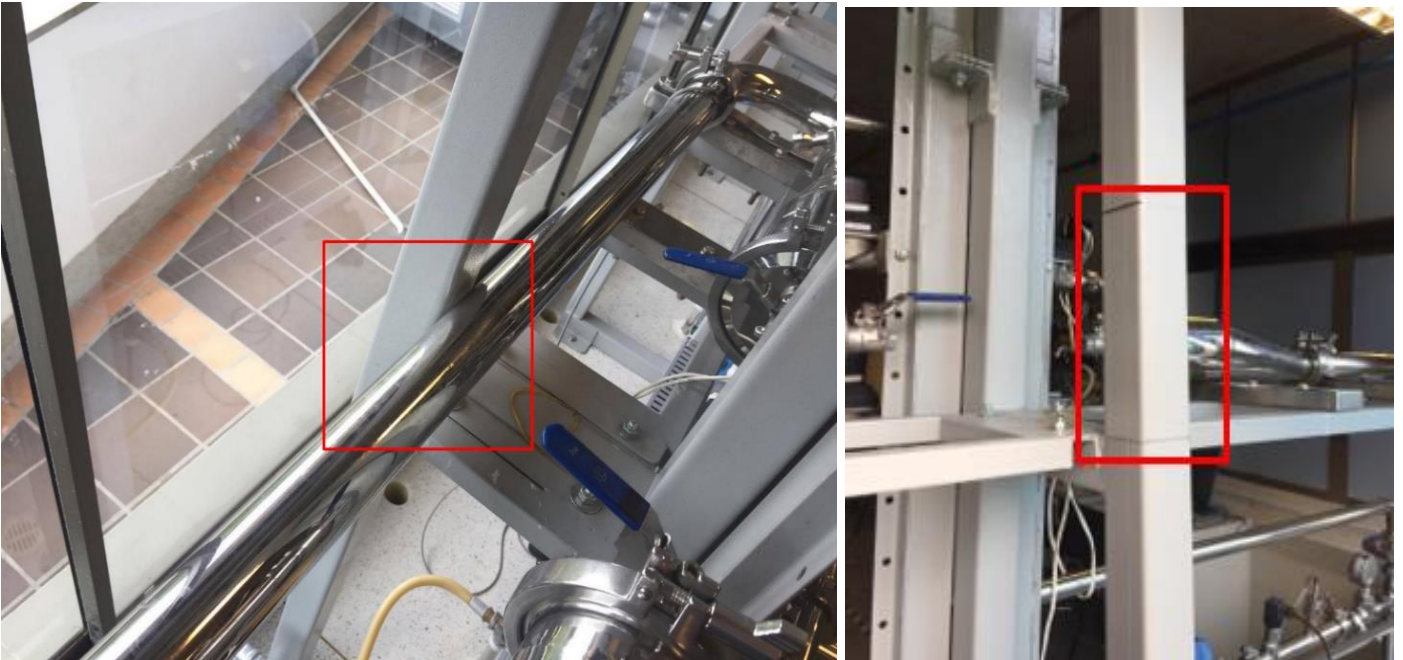
Figura 17: Resultado final instalación del sensor de flujo tipo Coriolis.



Fuente: Autores

- Además de la instalación del sensor se realiza una adecuación en el probador direccional para mejorar su funcionamiento. Ya que en su interior va una esfera imantada y al pasar por el tramo donde se encuentra con la estructura metálica suele detenerse o interferir con su libre desplazamiento. **(Figura 18).**

Figura 18: Identificación del tramo a retirar.



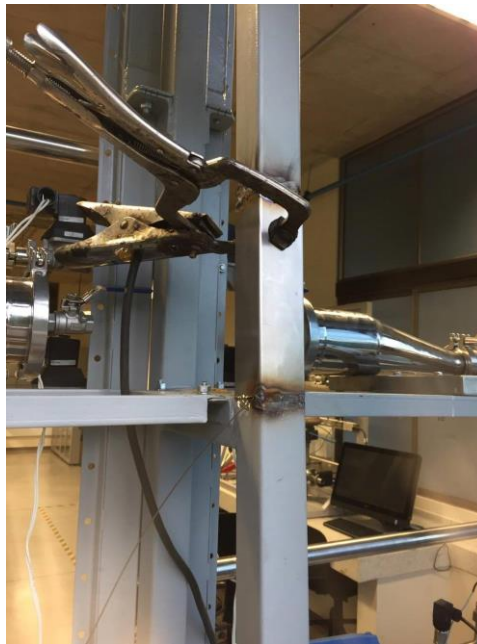
Fuente: Autores

Figura 19: Retirada del tramo previamente identificado.



Fuente: Autores

Figura 20: Soldadura nuevo tramo en acero inoxidable.



Fuente: Autores

Figura 21: Adecuación del probador bidireccional terminada.



Fuente: Autores

5.2.4 Comparación de las dos técnicas de medición:

Para realizar la comparación de las dos técnicas de medición primero hay que saber el número de pruebas que se realizaran para esto se usara la ecuación 1 y 2:

$$e = \frac{z * \sigma}{\sqrt{n}} \quad (1).$$

$$no = \frac{z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad (2).$$

Donde:

z : Valor obtenido mediante niveles de confianza (95% de confianza).

σ : Desviación estándar de los datos de caudal obtenidos por el sensor de flujo tipo Coriolis.

n : Tamaño de la población.

e : Error.

Después de saber el número pruebas que se deben realizar se medirá el caudal que pasa por el probador bidireccional y por el sensor de flujo tipo Coriolis.

Para medir el caudal que pasa por el sensor de flujo tipo Coriolis solo basta con observar el valor que este arroja.

Para medir el caudal que pasa por el probador bidireccional se utiliza la ecuación 3 formula:

$$Q = \frac{\pi * r^2 * L}{t} \quad (3).$$

Donde:

Q : es el caudal del probador bidireccional

π : (Constante).

r : Radio tubería probador bidireccional (m).

L : Distancia entre sensores piezoeléctricos (m).

t : Tiempo que tarda la esfera imantada en desplazarse de un sensor a otro (s).

Luego de tener los dos valores de caudal por las dos técnicas de medición se plantean las siguientes ecuaciones 4 y 5:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (4).$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (5).$$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alterna

μ_1 : Media de caudal probador bidireccional

μ_2 : Media de caudal sensor de flujo tipo Coriolis

Después de esto se hace una prueba de hipótesis usando las ecuaciones 6 y 7:

$$t_{exp} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{1-2}} \quad (6).$$

$$\sigma_{1-2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (7).$$

Donde:

\bar{x}_1 : Promedio de los valores de caudal obtenidos por el probador bidireccional.

\bar{x}_2 : Promedio de los valores de caudal obtenidos por el sensor de flujo tipo Coriolis.

t_{exp} : Valor t experimental

σ_{1-2} : Valor estándar de caudal

σ_1 : Desviación estándar de los datos de caudal obtenidos por el Probador bidireccional.

σ_2 : Desviación estándar de los datos de caudal obtenidos por el sensor de flujo tipo Coriolis.

n_1 : Número de datos adquiridos por el probador bidireccional.

n_2 : Número de datos adquiridos por el sensor de flujo tipo Coriolis.

Luego de encontrar el valor t_{exp} hallamos los grados de libertad con la ecuación 8:

$$gl = n_1 + n_2 - 2 \quad (8).$$

Donde:

gl : Grados de libertad.

n_1 : Número de datos adquiridos por el probador bidireccional.

n_2 : Número de datos adquiridos por el sensor de flujo tipo Coriolis.

Con estos valores se pueden tener dos criterios de decisión que serán los siguientes:

1. Criterio de t_{exp} :

El valor de intervalo fue tomado de las tablas de valores críticos t student representado en la figura 22 (ver figura 22).

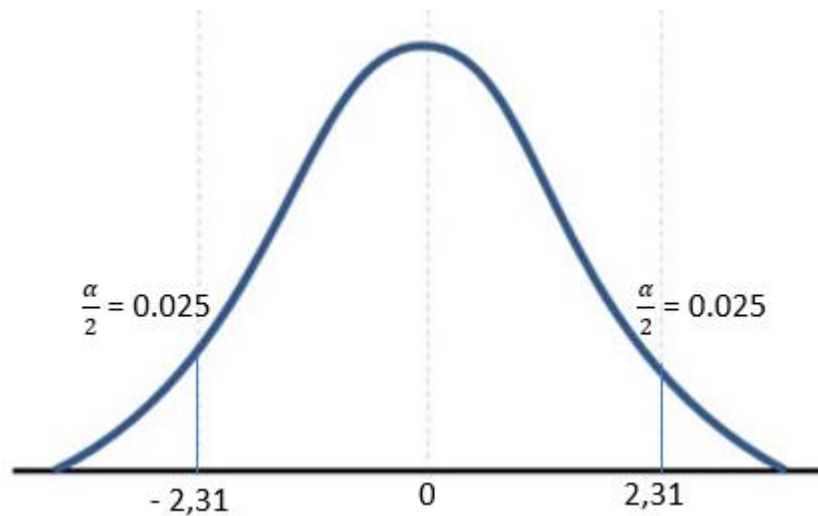
Figura 22: Tabla de valores críticos de la distribución t student

gl	Valor de					
	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
3	0.765	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84
4	0.741	1.53	2.13	2.78	3.75	4.60
5	0.729	1.48	2.02	2.57	3.37	4.03
6	0.718	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71
7	0.711	1.42	1.89	2.36	3.00	3.50
8	0.706	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36
9	0.703	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25
10	0.700	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17
11	0.697	1.36	1.80	2.20	2.72	3.11
12	0.696	1.36	1.78	2.18	2.68	3.05
13	0.694	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01
14	0.692	1.35	1.76	2.14	2.62	2.98
15	0.691	1.34	1.75	2.13	2.60	2.95
16	0.690	1.34	1.75	2.12	2.58	2.92
17	0.689	1.33	1.74	2.11	2.57	2.90
18	0.688	1.33	1.73	2.10	2.55	2.88
19	0.688	1.33	1.73	2.09	2.54	2.86
20	0.687	1.33	1.72	2.09	2.53	2.85
21	0.686	1.32	1.72	2.08	2.52	2.83
22	0.686	1.32	1.72	2.07	2.51	2.82
23	0.685	1.32	1.71	2.07	2.50	2.81
24	0.685	1.32	1.71	2.06	2.49	2.80
25	0.684	1.32	1.71	2.06	2.49	2.79
26	0.684	1.32	1.71	2.06	2.48	2.78
27	0.684	1.31	1.70	2.05	2.47	2.77
28	0.683	1.31	1.70	2.05	2.47	2.76
29	0.683	1.31	1.70	2.05	2.46	2.76
30	0.683	1.31	1.70	2.04	2.46	2.75
35	0.682	1.31	1.69	2.03	2.44	2.73
40	0.681	1.30	1.68	2.02	2.42	2.70
50	0.679	1.30	1.68	2.01	2.40	2.68
70	0.678	1.29	1.67	1.99	2.38	2.65
100	0.677	1.29	1.66	1.98	2.36	2.63
gl>100	0.675	1.28	1.65	1.96	2.33	2.58

Fuente: [7].

Como se puede observar el valor del intervalo va de -2.31 y 2.31

Figura 23: Grafica distribución t student



Fuente: [6].

$-2.31 < t_{exp} < 2.31 \longrightarrow$ Se acepta la hipótesis nula.

$t_{exp} < -2.31$ o $t_{exp} > 2.31$ } Se rechaza la hipótesis nula.

2. Criterio de valor-p:

Con los grados de libertad y el t_{exp} buscamos en las tablas de valores de probabilidad para la distribución t de student encontramos el Valor-p (Ver figura 24).

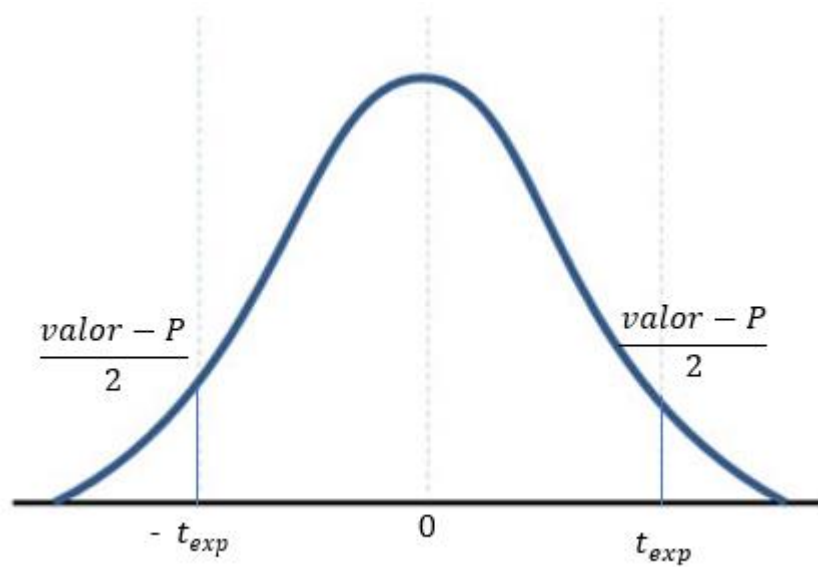
Figura 24: Valores de probabilidad para la distribución t student

t'	3	4	5	6	7	8	10	12	15	18	21	25	29	35	gi>45
0.0	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.1	0.463	0.463	0.462	0.462	0.462	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.460	0.460
0.2	0.427	0.426	0.425	0.424	0.424	0.423	0.423	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.421	0.421	0.421
0.3	0.392	0.390	0.388	0.387	0.386	0.386	0.385	0.385	0.384	0.384	0.384	0.383	0.383	0.383	0.383
0.4	0.358	0.355	0.353	0.352	0.351	0.350	0.349	0.348	0.347	0.347	0.347	0.346	0.346	0.346	0.346
0.5	0.326	0.322	0.319	0.317	0.316	0.315	0.314	0.313	0.312	0.312	0.311	0.311	0.310	0.310	0.310
0.6	0.295	0.290	0.287	0.285	0.284	0.283	0.281	0.280	0.279	0.278	0.277	0.277	0.277	0.276	0.276
0.7	0.267	0.261	0.258	0.255	0.253	0.252	0.250	0.249	0.247	0.246	0.246	0.245	0.245	0.244	0.244
0.8	0.241	0.234	0.230	0.227	0.225	0.223	0.221	0.220	0.218	0.217	0.216	0.216	0.215	0.215	0.214
0.9	0.217	0.210	0.205	0.201	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191	0.190	0.189	0.188	0.188	0.187	0.186
1.0	0.196	0.187	0.182	0.178	0.175	0.173	0.170	0.169	0.167	0.165	0.164	0.163	0.163	0.162	0.161
1.1	0.176	0.167	0.161	0.157	0.154	0.152	0.149	0.146	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.139	0.139
1.2	0.158	0.148	0.142	0.138	0.135	0.132	0.129	0.127	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
1.3	0.142	0.132	0.125	0.121	0.117	0.115	0.111	0.109	0.107	0.105	0.104	0.103	0.102	0.101	0.100
1.4	0.128	0.117	0.110	0.106	0.102	0.100	0.096	0.093	0.091	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084
1.5	0.115	0.104	0.097	0.092	0.089	0.086	0.082	0.080	0.077	0.075	0.074	0.073	0.072	0.071	0.070
1.6	0.104	0.092	0.085	0.080	0.077	0.074	0.070	0.068	0.065	0.064	0.062	0.061	0.060	0.059	0.058
1.7	0.094	0.082	0.075	0.070	0.066	0.064	0.060	0.057	0.055	0.053	0.052	0.051	0.050	0.049	0.048
1.8	0.085	0.073	0.066	0.061	0.057	0.055	0.051	0.049	0.046	0.044	0.043	0.042	0.041	0.040	0.039
1.9	0.077	0.065	0.058	0.053	0.049	0.047	0.043	0.041	0.038	0.037	0.036	0.035	0.034	0.033	0.032
2.0	0.070	0.058	0.051	0.046	0.043	0.040	0.037	0.034	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026
2.1	0.063	0.052	0.045	0.040	0.037	0.034	0.031	0.029	0.027	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021
2.2	0.058	0.046	0.040	0.035	0.032	0.029	0.026	0.024	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016
2.3	0.052	0.041	0.035	0.031	0.027	0.025	0.022	0.020	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014	0.014	0.013
2.4	0.048	0.037	0.031	0.027	0.023	0.022	0.019	0.017	0.015	0.014	0.013	0.012	0.012	0.011	0.010
2.5	0.044	0.033	0.027	0.023	0.020	0.018	0.016	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008
2.6	0.040	0.030	0.024	0.020	0.015	0.016	0.013	0.012	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006
2.7	0.037	0.027	0.021	0.018	0.013	0.014	0.011	0.010	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005
2.8	0.034	0.024	0.019	0.016	0.011	0.012	0.009	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004
2.9	0.031	0.022	0.017	0.014	0.010	0.010	0.008	0.007	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
3.0	0.029	0.020	0.015	0.012	0.009	0.009	0.007	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002

Fuente: [7]

Con el valor-p podemos tener un criterio de decisión que será el siguiente:

Figura 25: Grafica de probabilidad para la distribución t student



Fuente: [7]

Valor-p > 0.05 \longrightarrow No hay diferencia significativa.

Valor-p < 0.05 \longrightarrow Si hay diferencia significativa.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Numero de pruebas que se realizaran se halla con las ecuaciones 1 y 2:

$$e = \frac{z * \sigma}{\sqrt{n}} \quad (1).$$

Donde:

e : error

z : 1.96 (95% de confianza).

σ : 0.3880.

n : 5.

$$e = \frac{1.96 * 0.3880}{\sqrt{5}}$$

$$e = 0.1986$$

$$no = \frac{z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad (2).$$

Donde:

no : número de veces que se debe realizar la prueba

z : 1.96

σ : 0.3880.

$e = 0.1986$

$$no = \frac{1.96^2 * 0.3880^2}{0.1986^2}$$

$$no = 5$$

El número de pruebas que se deben realizar son 5, en las cuales se tomará los datos del tiempo que tarda en desplazarse la esfera imantada de un sensor piezoeléctrico al otro con el fin de tabular estos datos junto con los obtenidos simultáneamente por el sensor de flujo tipo Coriolis.

Tabla 1: Tiempo probador bidireccional vs caudal sensor Coriolis.

Tiempo [segundo]	Q sensor de flujo Coriolis [L/min]
6.21	20.49
5.95	21.08
6.25	20.05
6.40	20.18
6.30	20.06

Fuente: Autores

Con los tiempos que tarda en desplazarse la esfera imantada se halla el caudal que pasa por el probador bidireccional con la ecuación 3:

$$Q = \frac{\pi * r^2 * L}{t} \quad (3).$$

Donde:

Q : es el caudal del probador bidireccional

π : (Constante).

r : 0.0254 (m).

L : 1.07 (m).

t : Tiempo que tarda la esfera imantada en desplazarse de un sensor a otro (s).

$$Q_1 = \frac{\pi * (0.0254)^2 * 1.07}{6.21} = 3.492 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 20.95 \text{ L/min}$$

$$Q_2 = \frac{\pi * (0.0254)^2 * 1.07}{5.95} = 3.644 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 21.86 \text{ L/min}$$

$$Q_3 = \frac{\pi * (0.0254)^2 * 1.07}{6.25} = 3.469 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 20.81 \text{ L/min}$$

$$Q_4 = \frac{\pi * (0.0254)^2 * 1.07}{6.40} = 3.388 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 20.33 \text{ L/min}$$

$$Q_5 = \frac{\pi * (0.0254)^2 * 1.07}{6.30} = 3.442 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 20.65 \text{ L/min}$$

Tabla 2: Caudal probador bidireccional vs Caudal sensor Coriolis.

Q Probador bidireccional [L/min]	Q sensor de flujo Coriolis [L/min]
20.95	20.49
21.86	21.08
20.81	20.05
20.33	20.18
20.65	20.06

Fuente: Autores

Luego de obtener el caudal que se desplaza simultáneamente por el probador bidireccional y el sensor de flujo tipo Coriolis planteamos las ecuaciones 4 y 5.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \longrightarrow \text{Hipótesis nula} \quad (4).$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \longrightarrow \text{Hipótesis alterna} \quad (5).$$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alterna

μ_1 : Media de caudal probador bidireccional

μ_2 : Media de caudal sensor de flujo tipo Coriolis

Para saber si existen diferencias significativas entre las dos técnicas de medición se plantea una prueba de hipótesis usando las ecuaciones 6 y 7.

$$t_{exp} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{1-2}} \quad (6).$$

$$\sigma_{1-2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (7).$$

Donde:

\bar{x}_1 : 20.92.

\bar{x}_2 : 20.37.

t_{exp} : Valor t experimental

σ_{1-2} : Valor estándar de caudal

σ_1 : 0.5133.

σ_2 : 0.3880.

n_1 : 5.

n_2 : 5.

$$\sigma_{1-2} = \sqrt{\frac{0.5133^2}{5} + \frac{0.3880^2}{5}} = 0.2877$$

$$t_{exp} = \frac{20.92 - 20.37}{0.2877} = 1.91$$

Una vez se obtiene el valor de t_{exp} pasamos a calcular los grados de libertad con la ecuación 8:

$$gl = n_1 + n_2 - 2 \quad (8).$$

Donde:

gl : Grados de libertad.

n_1 : 5.

n_2 : 5.

$$gl = 5 + 5 - 2 = 8$$

Con estos valores se pueden tener dos criterios de decisión que serán los siguientes:

1. Criterio de t_{exp} :

El valor de intervalo fue tomado de las tablas de valores críticos t student representado en la figura (ver figura 22).

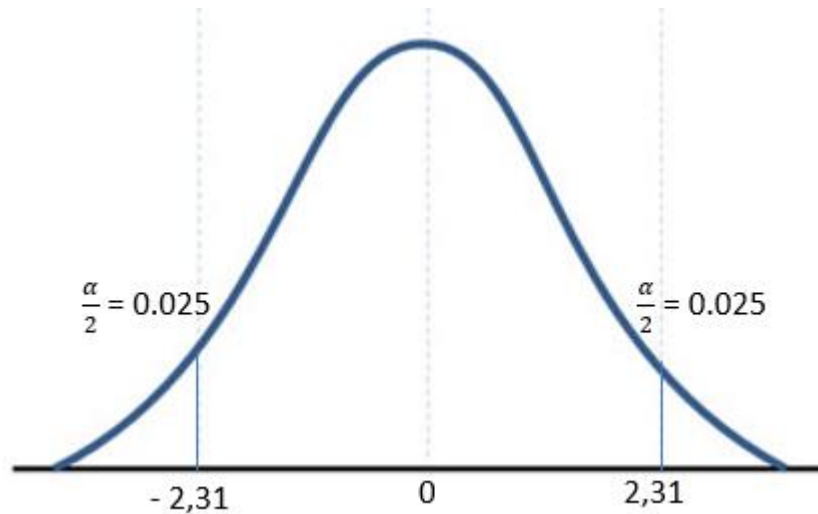
Figura 22: Tabla de valores críticos de la distribución t student.

gl	Valor de					
	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
3	0.765	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84
4	0.741	1.53	2.13	2.78	3.75	4.60
5	0.729	1.48	2.02	2.57	3.37	4.03
6	0.718	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71
7	0.711	1.42	1.89	2.36	3.00	3.50
8	0.706	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36
9	0.703	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25
10	0.700	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17
11	0.697	1.36	1.80	2.20	2.72	3.11
12	0.696	1.36	1.78	2.18	2.68	3.05
13	0.694	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01
14	0.692	1.35	1.76	2.14	2.62	2.98
15	0.691	1.34	1.75	2.13	2.60	2.95
16	0.690	1.34	1.75	2.12	2.58	2.92
17	0.689	1.33	1.74	2.11	2.57	2.90
18	0.688	1.33	1.73	2.10	2.55	2.88
19	0.688	1.33	1.73	2.09	2.54	2.86
20	0.687	1.33	1.72	2.09	2.53	2.85
21	0.686	1.32	1.72	2.08	2.52	2.83
22	0.686	1.32	1.72	2.07	2.51	2.82
23	0.685	1.32	1.71	2.07	2.50	2.81
24	0.685	1.32	1.71	2.06	2.49	2.80
25	0.684	1.32	1.71	2.06	2.49	2.79
26	0.684	1.32	1.71	2.06	2.48	2.78
27	0.684	1.31	1.70	2.05	2.47	2.77
28	0.683	1.31	1.70	2.05	2.47	2.76
29	0.683	1.31	1.70	2.05	2.46	2.76
30	0.683	1.31	1.70	2.04	2.46	2.75
35	0.682	1.31	1.69	2.03	2.44	2.73
40	0.681	1.30	1.68	2.02	2.42	2.70
50	0.679	1.30	1.68	2.01	2.40	2.68
70	0.678	1.29	1.67	1.99	2.38	2.65
100	0.677	1.29	1.66	1.98	2.36	2.63
gl>100	0.675	1.28	1.65	1.96	2.33	2.58

Fuente: [7].

Como los grados de libertad que son 8 y con un valor de 0.05 se puede observar el valor del intervalo va de -2.31 y 2.31

Figura 23: Grafica distribución t student.



Fuente: [7].

$-2.31 < t_{exp} < 2.31$ \longrightarrow Se acepta la hipótesis nula.

$t_{exp} < -2.31$ o $t_{exp} > 2.31$ $\left. \vphantom{\begin{matrix} t_{exp} < -2.31 \\ t_{exp} > 2.31 \end{matrix}} \right\}$ Se rechaza la hipótesis nula.

Según el primer criterio de decisión se acepta la hipótesis nula es decir no hay diferencias significativas entre las dos técnicas de medición ya que el t_{exp} se encuentra entre -2.31 y 2.31

2. Criterio del valor- p

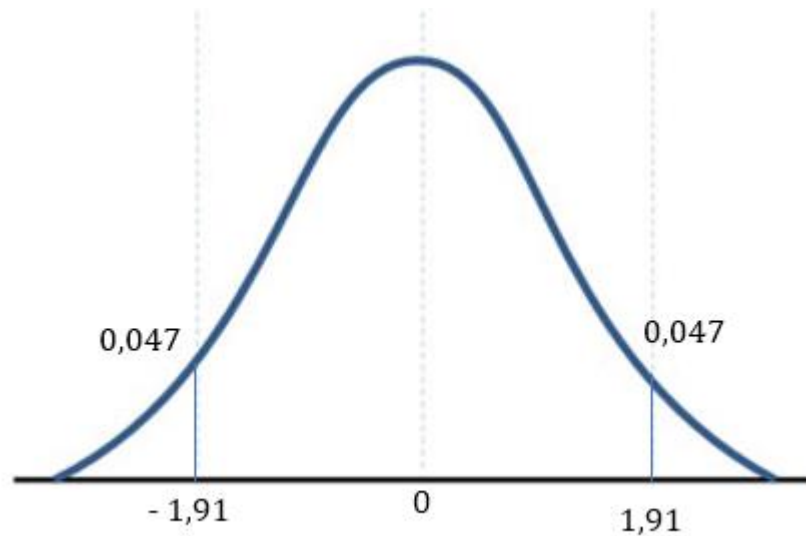
Con los grados de libertad y el t_{exp} buscamos en las tablas de valores de probabilidad para la distribución t de student (Ver figura 24).

Figura 24: Valores de probabilidad para la distribución t student.

t	3	4	5	6	7	8	10	12	15	18	21	25	29	35	∞
0.0	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.1	0.463	0.463	0.462	0.462	0.462	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.461	0.460	0.460
0.2	0.427	0.426	0.425	0.424	0.424	0.423	0.423	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.421	0.421	0.421
0.3	0.392	0.390	0.388	0.387	0.386	0.386	0.385	0.385	0.384	0.384	0.384	0.383	0.383	0.383	0.383
0.4	0.358	0.355	0.353	0.352	0.351	0.350	0.349	0.348	0.347	0.347	0.347	0.346	0.346	0.346	0.346
0.5	0.326	0.322	0.319	0.317	0.316	0.315	0.314	0.313	0.312	0.312	0.311	0.311	0.310	0.310	0.310
0.6	0.295	0.290	0.287	0.285	0.284	0.283	0.281	0.280	0.279	0.278	0.277	0.277	0.276	0.276	0.276
0.7	0.267	0.261	0.258	0.255	0.253	0.252	0.250	0.249	0.247	0.246	0.246	0.245	0.245	0.244	0.244
0.8	0.241	0.234	0.230	0.227	0.225	0.223	0.221	0.220	0.218	0.217	0.216	0.216	0.215	0.215	0.214
0.9	0.217	0.210	0.205	0.201	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191	0.190	0.189	0.188	0.188	0.187	0.186
1.0	0.196	0.187	0.182	0.178	0.175	0.173	0.170	0.169	0.167	0.165	0.164	0.163	0.163	0.162	0.161
1.1	0.176	0.167	0.161	0.157	0.154	0.152	0.149	0.146	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.139	0.139
1.2	0.158	0.148	0.142	0.138	0.135	0.132	0.129	0.127	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
1.3	0.142	0.132	0.125	0.121	0.117	0.115	0.111	0.109	0.107	0.105	0.104	0.103	0.102	0.101	0.100
1.4	0.128	0.117	0.110	0.106	0.102	0.100	0.096	0.093	0.091	0.089	0.088	0.087	0.086	0.085	0.084
1.5	0.115	0.104	0.097	0.092	0.089	0.086	0.082	0.080	0.077	0.075	0.074	0.073	0.072	0.071	0.070
1.6	0.104	0.092	0.085	0.080	0.077	0.074	0.070	0.068	0.065	0.064	0.062	0.061	0.060	0.059	0.058
1.7	0.094	0.082	0.075	0.070	0.066	0.064	0.060	0.057	0.055	0.053	0.052	0.051	0.050	0.049	0.048
1.8	0.085	0.073	0.066	0.061	0.057	0.055	0.051	0.049	0.046	0.044	0.043	0.042	0.041	0.040	0.039
1.9	0.077	0.065	0.058	0.053	0.049	0.047	0.043	0.041	0.038	0.037	0.036	0.035	0.034	0.033	0.032
2.0	0.070	0.058	0.051	0.046	0.043	0.040	0.037	0.034	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026
2.1	0.063	0.052	0.045	0.040	0.037	0.034	0.031	0.029	0.027	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021
2.2	0.058	0.046	0.040	0.035	0.032	0.029	0.026	0.024	0.022	0.021	0.020	0.019	0.018	0.017	0.016
2.3	0.052	0.041	0.035	0.031	0.027	0.025	0.022	0.020	0.018	0.017	0.016	0.015	0.014	0.014	0.013
2.4	0.048	0.037	0.031	0.027	0.024	0.022	0.019	0.017	0.015	0.014	0.013	0.012	0.012	0.011	0.010
2.5	0.044	0.033	0.027	0.023	0.020	0.018	0.016	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008
2.6	0.040	0.030	0.024	0.020	0.017	0.015	0.013	0.011	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006
2.7	0.037	0.027	0.021	0.018	0.015	0.013	0.011	0.010	0.008	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005
2.8	0.034	0.024	0.019	0.016	0.013	0.011	0.009	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
2.9	0.031	0.022	0.017	0.014	0.011	0.010	0.008	0.007	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
3.0	0.029	0.020	0.015	0.012	0.009	0.008	0.007	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002

Fuente: [7].

Figura 26: Grafica de probabilidad para la distribución t student (ANALISIS DE RESULTADOS).



Fuente: [6].

Es decir, el valor-p será $0.047 + 0.047 = 0.094 = 9.4\%$

Con el valor-p se puede tener un criterio de decisión que será el siguiente:

Valor-p > 0.05 \longrightarrow No hay diferencia significativa.

Valor-p < 0.05 \longrightarrow Si hay diferencia significativa

Según el criterio de decisión el valor-p es mayor a 0.05 (5%) es decir no hay diferencias significativas entre las dos técnicas de medición.

10. CONCLUSIONES

- Se pudo observar que el valor mínimo de caudal medido por el probador bidireccional es de 20.33 [L/min] y el máximo es de 21.86[L/min].
- Se observó que los valores de caudal tanto del probador bidireccional como del sensor de flujo tipo Coriolis varía desde 20.05[L/min] hasta 21.86[L/min].
- El valor mínimo de caudal medido por el sensor de flujo tipo coriolis es de 20.05[L/min] y el máximo de 21.08[L/min].
- Según los dos criterios de decisión que se tuvieron en cuenta al comparar las dos tecnologías de medición de flujo se puede concluir que los valores de caudal obtenidos simultáneamente por cada una de ellas no varían significativamente y tiene un Valor-p de 9.4%.
- Se seleccionó el sensor de flujo tipo Coriolis Master FCB430 ya que este tipo de sensores están diseñados para medir con una alta precisión caudal másico, caudal volumétrico y densidad en aplicaciones que requieren un diseño compacto y drenable.

BIBLIOGRAFIA

[1] Principio de funcionamiento Probador bidireccional [Online] [Citado el 22 de noviembre del 2017] Disponible En: <https://es.scribd.com/doc/190838451/El-Probador-Bidireccional-de-Esfera-Concepto-y-Principio-de-Funcionamiento>

[2]MANUAL OF PETROLEUM MEASUREMENT STANDARDS CHAPTER 4—PROVING SYSTEMS. Energy (API). third edition, September 2003.pdf

[3] Sensor Capacitivo [Online] [Citado el 11 de julio del 2017] Disponible En: http://www.ecured.cu/Sensor_capacitivo

[4] Efecto Coriolis [Online] [Citado el 12 de septiembre del 2017] Disponible En: <http://aitunexpo.blogspot.com.co/2007/05/principio-de-funcionamiento.html>

[5] Principio de medición [Online] [Citado el 12 de septiembre del 2017] Disponible En: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/medicion-flujos-pract/item/326-caudalímetros-m%C3%A1sicos-coriolis-principio-de-medicion.html>

[6].Tipos de sensores [Online] [Citado el 11 de septiembre del 2017] Disponible En:<http://www2.emersonprocess.com/es-ES/brands/micromotion/coriolis-flow-density-meters/Pages/index.aspx>

[7] Arroyo Hernández, E. (2017). *Fundamentos de estadística*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.

ANEXO A. Cotización Sensor de flujo Coriolis Master FCB430 Coriolis Mass Flowmeter.

COTIZACION N° 2017.013 R4

Bucaramanga, 20 de Junio 17

Señores
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
Atn: Ing. Juan Carlos Mantilla
Teléfono: (7) 6796220
Piedecuesta, Santander

Ref.: SUMINISTRO DE INSTRUMENTO PARA MEDICIÓN DE FLUJO TIPO CORIOLIS

Cordial Saludo

Por medio de la presente nos permitimos Cotizar:

Ítem	Descripción	Uni	Cant	Valor Unitario Sin IVA	Valor Total Sin IVA
------	-------------	-----	------	------------------------	---------------------

1	<p>Coriolis Master FCB430 Coriolis Mass Flowmeter</p> <p>Referencia FCB430</p> <p>Explosion Protection Certification: General Purpose</p> <p>Measuring Range: 0.5844 ... 150 ... 584.3 l/min</p> <p>Meter Size / Connection Size: DN 25 (1 in.) / 25 (1 in.)</p> <p>Process Connection Type: Flanges ANSI / ASME B16.5 Class 150</p> <p>Output: Analog output passive (4-20 mA)</p> <p>Material of Wetted Parts: Stainless steel Flow Calibration: Flow forward +/- 0.40 % of flow rate,</p> <p>Density Calibration: Density 10 g/l</p> <p>Connection Design / Connection Box Material / Cable Glands: Integral, defined by Transmitter housing.</p> <p>Connection Design / Transmitter Housing</p>	UN	1	USD5.210.00	USD5.210.00
Ítem	Descripción	Uni	Cant	Valor Unitario Sin IVA	Valor Total Sin IVA
	<p>Type / Transmitter Housing Material / Cable Glands: Integral / Dual compartment / Aluminium / 3 x NPT 1/2 in.</p> <p>Outputs: Current output 1 (active or passive), digital output 1 & 2 (passive), HART</p> <p>Power Supply: 100 ... 230 V AC</p> <p>Integrated Digital Display (LCD): With Push Buttons and Display (TTG) and Glass Cover</p> <p>Device Display Language: Spanish</p> <p>Documentation Language: English</p> <p>Device Identification Plate: Stainless steel plate with TAG no.</p> <p>Manufacturer: ABB.</p>				

CONDICIONES COMERCIALES:

VALOR TOTAL DE LA PROPUESTA:

Ver precio por ítem en Dólares Americanos.

FORMA DE PAGO:

50% anticipado. Y 50% con la entrega del material.
Favor consignar en cuenta Corriente Bancolombia N° 799-29694569 a nombre de Ingeniería y Soluciones Tecnológicas.

TIEMPO DE ENTREGA:	7-8 semanas.
GARANTIA:	Aplicado por el fabricante. 12 meses.
SITIO DE ENTREGA:	Instalaciones del cliente.
VALIDEZ DE LA OFERTA:	45 días.

NOTAS:


- ✓ INSOLTEC LTDA es una empresa certificada en ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 y OSHAS 18001:2007. Estamos comprometidos con el mejoramiento continuo para ofrecer Productos y Servicios de Calidad que permitan aumentar la
- ✓ satisfacción de nuestros Clientes, mejorar la calidad de vida de nuestros Trabajadores, fortalecer la confianza con los Proveedores y proteger el Medio Ambiente.
- ✓ Favor enviar su orden de compra al correo contacto@insoltec.com.co o al fax 6531916 notificando el número de esta cotización.
- ✓ Los valores ofertados en Dólares Americanos que serán liquidados en pesos colombianos de acuerdo a la TRM de la fecha de facturación no Incluyen IVA. Se debe adicionar el IVA vigente.
- ✓ La garantía no cubre daños ocasionados por operación de los equipos fuera de las especificaciones de: Alimentación eléctrica, índice de protección atmosférica, sobre esfuerzos mecánicos, transientes eléctricos y cualquier otro motivo que pueda ser considerado negligencia, impericia o fuerza mayor.

Atentamente,

Edinson Librando Pico
Ejecutivo Comercial
Insoltec Ltda.

3163748498

ANEXO B: Cotización Instalación sensor de flujo tipo Coriolis.

	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION OHSAS – SGC - SGA	Código: GCO-FO-01	
	COTIZACION	FECHA: 2014-01-03	Versión 1

COTIZACIÓN C-2017-049

Bucaramanga, Junio 28 de 2017

Señores:

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA Atte. Ing.
JUAN CARLOS MANTILLA.
 Ciudad.

De la manera más atenta presentamos la siguiente cotización:

ITE	DESCRIPCION	CAN	V/R UNIT	V/R TOTAL
1	SUMINISTRO DE TUBERIA EN ACERO INOX DE 1 PULG INOXIDABLE SAE 304. PARA INSTALAR APARATO DE MEDICION.		\$ 3'850.000.00	\$ 3'850.000.00
	<input type="checkbox"/> Adaptacion de tubería con soportes.			
	<input type="checkbox"/> Adaptación bridas para aparato de medición.			
	<input type="checkbox"/> Adaptación de codos a 90°			
	<input type="checkbox"/> Adaptación de férulas para aislar aparato de medición.			
	<input type="checkbox"/> Adaptación de marco para soporte de la tubería			
	<input type="checkbox"/> Adaptación de tubería inoxidable que permita trabajo de magneto interno en tubería.			

TOTAL	\$ 3'850.000.00
--------------	--------------------

CONDICIONES DE LA OFERTA

PRECIOS+ IVA VALIDEZ DE LA OFERTA : 30 días **TIEMPO DE**
ENTREGA : 10 dias **FORMA DE PAGO :** 30 dias f.f

En espera de resolver cualquier inquietud.

Atentamente,

**Roque Julio Parra Ingeniero
Mecánico**



ING. & MAQUINAS
TELEFAX: (7) 6711446
CALLE 19 N° 15-56
BUCARAMANGA - COLOMBIA



ANEXO C: Cotización módulo de entrada digital sinking de 8 canales, 24 V (NI 9472).

Módulos de la Serie C
▶ CompactRIO
▶ CompactDAQ
▶ Entrada Analógica
▶ Salida Analógica
▶ Digital y Contador/Temporizador
▼ Salida Digital y Generación de Pulsos
▶ Bidireccional, LVTTTL, MIO, 1 µs, 4-Ch
▶ Bidireccional, 5V/TTL, 100 ns, 8-Ch
▶ Bidireccional, LVTTTL, 55 ns, 4-Ch
▶ Bidireccional, 5V/TTL, 7µs, 32-Ch
▶ 8 Ch, 100 µs, 24 V, Sourcing
▶ 8 Ch, 1 µs, 24 V, Sourcing
▶ 8-Ch 60 V, 1 US, Sourcing Digital Output Module
▶ Módulo de Relé SPST, 60 VDC/250 Vrms, 4 Canales
▶ 32-Ch, 500 µs, 24 V, Sourcing
▶ 32-Ch, 8 µs, 5 V to 60 V, Sinking
▶ 16 Ch, 7 µs, 0V – 50V, Sinking Digital Output, Programmable Current Limits
▶ 4 Ch 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A) EM Form A SPST Relay
▶ 8-Ch 60 VDC (750 mA) Solid State Relay
▶ 24V Combo, 16-ch DI, 16-ch DO
▶ Temporización y Sincronización
▶ AS-i Comunicación
▶ LIN Comunicación
▶ CAN Comunicación
▶ CANopen Comunicación
▶ DeviceNET Comunicación
▶ HART Comunicación
▶ PROFIBUS Comunicación
▶ PROFINET Comunicación
▶ Serial (RS232 & RS485)
▶ Módulos de Control del Tren de Potencia para NI CompactRIO

NI 9472

Módulo de Salida Digital Sourcing de 8 Canales, 24 V



[\[+\] Ampliar Imagen](#)

Desde **COP 407.000** (vea opciones de precios)

[Ver Hoja de Especificaciones \(inglés\)](#)

- Salidas digitales de 8 canales de 100 µs
 - Salidas digitales tipo sourcing, rango de 6 V a 30 V
 - Compatibilidad con contadores CompactDAQ
 - Aislamiento de 60 VDC, CAT I (D-SUB) o 250 Vrms, CAT II (terminal de tornillo)
 - Opciones de conector D-SUB de 25 pines o de terminal de tornillo de 10 posiciones
 - Temperatura de operación de -40 °C a 70 °C, 5 g de vibración, 50 g de impacto
- [Configurar un Sistema CompactRIO o NI CompactDAQ Completo](#)
[Ver Recursos de Soporte](#)

Información General	Especificaciones	Precios	Servicios	Recursos
---------------------	------------------	---------	-----------	----------

Para usar el NI 9472, necesita todos los productos en el diagrama a continuación. Seleccione la Opción 1 si ya posee un Sistema de la Serie C o la Opción 2 si aún no posee un chasis, controlador o software.

Mueva los iconos de abajo y conozca por qué necesita cada producto en el sistema.

Sistema de la Serie C



NI 9472 y Accesorios Únicamente

Opción 1: NI 9472 y Accesorios Únicamente

Opción 2: Sistema de la Serie C

NI 9472

- Conectividad con Terminal de Tornillo**
 Accesorios de Montaje Frontal - 779004-01 Cant. COP 407.000 cada uno
- Conectividad D-Sub** Accesorios de Montaje Frontal - 779137-01 Cant. COP 407.000 cada uno
- Conexión de Terminal de Resorte** Accesorios de Montaje Frontal - 783907-01 Cant. COP 407.000 cada uno

Accesorios Requeridos

- Connectivity Accessories - NI 9927 Strain relief, operator protection (qty 1) - 782715-01 Cant. COP 127.000 cada uno

▼ Accesorios Opcionales

- Connector Block**
- NI 9936 Extra screw-terminal block (qty 10) - 779105-01 Cant. COP 223.000 cada uno
- NI 9980 Extra spring-terminal block (qty 10) - 197991-01 Cant. COP 261.000 cada uno

Días Estimados de Envío: 9 - 14

Subtotal: COP 534.000