

**ELABORACIÓN DEL MANUAL DE CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA
DEL MEDIDOR DE FLUJO ELECTROMAGNÉTICO PROLINE PROMAG 50 W**

ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
2013**

**ELABORACIÓN DEL MANUAL DE CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA
DEL MEDIDOR DE FLUJO ELECTROMAGNÉTICO PROLINE PROMAG 50 W**

ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

MONOGRAFÍA

**JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
2013**

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Enero 2013

Bucaramanga, Enero 2013

A Dios, por darme la vida, la salud, la gracia de crecer en una familia, de mis amigos que me han acompañado, por darme la fuerza y la oportunidad de alcanzar mis metas y logros.

A mi mamá Rosmary que siempre estuvo a mi lado, enseñándome, escuchándome, apoyándome en cada decisión, haciendo su mayor esfuerzo y creyendo en mí.

A mis hermanos Sebastián, Maryory, que juntos fueron mi conciencia y mi determinación para alcanzar cada meta, logro, y sueños.

Al Ingeniero Juan Carlos Mantilla, por su apoyo, paciencia y determinismo que le pone a cada tesis, por el acompañamiento durante desarrollo con su experiencia, conocimientos y buen humor.

Al Ingeniero Emil Hernández Arroyo por su, colaboración, amabilidad, conocimientos, y experiencia en torno a la variable caudal, manejo de bombas y pérdidas de presión en tuberías.

A los Ingenieros que me brindaron la orientación en las etapas de diseño del banco de ensayo para la medición de flujo, en la instrumentación, manejo de software y normas técnicas.

Andrés Ricardo Latorre Carvajal.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Carlos Mantilla por la cordialidad, orientación, y la disposición con el cual me apoyó en las diferentes situaciones que se presentaron en el desarrollo del proyecto.

A la ingeniera Leidy Johanna Olarte Silva, por su tiempo, colaboración, apoyo y paciencia.

Al los ingenieros que nos colaboraron y personal de mantenimiento que me orientaron y aconsejaron en todos los aspectos necesarios en el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DE LA VARIABLE FLUJO Y DEL AGUA POTABLE	2
1.1. FLUJO O CAUDAL	2
1.1.1. Tipificación de los fluidos	3
1.1.2. Características del agua potable.	4
a. Parámetros mínimos del agua requeridos por el medidor Promag 50w	5
2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO ELECTROMAGNÉTICO PROLINE PROMAG 50 W .	6
2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	6
2.1.1. Tensión inducida.	6
2.2. ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO PROMAG PROLINE 50W	8
2.2.1. Elementos del medidor Promag Proline 50 w	9
a. Elementos primarios	9
b. Elementos secundarios.....	9
c. Material de fabricación del medidor de flujo 50w	11
d. Ventajas y desventajas de los medidores magnéticos	12
2.3. REQUERIMIENTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN 12	
2.3.1. Instrucciones de seguridad	12
2.3.2. Fuente de Alimentación eléctrica	13

a. Igualación de potenciales	14
2.3.3. Instrucciones de instalación	14
a. Instalación en tuberías parcialmente llenas	16
b. Orientación del instrumento	16
c. Instalación a causa de perturbaciones	18
d. Accesorios de acoplamiento o expansiones	19
e. Conexión para mantenimiento sin paro de planta	20
2.3.4. Condiciones ambientales y del proceso.....	20
2.4. PUESTA EN MARCHA DEL PROLINE PROMAG 50W	21
2.4.1. Activación del instrumento	22
a. Comprobaciones tras la instalación	22
b. Comprobaciones tras la conexión	24
2.4.2. Configuración rápida del Promag 50 W	26
a. Habilitación del modo de programación o configuraciones	27
2.4.3. Tipos de error.....	30
2.4.4. Localización y resolución de fallos	31
2.4.5. Error del Sistema y de Proceso	32
2.5. PROTOCOLO HART	32
a. Fundamentos	32
b. Comunicación digital del Proline Promag 50W.....	33

2.5.1. Conexión Hart	35
2.5.2. Respuestas de salida de corriente	36
2.5.3. Comunicación HART con el equipo DDCON100	36
a. Instalación del software DDCON100	37
b. Ejecución del Modem Hart DDCON100	39
c. Configuración Hart Offline 50 W	41
d. Configuración Online del Promag 50 W	43
e. Comunicación Hart con el Medidor de Presión LD291	47
f. Visualización de la comunicación Hart	48
3. CERTIFICADOS Y ENSAYO DE APROBACIÓN DE PATRONES	50
3.1. DEFINICIÓN NORMA NTC 1063	50
3.1.1. Términos y definiciones	50
3.1.2. Inicio del ensayo y determinación de los errores	51
a. Incertidumbre total del volumen real	51
b. Volumen mínimo	52
c. procedimiento de calibración	52
d. Interpretación de los resultados	53
3.1.3. Pruebas de volumetría Proline Promag 50 W	53
a. Histéresis	56
3.1.4. Informe de aprobación de patrones	57
RECOMENDACIONES	61
CONCLUSIONES	62

BIBLIOGRAFÍA 64

ANEXOS 66

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Estándares para Agua Potable	5
Tabla 2. Tipos de materiales de los electrodos	9
Tabla 3. Ventajas y limitaciones de los medidores magnéticos	12
Tabla 4. Accesorios del By Pass	20
Tabla 5. Condiciones ambientales.....	21
Tabla 6. Condiciones del proceso	21
Tabla 7. Verificación de indicador.....	31
Tabla 8. Mensajes de error.....	32
Tabla 9. Prueba de volumetría al mínimo caudal	54
Tabla 10. Prueba de volumetría 2	55
Tabla 11. Prueba de volumetría 3	55
Tabla 12. Prueba de volumetría al máximo caudal	55
Tabla 13. Información que debe estar reunida en un informe de ensayo de aprobación de patrones	57
Tabla 14. Estudio del medidor de agua	59
Tabla 15. Datos que se deben suministrar en el informe de ensayo de aprobación de patrones	59

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Perfil general de los fluidos	2
Figura 2. Representación de flujo laminar	3
Figura 3. Indicación del medidor	6
Figura 4. Flujo líquido a través del campo magnético del medidor 50 W	7
Figura 5. Límites del error máximo en la medida	8
Figura 6. Componentes básicos del medidor electromagnético 50w	10
Figura 7. Límites del error máximo en la medida	10
Figura 8. Cabeza del equipo	13
Figura 9. Esquema de conexiones de la alimentación y protocolo Hart	13
Figura 10. Igualación de potenciales	14
Figura 11. Posiciones incorrectas de instalación	15
Figura 12. Posiciones recomendada de instalación	15
Figura 13. Instalación del sistema de bombeo y el medidor	16
Figura 14. Configuración tipo drenaje	16
Figura 15. Configuración vertical	17
Figura 16. Configuración tipo horizontal	17
Figura 17. Configuración tipo horizontal	18
Figura 18. Instalación física del medidor, A: abrazaderas	18
Figura 19. Accesorios de acoplamiento	19
Figura 20. Accesorios de acoplamiento, D diámetro interior del medidor	20

Figura 21.	Puesta en marcha medidor Proline Promag 50 w	22
Figura 22.	Válvula tipo mariposa y manómetro	22
Figura 23.	Puesta en marcha del medidor Proline 50 W	23
Figura 24.	Reducción de las vibraciones	24
Figura 25.	Diagrama de Conexiones Eléctricas	25
Figura 26.	Instalación de las cubiertas	25
Figura 27.	Indicación del controlador local	26
Figura 28.	Matriz de funciones	27
Figura 29.	Menú de configuración rápida	28
Figura 30.	Error de fallo	30
Figura 31.	Error mensaje de aviso	30
Figura 32.	Modulación FSK	33
Figura 33.	Opciones HART	34
Figura 34.	Conexión Hart con equipo de Endress and hauser	35
Figura 35.	Conexión Hart dotado por un PC	36
Figura 36.	Calibrador DDCON100	37
Figura 37.	Medidor LD291	37
Figura 38.	Procedimiento de instalación	38
Figura 39.	Librería del DDCON100.....	39
Figura 40.	Driver para el Promag 50W	39
Figura 41.	Error al abrir software	40
Figura 42.	Instalación del driver	40

Figura 43.	Detención del modem Usb HART	41
Figura 44.	Selección del Instrumento Offline	42
Figura 45.	Información del medidor Proline 50 W	43
Figura 46.	Comunicación con el Promag 50	44
Figura 47.	Advertencia de comunicación	44
Figura 48.	Información general	45
Figura 49.	Monitor	45
Figura 50.	Rangos de medicion	46
Figura 51.	Monitoreo de la variable	46
Figura 52.	Pestanas de navegación LD291	47
Figura 53.	Información de medidor LD291	47
Figura 54.	Visualización de la Variable Presión	48
Figura 55.	Comunicación Hart	48
Figura 56.	Diseño del banco final	52
Figura 57.	Prueba de Volumetría	54
Figura 58.	Histéresis del Proline Promag 50 W	56

1. LISTA DE ANEXOS

	Pag
ANEXO A. Mensaje de error del sistema.....	67
ANEXO B. Mensaje de error de proceso	68
ANEXO C. Respuesta de la salida ante errores	69
ANEXO D. Calibración sensor electromagnético 50w	70

GLOSARIO

Trazabilidad. Está definido por la ISO como: el resultado de una medida, que está relacionada con alguna referencia específica, normalmente estándares nacionales o internacionales a través de una serie de comparaciones todas con incertidumbres específicas.

Electrodo. Es un conductor eléctrico, una celda electroquímica, puede ser ánodo o cátodo dependiendo su aplicación, y es utilizado para hacer contacto con algún elemento no metálico.

Calibración. Es el proceso de comparación entre lo que indica un medidor o instrumentó y lo que realmente debería medir dado por un patrón de referencia con valor conocido.

Golpe de ariete. Es nombrado así a la gran fuerza de expulsión de la bomba, originada cuando repentinamente de un momento a otro aumenta en gran medida la frecuencia de trabajo la bomba, creando vibraciones en la tubería.

Bypass. Hace referencia a una derivación de una trayectoria o desvió.

HART. Es una comunicación digital bidireccional, su acrónimo en ingles es Transductor Remoto Direccional en Red, es un protocolo maestro/servidor y proporciona dos canales de comunicación simultáneos, una señal analógica 4 – 20 mA y una señal digital.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ELABORACIÓN DEL MANUAL DE CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL MEDIDOR DE FLUJO ELECTROMAGNÉTICO PROLINE PROMAG 50 W

AUTOR: ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

FACULTAD: ESP. EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

RESUMEN

Se elaboró un manual del medidor de flujo electromagnético Proline Promag 50 W, donde se resumen los aspectos más importantes como son: el principio de funcionamiento, el estudio del transmisor y transductor (electrodos), las condiciones de operación, los requerimientos de instalación dados por el fabricante y lo sugerido por la norma NTC 1063 (Norma Técnica Colombiana), para asegurar el correcto funcionamiento del equipo y las características de la variable flujo.

Para que el estudiante pueda tener en un mismo documento todas las condiciones del proceso, las instrucciones de seguridad, la interfaz humano máquina, el cableado, las configuraciones iniciales para la puesta en marcha, el protocolo de comunicación HART y por último la localización y resolución de fallos que se puedan presentar durante la instalación o indicados por el medidor Proline Promag 50 W.

Como se quiere maximizar el uso del dispositivo aprovechando sus características de precisión y exactitud en la medición del flujo de agua, verificados en una prueba sencilla de volumetría, se desea ubicar el instrumento como medidor de referencia o de calibración de otras tecnologías o técnicas para el sensado del caudal, por tal razón en este manual también se encontrará resumido los ensayos para la aprobación de patrones indicados por la norma NTC 1063-3.

PALABRAS CLAVE: Flujo, Calibración, Precisión, Protocolo HART, Transmisor, Instrumentación, Metrología.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: DEVELOPMENT OF OPERATING INSTRUCTIONS FOR ELECTROMAGNETIC FLOWMETER PROLINE PROMAG 50 W

AUTHOR: ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

DEPARTAMENT: ESP. IN INDUSTRIAL CONTROL AND INSTRUMENTATION

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

ABSTRACT

The proposed manual for electromagnetic flowmeter Proline Promag 50 W summarizes the most important aspects such as: the working principle, the study of transmitters and transducers (electrodes), operating conditions, installation requirements given by the manufacturer, and guidelines provided by the NTC 1063 (Colombian Technical Standard) to ensure the proper functioning of equipment and the characteristics of the flow variable.

Students may have in one document all process conditions, such as safety instructions, human machine interface, wiring, the initial start-up settings, HART communication protocol, the location and resolution failures that may occur during installation or indicated by Proline Promag 50 W.

Since we want to maximize the use of the device using its characteristics of precision and accuracy in measuring water flow tested in a simple volume test, the instrument is taken as reference or calibration meter of other technologies or techniques for flow sensing. This manual also includes summarized the tests for pattern approval indicated by the NTC 1063-3.

KEYWORDS: Flow, Calibration, Accuracy, HART Communication, transmitter, Instrumentation, Metrology.

V° B° THESIS DIRECTO

INTRODUCCIÓN

La tendencia moderna de los procesos industriales es la búsqueda de un mejoramiento continuo, para la cual se implementan sistemas de aseguramiento de la calidad, en donde la adecuada medición de las variables de los procesos es un pilar fundamental, que asegura el óptimo intercambio de bienes y servicios.

Entre dichas variables se tiene el flujo o caudal, la cual ha acogido una gran importancia en la mayoría de procesos y que tiene una gran diversidad de métodos para su medición. El proyecto busca familiarizar al estudiante con el medidor de flujo Electromagnético Proline Promag 50 W de Endress and Hauser, donde esta técnica se ha estado empleando en más de 50 años y con una evolución constante, para el debido funcionamiento del instrumento se debe seguir las recomendaciones del fabricante, dependiendo de su uso como por ejemplo si se va a emplear como medidor de referencia, se debe hacer los ensayos de aprobación de patrones sugerido por las normas técnicas colombianas NTC 1063-3.

Debido a las grandes prestaciones del medidor electromagnético 50w, es importante tener un manual del instrumento muy completo, que contenga los detalles como su configuración, accesorios necesarios para su puesta en marcha, los componentes del medidor, tipo de comunicación, cableado, la interfaz humano maquina. Una guía completa donde los usuarios del instrumento puedan localizar y realizar la correcta resolución de fallos, donde se reúnan los ensayos indicados de la norma NTC 1063 sobre equipos y características de los medidores con capacidad de ser aprobados como referencia de comparación, brindando así credibilidad a las prácticas de laboratorio de instrumentación del edificio J de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y brindando un completo aprendizaje para el estudiante sobre la instrumentación y normatividad empleada en la industria.

El desarrollo del manual y configuración del medidor sirva como soporte para los ensayos de otros tipos de caudalímetros y que sea el inicio de partida para el montaje de nuevas tecnologías existentes en el mercado para la medición de flujo de agua potable y de los patrones relacionados al caudal.

1. GENERALIDADES DE LA VARIABLE FLUJO Y DEL AGUA POTABLE

1.1. FLUJO O CAUDAL

Está definido como la cantidad de fluido líquido, gaseoso o con elementos suspendidos, que pasa a través de una sección de tubería, o espacio definido por unidad de tiempo. Las expresiones en unidades puede estar en volumen o en masa, divididas por unidades de tiempo, por ejemplo, Cm^3/min o Kg/min . La ecuación 1, es la expresión para el cálculo de flujo volumétrico y la ecuación 2 para caudal másico. [1]

Ecuación 1. $Q = V * A$

Ecuación 2. $Qm = \rho * V * A$

Q = Caudal volumétrico [m^3/s].

Qm = Caudal másico [Kg/s].

V = Velocidad promedio [m/s].

A = Área Transversal [m^2].

ρ = Densidad [kg/m^3].

1.1.1. Tipificación de los fluidos. Se tiene gran diversidad en el comportamiento de los fluidos entre estos están: flujo laminar (estacionario), turbulento, permanente o no permanente, así como flujo uniforme y no uniforme, el perfil del caudal depende de las propiedades físicas, químicas y la fricción, la ecuación 3 números de Reynolds, es una expresión que me ayuda a determinar el comportamiento del fluido como se ilustra en la figura 1.

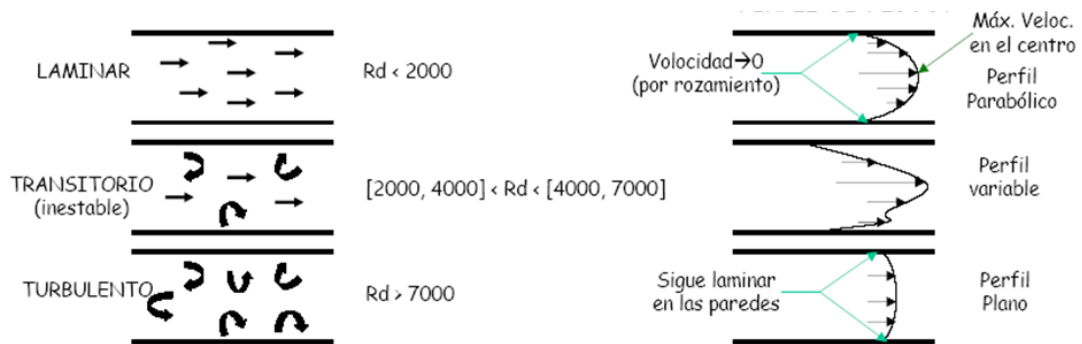


Figura 1: Perfil general de los fluidos [2]

El número de Reynolds no tiene dimensiones y está constituido por la relación entre la inercia y viscosidad. El flujo Turbulento se produce cuando llevamos al límite la máxima velocidad del fluido, dejando de comportarse linealmente permitiendo patrones irregulares y complejos ver figura 1, se caracteriza por círculos erráticos pequeños como si fueran remolinos, llamados corrientes parásitas o secundarias. El flujo turbulento normal es aquel que se presenta cuando la velocidad del fluido es mayor de 2000 (número de Reynolds), pero menor de 2500, en este estado pueden existir tanto laminar como turbulento. El flujo turbulento irregular es cuando el número de Reynolds mayor de 2500. [1]

Ecuación 3.
$$Rp = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Siendo ρ = La densidad del líquido
 V = Velocidad del paso
 D = Diámetro de la tubería
 μ = Viscosidad del producto.

Se denomina Flujo Laminar o Estacionario, si el caudal posee una velocidad constante, este hecho se debe a que las capas de moléculas del fluido se mueven una junto a otra uniformemente, siendo un movimiento ordenado. Cuando el fluido tiene mayor viscosidad mayor es su tendencia a tener un flujo laminar, como se muestra en la figura 2.

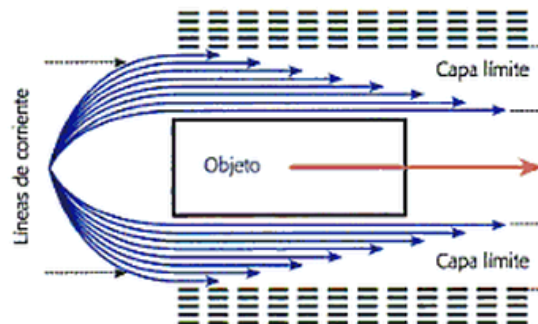


Figura 2: Representación de flujo laminar [3]

1.1.2. Características del agua potable. Debido al proceso natural del agua por ejemplo desde que se condensa en forma de lluvia, el agua está siempre disolviendo los componentes químicos y biológicos que la rodean, como el agua posee una fauna de microorganismos que es la razón principal por la cual se debe tratar para poder ser consumida por hombre, de este modo evitar perjuicios en la salud. [11]

Dependiendo el uso que se le dé al agua, son los requisitos de la misma, generalmente se clasifica el agua por los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por las normas nacionales e internacionales, el agua evaluada debe de tener aceptación universal con el fin de que pueda ser comparada por otros organismos y estándares de calidad. En la tabla 1, se presentan los parámetros permitidos en EEUU y la organización mundial de la salud (OMS).

Entre las características físicas que nos interesa tener son la conductividad que está entre [5000– 50000] $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la densidad $0.99568 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

CONTAMINANTES	EPA (EEUU)	OMS
Coliformes Totales	< 5% muestras positivas	0
Turbidez	0.5 – 1.0 NTU	1.0 NTU
Antimonio	6	--
Arsénico	50	50
Asbesto	7 x 10	--
Bario	2000	--
Berilio	4	--
Cadmio	5	5
Cromo	100	5
Flúor	4000	1500
Mercurio	2	1
Níquel	100	--
Nitrato + Nitrito	10,000	10,000
Selenio	50	10
Talio	2	--
Endrín	2	--
Lindano	0.2	3
Metoxiclor	40	30
Toxafeno	3	--
Trihalometano	100	--
Aluminio	0.5 – 0.20	0.2
Cloruro	250	250
Color	15 unidades de color	15 unidades de color
Cobre	1.0	1.0
Flúor	2.0	--

Hierro	0.3	0.3
Manganeso	0.05	0.01
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Sulfato	250	400
Zinc	5.0	5.0
Sólidos disueltos totales	500	1000

Tabla 1: Estándares para Agua Potable [11]

a. Parámetros mínimos del agua requeridos por el medidor Promag 50w. El medidor electromagnético 50 w está en capacidad de medir el caudal de líquidos como agua potable, aguas residuales, lodos de depuración con una conductividad mayor a 5 $\mu\text{S/cm}$. Para el caso de agua desmineralizada se requiere que esta tenga como mínimo una conductividad de 20 $\mu\text{S/cm}$. [7]

Como se puede ver por los datos anteriores el instrumento es óptimo para la medición del flujo, no se va tener riesgos tampoco con el recubrimiento de los electrodos porque el agua potable físicamente no es abrasiva, garantizando un periodo de vida largo. En el capítulo 2 se extenderá más la información sobre las condiciones del proceso y ambientales para el óptimo desempeño.

2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO ELECTROMAGNÉTICO PROLINE PROMAG 50 W

2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los medidores electromagnéticos son denominados así por su principio de funcionamiento, ya que en su estructura interna hay dispositivos que miden el campo magnético y la tensión inducida para calcular la velocidad y el volumen del fluido que pasa por allí, en un intervalo de tiempo, luego este dato es dirigido por una señal análoga o digital y que es mostrada en el display del instrumento o una pantalla remota ver figura 3. Es un sistema totalmente diseñado para medir el caudal volumétrico de líquido o gases pero, con la característica de tener una conductividad eléctrica.

2.1.1. Tensión inducida. Este método partió de los fundamentos de Michael Faraday (1791-1867), el cual establece que el voltaje o tensión inducida a través de un conductor y con movimiento ortogonal a un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, en nuestro caso la rapidez del fluido. [4]

Línea 1 indicación del flujo:
111. 69 l/min

Línea 2: Totalizador de
Volumen: 18110.2 dm³



Figura 3: Indicación del medidor [5]

En la ecuación 4. Se puede apreciar la fórmula que brinda Faraday, en la figura 4, interior del medidor electromagnético 50 W, se puede observar que el conductor es un elemento líquido, para nuestra aplicación agua, donde E_s , es la señal generada, y es captada por los electrodos que están ubicados en el interior del tubo y diametralmente opuesto, debido a que el campo magnético organiza las cargas eléctricas, B es la densidad del campo magnético creado por medio de bobinas, L es el diámetro de la tubería y V es la velocidad del fluido a través del instrumento.

Ecuación 4.
$$E_s = KBLv$$

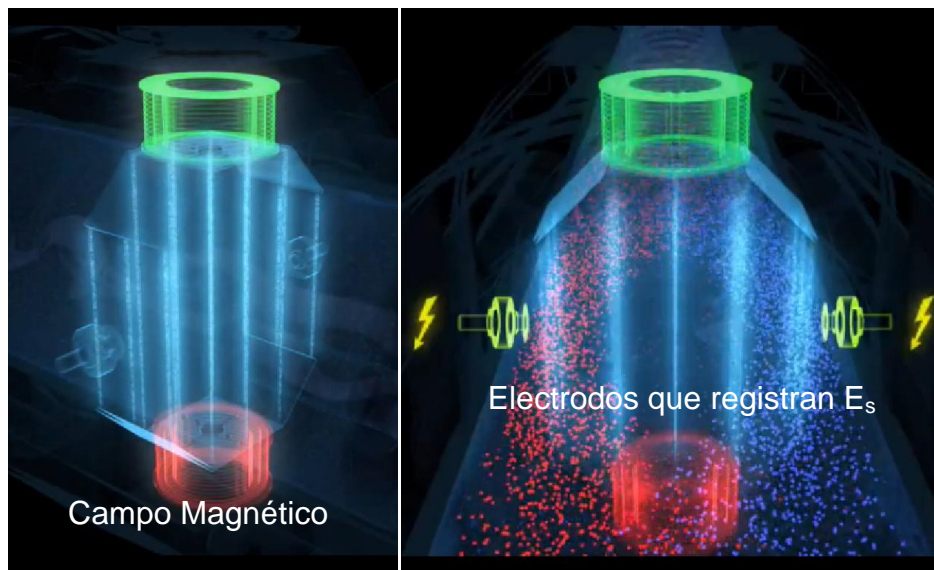


Figura 4: Flujo líquido a través del campo magnético del medidor 50 W [6]

Como se nombró en el capítulo 1, las expresiones para el cálculo de caudal (Q), y despejando la velocidad de la ecuación 4, se obtiene que dependiendo de la señal E_s y la del campo magnético B, pero que a su vez esta depende de la tensión de línea y de la temperatura del fluido, ver ecuación 5, se generan grandes perturbaciones a la hora de determinar la velocidad del fluido. [1]

Ecuación 5.
$$Q = K * \frac{E_s}{B} * D$$

Como solución al problema se determinó que comparar el voltaje en el receptor con otra tensión denominada tensión de referencia E_r que del mismo modo se deriva del campo magnético dando la ventaja que ni la tensión de línea, ni la temperatura pueda influir en la medida de la velocidad del fluido. [1]

Como segundo obstáculo se tiene la conductividad del fluido, el medidor de flujo electromagnético Proline Promag 50 W puede aplicarse a aguas con una conductividad mayor de $5 \mu\text{S/cm}$, estas aguas pueden ser residuales, potable o lodos de depuradoras. [7]

Una mejora de este tipo de instrumento es su diseño, ya que el tubo de medición tiene la sección transversal totalmente abierta, sin partes mecánicas que estén produciendo caídas de presión o pérdidas de carga, prestando así un servicio prácticamente libre de mantenimiento.

2.2 ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO PROMAG PROLINE 50W

La aplicación de este tipo de medidor es muy versátil e inmensamente utilizado en la industria alimenticia, ya que las únicas partes que están en contacto con el líquido pueden ser fabricadas de materiales con excelente propiedades físicas y químicas que no alteran el fluido, dando así como resultado un excelente instrumento y con una alta exactitud del 0.5 %, ver figura 5.

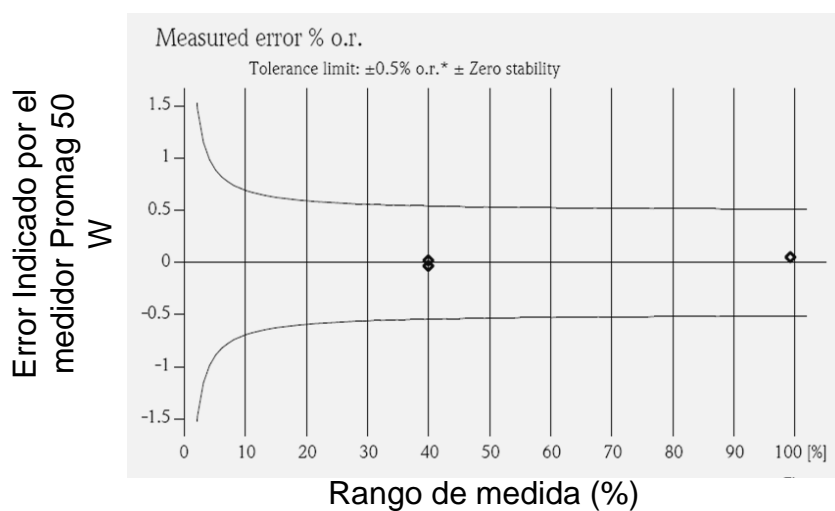


Figura 5: Límites del error máximo en la medida [7]

2.2.1. Elementos del medidor Promag Proline 50 w. Se puede dividir en dos partes primordiales, en elementos primarios conformados por las bobinas, núcleo ferromagnético y el tubo donde se hace la medición. Los elementos secundarios son el transmisor, el amplificador y accesorios. [2]

a. Elementos primarios.

- **Bobinas y núcleo ferromagnético.** Son los encargados de producir el campo electromagnético. Las bobinas pueden estar instaladas sin alguna conexión en el tubo donde se hará la medición o integrados al tubo.
- **Tubo donde se hace la medición.** El material de tubo es de acero inoxidable, debido a su conductividad debe tener un reabastecimiento para evitar cortocircuitos con la señal obtenida por el movimiento del fluido a través del campo magnético, los electrodos registran dicha señal y son de material de Tantalum o tantalio, en la tabla 2 se puede identificar las ventajas de este tipo de electrodo.

Material	Resistencia a la corrosión	Resistencia a la abrasión
Acero inoxidable 316	alta	media
Hastelloy	alta	media
Platino	Muy alta	Baja
Monel	alta	media
Tantalio	alta	media
Titanio	alta	alta

Tabla 2: Tipos de materiales de los electrodos [8]

b. Elementos secundarios.

- **Transmisor y amplificador.** Sus funciones son las de tratar la señal de los electrodos, que es el voltaje de referencia, resultado de la interacción del flujo y el campo magnético, pero como es muy pequeña, debe ser amplificada varias veces, realizar los cálculos del flujo para dar una señal

proporcional al caudal y eliminar las perturbaciones de fuerzas electromotriz, compensar las señales de alimentación, frecuencia e intensidad del campo magnético, suprimir las corrientes parásitas y digitalización de la señal para diversos usos. [2]

En la figura 6 y figura 7 se puede distinguir los componentes básicos del medidor electromagnético 50w, y la posición de los electrodos.

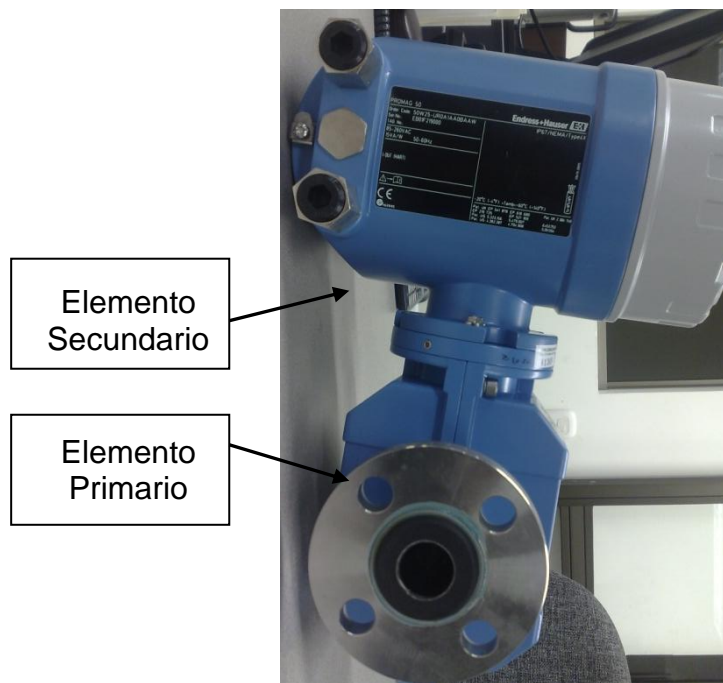


Figura 6: Componentes básicos del medidor electromagnético 50w [7]

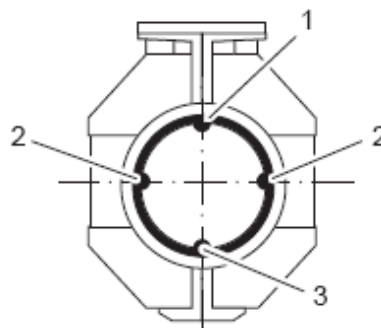


Figura 7: Limites del error máximo en la medida [7]

- Donde:
1. EPD Electrodo de Detección de Tubería Vacía.
 2. Medidores de voltaje (Electrodos de Tantalio)
 3. Electrodo de referencia para igualación de potencial.

c. Material de fabricación del medidor de flujo 50w.

➤ Caja del transmisor:

- Caja compacta: aluminio fundido con pulvimetalizado

Cabezal del sensor:

- DN 25...300: aluminio fundido con pulvimetalizado

➤ Tubo de medición:

- DN < 350: acero inoxidable 1.4301 o 1.4306/305L.

➤ Brida:

- DIN : Acero inox. 1.4571, ST37 / FE 410W B
- ANSI: A105, 316L con recubrimiento de protección Al/Zn
- AWWA: A105
- JIS: S20C, SUS 316L

➤ Discos de puesta a tierra:

- Estándar: 1.4435/316L
- Opcional: Hastelloy C-22

➤ Electrodo:

- Standard: 1.4435
- Opción: Hastelloy C-22, Tantalum

d. Ventajas y desventajas de los medidores magnéticos.

Ventajas	Desventajas
No genera pérdidas de presión en el fluido, recomendado a procesos que fluyen por gravedad o en fluidos Cercanos al punto de vaporización.	Algunos fluidos a medir pueden tener depósitos que quedan sobre los electrodos y la medición sería errónea
Se aplica tanto a flujo laminar como turbulento porque no depende de la viscosidad.	Su costo es relativamente alto.
La tubería puede ser de material no conductor la cual es ventajosa para evitar o resistir la corrosión.	No es utilizable en gases por la baja conductividad.
Permite la medición de caudales bidireccionales.	
No tiene partes móviles, por lo que es confiable y de bajo mantenimiento	
La precisión es relativamente alta	

Tabla 3: Ventajas y limitaciones de los medidores magnéticos [9]

2.3 REQUERIMIENTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN

A continuación se dará una guía donde se resume los procedimientos de ensamble, instrucciones de seguridad, identificación, instalación, cableado, configuración, accesorios y datos técnicos del medidor electromagnético 50 W.

2.3.1 Instrucciones de seguridad. El uso correcto del equipo o del medidor debe ser utilizado exclusivamente para medir flujo de fluidos conductores de electricidad en tubería cerrada, no puede funcionar correctamente si la tubería está parcialmente llena. Una posición recomendada es la instalación del medidor en posición vertical, con el líquido fluyendo hacia arriba. Esta práctica asegura dos objetivos, el primero: el tubo se mantiene lleno de líquido incluso en aplicaciones de bajo caudal y bajo presión de descarga a la atmósfera, el segundo objetivo es

que los sedimentos o incrustaciones que pueden ser parte del fluido de proceso no se van a depositar o acumular en el revestimiento y/o electrodos.

2.3.2 Fuente de Alimentación Eléctrica. En el cabezal de equipo 50w se hace la instalación de energía para el funcionamiento del equipo ver figura 8 y en la figura 9 está el diagrama eléctrico y la conexión del protocolo Hart.



Figura 8: Cabeza del equipo [5]

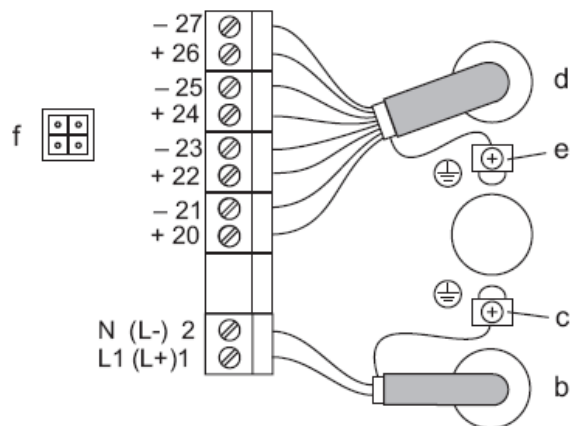


Figura 9. Esquema de conexiones de la alimentación y protocolo Hart [7]

Para entender mejor la conexión de los terminales en la figura 9 se tiene que:

- b. Es el cable de alimentación de 86 a 260 V AC, potencia absorbida de 15 VA/ 15 W, conector N^o 1: L1 es para la línea de AC y conector N^o 2: Neutro.
- c. Terminal de tierra.
- d. Cable de salida de corriente del protocolo HART, Terminales 26 (+) y 27 (-).
- e. Terminal de tierra para la pantalla del cable de señal.

a. Igualación de potenciales. Para garantizar un buen funcionamiento del instrumento 50W y obtener una medición precisa, el medidor y el fluido deben tener el mismo potencial eléctrico, como lo indica la figura 10, no es necesario aterrizar a tierra el flujo porque el Promag 50W cuenta con un electrodo de referencia igualando los potenciales requeridos.

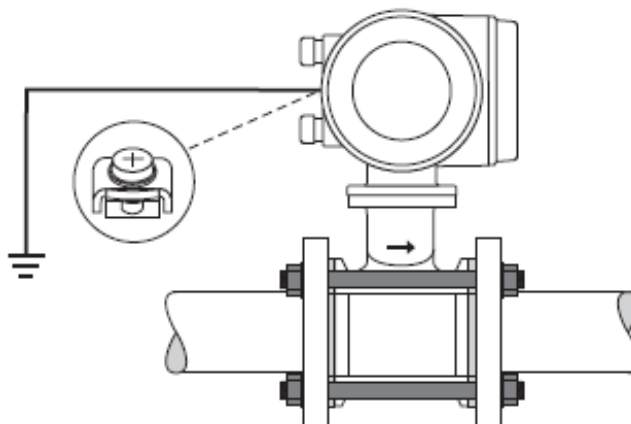


Figura 10: Igualación de potenciales [7]

2.3.3 Instrucciones de instalación. La buena toma de medida solo es correcta si la tubería está llena. Se debe evitar lugares como el punto más alto de una línea de tuberías por riesgo de acumulación de aire o una posición directamente aguas arriba de una tubería libre en tubo vertical por diferencia de presiones que pueden llegar a interferir en la medida ver figura 11.

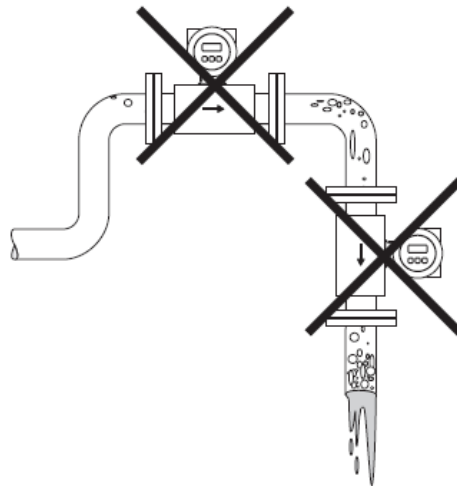


Figura 11: Posiciones incorrectas de instalación [7]

La instalación más recomendada es la que se muestra en la figura 12, para el aprovechamiento del electrodo de detección de tubería vacía, respetando la restricción de 2 diámetros nominales (DN) aguas arriba del medidor.

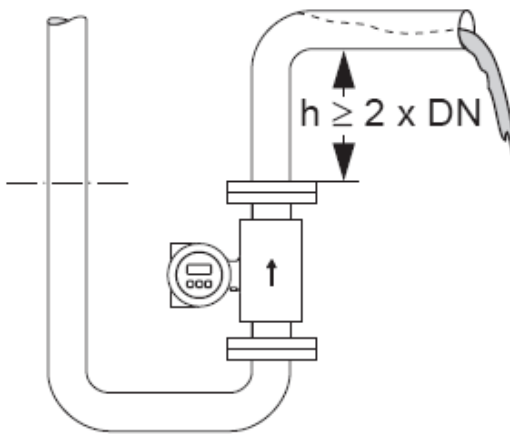


Figura 12: Posiciones recomendada de instalación [7]

Una recomendación es no instalar el sensor en el lado de aspiración de una bomba, debido a que se puede originar depresiones por consiguiente un daño en el revestimiento del equipo del tubo de medición. De ser necesario se puede instalar amortiguadores de impulso en el sistema de succión y expulsión que incorpora las bombas, ver figura 13.

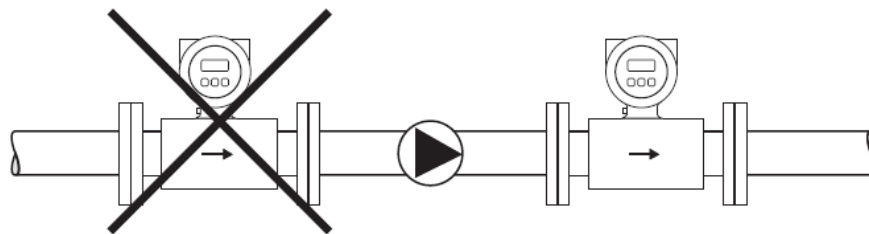


Figura 13: Instalación del sistema de bombeo y el medidor [7]

a. Instalación en tuberías parcialmente llenas. Dado el caso se debe disponer el medidor en una configuración tipo drenaje. De este modo se ofrece una protección adicional, gracias al sensor DVT (detección de tubo vacío). Dependiendo de fluido si trae partículas suspendidas, no instalar el sensor en el punto más bajo del drenaje o instalar un accesorio que permita realizar la limpieza del medidor, en la figura 14 se puede apreciar las distancias mínimas aguas arriba y abajo para el correcta funcionamiento del instrumento.

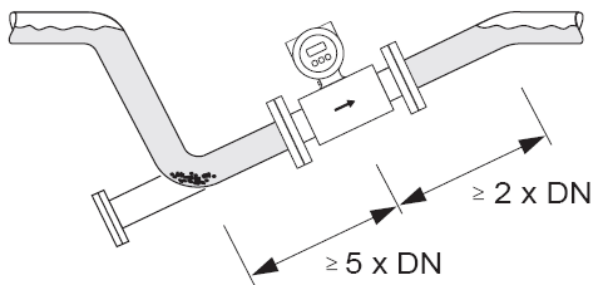


Figura 14: Configuración tipo drenaje [7]

b. Orientación del instrumento. Una posición óptima beneficia a evitar acumulaciones de gases o de aire o descomposición del tubo de medición, visto anteriormente, el medidor electromagnético 50 W Promag ofrece una alta gama de posiciones para su instalación y garantizar la medida hasta en fluidos problemáticos.

- **Orientación vertical.** Esta posición es muy ventajosa cuando se necesita un autovaciado de la tubería y para ser usado como sistema de seguridad por el sensor de tubo vacío o ausencia de fluido, ver figura 15.

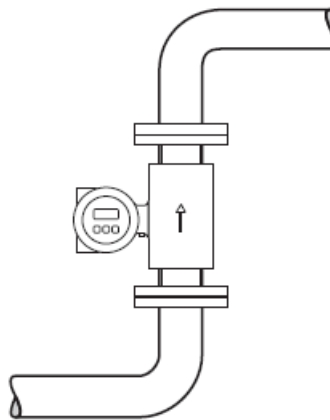


Figura 15: Configuración vertical [7]

- Orientación horizontal.** No es una posición recomendada debido a la posición de los electrodos, ello impide el aislamiento momentáneo o hay un deterioro del recubrimiento de los dos electrodos que perciben el voltaje como consecuente del arrastre de burbujas de aire. Hay que tener en cuenta que la detección de tubo vacío no funcionara correctamente o si esta llenado parcialmente, ver figura 16 realizada con la herramienta Solidworks, debe haber una distancia mínima de 5 DN aguas arriba para la instalación de cualquier accesorio y de 2 DN aguas abajo para el correcto funcionamiento del instrumento y en la figura 18 se puede apreciar la instalación real que se dispuso en el banco propuesto para la medición de flujo de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

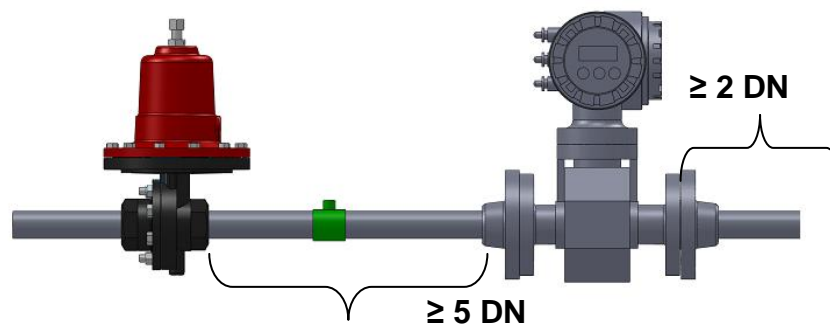


Figura 16: Configuración tipo horizontal [7]

c. Instalación a causa de perturbaciones. Dada la situación en que las vibraciones son fuertes debido al impulso del sistema de bombeo o golpe de ariete etc. La instalación se debe hacer como se ilustra en la figura 17, la longitud L se da cuando es menor a 10 m. En la figura 18 se puede apreciar la disposición de unas abrazaderas tanto aguas arriba como aguas abajo del medidor para evitar dichas perturbaciones y respetando las distancias mínimas ofrecidas por el fabricante.

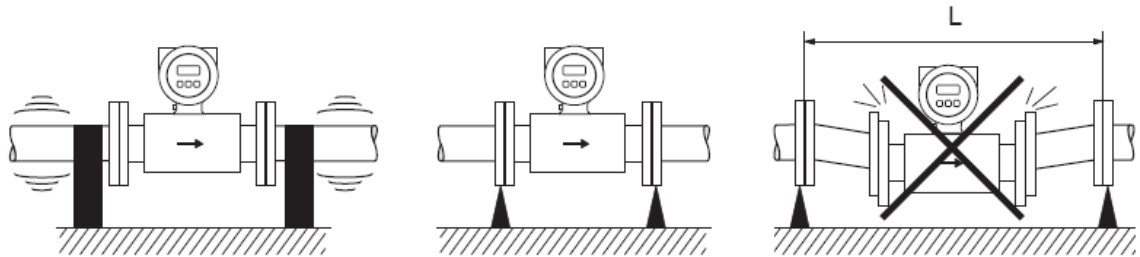


Figura 17: Configuración tipo horizontal [7]

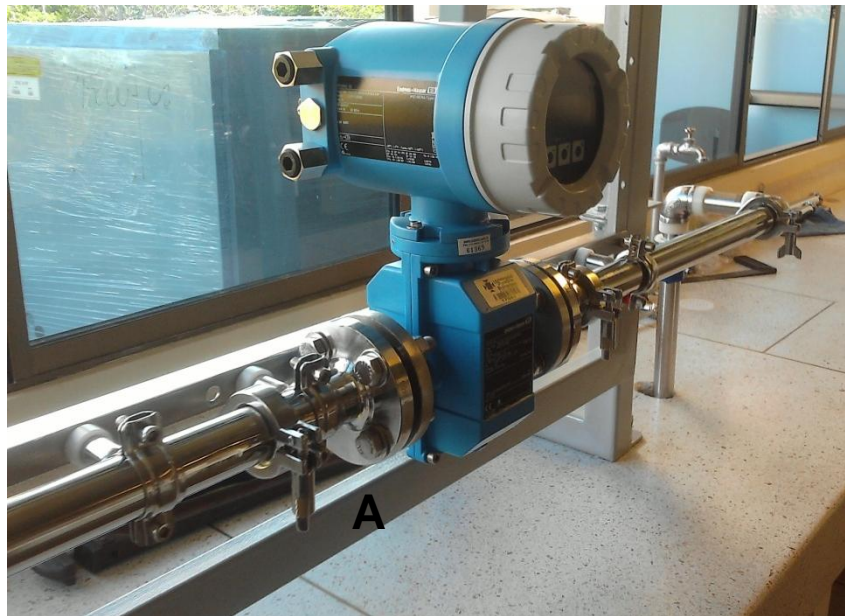


Figura 18: Instalación física del medidor, A: abrazaderas [5]

d. Accesorios de acoplamiento o expansiones. Si se va hacer la instalación de medidor con un diámetro inferior al de la tubería, se pueden utilizar adaptadores según la norma DIN en 545 (empalmes de doble brida). El aumento de caudal resultante es un desmejora en la precisión de la medida del instrumento, es recomendado para el caso de que la velocidad de fluido sea pequeña, en la figura 19 puede ser de ayuda para el cálculo de pérdidas por reductores y expansiones, hay que aclarar que solo es útil para líquidos con la misma viscosidad que el agua.

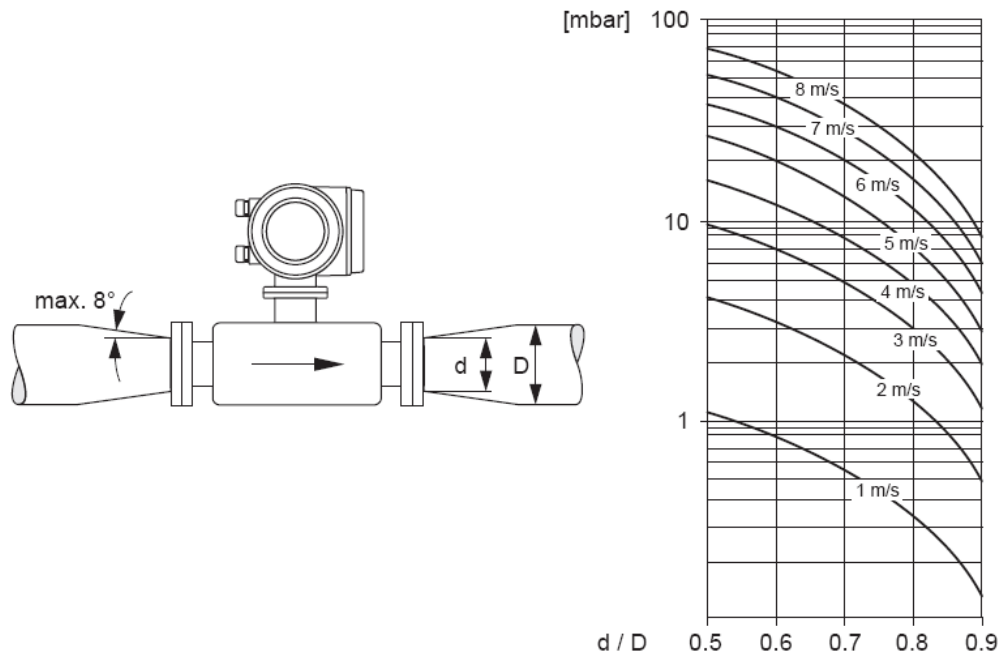


Figura 19: Accesorios de acoplamiento [7]

Para entender mejor el gráfico se debe realizar el cálculo de la relación de los diámetros d/D , luego leer el valor de la pérdida en función de la velocidad del fluido. En conclusión a menor caudal y a menor relación, menor pérdida de presión, a medida que aumenta la velocidad del fluido directamente se acrecientan las pérdidas.

e. Conexión para mantenimiento sin paro de planta. Los arreglos de tubería de los medidores electromagnéticos deben colocarse de acuerdo al esquema de la figura 20, este mismo diseño puede ser utilizado en el caso de pozos y tanques de regulación. La razón del Bypass es por la practicidad del mantenimiento del equipo, en la tabla 4 se puede conocer la simbología de cada accesorio. [10]

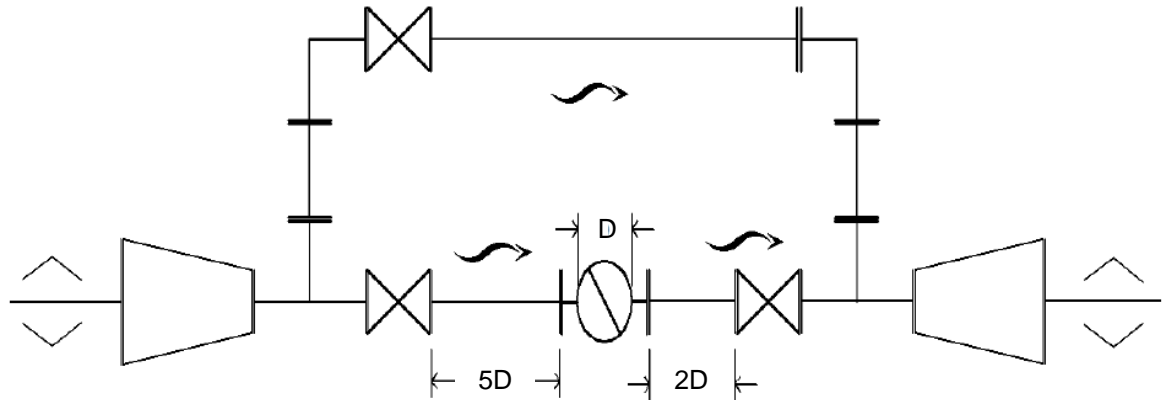


Figura 20: Accesorios de acoplamiento, D diámetro interior del medidor [10]








	Medidor Electromagnético 50W
	Válvula
	Codo
	Carrete
	Tee
	Reducción
	Extremidad

Tabla 4: Accesorios del By Pass [10]

2.3.4 Condiciones ambientales y del proceso. En las tablas 5 y 6 se resumen las condiciones del fluido y ambientales para garantizar un óptimo desempeño.

Temperatura ambiente de trabajo	-20 a +60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-10 a + 50 °C
Grado de protección	IP 67 para el transmisor y sensor
Resistencia a los impactos y vibraciones	Según lo establecido en IEC 68-2-6, aceleración hasta 2 g.
Compatibilidad electromagnética	Según EN 61326 y según recomendación NAMUR NE 21

Tabla 5: Condiciones ambientales [7]

Algunas recomendaciones ambientales son: Instalar el equipo en un lugar sombreado, evitar la radiación solar directa. Si se va almacenar la temperatura adecuada es 20 °C.

Rango de temperatura del fluido circulante	-20 a +70 °C
Conductividad	$\geq 5 \mu\text{S/cm}$
Rango de presión del fluido circulante (presión nominal)	5 a 25 Psi
Caudal limitante	20 a 145 l/s

Tabla 6: Condiciones del proceso [7]

- Se debe tener en cuenta que no existe pérdida de carga si se instala el medidor con el mismo diámetro nominal.

2. 4. PUESTA EN MARCHA DEL PROLINE PROMAG 50 W.

La instalación del medidor se hizo en el laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, en un banco diseñado solo para la medición de caudalímetros de diferentes tecnologías bajo la guía de la norma NTC 1063, ver figura 21. EL banco cuenta con un sistema de control por medio de un variador de la marca Danfoss y una bomba de de 1 hp, en la línea de

ensayo se cuenta con una válvula tipo mariposa y un manómetro antes de instrumento como se observa en la figura 22.



Figura 21: Puesta en marcha medidor Proline Promag 50 w [5]

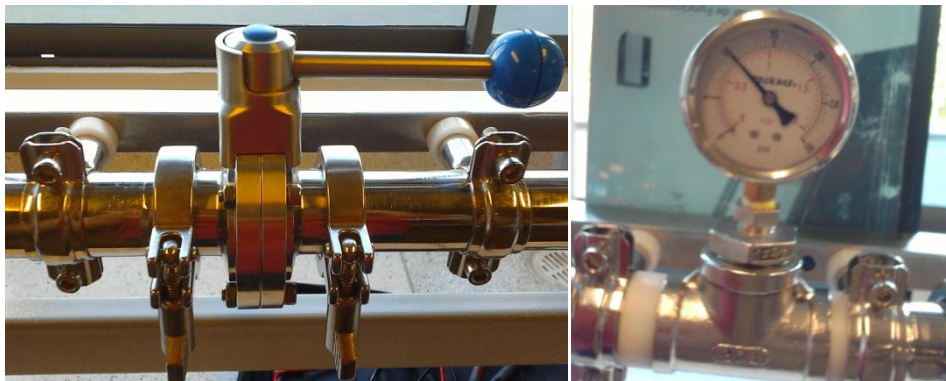


Figura 22: Válvula tipo mariposa y manómetro [12]

2.4.1. Activación del instrumento.

a. Comprobaciones tras la instalación.

- ¿El equipo ha sufrido algún daño? Es una inspección visual el cual consiste en revisar si durante la instalación el instrumento fue golpeado o afectado de modo que pueda no funcionar correctamente o dificulte el manejo de la programación o la indicación del instrumento.

- ¿El equipo cumple las especificaciones del punto de medida, incluyendo las de presión y temperatura de proceso, temperatura ambiente, conductividad mínima del líquido, rango de medida, etc.? se trabajara a una temperatura aproximada de 24 - 27 °C, la presión no excede la capacidad nominal del equipo, el flujo máximo del equipo es de 146.5 l/min que es igual a la capacidad máxima de la bomba. [12]
- ¿Se han respetado los tramos rectos de entrada y salida requeridos? Se fue muy estricto es la instalación del equipo, la distancia aguas arribas es > 1.5 m, equivalente a más de 50 DN y aguas debajo de 20 DN. Como se puede ver en la figura 23.



Figura 23: Puesta en marcha del medidor Proline 50 W [12]

- ¿El equipo se encuentra protegido contra la humedad y la irradiación solar directa? El equipo está ubicado en el interior del laboratorio de instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, junto a ventanas polarizadas.
- ¿Se ha protegido adecuadamente el sensor contra las vibraciones?, toda la tubería está sujeta al diseño del banco por medio de agarraderas como se

ilustra en la figura 24, de este modo se disminuye las vibraciones originadas por la bomba y el impulso del liquido sobre la tubería.

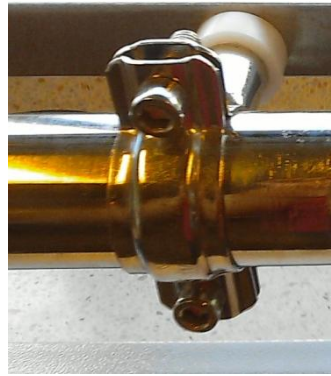


Figura 24: Reducción de las vibraciones [12]

b. Comprobaciones tras la conexión.

- ¿El cableado ha sufrido algún daño? Es una inspección visual el cual consiste en revisar si durante la instalación de la alimentación o de la adquisición de las señales del instrumento, las conexiones no cumplen con lo adecuado.
- ¿Están correctamente conectados los cables de la alimentación eléctrica y los cables de señal?, En la figura 25 se puede apreciar la conexión eléctrica del instrumento.
- ¿Se han tomado correctamente medidas para la puesta a tierra/Igualación de potencial?, se aterrizó el instrumento y el agua al mismo punto de tierra, ver figura 25.
- ¿Se han instalado todas las cubiertas de la caja y se han apretado fuertemente?, Para la puesta en marcha la tapa de indicación debe estar bien ajustada del mismo modo la tapa de las conexiones de energía y del protocolo Hart, para evitar accidentes, ver figura 26.

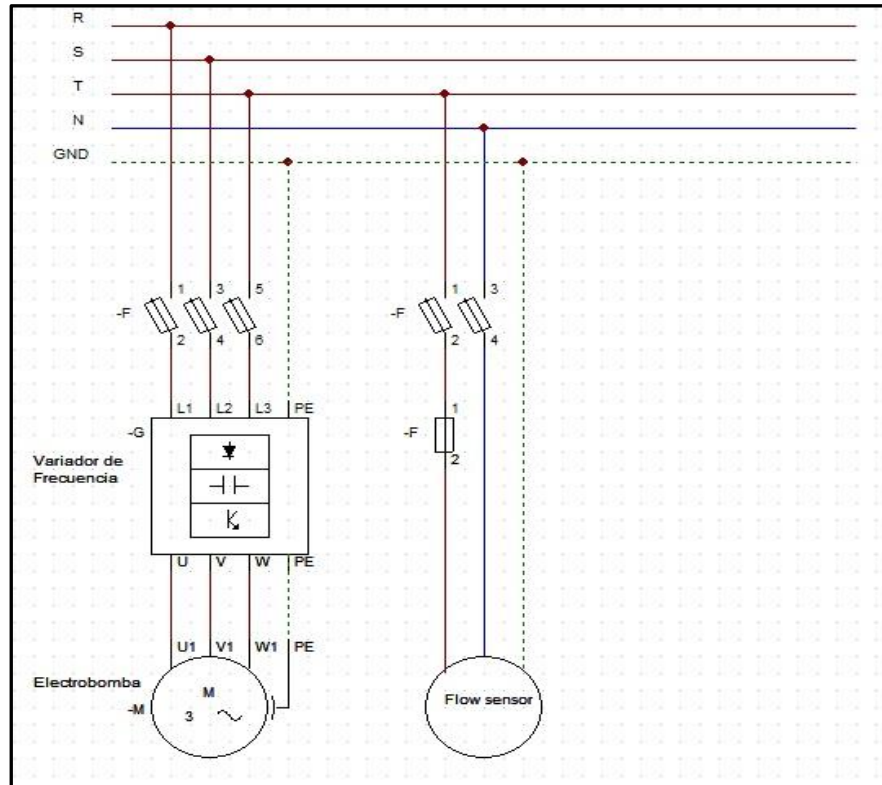


Figura 25: Diagrama de Conexiones Eléctricas [12]



Figura 26: Instalación de las cubiertas [5]

2.4.2. Configuración rápida del Promag 50 W. El controlador local permite leer todos los parámetros, la variable de medida y configuraciones del equipo. La pantalla de cristal líquido es la que me permite leer las configuraciones, está compuesta por dos líneas, la cuales puede indicar: dirección de flujo, tubería parcialmente llena, gráfico de barras, errores, etc. dependiendo la configuración se puede modificar las variables mostradas, ver figura 27. [7]



Figura 27: Indicación del controlador local [5]

Donde:

- Línea superior: Presenta los valores de medición primarios, p. ej., caudal volumétrico en [ml/min] o en [%].
- Línea inferior: Presenta las variables medidas adicionales y las variables de estado, p. ej., lectura del totalizador [m³], gráfico de barras, designación del punto de medida.

Para la configuración del controlador local, se tienen 3 teclas que se pueden apreciar en la figura 27. Las teclas más/menos son para: introducir valores numéricos, seleccionar parámetros, para seleccionar distintos grupos funcionales de la matriz de funciones, ver figura 28. La tecla Intro desde la posición de INICIO, se entra a la matriz de funciones, guardar los valores numéricos entrados o parámetros de configuración modificados. [7]

Si Pulsa simultáneamente las teclas +/- puede salir paso a paso de la matriz de funciones o también Cancelan la entrada de un dato., para llegar a la posición de INICIO se deben pulsar durante más de 3 segundos las teclas +/- .

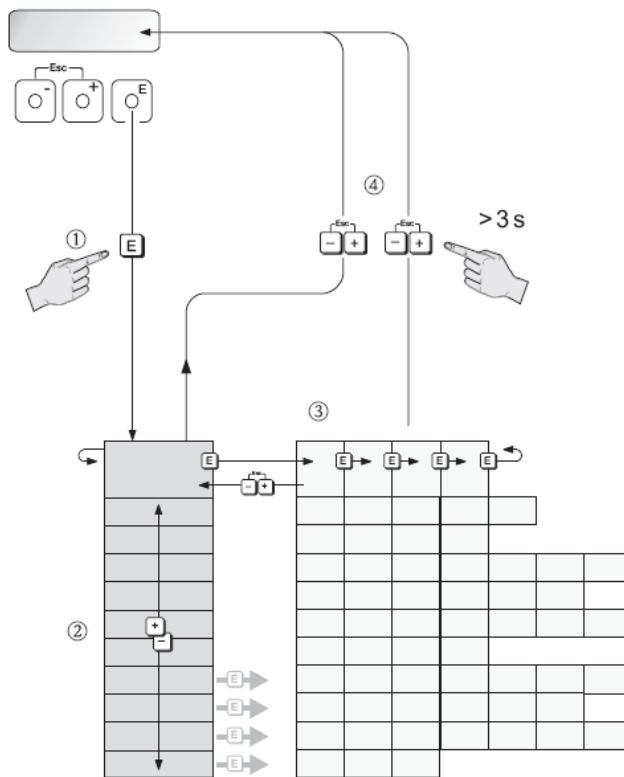


Figura 28: Matriz de funciones [7]

a. Habilitación del modo de programación o configuraciones. Debido a protecciones de seguridad, la matriz de programación puede inhabilitarse, para poder ajustar algún cambio imprevisto se debe introducir el código numérico 50, que es impuesto de fábrica. Si utiliza algún otro código impuesto, elimina toda posibilidad de que cualquier persona no autorizada ingrese a los datos. Si la programación está bloqueada y usted pulsa los elementos de configuración +/- en una función cualquiera, aparece automáticamente una indicación en la pantalla pidiéndole que introduzca el código. Si escoge "0" como código privado, entonces la programación estará siempre habilitada. La organización de servicios de Endress and Hauser le brindará la ayuda necesaria en caso de que olvide su código personal. [7]

En la figura 29 se encuentra el menú de configuración rápida de puesta en marcha, es un menú sistemático con las configuraciones más importantes del equipo. En el numeral 2.5.3.d, se puede realizar las mismas configuraciones pero por medio del Protocolo HART, siendo este proceso más sencillo de hacer.

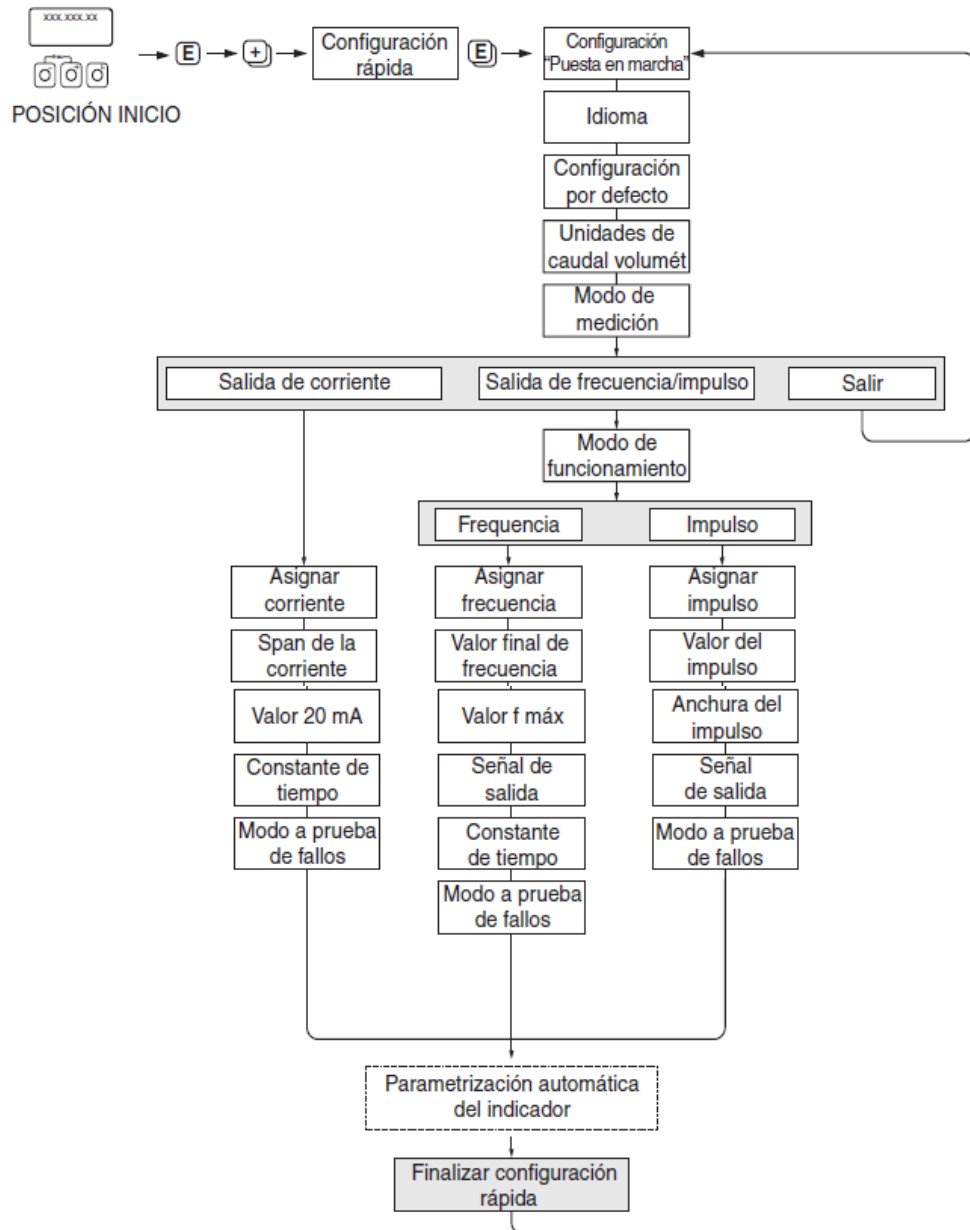


Figura 29: Menú de configuración rápida [7]

- Primero: Presionamos la tecla E, con los navegadores +/- , posesionarse en “Quick Setup ” y de nuevo E.
- Segundo: Navegamos (+/-) buscando “QS Commission” luego E, posteriormente en “Language”, se introduce el código 50 y se confirma con E, se selecciona el idioma español y de esta manera se puede entender el menú de navegación de la figura 29. Para devolverse o salir presionamos al mismo tiempo las teclas +/-.
- Tercero: Se debe configurar las unidades de medida, el medidor ofrece una alta gama de unidades pero la más opcional es lt/min, ya que esta nos permite diseñar más fácil la duración de cada ensayo y el volumen ocupado. Se repite el paso primero y seleccionamos con E la opción “unidades de caudal Volumet”, con las teclas +/- variamos entre las diferentes opciones hasta llega a “lt/min”, para salir presionamos al mismo tiempo las teclas +/-.
- Cuarto: Se entra al módulo “Módulo de medición”, allí encontramos 2 submenús, para la puesta en marcha final, solo es necesario configurar “Salida de Corriente” se entera presionando E, si está bloqueado de nuevo se ingresa el código 50 y se confirma la contraseña con E, se configura el rango de medida en “Valor de 20 mA” allí introducimos 150 lt/min, este valor es debido a que la bomba solo es capaz de entregar aproximadamente 145 – 147 lt/min. El medidor Promag 50W por una regla de tres, determina el valor más bajo del flujo para la señal analogía de 4 mA.

El valor más bajo de flujo entregado por la bomba es de 55 lt/min, lo que no es un problema ya que el valor mínimo detectado por el medidor Promag 50W es de 30 lt/min.

- Quinto: Poner en marcha el variador de velocidad y la bomba, ver figura 56 el sistema completo, del banco de ensayo de caudalímetros hecho en la herramienta de software SolidWork.

2.4.3. Tipos de error. Los diferentes tipos de errores que pueda presentarse en el proceso o del equipo, se indican inmediatamente en el medidor. Dado el caso que haya dos errores al mismo tiempo, se mostrara el que tenga mayor prioridad, en la figura 30 se puede apreciar un ejemplo de error.

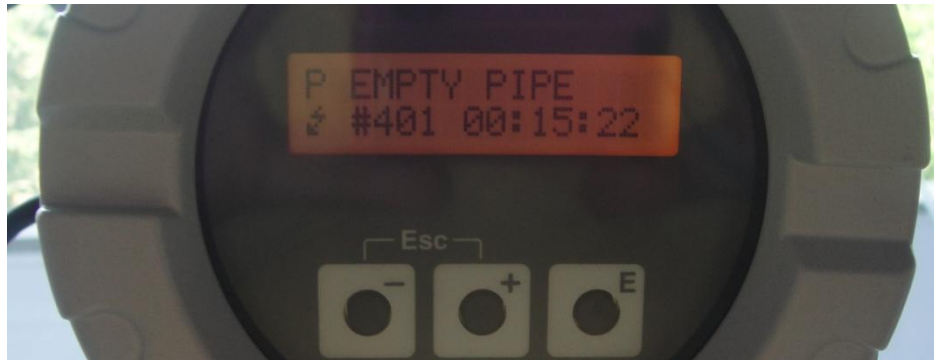


Figura 30. Error de fallo [5]

En la primera línea del display se muestra el tipo de error, **P** si es de proceso o **S** si es del sistema como lo indica la figura 31. En la segunda línea el tipo de error si es un relámpago (⚡) es un mensaje de fallo.

Si es un signo de admiración (!), es un mensaje de aviso que no tiene ningún efecto sobre las salidas del equipo de medida. Después de estos símbolos sigue el número de error # 401 (el tubo de medición sólo está parcialmente lleno o está completamente vacío) y la duración del error sin solucionarse.

Se debe tener precaución en el caso del relámpago, porque el error si perjudica las señales de salida del instrumento, la más común es el MODO DE ALARMA que se explicaran más adelante.



Figura 31: Error mensaje de aviso

2.4.4 Localización y resolución de fallos. Se debe tomar como referencia las siguientes tablas 7 y 8, donde se reúne unas series de verificaciones para empezar con la localización de error, que puede surgir durante la puesta en marcha o en el transcurso del funcionamiento del equipo. Puede que esta guía lo conduzca hacia la causa del problema.

Verificación del Indicador	
No hay indicaciones visibles ni señales de Salida.	<p>1. Revise la fuente de alimentación → Terminales 1,2. 2. Revise el fusible de la línea de fuerza → 85 a 260 VCA/ 16 a 62 VCC: 2 A fusión lenta/250 V. Electrónica de medición defectuosa → pida una pieza de repuesto (ver páginas del manual del fabricante 92 y 77)</p>
No hay indicaciones visibles, pero si señales de salida.	<p>1. Compruebe si el conector del cable cinta está bien enchufado en la tarjeta de amplificación 2. Módulo indicador defectuoso → pida un repuesto Electrónica de medición defectuosa → pida una pieza de repuesto (ver páginas del manual del fabricante 88 y 77)</p>
Los textos que visualiza el indicador están en idioma extranjero	<p>Desconecte la fuente de alimentación. Apriete y mantenga apretado los dos botones pulsadores +/- y conecte el equipo de medición. El texto de la indicación aparecerá en inglés (por omisión) y se visualizará con el máximo contraste.</p>
Se visualizan valores medidos pero no hay señal en la salida de corriente o de impulso.	<p>Tarjeta Electrónica defectuosa → pida un repuesto (ver páginas del manual del fabricante 77)</p>

Tabla 7: Verificación de indicador [7]



Mensajes de error Visualizados en el Indicador	
<p>Los errores que ocurren durante la puesta en marcha o durante el proceso de medición se señalan inmediatamente en el indicador.</p> <p>-Tipo de error: S = error de sistema, P = error de Proceso. -Tipo de mensaje de error:  = mensaje de fallo. ! = mensaje de aviso</p> <p>- Ejemplo. El tubo de medición está parcialmente lleno o completamente vacío: TUBERIA VACIA = tipo de error, p. -03:00:05 =duración del error ocurrido en horas/ minutos/segundos - # 401 = numero del error.</p> <p>Ojo. El sistema de medición interpreta simulaciones y el modo de espera como errores del sistema, pero son señala de aviso.</p> <p style="text-align: center;">(ver páginas del manual del fabricante 62)</p>	
Numero del error: Núm. 001-399 Núm. 501-699	Se ha producido un error de sistema (fallo del equipo) (ver páginas del manual del fabricante 81)
Numero del error: Núm. 401- 499	Se ha producido un error de proceso (error de aplicación) (ver páginas del manual del fabricante 83)
Otro error (sin mensaje)	
Se ha producido algún otro error.	Diagnósis y rectificación (ver páginas del manual del fabricante 84)

Tabla 8: Mensajes de error [7]

2.4.5. Error del Sistema y de Proceso. Recordemos que el equipo siempre indicara los mensajes de fallo con un relámpago () , que inciden directamente con la salida del instrumento y los mensajes de aviso con un signo de admiración (**!**), ver los anexo A y B.

2.5 PROTOCOLO HART.

a. Fundamentos. Es una técnica de comunicación bidireccional con instrumentos inteligentes sin alterar la señal analógica de 4 a 20 mA, ambas señales la analógica y la de comunicación digital HART (High way-Addressable-. Remote-

Transducer o Transductor Remoto Direccional en Red) pueden ser transmitidas simultáneamente sobre el mismo cable. [15]

El protocolo HART usa la norma Bell 202, modulación por desplazamiento de frecuencia MDF (FSK en inglés), ver figura 32.

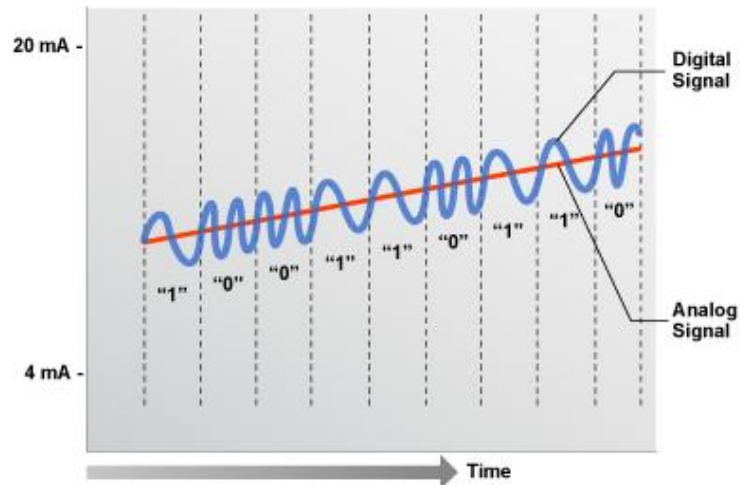


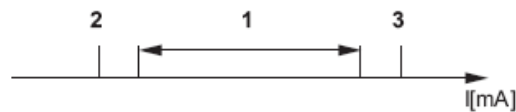
Figura 32. Modulación FSK [15]

b. Comunicación digital del Proline Promag 50W.

El modelo Proline 50 W presta diferentes opciones en la salida de corriente como se muestran a continuación, para seleccionar el tipo de salida ver figura 29.

- 0–20 mA
- 4–20 mA
- 4–20 mA HART
- 4–20 mA NAMUR
- 4–20 mA HART NAMUR
- 4–20 mA US
- 4–20 mA HART US
- 0–20 mA (25 mA)
- 4–20 mA (25 mA)
- 4–20 mA (25 mA) HART

Cada una se diferencia por el rango de corriente, el campo de operación y la señal de alarma como se observa en la figura 33. El medidor viene con una configuración de fábrica de 4–20 mA NAMUR.



a	1	2	3
0-20 mA	0 - 20.5 mA	0	22
4-20 mA	4 - 20.5 mA	2	22
4-20 mA HART	4 - 20.5 mA	2	22
4-20 mA NAMUR	3.8 - 20.5 mA	3.5	22.6
4-20 mA HART NAMUR	3.8 - 20.5 mA	3.5	22.6
4-20 mA US	3.9 - 20.8 mA	3.75	22.6
4-20 mA HART US	3.9 - 20.8 mA	3.75	22.6
0-20 mA (25 mA)	0 - 24 mA	0	25
4-20 mA (25 mA)	4 - 24 mA	2	25
4-20 mA (25 mA) HART	4 - 24 mA	2	25

Figura 33. Opciones HART [7]

Donde: a= Span de corriente
 1= Rango de operación
 2= Señal de alarma de nivel bajo
 3= Señal de alarma de nivel alto

La comunicación digital del equipo se realiza por el lazo de corriente Hart de 4-20 mA, por medio de este protocolo se puede realizar configuraciones, diagnósticos y transferencia de datos de medición. La información se transfiere exclusivamente utilizando comandos, hay tres clases de comandos: [7]

- Comandos universales: Todos los equipos HART soportan y utilizan comandos universales. En particular, están vinculados a las siguientes funcionalidades: – Identificación de dispositivos HART – Lectura de los valores de medida digitales (caudal volumétrico, totalizador, etc.)

- Comandos de uso común: Los comandos de uso común ofrecen funciones soportadas y que pueden ser ejecutadas por la mayoría de los equipos de campo, pero no por todos.
- Comandos específicos del equipo: Estos comandos permiten acceder a funciones específicas del equipo que no satisfacen los estándares HART. Tales comandos permiten acceder a información del equipo de campo individual, entre otras cosas, tal como los valores de calibración de tubería vacía/llena, ajustes de la supresión de caudal residual, etc.

2.5.1 Conexión Hart. La conexión se hace directamente con los terminales 26 (+) y 27 (-), la figura 34 muestra el circuito de conexión de 4 a 20 mA, teniendo cuenta que la carga máxima del lazo de medición debe ser por lo menos de 250 Ω , una vez puesto los equipos en marcha realice los siguientes ajustes, función salida de corriente a 4-20 mA HART, active o desactive la protección Hart contra escritura. En la figura 34 se conecta la consola Hart field Xpert (1), 2. Potencial auxiliar, 3 Blindaje, 4 otros dispositivos o PLC de entrada pasiva.

- **Conexión de un PC dotado con software de configuración.** Para conectar un PC con un software de configuración por ejemplo el FieldCare o DDCON100 y se necesita su respectivo módem HART, ver figura 35.

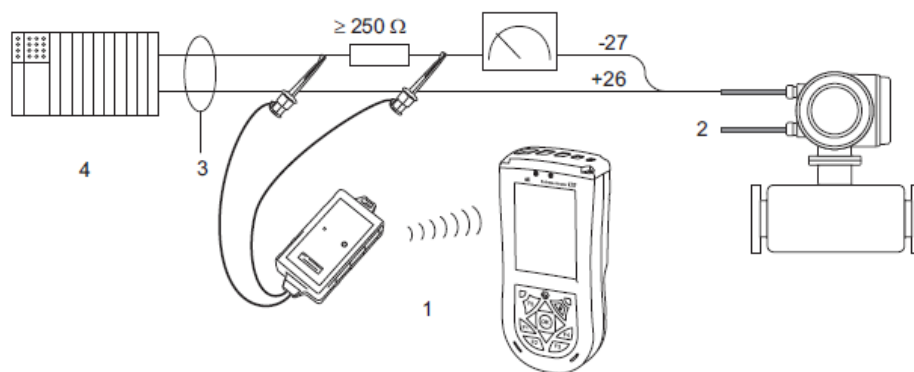


Figura 34: Conexión Hart con equipo de Endress and hauser [7]

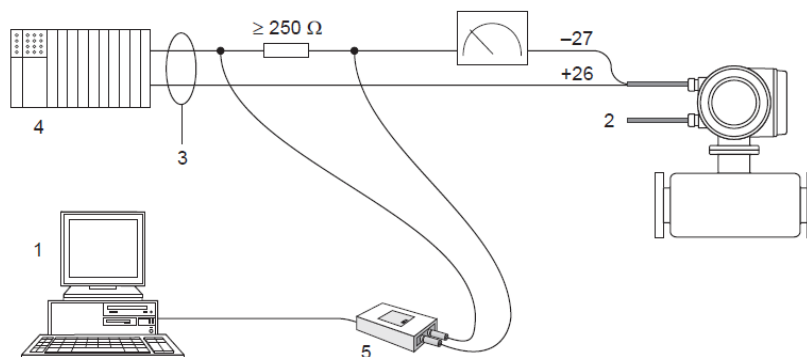


Figura 35: Conexión Hart dotado por un PC

Donde:

1. PC con software de configuración
2. Potencia auxiliar
3. Blindaje
4. Otros dispositivos o PLC con entrada pasiva
5. Módem HART, p. ej., el Commubox FXA195

2.5.2. Respuestas de salida de corriente. Se hace referencia a los diferentes tipos de alarma. Se debe tener en cuenta que el modo de alarma de los totalizadores y de las salidas de corriente, impulso y frecuencia pueden adaptarse a las necesidades del usuario por medio de varias funciones de la matriz de funciones. Ver anexo C.

2.5.3. Comunicación HART con el equipo DDCON100. El DDCON100 ver figura 36, es un calibrador HART de la empresa SMAR y fue adquirido por la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga con el equipo LD291 ver figura 37, el cual es un instrumento para la medición de presión. El módem HART de Smar cuenta con un paquete integral de comunicación y de configuración compatible con todos los dispositivos HART. Basado en el Device Description Language recientemente ratificado (DDL). El DDCON100 da soportes a empresas como ABB Automation (26), AccuTech, BERTHOLD, Detronics, Endress & Hauser, Fieldbus Internacional, etc.



Figura 36: Calibrador DDCON100 [15]



Figura 37: Medidor LD291 [16]

a. Instalación del software DDCON100. Entre los requerimientos mínimos para el correcto funcionamiento se debe contar con un procesador Pentium 350 MHz, Windows 2000/XP, un puerto USB y 256 MB RAM, en la figura 38 se encuentran los pasos a seguir.

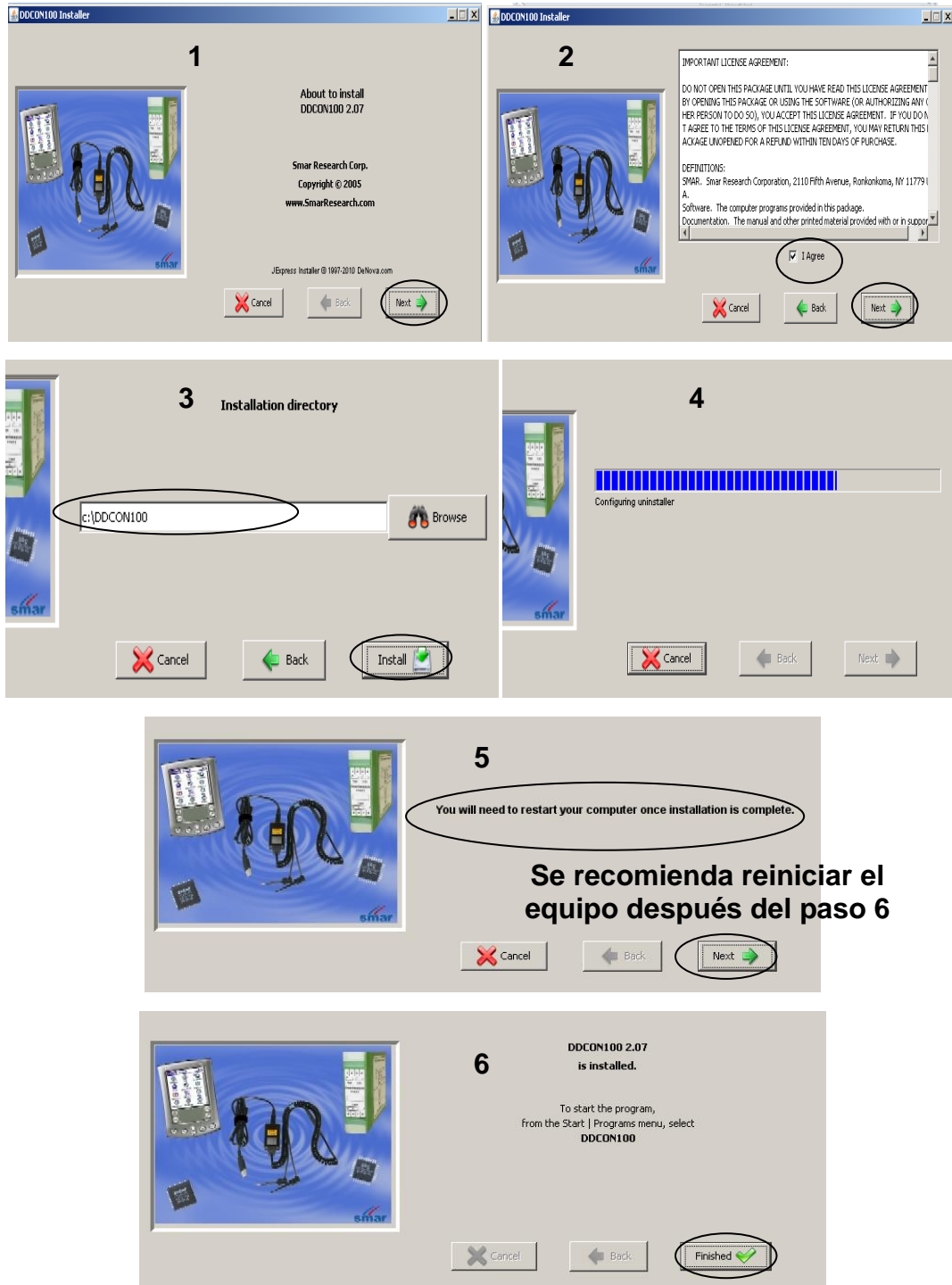


Figura 38: Procedimiento de instalación [5]

b. Ejecución del Modem Hart DDCON100. Antes de ejecutar el software se debe descargar los controladores específicos de cada instrumento de la página de smart: <http://www.smarresearch.com/documentation.htm#DDCON100>, ver figura 39, seleccionamos la opción DDCON 100 Device Driver Library, nos desplazará a otra página, donde seleccionaremos la empresa de fabricación del instrumento en nuestro caso Endress and hauser y luego la referencia del medidor electromagnético Promag 50 W (la última revisión), ver figura 40.

www.smarresearch.com/documentation.htm#DDCON100			
Apéndice Manual - Manuales de dispositivos específicos	9MB		09/22/05
Instalar CONF401	83 MB	3,73	09/10/12
CONF600HH - Palm CD600 Configurator			
Guía	166KB		03/31/05
CONF600HH Install - Inglés	205KB	1,06	11/22/05
CONF600HH Install - Portugués	207KB	1,06	11/22/05
DDCON 100 - DDL basado en HART Configurator			
Guía	166KB		07/01/05
DDCON 100 Install	22MB	2,07	08/08/11
DDCON 100 Firmware	76KB	1,3	08/08/05
DDCON 100 Driver	13KB	1,0	05/02/06
DDCON 100 Driver (Windows 7)	14MB	1.0.0.3	09/07/11
DDCON 100 Device Driver Library	N / A	N / A	N / A
FB3050 - Bus de campo / Profibus Controller Communication			
Hoja de datos	968KB		04/15/04
Notas de aplicación	228KB		12/08/03
HF1400 - USB interface HART			
Hoja de datos	419KB		06/09/04
Software de desarrollo de aplicaciones Notes	413kb		06/09/04

Figura 39: Librería del DDCON100 [5]

Draeger	PROMAG33	02	28 de septiembre 2006
Drexelbrook	PROMASS63	01	28 de septiembre 2006
Dynisco	PROMAG39	01	28 de septiembre 2006
Endress & Hauser	PROMAG50	03	28 de septiembre 2006
Fieldbus Internacional	PROMAG39	01	28 de septiembre 2006
Flowserve	PROMAG39	01	28 de septiembre 2006
Fluid Components Intl	PROMAG35S	01	28 de septiembre 2006
Foxboro	PROMASS60	03	28 de septiembre 2006
Foxboro Eckardt	PROMAG50	03	28 de septiembre 2006
Fuji	PROMAG50	05	28 de septiembre 2006
GP50	PROMAG53	03	11 de octubre 2005
Harold Beck and Sons	Promag_10	01	11 de octubre 2005
Honeywell	PROMASS80	04	11 de octubre 2005
Huakong			

Figura 40. Driver para el Promag 50W [5]

Para instalarlos los driver ejecutamos el software DDCON100, teniendo conectado el Modem Usb Hart, al iniciar puede que no reconozca el modem, dado el caso seguir los pasos de la figura 41. Nos dirigimos a DDL Options, ver figura 42, luego en Add Device Driver y por ultimo seleccionamos la carpeta donde se descargaron los driver.

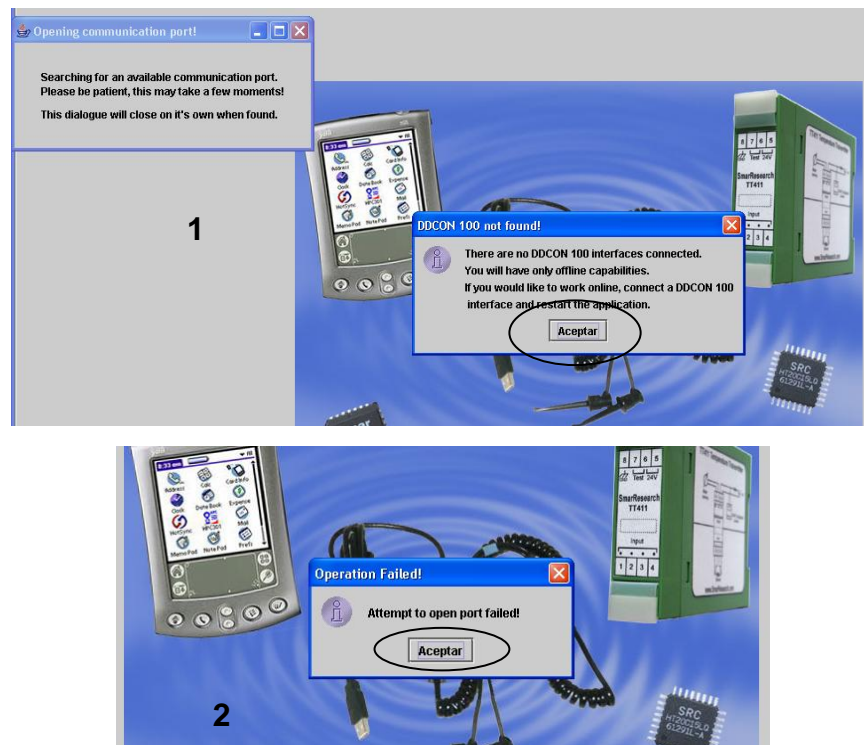


Figura 41: Error al abrir software DDCON100 [5]

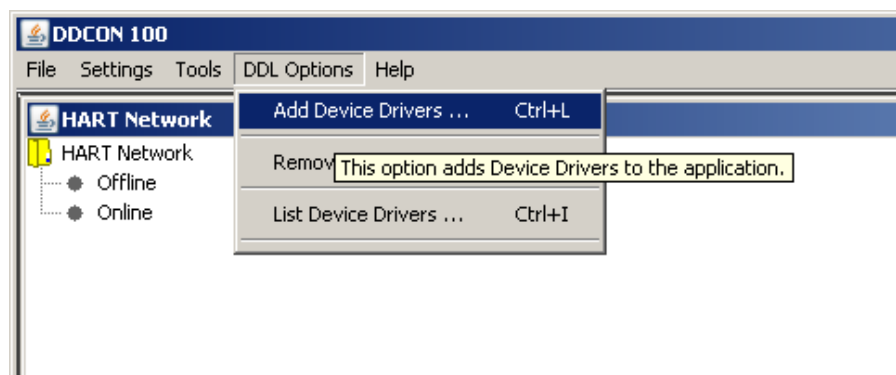


Figura 42: Instalación de driver [5]

Para el reconocimiento del modem HART se debe ir Settings, Communication Port, Refresh, seleccionamos el DDCON100 y OK, ver figura 43.

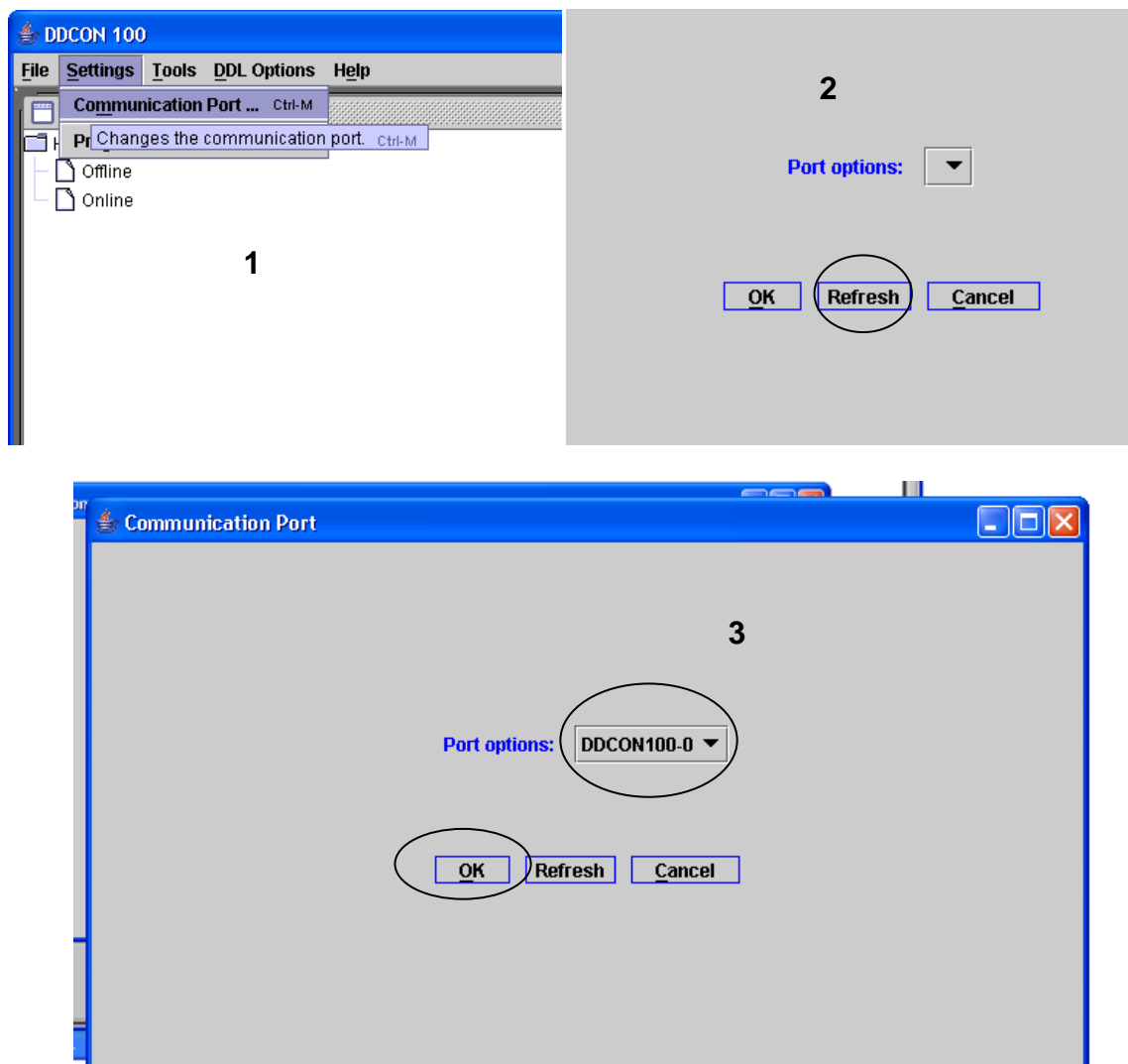


Figura 43: Detención del modem Usb HART [5]

c. Configuración Hart Offline Promag 50 W. El software DDCON100 permite dos modos de trabajo el Offline que me permite tomar algunos datos del sensor manualmente y que se puede determinar a simple vista, para tener un registro del instrumento como una base de datos y un respaldo de seguridad, ver figura 44 y figura 45

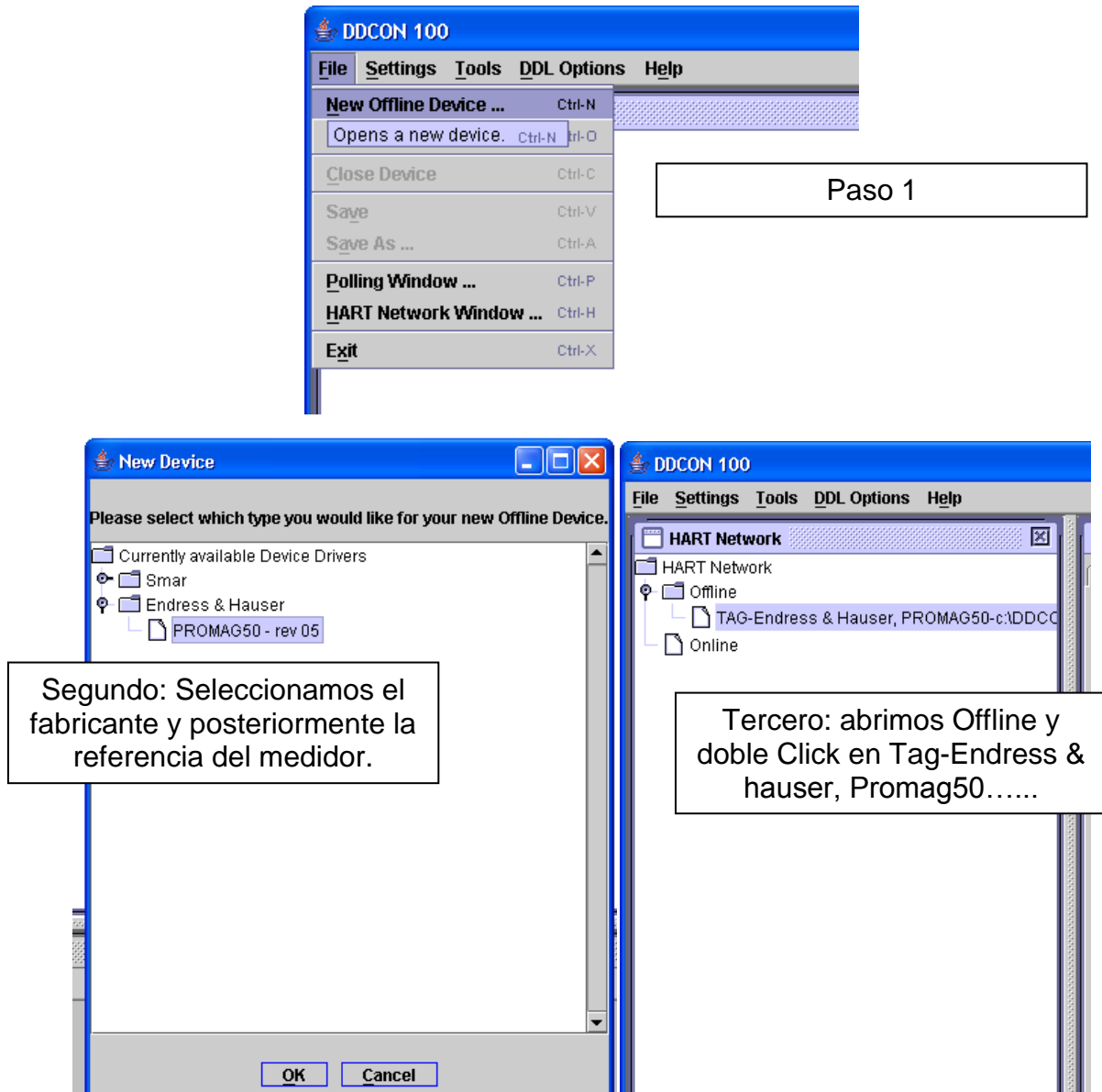


Figura 44: Selección del Instrumento Offline [5]

Los datos que se pueden archivar Offline son: la unidad de la variable, el lenguaje del dispositivo, los valores visualizados en la línea 1 y 2, la identificación del Tag, dirección del Fieldbus, alarmas, etc. estos datos ya ha sido configurados en el numeral 2.4.2.a.

TAG - PROMAG50

OFFLINE VARIABLES

UNIT VOLUME FLOW	cm ³ /s	UNIT VOLUME	cm ³
UNIT LENGTH	MILLIMETER	LANGUAGE	ENGLISH
ASSIGN LINE 2	OFF	ASSIGN LINE 1	OFF
CONTRAST LCD	10.0 %	DISPLAY DAMPING	0.0 s
ASSIGN TOTALIZER	OFF	BACKLIGHT	0.0 %
TAG DESCRIPTION		ASSIGN TOTALIZER	OFF
ASSIGN LF-CUTOFF	OFF	TAG NAME	
SIM.FAILSAFEMODE	OFF	FIELD BUS ADDRESS	0.0
POS. ZERO RETURN	OFF	ASSIGN SYS.ERROR	CANCEL
INTEGRATION TIME	3.3 ms	ASSIGN PROC.ERR.	CANCEL
		ALARM DELAY	0.0 s
		SIM. MEASURAND	OFF
		INSTL.DIR.SENSOR	NORMAL FORWARD
		SYSTEM DAMPING	0.0

Save Back

Figura 45. Información del medidor Proline 50 W [5]

d. Configuración Online del Promag Proline 50 W. Para hacer la comunicación online de debe seguir los pasos de la figura 46. Primero click derecho en Online, luego se abre una ventana indicado tres tipos de búsqueda dirección de dispositivo (permite conectar hasta 16 dispositivos), desde otra dirección y por ultimo por tag. Seleccionamos Device Address y en Poll

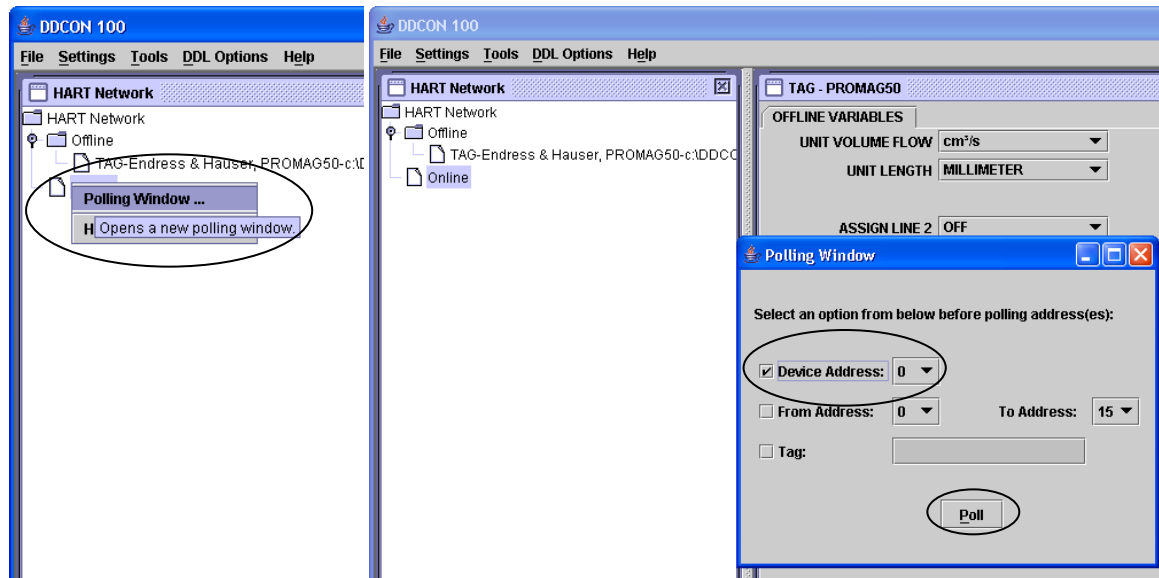


Figura 46. Comunicación con el Promag 50 [5]

Dado el caso en que salga un error como el que se ilustra en la figura 47, damos OK, ya que es una advertencia de que el dispositivo no funcione con todas sus características y funciones por derechos reservados del fabricante Endress and hauser, damos ok y posteriormente doble click en 0-FIT001....

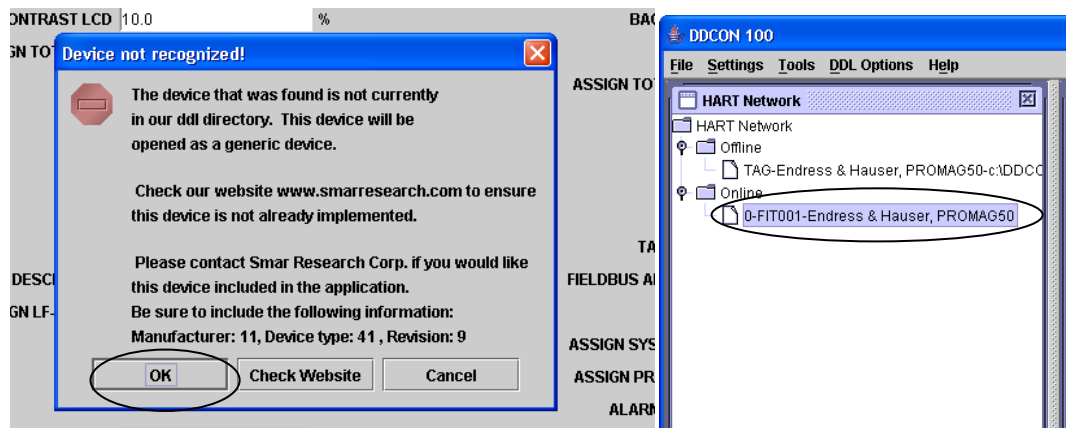


Figura 47: Advertencia de comunicación [5]

En la figura 48, se puede observar la identificación del dispositivo como es el Tag, una descripción e identificación del equipo, se recuerda que el protocolo HART es una comunicación bidireccional y los datos que aparecen son leídos del medidor Promag 50W y se pueden modificar desde el software DDCON100, haciendo el cambio respectivo y en la opción Send. En la figura 49, pasamos a la pestaña monitor que es el equivalente a la pantalla LCD de instrumento, además de la visualización de la corriente en el lazo de 4-20 mA.

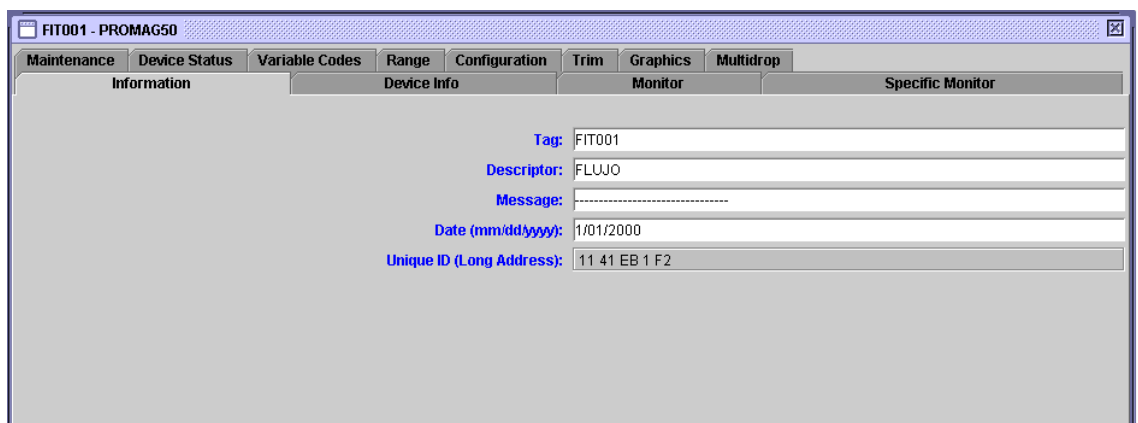


Figura 48: Información general [5]

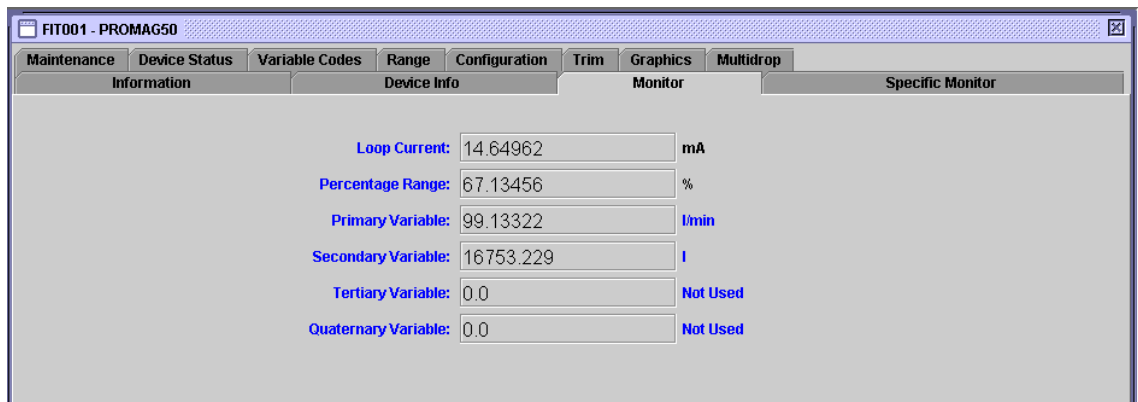


Figura 49: Monitor [5]

En la pestaña Range se puede modificar los rangos de medición del equipo y las unidades de este, ver figura 50 y en la figura 51 se puede monitorear en tiempo real la variable.

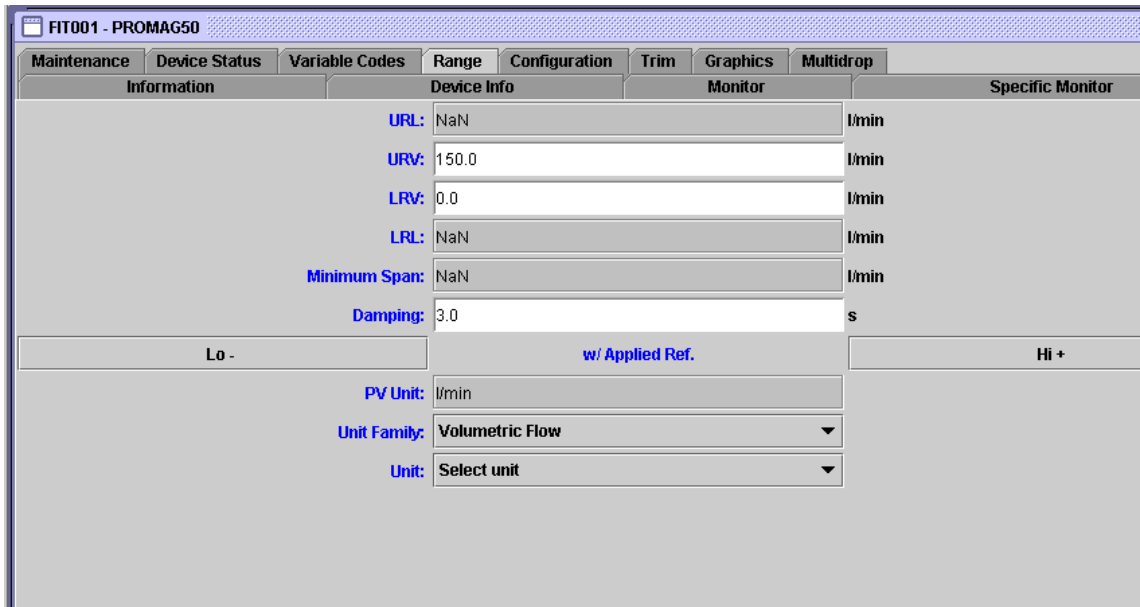


Figura 50: Rangos de medicion [5]

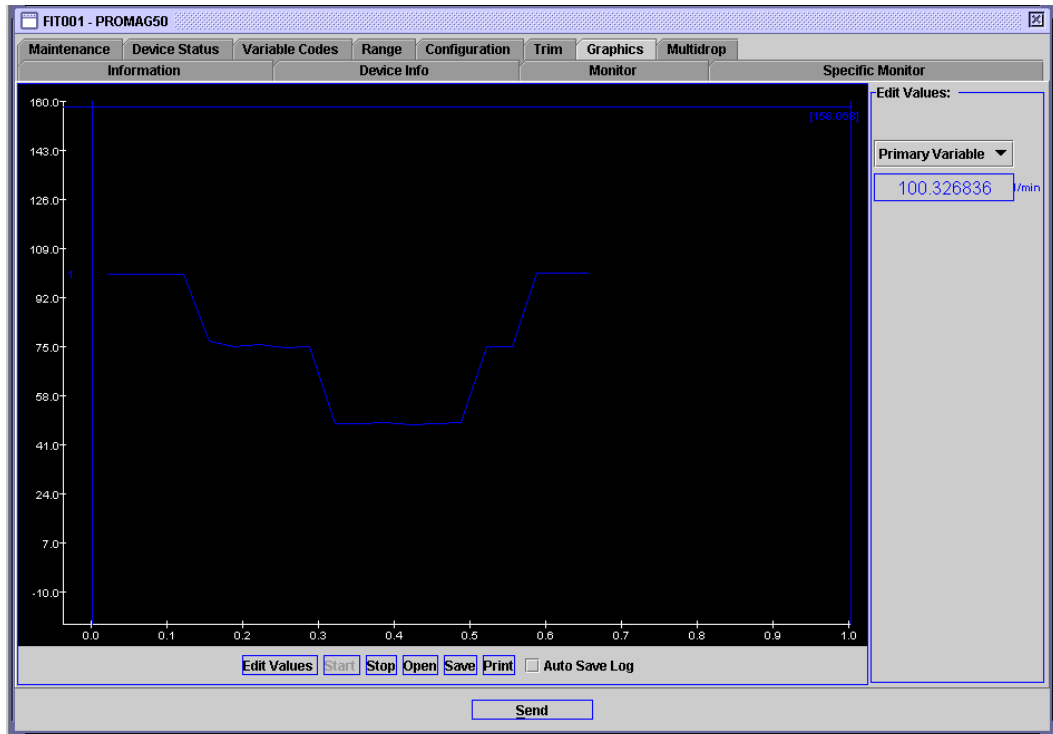


Figura 51: Monitoreo de la variable [5]

e. Comunicación Hart con el Medidor de Presión LD291. Debido al que el Modem Hart y el instrumento LD291 son de la misma empresa SMART, se tienen más opciones a la de antes mostradas como el mantenimiento del equipo, tabulación, configuraciones, etc. Ver figura 52, en la figura 53 se puede apreciar que se da más información que la brindada por Endress and Hauser y el modem DDCON100 y en la figura 54 monitoreo de la variable.

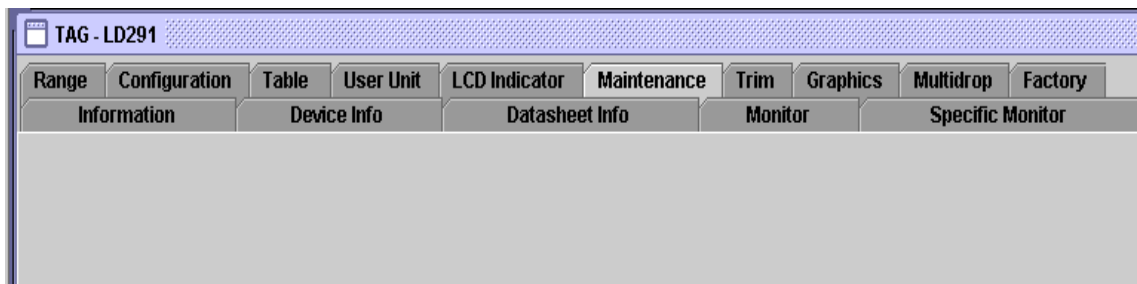


Figura 52: Pestañas de navegación LD291 [5]

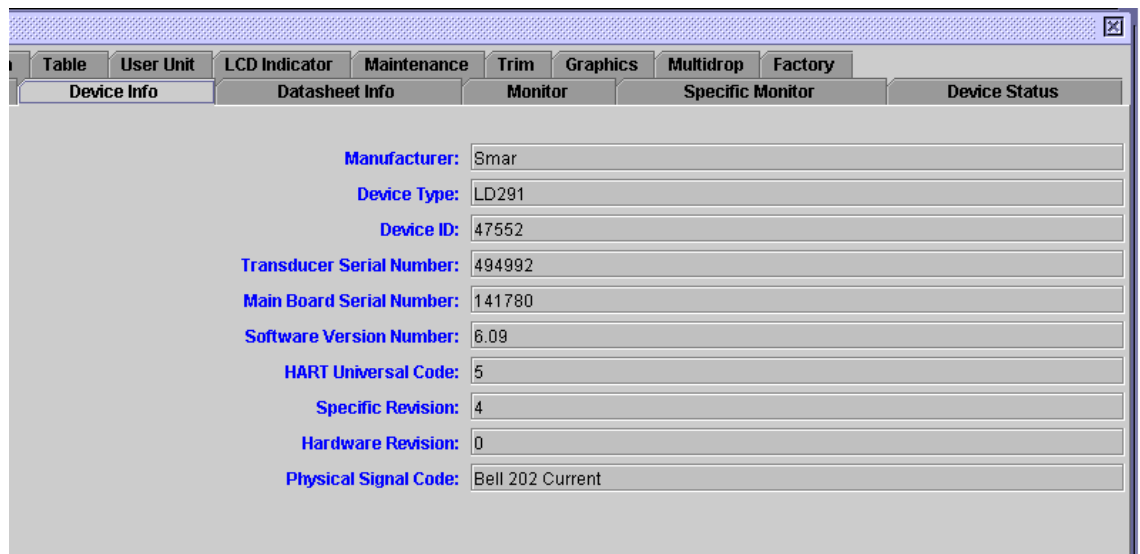


Figura 53: Información de medidor LD291 [5]

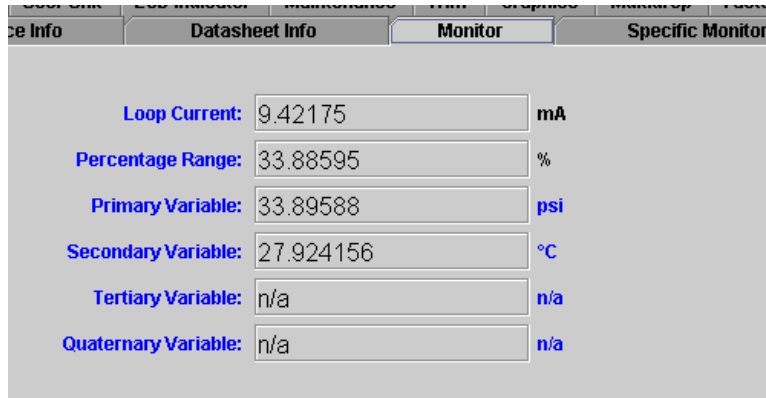


Figura 54: Visualización de la Variable Presión [5]

f. **Visualización de la comunicación Hart.** Para visualizar la señal de comunicación digital HART, la teoría nos dice que la señal FSK esta sobrepuesta en la señal análoga de 4-20 mA, el Fluke 123 que es un osciloscopio, se ubico en paralelo a la resistencia de 250 Ω . En la figura 55 se puede ver dos amplitudes deferentes la primera con una amplitud con un voltaje 500 mV y otra con 250 mV

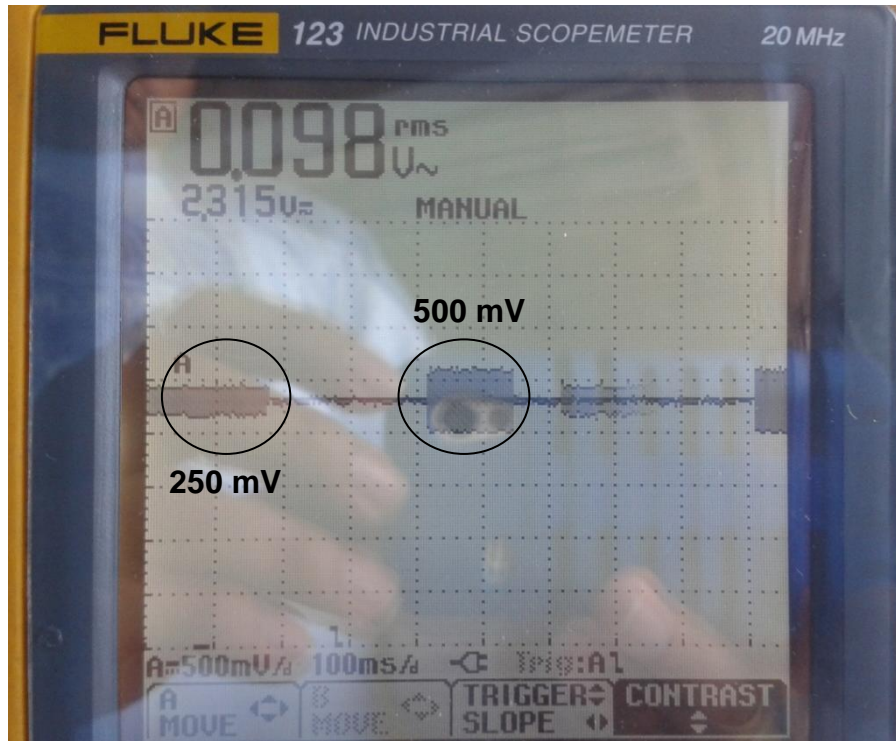


Figura 55: Comunicación Hart [5]

La señal que representa los 250 mV pico divididos por la resistencia, da una corriente de 0.5 mA que es la correspondiente al protocolo HART.

La de mayor amplitud cumple dos funciones la primera es para verifica que hay una comunicación Hart, con otro dispositivo y la segunda es la separación de las tramas de datos.

3. CERTIFICADOS Y ENSAYO DE APROBACIÓN DE PATRONES.

3.1. DEFINICIÓN NORMA NTC 1063.

Las normas técnicas colombianas (NTC) es un instituto colombiano, el cual se encuentra certificado por ICONTEC. La NTC 1063 está dividida en tres partes: especificaciones, requisitos de instalación, equipos y métodos de ensayos, estableciendo los criterios para la selección de medidores de flujo de agua en conductos cerrados a sección llena, medidores para agua potable fría o caliente. Otros aspectos abarcados por esta norma son la terminología metrológica, los requisitos de pérdida de presión para los medidores de caudal. [2]

3.1.1. Términos y definiciones.

- **Error máximo permisible (Maximum Permissible Error). EMP.** Los valores extremos del error relativo de la indicación del medidor de agua, permitidos en esta norma. [13]
- **Condiciones de operación nominales (Rated Operating Conditions, ROC). CON.** Situación de uso que dan el rango de valores de los factores de influencia, para los cuales se requiere que los errores de indicación del medidor estén dentro del EPM.
- **Error relativo (Relative Error).** Error de indicación dividido por el volumen real, expresado como un porcentaje.
- **Error de indicación (Error of Indication).** Volumen indicado menos el volumen real.
- **Caudal permanente (Permanent Flowrate). Q₃.** Mayor caudal dentro de las CON a la cual se requiere que el medidor de agua opere de manera satisfactoria dentro del error máximo permisible. [13]

- **Caudal de sobrecarga (Overload Flowrate).** Q_4 . Máximo caudal al cual el medidor de agua debe operar durante un periodo de tiempo corto dentro de su EMP, mientras mantiene su desempeño metrológico cuando opera posteriormente dentro de sus CON.
- **Caudal mínimo (Minimum Flowrate).** Q_1 . El menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del EMP.
- **Caudal de transición (Transitional Flowrate).** Q_2 . Caudal que ocurre entre el caudal permanente, Q_3 , y el caudal mínimo, Q_1 , que divide el rango de caudal en dos zonas, la “zona superior” y la “zona inferior”, cada una caracterizada por su propio EMP.
- **Error relativo. ε .** Error expresado como un porcentaje, definido por la ecuación 21: [14]

Ecuación 21.
$$\varepsilon = \frac{(v_i - v_a)}{v_a} * 100$$

En donde

V_1 es el volumen indicado

V_a es el volumen real

3.1.2. Inicio del ensayo y determinación de los errores. La norma NTC 1063 hace mucho énfasis en seguir todas las precauciones adecuadas para evitar las perturbaciones, al igual que el fabricante Endress and Hauser para reducir las incertidumbres, durante el ensayo. Véase la NTC 1063-3 los numerales 5.4.5.2 y 5.4.5.3 para mayores detalles. Cuando se lleva a cabo una prueba de calibración de medidores de flujo se tiene dos tipos ensayos, para determinar que tanto error hay en la medida: [2] [14]

a. Incertidumbre total del volumen real. Es la comparación de la medida del instrumento con respecto a otro de mayor jerarquía es decir, La incertidumbre del volumen real medido por Proline Promag 50 W no debe exceder al 1/5 del EMP aplicable para la aprobación del patrón, y 1/3 del EMP para la verificación inicial y las posteriores en los ensayos. La evaluación y la expresión deben estar de

acuerdo a ISO 5168 y la guía ISO para la expresión de la incertidumbre en la medición (GUM), con un factor de cobertura k de 2. [14]

b. Volumen mínimo. Se hace referencia a un volumen calibrado, ver figura 56. El volumen total del recipiente se divide por la unidad de tiempo en que tarda en llenarse, de allí se obtiene una referencia de comparación de flujo volumétrico. La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga tiene propuesto a futuro completar el banco con todos los requisitos sugeridos por la norma NTC 1063.

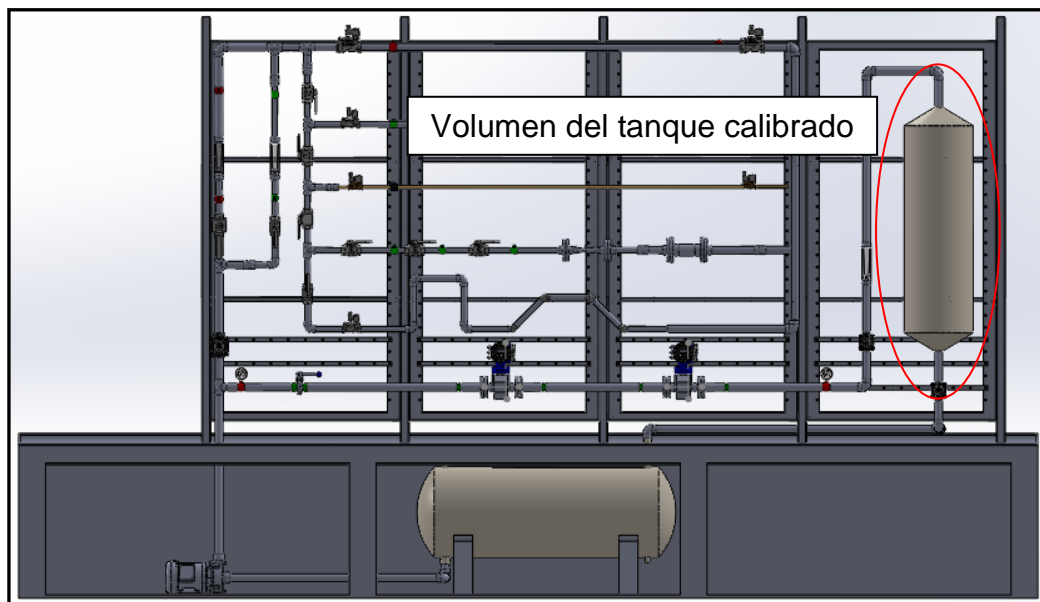


Figura 56: Diseño del banco final (fase 2) [12]

C. procedimiento de calibración. La norma NTC 1063 da unos niveles de flujo para el ensayo y en cada nivel de caudal se debe determinar los errores indicados por el instrumentó en comparación de medidor de mayor jerarquía o el recipiente de volumen conocida, estos valores son sugerencias de la norma. El error en cada caudal se debe medir por lo menos dos veces. [2] [14]

- ✓ Entre Q_1 y $1,1 Q_1$
- ✓ Entre $0,5 (Q_1 + Q_2)$ y $0,55 (Q_1 + Q_2)$ (para $Q_2 / Q_1 > 1,6$)
- ✓ Entre Q_2 y $1,1 Q_2$

- ✓ Entre $0,33 (Q_2 + Q_3)$ y $0,37 (Q_2 + Q_3)$
- ✓ Entre $0,67 (Q_2 + Q_3)$ y $0,74 (Q_2 + Q_3)$
- ✓ Entre $0,9 Q_3$ y Q_3
- ✓ Entre $0,95 Q_4$ y Q_4

Para cada uno de los casos anteriores, se debe calcular el error relativo, los criterios de aceptación para cada uno de los distintos caudales no deben exceder los errores máximos permisibles (EMP). Si el error obtenido en uno o más mediciones es mayor al EMP se debe repetir el ensayo. El ensayo es declarado satisfactorio si dos de los tres resultados están dentro del EMP y la media aritmética de los resultados para los tres ensayos a ese mismo flujo es menor o igual al EMP. Si los errores del medidor tienen el mismo signo al menos uno de estos errores no debe exceder la mitad del EMP. [2] [14]

d. Interpretación de los resultados. Si es un ensayo único el medidor aprobará el ensayo si el error de la medición no excede el EMP seleccionado, o si es un ensayo por duplicado (que se deba repetir), el programa debe especificar las reglas que se deben aplicar para entrelazar los errores obtenidos, de la misma manera el instrumento aprobará si el error resultante no excede el EMP escogido.

3.1.3 Pruebas de volumetría Proline Promag 50 W. Se debía verificar de algún modo que el medidor y la capacidad de la bomba fueran los correctos, como no se tenía la instrumentación necesaria y el tanque de referencia instalados en el banco, se decidió hacer una prueba empírica con un recipiente medido con gran cuidado y un cronometro, ver figura 57, se detenía la bomba y al mismo tiempo que el temporizador.

El procedimiento para realizar la prueba fue: el variador que nos controla la frecuencia de trabajo de la bomba, se comenzó con 25 Hz y con un cambio de 15 Hz hasta los 60 Hz, en total fueron 5 pruebas con repeticiones cada una de 5 veces y de duración 30 segundos, para eliminar errores en la medida, como se ilustra en las tablas 9, 10, 11 y 12.

Como seguridad se tomó también la presión en la entrada del medidor y la corriente de la bomba, para que en cada prueba la medida sea constante y no haya una considerable variación.



Figura 57: Prueba de Volumetría [5]

Para comenzar la prueba se propuso como criterio alcanzar la precisión presentada en los laboratorios de metrología de Endress and Hauser del 0.5 %, ver anexo d, debido a problemas con la sincronización del temporizador y con el apagado del variador se acrecentaba el error hallado empíricamente con el mostrado por la lcd del instrumentó, como se muestra en la Tabla 11: Prueba de volumetría 3.

En la pruebas donde el variador estaba con la mínima frecuencia de trabajo se lograron errores de hasta 0.15 % demostrando que el método indicado por la norma NTC 1063-3 volumen calibrado, es el más apropiado para la calibración de medidores de flujo.

Variador (Hz)	Corriente (A)	Presión (Psi)	Tiempo (s)	Volumen Tanque lt	Flujo (lt/min) Empírico	Flujo (lt/min) Medidor	Error (%)
25	1.04	2.5	30	27.5026307	55.0052614	54.92	0.155005923
25	1.04	2.5	30	27.6853724	55.3707448	54.64	1.319730987
25	1.04	2.5	30	27.4112598	54.8225196	54.46	0.661260524
25	1.04	2.5	30	27.5026307	55.0052614	54.47	0.97310948
25	1.04	2.5	30	27.5026307	55.0052614	54.24	1.391251298
						Error promedio	0.900071643

Tabla 9: Prueba de volumetría al mínimo caudal [5]

Variador (Hz)	Corriente (A)	Presión (Psi)	Tiempo (s)	Volumen Tanque lt	Flujo (lt/min) Empírico	Flujo (lt/min) Medidor	Error (%)
35	1.47	6.5	30	41.84785669	83.69571338	82.313	1.652071921
35	1.47	6.5	30	41.02551889	82.05103779	81.907	0.175546578
35	1.47	6.5	30	40.7514063	81.50281259	82.42	1.125344486
35	1.48	6.5	30	41.39100236	82.78200472	81.92	1.04129481
35	1.47	6.5	30	41.20826063	82.41652125	82.09	0.396184222
						Error promedio	0.878088403

Tabla 10: Prueba de volumetría 2 [5]

Variador (Hz)	Corriente (A)	Presión (Psi)	Tiempo (s)	Volumen Tanque lt	Flujo (lt/min) Empírico	Flujo (lt/min) Medidor	Error (%)
45	1.94	10.2	30	51.990022	103.980045	106.7	2.615842608
45	1.95	10.24	30	55.279374	110.558748	107.47	2.793761759
45	1.95	10.18	30	54.182923	108.365847	107.08	1.186579784
45	1.95	10.2	30	54.822519	109.645039	106.92	2.485328454
45	1.94	10.2	30	54.457036	108.914072	107.38	1.408516272
						Error promedio	2.098005776

Tabla 11: Prueba de volumetría 3 [5]

Variador (Hz)	Corriente (A)	Presión (Psi)	Tiempo (s)	Volumen Tanque lt	Flujo (lt/min) Empírico	Flujo (lt/min) Medidor	Error (%)
60	2.94	15.60	30	71.5433882	143.0867764	142.48	0.424061806
60	2.94	15.76	30	70.0814543	140.1629087	142.82	1.895716473
60	2.85	15.72	30	70.9037921	141.8075842	143.06	0.883179673
60	2.85	15.80	30	70.0814543	140.1629087	143.28	2.22390601
60	2.85	15.80	30	70.9037921	141.8075842	143.72	1.348599067
						Error promedio	1,355092606

Tabla 12: Prueba de volumetría al máximo caudal [5]

Gracias a este tipo de prueba, se pudo discernir sobre la capacidad máxima de la bomba y el buen funcionamiento del equipo.

a. Histéresis. Es la diferencia máxima en los valores de salida para una misma señal de entrada, recorriendo la escala de manera ascendente y descendente, en la figura 58 se puede ver la capacidad de medidor electromagnético Proline Promag 50 W, de conservar sus propiedades de exactitud y precisión.

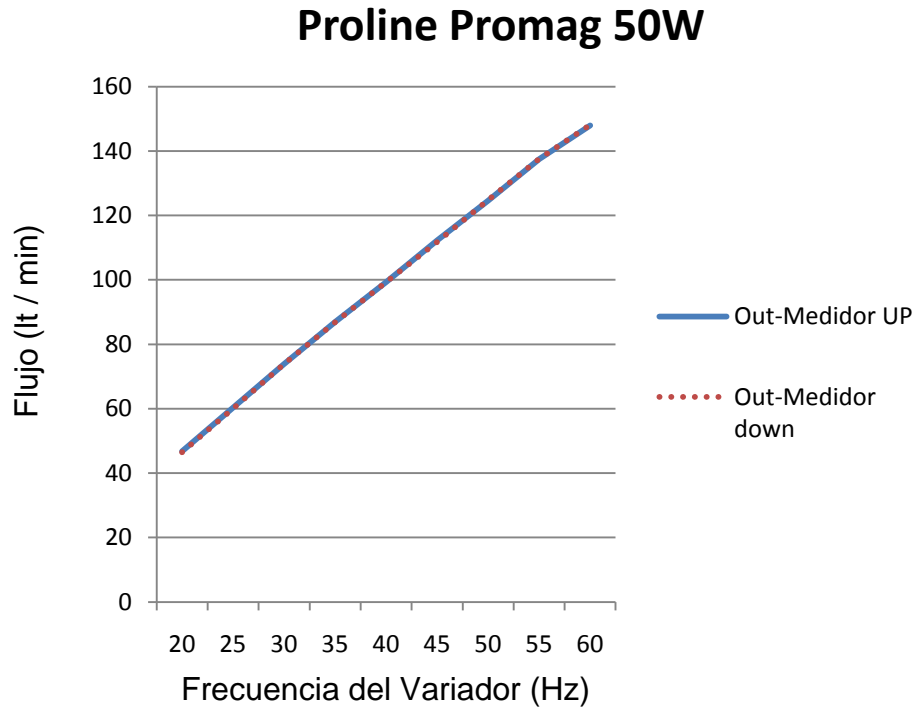


Figura 58: Histéresis del Proline Promag 50 W [5]

3.1.4. Informe de aprobación de patrones. En las tablas 13, 14 y 15 se muestra resumido todos los datos que debe contener el informe de aprobación de patrones del medidor electromagnético Proline Promag 50 W, además de una o varias referencias de la norma NTC 1063 que ya fue adquirida por la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. [14] [2]

Tipo de ensayo	Numeral aplicable	Información que se debe suministrar
Error de la medición	5, NTC 1063-3	La fecha de ensayo y el operador para cada referencia de flujo. - Caudal. - Presión del agua. - Temperatura del agua. - Características del dispositivo de referencia calibrado. - Lecturas indicadas del medidor y del dispositivo de referencia calibrado.
Presión.	6 NTC 1063-3	Registro de las indicaciones de cada presión y el tiempo en que se mantuvieron.
Pérdidas de presión.	7, NTC 1063-3	Para cada caudal. - Temperatura máxima del agua. - Caudal. - Presión aguas arriba del instrumento. - pérdidas de presión.

Tabla 13: Información que debe estar reunida en un informe de ensayo de aprobación de patrones [14] [2]

Tipo de ensayo	Numeral aplicable	Información que se debe suministrar.
Desgaste acelerado	8 NTC 1063-3	El valor obtenido del error de la indicación, curvas de error tomadas antes y después, pero en un solo gráfico de manera que se establezca las variaciones en error de la indicación con respecto al error EMP.
Ensayos continuos	8.1 NTC 1063-3	La programación de las pruebas realizadas al menos cada 24 h o una vez durante ese periodo más corto, si el ensayo se subdivide de la siguiente manera: <ul style="list-style-type: none"> - Presión de entrada del primer medidor. - Temperatura. - Caudal. - Lectura del medidor al principio y al final de la prueba.
Ensayos discontinuos	8.2 NTC 1063-3	Pruebas realizadas al menos 24 h, una vez durante cada periodo más corto. <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura. - Caudal. - Duración de las cuatro fases del ciclo de los ensayos discontinuos. - Número de ciclos. - Lecturas del medidor al principio y al final de la prueba.

Tabla 13: Información que debe estar reunida en un informe de ensayo de aprobación de patrones (final) [14] [2]

Características reconocidas	Numeral aplicable	Información suministrada.
Material de construcción	6.1, NTC 1063-1	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Marcas de verificación y dispositivos de protección	6.4, NTC 1063-1	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Diseño del dispositivo de indicación	6.6, NTC 1063-1	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Diseño del dispositivo de verificación	6.6.3 NTC 1063-1	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Marcas e inscripciones.	6.8, NTC 1063-1	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1

Tabla 14: Estudio del medidor de agua [14] [2]

Ensayos	Numeral aplicable	Información suministrada.
Calor seco (sin condensación)	9.3.1, NTC 1063-3	Error de la indicación a alta temperatura.
Frío	9.3.2, NTC 1063-3	Error de la indicación a baja temperatura.
Calor húmedo cíclico	9.3.3 NTC 1063-3	Error de la indicación después de la recuperación de la prueba del calor y ciclos de humedad.
Vibración (aleatoria)	9.3.4, NTC 1063-3	Error de la indicación después de la recuperación de la prueba de vibración.
Choque mecánico	9.3.5 NTC 1063-3	Error de la indicación después de la recuperación de la prueba de vibración.
Descarga electrostática	9.4.1, NTC 1063-3	Error de la indicación durante las descargas electrostáticas directas e indirectas.

Tabla 15: Datos que se deben suministrar en el informe de ensayo de aprobación de patrones [14] [2]

Susceptibilidad electromagnética	9.4.2, , NTC 1063-3	Error de la indicación durante la exposición a los campos electromagnéticos.
Campo magnético estático.	9.4.3 NTC 1063-3	Error de la indicación durante la exposición a los campos magnéticos estáticos.
Variación de tensión de potencia (c.a/ c.c)	9.5.1, 9.5.5, 9.5.6, NTC 1063-3	Error de la indicación durante variaciones en la tensión de alimentación.
Error en la indicación en las variaciones en la tensión de suministro	9.5.2 NTC 1063-3	Error de la indicación durante reducciones e interrupciones de potencia de corta duración.
Inmunidad a sobretensión	9.5.3 NTC 1063-3	Error de la indicación durante la aplicación de sobretensiones transitorias.
Estallidos	9.5.4 NTC 1063-3	Error de la indicación durante los picos de tensión.

Tabla 15: Ensayos para medidores electrónicos o dispositivos electrónicos. Datos que se deben suministrar en el informe de ensayo de aprobación de patrones (final) [14] [2]

RECOMENDACIONES

Se deben seguir como mínimo las recomendaciones del fabricante Endress and Hauser, para el correcto funcionamiento e instalación del medidor electromagnético Promag Proline 50 W. En la estructura interna del instrumentó al no ser invasivo es muy ventajoso, ya que no hay que hacer reparaciones, ni ajustes internos o arreglos en la trayectoria donde se instalara el medidor para garantizar una buena recuperación en la caída de presión.

Para garantizar una trazabilidad del banco y del medidor Proline 50 W, se debe realizar periódicamente las calibraciones del tanque de volumen conocido, el medidor de referencia (50 W), los transmisores de presión, de temperatura y de nivel, humedad, etc.

Debido a que nuestro medidor Proline 50W por sus principio de funcionamiento, se vea posiblemente afectado por la conductividad del agua con la que se está haciendo la prueba, ya que esta no va ser cambiada tan fácilmente, además de ser una precaución, es recomendable que en el banco o la línea donde esté instalado el instrumento tenga un medidor de conductividad y así monitorear dicha variable para que siempre este entre los intervalo de valores especificados por el fabricante.

El medidor electromagnético Proline Promag 50 W, en el menú de configuración rápida tiene acceso a todas las configuraciones ofrecidas por el fabricante, de modo que no se hace indispensable tener un modem HART, pasa lo contrario con el medidor de presión LD291 el cual no tiene un menú físico donde navegar y para hacer cambios en el rango de la medida o las unidades, etc. se hace indispensable tener el DDCON 100.

CONCLUSIONES

Se estudió el principio de funcionamiento del medidor electromagnético Proline Promag 50W, sus características físicas y sus requisitos mínimos para su óptimo desempeño, como la igualación de potencial o el de no tener partes móviles internas que impliquen una caída de presión y la necesidad de instalar accesorios aguas arriba del instrumentó para asegurar su cuidado y vida útil.

Se revisó la teoría de mecánica de fluidos y se determinó que el caudal puede ser medido en unidades de volumen o masa por unidad de tiempo, que dado el caso en que se desee calibrar medidores máscicos con el instrumentó Proline 50W, solo hace falta implementar aguas arriba o aguas abajo un instrumentó que mida la densidad del agua constantemente durante el ensayo.

Cumpliendo con el objetivo de revisión de los componentes del medidor Promag 50 W, se identificó que el hardware de comunicación HART, es activo, es decir no necesita fuente de alimentación externa y que la resistencia en lazo 4-20 mA debe estar entre los rangos de 250 a 700 Ω , un concepto que se debe tener en cuenta para hacer una red HART, porque los pasivos que necesitan una fuente externa la carga puede ser hasta de 1 K Ω , en la red HART se tiene la ventaja de monitorear varios medidores a la vez, pero la corriente en el lazo deja de ser representativa de la variable.

Durante la revisión de la norma NTC 1063 para la aprobación de patrones, se hace mucho énfasis en las distancias mínimas aguas arriba y aguas abajo del instrumento antes de la instalación de cualquier accesorio, como también de la máxima carga que puede ejercer los caudalímetros es de 0.63 bar, pero en la estructura del medidor electromagnético Promag 50 W no existe pérdida de carga si se instala el medidor con el mismo diámetro nominal, de este modo se ahorran procedimientos en las pruebas de aprobación de patrones indicados en la norma NTC 1063-3.

El DDCON100 es un modem HART universal, en la página del fabricante SMAR se encuentran los diferentes driver de los instrumentos inteligentes, brindados por las diferentes empresas. La señal HART es una señal alterna por lo tanto no hay una indicación de cómo conectar las pinzas del modem HART. Los fabricantes de instrumentos inteligentes limitan las opciones de configuración y de acceso, durante la comunicación con otro modem HART que no sea de dicha empresa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ROBERT L. MOTT. Mecánica de fluidos. Sexta edición 2006. Editoria Pearson Educación.
- [2] LATORRE CARVAJAL, Andrés Ricardo. Diseño de un Banco de Ensayo para la Medición de Flujo de Agua Basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 1063. Bucaramanga, 2012, 210p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [3] MIKEL IZQUIERDO, Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte, 2008 editorial medica panamericana, 311p.
- [4] ANTONIO CREUS SOLÉ, Instrumentación Industrial 2005, 7 ed, Barcelona, España: Marcombo p. 104-188
- [5] LATORRE CARVAJAL, Andrés Ricardo. Elaboración del manual de configuración y puesta en marcha del medidor de flujo electromagnético Proline Promag 50 W. Bucaramanga, 2013, 80p. Monografía (Esp. en control e instrumentación industrial). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [6] ENDRESS + HAUSER, [página de internet]. En: <http://www.youtube.com/user/EndressHauserAG?feature=watch>. [Consultada 2013-01-03]
- [7] ENDRESS + HAUSER, Sensor Electromagnetic Flow Measuring System, Technical Information, Proline Promag 50W-53W. Enero del 2013.
- [8] DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA. [Página de internet]. En: <http://www.dte.uvigo.es/recursos/caudal/index.html> consultada [2013-01-05].
- [9] UNIVERSIDAD TECNOLOGÍA NACIONAL, investigación de los sensores de caudal. [Documento electrónico]. En: http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios /Caudal_Sensores.pdf, consultada [2013-01-05]

- [10] PUMAAGUA, Especificaciones para instalaciones de medidores electromagnéticos, [documento electrónico]. En: <http://www.pumagua.unam.mx/manuales.html>. Consultada [2013-01-10]
- [11] INGENIERÍA SANITARIA, Características del agua potable, [documento electrónico]. En: http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf. Consultada [2013-01-10]
- [12] HERNAN MAURICIO CACERES SANTANDER y FABIO ANDRES RUEDA PARRA. Depuración De La Ingeniería Detallada E Implementación Básica Del Banco De Ensayo Para La Medición Del Flujo De Agua Basado En La Norma Técnica Colombia Ntc 1063, 2013, 80p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [13] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063-1. Especificaciones, tercera actualización editada 2007-07-03.
- [14] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063-3. Equipos y métodos de ensayo, tercera actualización editada 2007-07-03, 2p.
- [15] Communication foundation HART, Protocolo Hart, [pagina web]. En: http://sp.hartcomm.org/protocol/about/aboutprotocol_how.html. Consultada [2013-01-20]
- [16] SMAR, Pressure Measuring LD291, Technical Information. Enero del 2013.

ANEXOS

ANEXO A. MENSAJE DE ERROR DEL SISTEMA

ANEXO B. MENSAJE DE ERROR DE PROCESO

ANEXO C. RESPUESTA DE LA SALIDA ANTE ERRORES

ANEXO D. CALIBRACIÓN SENSOR ELECTROMAGNÉTICO 50W