

**ESTUDIO DE LAS FUENTES DE ERROR EN LA CALIBRACIÓN Y
MONTAJE DEL TRANSMISOR INTELIGENTE DE PRESIÓN DIFERENCIAL
LD301 Y OPTIMIZACIÓN DE SUS FUNCIONES SOFTWARE EN LA
MEDICIÓN DE NIVEL, VOLUMEN Y FLUJO**

ELIANA MARGARITA AGUILAR LARRARTE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2004

**ESTUDIO DE LAS FUENTES DE ERROR EN LA CALIBRACIÓN Y
MONTAJE DEL TRANSMISOR INTELIGENTE DE PRESIÓN DIFERENCIAL
LD301 Y OPTIMIZACIÓN DE SUS FUNCIONES SOFTWARE EN LA
MEDICIÓN DE NIVEL, VOLUMEN Y FLUJO**

ELIANA MARGARITA AGUILAR LARRARTE

Informe de pasantía como trabajo de grado para optar el título de Ingeniero
Físico

Director
Ing. GERMÁN BACCA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2004

AGRADECIMIENTOS

Se expresa agradecimientos a:

Ing. Gustavo Adolfo Saa, Gerente de SINCRÓN, por apoyar el desarrollo de esta pasantía y principalmente por su constante interés en fortalecer lazos en Ciencia y Tecnología entre la Universidad del Cauca y SINCRÓN.

Ing. Frank López, Ingeniero de Proyectos de SINCRÓN, por su inmensa colaboración y confianza.

Jorge Velasco Puyo, Henry Ortiz, Erik Escarria, Técnicos del área de servicios de SINCRÓN, por la contribución de conocimientos en el área de la Instrumentación Industrial, y por la labor realizada en miras al fortalecimiento de los lazos Científico-Tecnológicos con la Universidad del Cauca.

Magister. Hermes Sandoval Gallardo, Q.E.P.D. por su incansable colaboración y su motivación en este trabajo.

Ing. Germán Bacca, Docente de la Universidad del Cauca y Director de trabajo de grado, por su valiosa orientación.

Ing. José Fernando López, docente de la Universidad del Cauca, por su constante motivación y valiosa ayuda

A los docentes del departamento de Física de la Universidad del Cauca, por contribuir día a día a la formación del Ingeniero Físico

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	15
1. RESEÑA HISTORICA SINCRÓN	17
2. GENERALIDADES DE LA COMUNICACIÓN HART	18
3. TRANSMISOR INTELIGENTE DE PRESIÓN LD301	19
3.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SENSOR	20
3.2 DIAGRAMA FUNCIONAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	23
4 FASE I -RESUMEN DE ACTIVIDADES INICIALES	25
4.1 RECOLECCION DE INFORMACIÓN.	25
4.2 DESARROLLO DE TAREAS DE FAMILIARIZACIÓN CON LOS EQUIPOS Y PROGRAMAS DE COMUNICACIÓN Y CONFIGURACION DEL LD301	26
4.2.1 CONF301	26
4.2.1.1 HI311 Interfaz serial-HART	27
4.2.2 Configurador HART HPC301	27
4.2.3 Destornillador magnético	29
4.2.3.1 Ajuste local simple	32
4.2.3.2 Ajuste Local Completo	32
4.3 EQUIPO ESCOGIDO PARA LA REALIZACION DEL ESTUDIO DEL LD301	32
4.4 CONEXIONADO ELECTRICO DEL LD301 COMO TRANSMISOR	33
5 FASE-II	35
5.1 GENERALIDADES DE AJUSTE DEL LD301 CON	

	CONFIGURADOR PALM	35
5.1.1	Info	37
5.1.2	Device Info	37
5.1.3	Monit	37
5.1.4	Conf	37
5.1.5	Range	38
5.1.6	Trim	39
5.1.7	User unit	39
5.1.8	Factory	39
5.1.9	PID	39
5.1.10	Total	39
5.1.11	Multidrop	40
5.2	AJUSTE DE TRANSMISOR INTELIGENTE DE PRESIÓN DIFERENCIAL LD301 PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA	40
5.2.1	Configuración de los parámetros de medición	41
5.2.2	Configuración de despliegue de variables	41
5.3	MONTAJE PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA	41
5.3.1	Análisis de Resultados Obtenidos de la medición de Presión Hidrostática	43
5.4	AJUSTE DE PRESIÓN CON REFERENCIA	43
6	FASE III	45
6.1	GENERALIDADES DE LA CALIBRACION DE TRANSMISOR LD301	45
6.2	PRUEBA DEL INSTRUMENTO PARA DETERMINACIÓN DE DESEMPEÑO	45
6.3		

	AJUSTE DEL INSTRUMENTO PARA CORRECCIÓN	47
6.3.1	DE OPERACION	
	Ajustes de Transmisor para Corrección de Falta de	47
6.3.1.1	linealidad	47
6.3.1.2	Recuperación de Calibración de Fábrica	47
6.3.2	Tabla de Calibración	49
6.3.2.1	Ajuste de Error en la Medida	49
6.3.2.2	Saturación	50
6.3.3	Ajuste de Temperatura	50
6.4	Ajuste de Error en la Salida de Corriente	
	ERRORES DEPENDIENTES DEL MONTAJE DEL	52
6.4.1	TRANSMISOR LD301	
	Ubicación de la toma con respecto a la Ubicación del	52
6.4.2	transmisor	53
6.4.3	Purga en la Tubería de las Tomas	54
6.4.4	Inclinación del Transmisor	55
7	Edad Celda	
	FASE IV –APLICACIÓN DE CONFIGURACION	
	PARA MEDICIONES DERIVADAS DE LA PRESION	58
7.1	DIFERENCIAL	58
7.2	MEDICIÓN DE NIVEL	61
7.3	MEDICIÓN DE VOLUMEN	64
7.3.1	MEDICIÓN DE FLUJO	65
7.3.2	Principios Físicos de la Medición de Flujo en Tubería	
	Configuración de Transmisor LD301 a la Medición de	69
7.3.2.1	Flujo	71
7.4.	Totalizador	73
7.5.	MULTIPUNTO	74

8.	CONTROLADOR PID	77
9.	ACTIVIDADES ADICIONALES	79
	CONCLUSIONES	82
	BIBLIOGRAFIA	83
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Tabla de selección de ajuste local con destornillador magnético	30
Tabla 2. Descripción de la acción de ajuste obtenida con destornillador magnético	31
Tabla 3. Lecturas de presión en columna de agua	43
Tabla 4. Error Adicionado a la Medida de Presión por la Falta de Purga en las Tomas.	54
Tabla 5. Error Agregado a la Medida como causa de la Inclinação de Transmisor.	54
Tabla 6. Aumento del Error en Transmisor LD301 serial 153145	56
Tabla 7. Parámetros que Influyen en la Medida de Nivel del Aguardiente	60
Tabla 8. Valores Obtenidos en la Medición de Volumen con LD301	63
Tabla 9. Cantidades de Interés para la Medición de Flujo I	69
Tabla10. Cantidades de Interés para la Medición de Flujo II	69
Tabla11. Datos obtenidos en la Aplicación de Medición de Flujo	70

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Diseño Dimensional del LD301	19
Figura 2. Diagrama de una Celda Capacitiva	20
Figura 3. Equivalente Eléctrico de una Celda Capacitiva	22
Figura 4. Diagrama en Bloque del Circuito Interno del LD301	23
Figura 5. HI311 Interfaz serial-HART	26
Figura 6. Vista Frontal terminal de mano Palm VX	27
Figura 7. Ajuste Local de Cero y Span y Llaves de Ajuste Local con destornillador magnético	29
Figura 8. Diagrama de Conexionado en modo Transmisor Punto a Punto	32
Figura 9. Pantalla de Inicio del Software HP301	33
Figura 10. Ventana principal para transmisores LD301 y LD201 respectivamente	34
Figura 11. Diagrama de Montaje de Medición de Presión de Columna de Agua	40
Figura 12. Pantalla Principal de la Tabla de Caracterización	45
Figura 13. Diagrama de Cableado para Ajuste de Corriente	48
Figura 14. Posición del Transmisor y las Tomas en medición de Presión en Gas y Líquido.	49
Figura 15. Aumento del Error en Transmisor LD301 serial 153145	53
Figura 16. Esquema Montaje Transmisor LD301 para la Medición de Nivel.	54
Figura 17. Esquema de una placa orificio	63
Figura 18. Diagrama de Montaje Multipunto	69
Figura 19. Figura Montaje De LD301 como Controlador	70

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A. PARTES DEL LD 301	75
ANEXO B LIMITE DE CARGA DEL LD 301	77

GLOSARIO

AJUSTE: proceso de manipular algunas partes del instrumento para que la relación entre la entrada y la salida concuerde con las especificaciones.

CALIBRACION: determinación de la relación experimental entre la cantidad que se mide y la salida del dispositivo con el cual se realiza la medición.

CAMPO (FIELD): área de una planta de proceso fuera de la sala de control donde las mediciones son hechas y de la cual se proporciona la comunicación

EEPROM: *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*, Memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente, chip de memoria que retiene su contenido sin energía.

HART COMUNICACION PROTOCOL: acrónimo de *Highway Adressable Remote Transducer Communication Protocol*. Es un protocolo digital estándar para comunicación con dispositivos de campo inteligentes (Smart Field Device).

MODEM: modulador/demodulador usado para convertir señales HART a señales RS232.

MULTIDROP NETWORK: sistema de comunicación HART en el que dos o mas dispositivos se conectan a un mismo par de cables; usualmente se refiere a un red con mas de un dispositivo esclavo.

PROTOCOLO: grupo de reglas que se usan en la generación o recepción de un mensaje.

PUNTO A PUNTO: modo de comunicación HART que usa la señal convencional 4-20 mA para transmisión análoga en la que solo dos dispositivos son conectados a la vez, mientras se mide, ajusta y transfiere datos del equipo digitalmente.

RED (NETWORK): serie de dispositivos de campo y control conectados entre ellos a través de un medio de comunicación.

SEÑAL DIGITAL: señal discreta con amplitud cuantificada. Dicha señal se puede representar por medio de una secuencia de números (binarios, generalmente).

TRANSDUCTOR: dispositivo que convierte una señal de entrada en una señal de salida de naturaleza diferente a la de entrada, tales como los dispositivos que convierten una señal de presión en un voltaje.

TRANSMISOR INTELIGENTE: dispositivo basado en microprocesador que puede ser programado para ejecutar cálculos, realizar autodiagnósticos, reporte de fallas y que permite establecer comunicación con una locación remota.

VARIABLE DEL PROCESO: parámetro del proceso del que se esta leyendo o controlando (e.g., Nivel, Flujo, temperatura, densidad).

RESUMEN

Un transmisor inteligente es un dispositivo que además de medir cierta variable física, realiza acciones especiales como: conversión de la señal eléctrica arrojada por el transductor a una señal específica conforme el protocolo industrial para el cual fue construido (protocolo Hart o Fieldbus generalmente), visualización de la variable del proceso en cualquier familia de unidades y control PID, según la configuración dada por el usuario.

En la actualidad la empresa de sistemas de medición y control de procesos industriales SINCRÓN, comercializa y usa en sus aplicaciones transmisores Inteligentes, entre los cuales se pueden mencionar los transmisores de presión absoluta, manométrica y diferencial, densidad/concentración, desplazamiento lineal y angular, flujo, nivel y temperatura, en su gran mayoría fabricados por la empresa SMAR. Cabe destacar que el uso de estos transmisores en el campo industrial ha sido de gran acogida, esto debido a sus características de fabricación que hace de ellos instrumentos aptos para los difíciles ambientes industriales.

La empresa SINCRÓN reconoce la necesidad de fortalecerse en el manejo de conceptos físicos fundamentales relacionados con procesos de medición industrial, para fomentar la aplicación en el caso específico de los transmisores de presión diferencial, en montajes diferentes a los sugeridos en el manual.

El presente documento presenta las actividades realizadas como parte de la pasantía en la empresa SINCRÓN, encaminadas a fortalecer el conocimientos sobre los transmisores SMAR LD301.

INTRODUCCIÓN

SINCRÓN S.A es una empresa que además de vender instrumentos para aplicaciones industriales, también ofrece soluciones para la industria a través del diseño y puesta en marcha de proyectos, por lo cual es de suma importancia para el personal de técnicos e ingenieros de SINCRÓN conocer el manejo adecuado de los equipos que representa comercialmente la empresa, y al mismo tiempo, identificar las variables físicas presentes en los procesos industriales y conocer las técnicas de medición y control de dichas variables.

SINCRÓN es una empresa que trabaja a diario en el mejoramiento de la calidad de su servicio, proporcionando un respaldo técnico garantizado a sus clientes, y reconoce que algunos de los equipos representados por ellos pueden mostrar mejores rendimientos y aplicaciones diversas, tal es el caso del transmisor inteligente de presión SMAR LD301. La demanda en el mercado por dichos dispositivos es aceptable, esto sustenta el interés de la empresa en aumentar el conocimiento sobre el manejo de dichos transmisores inteligentes.

Esta pasantía tuvo como propuestas:

1. Brindar un aporte de conocimientos en el área de la física aplicada a la medición de presión, flujo y volumen a través de una serie de charlas dictada al personal de ingenieros y técnicos de la empresa.
2. Realizar aplicaciones de medición de presión, nivel, volumen y flujo con el LD 301 para identificar los procedimientos de ajuste del transmisor.
3. Elaboración de un manual complementario al manual de usuario, de operación y mantenimiento proporcionado por el fabricante.

Fuera de dichos items, fue interés de la empresa el desarrollo de actividades complementarias relacionadas con la medición de variables físicas y el manejo de instrumentación industrial, todo esto encaminado a obtener experiencia con un profesional nuevo como es el caso del Ingeniero Físico, ya que el difícil ambiente industrial requiere gente con una formación integral.

El siguiente documento reúne los conocimientos adquiridos en el manejo de transmisores inteligentes de presión LD301 y sustenta las actividades realizadas en la empresa SINCRÓN, cuyo impacto demuestra el amplio campo de acción del Ingeniero Físico y refleja la imagen de un profesional calificado en el manejo y calibración de equipos de medición y control.

1. RESEÑA HISTORICA SINCRÓN

En 1978 nace SINCRÓN Diseño Electrónico con la fabricación de los primeros controladores análogos y registradores de datos producidos en el país. A partir de 1983 se lanza como pionera en el desarrollo de productos sofisticados de adquisición de datos con las primeras tarjetas para ese fin, como respuesta a las necesidades de la industria y la economía de aquel entonces. Desde sus comienzos SINCRÓN ha mantenido una imagen de servicio creando soluciones de automatización para la industria de todo el país y hoy se constituye como una empresa líder en soluciones de comunicación de video remoto a través de Internet, instrumentación industrial y automatización de procesos.

SINCRÓN en los últimos años ha desarrollado proyectos de automatización en diferentes industrias del sector petrolero, azucarero, semaforización, servicios, energía, tratamiento de agua, alimentos, papeles etc., empleando para ello tecnologías diversas, de arquitectura abierta y flexible, involucrando a la industria nacional en una etapa de desconfiguración de las grandes soluciones centralizadas y popularizando lo que hoy en día se conoce como Control Distribuido y Telemetría.

SINCRÓN Diseño Electrónico cuenta hoy en su planta con Ingenieros y personal técnico que ofrecen asesorías en la instalación, calibración, puesta en marcha y capacitación en la operación de equipos, diseño de estrategias y puesta en marcha de los sistemas de control, adicionalmente se realiza diagnóstico de fallas y reparaciones de equipos de instrumentación y control, y se ofrecen garantías de fabricación sobre todos los equipos instalados.

2. GENERALIDADES DE LA COMUNICACIÓN HART

El protocolo de comunicación HART fue introducido por primera vez por la empresa Rosemount Inc. En 1986 como un estándar de diseño exclusivo para la comunicación de transmisores.

El motivo de la aceptación obtenida por el protocolo HART se debe a las ventajas que ofrece HART al usuario. Es un protocolo de comunicación que puede usarse en los existentes sistemas de control 4-20 mA con gastos mínimos para su implementación. Pueden utilizarse los actuales cableados de campo y las salidas y entradas de sistemas de control. Debido a que HART combina la señalización analógica y digital, el protocolo ofrece un control notablemente rápido de la variable primaria y permite la transmisión rápida de información que no sea de control.

HART es una técnica de codificación por modificación de frecuencia (FSK por sus siglas en inglés), Es decir, sobrepone comunicación digital en un bucle de corriente de 4-20 mA que conecta el instrumento de campo con el sistema de control. Se utilizan dos frecuencias (1000Hz y 2.200 Hz) para sobreponer un 1 y 0 binarios. Estos tonos se aplican a la señal DC, a un bajo nivel. La señal AC tiene un valor promedio de cero. Por ello, no se registra ningún cambio de DC en la señal existente de 4-20 mA, en consecuencia, el instrumento puede seguir utilizando la señal analógica para control de procesos y la señal digital para información que no sea de control.

HART también ofrece la posibilidad de funcionar en multipunto, pudiendo conectarse 16 instrumentos en el mismo par de líneas.

3. TRANSMISOR INTELIGENTE DE PRESIÓN LD301

El LD301 es un transmisor de presión inteligente para la medición de presión absoluta, manométrica y diferencial, nivel y flujo, que actúa bajo un sistema de comunicación HART, en la Figura 1, se puede observar el diseño dimensional del transmisor LD301 y en el anexo A, un esquema de las partes que constituyen el dispositivo.

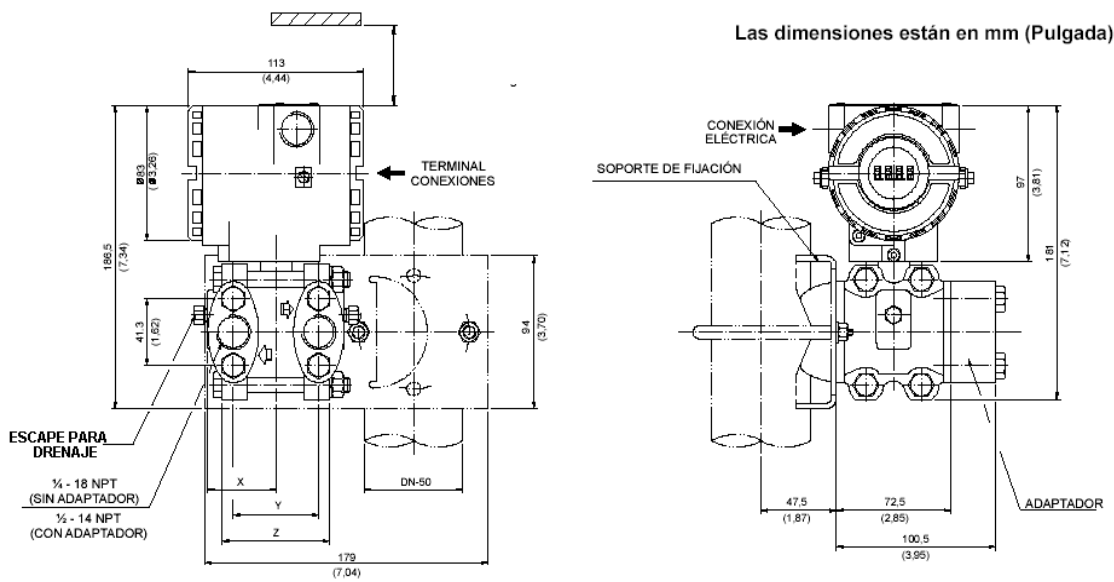


Figura 1. Diseño dimensional del LD301

3.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SENSOR

Los Transmisores de Presión Inteligentes Serie LD301 usan los sensores capacitivos (células capacitivas) como elementos sensores de presión, como se muestra en la Figura 2

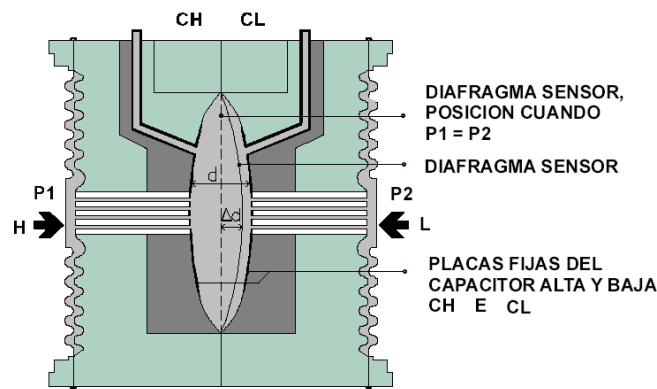


Figura 2. Diagrama de una celda capacitiva

Donde,

P_1 y P_2 son las presiones en las cámaras H y L

CH = capacitancia entre la placa fija en el lado P_1 y el diafragma sensor.

CL = capacitancia entre la placa fija en el lado P_2 y el diafragma sensor.

d = distancia entre las placas fijas CH y CL.

Δd = deflexión del diafragma sensor debida a la presión diferencial $\Delta P = P_1 - P_2$.

Conociendo que la capacitancia de un condensador con placas planas y paralelas puede expresarse como una función del área de la placa (A) y la distancia (d) entre las placas como:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1)$$

En donde ϵ = constante dieléctrica del medio entre las placas del capacitor.

Si se considera CH y CL como las capacitancias de las placas planas y paralelas con áreas idénticas, entonces:

$$CH = \frac{\epsilon A}{(d/2) + \Delta d} \quad (2)$$

$$CL = \frac{\epsilon A}{(d/2) - \Delta d} \quad (3)$$

Sin embargo, si la presión diferencial (ΔP) aplicada al elemento capacitivo no desvía el diafragma del sensor más allá de $d/4$, es posible suponer que ΔP es proporcional a Δd lo que es:

$$\Delta d \propto \Delta P \quad (4)$$

Al desarrollar la expresión $(CL - CH)/(CL + CH)$, se deduce que:

$$\Delta P \propto \frac{CL - CH}{CL + CH} \propto \frac{2\Delta d}{d} \quad (5)$$

Como la distancia (d) entre la placa fija CH y CL es constante, es posible concluir que la expresión $(CL - CH) / (CL + CH)$ es proporcional a ΔP y, por consiguiente, a la presión diferencial a ser medida.

Así es posible concluir que la célula capacitiva es un sensor de presión formado por dos cavidades o capacitores en forma de bolsas cuyas capacitancias varían, según la diferencia de presión aplicada.

La configuración típica es como se muestra en la Figura. 3, donde las capacitancias están dispuestas en una configuración Push-Pull semipiente en la cual ambos capacitores son parámetros modulados.

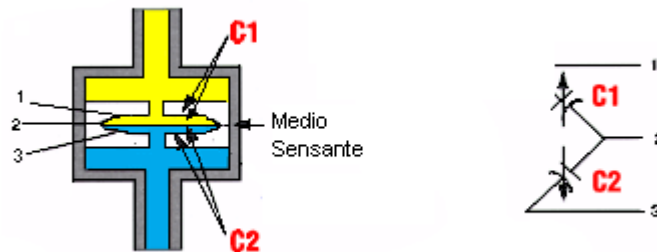


Figura 3. Equivalente eléctrico de una celda capacitiva

El sensor capacitivo requiere una excitación dinámica y todo diseño capacitivo contiene un oscilador interno y una señal demoduladora que contiene una salida estática, en algunos casos esos componentes limitarán el rango de operación de temperatura de -40°C a $+120^{\circ}\text{C}$.

El miembro elástico sobre los sensores capacitivos de presión es conductor o tiene una capa conductora depositada sobre el y se sitúa entre dos estructuras de soporte de material cerámico o vidrio. Los soportes de los demoduladores son eléctricamente aislados, en donde las placas del capacitor son pantallas impresas o están depositadas por vapor dentro de la estructura de soporte. Algunos diseños usan diafragmas de metal flexible y cavidades ocupadas por silicona o aceite para prevenir el contacto de la estructura activa del capacitor con el medio.

3.2 DIAGRAMA FUNCIONAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

El diagrama de bloques de la Figura 4, describe el funcionamiento del circuito.

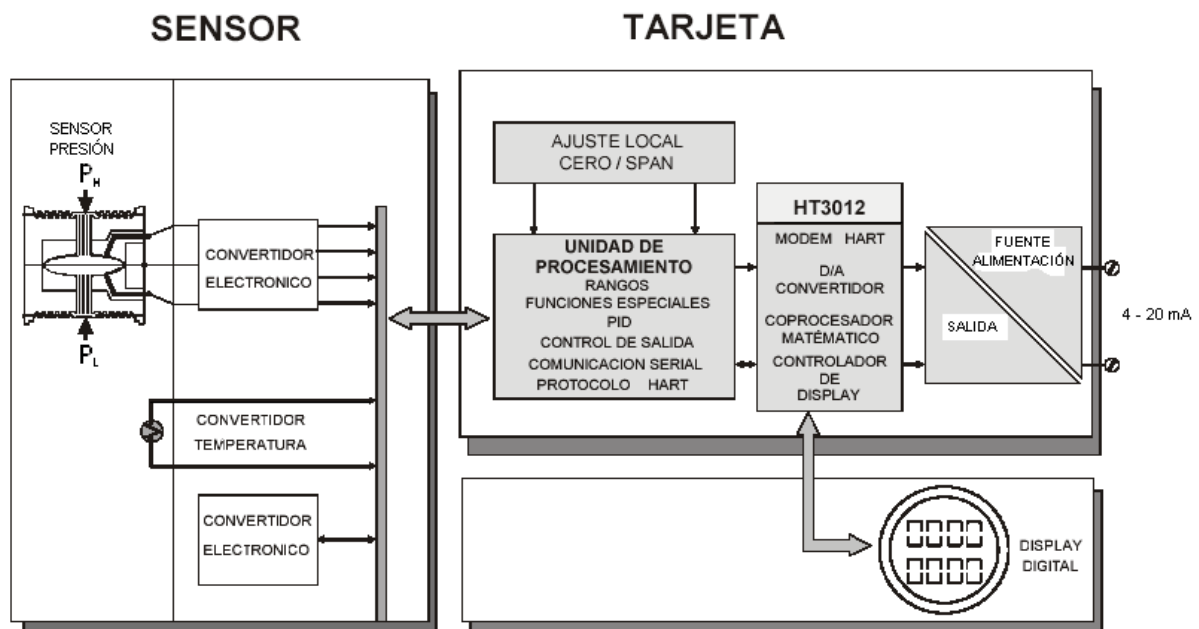


Figura 4. Diagrama en bloque del circuito interno del LD301

Un transmisor inteligente SMAR LD301 está constituido por:

- Un sensor de presión.
- Una conversión D/A que convierte la señal analógica a un dato digital con 14 bits de resolución.
- Una unidad de procesamiento responsable del manejo y operación de todos los otros bloques, linealización y comunicación.
- Un bloque de salida encargado de controlar la corriente en la línea que alimenta el transmisor.

- Un bloque de MODEM que suministra el cambio de los datos entre el configurador y el transmisor, usando la comunicación digital del tipo slave-master (esclavo-amor).
- Un controlador del visor que recibe los datos y activa los segmentos del LCD y las señales de control de cada segmento.
- Un bloque de ajuste local constituido por dos interruptores que se activan magnéticamente por un destornillador magnético, sin contacto externo.

4. FASE I - RESUMEN DE ACTIVIDADES INICIALES

4.1 RECOLECCION DE INFORMACIÓN

En esta etapa del proyecto se realizó la actividad correspondiente al reconocimiento de la planta física de la empresa (departamento de compras, administración, ingeniería, ventas, servicios técnicos, producción y almacén) y presentación del personal de SINCRÓN, de manera similar se realizó la inducción sobre reglamento de la empresa y conductos regulares. Reconocimiento de los servicios y productos ofrecidos por la empresa.

El paso siguiente consistió en identificar los aspectos de interés en Física para la preparación de una charla de divulgación de conocimientos de física aplicada a procesos industriales.

Luego de definido el tema de mayor relevancia, se realizó la propuesta correspondiente, siendo aceptada por la Gerencia cuya fecha de realización figuró para el día 19 de agosto de 2004 conforme a la disposición de tiempo del personal de SINCRÓN.

Se recolectó el material bibliográfico relacionado al manejo del transmisor de presión diferencial LD301 y se realizaron las charlas con el profesional de mejor manejo de conceptos en dicho campo para identificar el punto de partida en el manejo del equipo.

4.2 DESARROLLO DE TAREAS DE FAMILIARIZACIÓN CON LOS EQUIPOS Y PROGRAMAS DE COMUNICACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL LD301

Se realizó la inducción al ajuste y acceso a funciones del transmisor LD301; para lo cual se inició identificando los equipos y programas de configuración del LD301, es de anotar que un instrumento inteligente puede realizar tareas diferentes a la medición de una variable física por lo cual su ajuste resulta ser un poco más complicado que el de un transmisor de presión convencional con salida 4-20mA.

A continuación se enumeran las tres vías con las cuales cuenta Sincrón para conseguir comunicación con un transmisor inteligente de presión diferencial LD301.

4.2.1 CONF301.

CONF301 es un programa de computador que toma las ventajas de la potencia y fabricación de Microsoft Windows; proporcionando inmediato acceso a los instrumentos de soporte localizados en el campo, desde cualquier computador portátil o desde la pantalla de un computador personal. CONF301 permite acceso a los datos del instrumento de campo y permite analizar y modificar el desempeño de los instrumentos. CONF301 se comunica con el exterior bajo el protocolo RS232 por lo cual es necesario una interfaz que permita la comunicación del terminal de mando o computador con los instrumentos inteligentes de protocolo HART, para lo cual se recurre al conversor RS232-HART, para este caso en especial se describirá la interfaz serial HI311, ver Figura 5.

4.2.1.1 HI311 Interfaz Serial-HART.

La interfaz de comunicación de campo HI311 se diseñó para proporcionar una excelente comunicación entre un instrumento de campo HART y un computador personal. Esta interfaz reúne la potencia de la señal de salida del puerto serial RS-232 con conector DB9 sin causar sobrecarga en sus pines.

La HI311 puede ser usada con el software de comunicación HART de Smar CONF301 o con cualquier software que satisfaga las condiciones de comunicación HART.

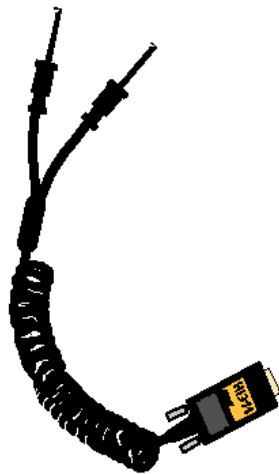


Figura 5. HI311 Interfaz serial-HART

El Smar HI311 proporciona una interfaz directa entre un puerto de comunicación serial en un PC y una red HART, además, es compatible con los ambientes de comunicación HART. Este elemento usa un mínimo de número de señales del puerto serial.

4.2.2 Configurador HART HPC301.

SMAR desarrolló dos tipos de Configuradores para sus dispositivos HART:

Configurador HT2 (anterior) y configurador HPC301 (actual):

El Configurador HT2 usa la plataforma de la computadora de bolsillo PSION y el HPC301 usa la tecnología moderna de las computadoras de bolsillo Palm VX.

El HPC301 (configurador de bolsillo HART) es el programa diseñado por SMAR que corre en el sistema de operación de las computadoras de bolsillo o Pocket PC marca Palm, el paquete HPC301 está comprendido en tres partes:

1. La interfaz de comunicación; específicamente el HPI311.
2. La terminal de mano Pocket PC
3. El software de configuración, específicamente el HPC301. que es independiente de la interfaz o modelo de terminal de la computadora de bolsillo.



Figura 6. Vista frontal terminal de mano HART de computadora de bolsillo

Dado que el configurador de mano sobre el que corre el HPC301 es un pequeño computador, la comunicación con un instrumento como el LD301 sólo puede efectuarse con la ayuda de una interfaz, en el caso del programa

CONF301 esta interfaz estaba constituida por un conector DB9, un circuito conversor HART/RS232 y un terminal de dos hilos, para el caso del HPC301 la interfaz es suministrada por varios fabricantes siendo la HPI311 la comercializada por la empresa SMAR, dicha interfaz es una caja en la cual se ajusta la computadora de bolsillo haciendo coincidir el puerto entrada/salida con el puerto entrada/salida de la interfaz, para que la computadora de bolsillo reconozca la interfaz es necesario instalar con anterioridad el software HPC301.

4.2.3 Destornillador Magnético.

Si el transmisor tiene un visor y está configurado para “Ajuste Local Completo” (usando el conector móvil interno jumper), el destornillador magnético será casi tan poderoso como la configuración HART, lo que elimina la necesidad de una herramienta de configuración en la mayoría de las aplicaciones básicas.

Si el visor del LD301 no está conectado mientras el instrumento está en la modalidad de Controlador, ninguna modalidad de ajuste será configurada. Cuando el visor es accionado, el procedimiento local simple de la modalidad controladora es muy diferente de aquella en la modalidad transmisora.

Para seleccionar la función de modos de las llaves magnéticas, se deben configurar los jumpers ubicados por sobre la placa del circuito principal, según es indicado en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de selección de ajuste local con destornillador magnético

SI/COM	OFF/ON	NOTA	PROTECCIÓN DE ESCRITURA	AJUSTE LOCAL SIMPLE	AJUSTE LOCAL COMPLETO
■ ■ ■ □	■ ■ ■ □		Deshabilitado	Deshabilitado	Deshabilitado
□ ■ ■ ■	■ ■ ■ □	1	Habilitado	Deshabilitado	Deshabilitado
■ ■ ■ □	□ ■ ■ ■	2	Deshabilitado	Habilitado	Deshabilitado
□ ■ ■ ■	□ ■ ■ ■		Deshabilitado	Deshabilitado	Habilitado

El transmisor tiene bajo la placa metálica de identificación, orificios para dos llaves magnéticas activadas por el destornillador magnético (Figura 7)

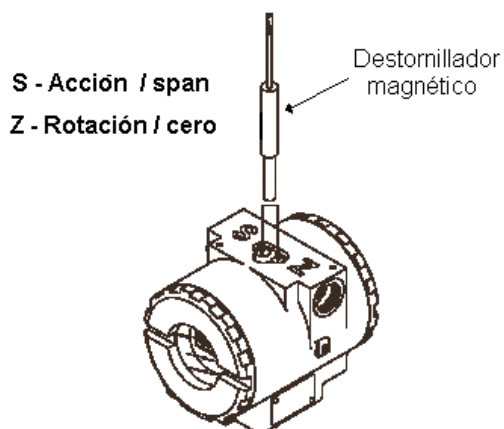


Figura 7. Ajuste local de cero y span y llaves de ajuste local con destornillador magnético

1 – Si es seleccionada “protección del Hardware”, La EEPROM será protegida.

2 – La condición de default del ajuste local simple es habilitando y deshabilitando la protección de escritura.

Los orificios están marcados con una Z (por Cero) y una S (por Span) designados simplemente por (Z) y (S), respectivamente. La Tabla 2. muestra la acción realizada por el destornillador magnético mientras esté introducido en (Z) y (S), de acuerdo con el tipo seleccionado de ajuste.

Para acceder a las funciones:

1 – Se introduce el mango del destornillador magnético en (Z) para que el transmisor pase de la medición normal al estado de configuración de Transmisor. El software de transmisión empieza automáticamente a exhibir las funciones disponibles en una rutina cíclica. El grupo de funciones exhibidas depende de la modalidad seleccionada para el LD301, sea de Transmisor o de Controlador.

2 – Para alcanzar la opción deseada, se verifican las opciones, se espera hasta que estén exhibidas en el visor y se mueve el destornillador magnético de (Z) a (S). Al reponer el destornillador en (Z), será posible optar por nuevas funciones.

Tabla 2. Descripción de la acción de ajuste obtenido con destornillador magnético

A C C I O N	AJUSTE LOCAL SIMPLE		AJUSTE LOCAL COMPLETO
	MODO TRANSMISOR	MODO CONTROLADOR	
Z	Selecciona el Valor del Rango Inferior	Se desplaza entre las Opciones de operación y total	Los movimientos entre todas las opciones
S	Selecciona el Valor del Rango Superior	Activa las funciones Seleccionada	

4.2.3.1 Ajuste Local Simple.

El LD301 funciona diferente si el ajuste local simple es seleccionado en la modalidad de transmisor o en la modalidad de controlador. En la primera (transmisor), el ajuste es usado para calibración de Cero y Span, y en la segunda (controlador), la configuración se restringe a las funciones OPERACIÓN y TOTALIZACIÓN.

4.2.3.2 Ajuste Local Completo.

El transmisor debe ser equipado con el visor digital para posibilitar esta función. Las siguientes funciones estarán disponibles para el ajuste local completo:

- Corriente Constante
- Ajuste de Tabla de Puntos
- Unidades del Usuario
- A prueba de fallo
- Ajuste de Corriente y ajuste de Caracterización de Presión
- Parámetros de Totalización
- Cambio de Direcciones y algunos puntos de la función INFORMATION.

4.3 EQUIPO ESCOGIDO PARA LA REALIZACION DEL ESTUDIO DEL LD301

Luego de efectuar un proceso de familiarización con los tres medios de comunicación HART enunciados anteriormente se procedió a escoger el equipo más conveniente para la realizar las actividades posteriores.

Dado que el software CON301 al igual que la técnica de ajuste manual con destornillador magnético solo permite el acceso a algunas funciones del transmisor, se escogió el equipo constituido por la PALM VX, la interfaz HPI311

y el programa HPC301 ya que este equipo permite el acceso completo al árbol de programación del transmisor LD301.

4.4 CONEXIÓN ELECTRICA DEL LD301 COMO TRANSMISOR

El transmisor SMAR LD301 es un dispositivo cuyo voltaje de alimentación está entre 12 y 45 VDC para efecto de este trabajo se alimentó con una fuente de 24VDC y para su correcto funcionamiento digital se incluyó una resistencia de 250Ω en la línea de alimentación. Debe tenerse en cuenta que la curva de limite de carga ofrecida por el fabricante, la cual puede ser vista en el anexo B, muestra que la operación digital solo puede efectuarse si la carga resistiva es superior a 250Ω y el voltaje de polarización es mayor a 18VDC.

Un diagrama del conexionado punto a punto puede verse en la Figura 8, este tipo de esquema eléctrico fue el implementado para todas las acciones de configuración del transmisor.

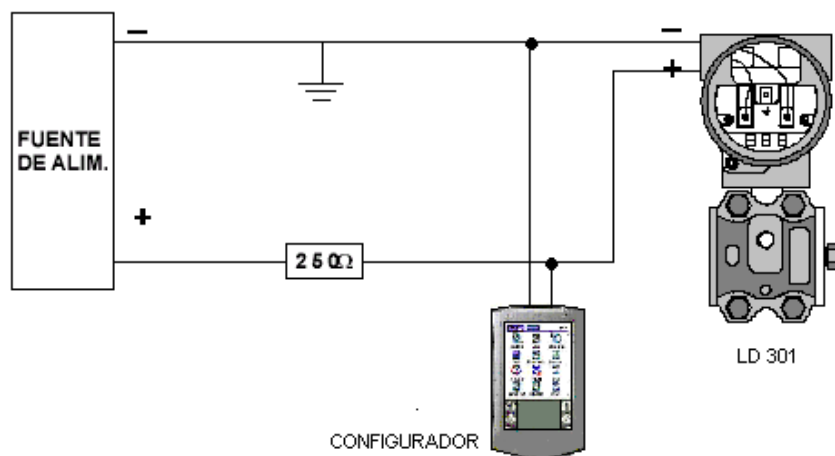


Figura 8. Diagrama de conexión en modo Transmisor punto a punto

Las funciones que ocurren entre el configurador y el transmisor no interrumpen la medición de Presión, y no modifican la señal de salida. El configurador puede conectarse en el mismo par de cables de la señal 4-20 mA, hasta 2 Km lejos del transmisor

5. FASE-II

5.1 GENERALIDADES DE AJUSTE DEL LD301 CON CONFIGURADOR DE MANO

Esta sección se pretende de manera resumida describir el entorno del software HPC301 a tiempo que se muestran algunas de las ventanas gráficas que se pueden ver en la pantalla de cristal líquido de la computadora de mano.

1. Después de dar clic al icono de HPC301, lo mostrado en la Figura 9. aparecerá en la pantalla.

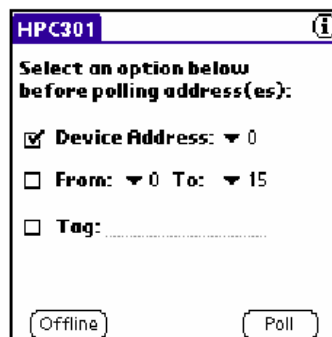


Figura 9. Pantalla de inicio del software HPC301

2. Ahora se selecciona la búsqueda de dirección del dispositivo por cambio en la dirección de 0 a 15. Cada dispositivo HART puede ser configurado en una dirección de 1-15 para ser usado en aplicaciones en red con otros HART, y que por defecto la dirección 0 indica comunicación punto a punto entre el esclavo (LD301) y el maestro (Palm).
3. Si se presiona el botón Poll, HPC301 buscará todos los dispositivos designados en la red. Luego de ejecutada esta función una lista de dispositivos aparecerá en pantalla.

4. Seleccionando uno de los dispositivos de la lista se tendrá acceso a las funciones de dicho dispositivo

La figura 10. muestra la ventana principal que mostrará el software tanto para un transmisor de presión (LD301) y transmisor de temperatura (TT301), más adelante se describirá de manera resumida las funciones a las cuales se puede acceder.

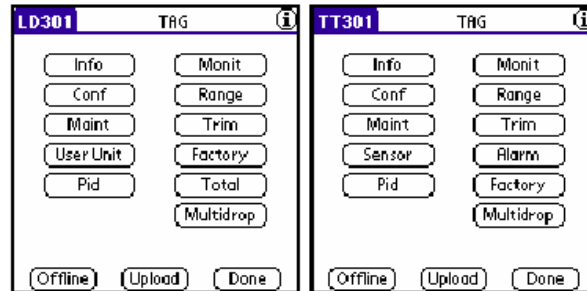


Figura 10. Ventana principal para transmisores LD301 y TT301 respectivamente

A través de este medio se puede acceder a los siguientes parámetros:

- Identificación de transmisor y datos de fábrica
- Ajuste de variable primaria
- Ajuste de transmisor a rango de trabajo
- Selección de unidades de ingeniería
- Medición de rata de flujo
- Tabla de linealización
- Configuración de controlador PID
- Configuración de dispositivo
- Mantenimiento de equipo.

A continuación se describe la función a la cual se accede con cada botón

5.1.1 Info.

Contiene los siguientes campos:

Tag: 8 caracteres alfanuméricos correspondientes a la identificación del transmisor

Descriptor: 16 caracteres para identificación del servicio o locación.

Date: En este campo se escribe la fecha de calibración del equipo.

Message: Campo en el cual se anota el nombre de la persona que calibró.

5.1.2 Device info.

Accediendo a esta función se pueden leer algunos datos tales como el tipo de dispositivo, número serial, tipo de sensor, versión de Hardware y Software.

5.1.3 Monit.

Al oprimir este botón aparecerá una pantalla en la cual se puede ver el valor actual de cuatro variables. Para escoger cada variable basta presionar la flecha adjunta y dar clic a la variable que se desea monitorear.

5.1.4 Conf.

Esta función afecta la salida de 4-20mA del transmisor y la indicación del despliegue, aquí se puede cambiar el rango, características de la salida, operación matemática sobre la entrada y unidades de ingeniería.

Dentro de este menú se encuentra la función **table** (tabla de puntos), si esta opción es seleccionada la salida se ajustará a la curva proporcionada por los valores de dicha tabla. El número máximo de puntos que se pueden ingresar es 16.

Esta tabla resulta ser muy útil cuando se pretende obtener una señal derivada del valor de presión diferencial, tal es caso de volumen, flujo, nivel, fuerza, etc.

5.1.5 Range.

Para ajustar el transmisor al rango de trabajo basta con ingresar a este menú y se encontrarán los siguientes campos:

URL : Es la máxima presión que la celda capacitiva del sensor puede soportar y aparece por defecto según el rango de medición del elemento sensante.

URV: Es el valor máximo configurado por el usuario, corresponde al valor de presión para el cual la salida será 20mA.

LRV: Mínimo valor configurado por el usuario. Cuando la presión aplicada coincide con este valor la salida corresponderá a 4mA.

URL: Mínimo valor que puede detectar el sensor y es el valor inverso de LRV.

Min Span: Indica el mínimo valor que puede existir entre URV y LRL.

Damping: Amortiguación, consiste en el filtro digital con amortiguamiento de 0-32 s, se debe tener en cuenta que el transmisor tiene una amortiguamiento mecánico de 0.1s

Dentro de la función Range se encuentra la posibilidad de escoger la unidad de variable de proceso.

5.1.6 Trim.

Aquí se encuentran todas las funciones referentes al ajuste de la medición. Puede ser ajustado la medida de presión, temperatura y la salida de corriente; así como el ajuste de cero de la variable sensada.

Se puede realizar un ajuste más exhaustivo haciendo uso de la tabla de caracterización, en la cual se pueden ubicar 5 puntos de medida.

5.1.7 User Unit.

Esta función permite configurar una unidad distinta a la de presión por ejemplo volumen, flujo, nivel, el usuario debe indicar la relación entre la presión y la unidad de usuario y el transmisor realizará la conversión matemática correspondiente.

5.1.8 Factory.

Esta función permite leer datos propios de la celda del sensor que fueron gravados allí por el fabricante, tal como la calibración de fábrica, dichos datos son constantes y no se puede acceder a ellos para modificaciones.

5.1.9 PID.

Esta función permite la configuración de los datos del controlador PID cuando el transmisor se configura como controlador.

5.1.10 Total.

Cuando el LD301 funciona en aplicaciones de flujo, puede ser conveniente totalizar el flujo, para saber el volumen acumulado o la masa que circula a través del canal o tubería, esta función permite configurar el totalizador.

5.1.11 Multidrop.

Cuando se realiza aplicaciones de múltiples dispositivos en paralelo esta función permite seleccionar la dirección del transmisor la cual puede estar configurada entre 0 y 15, ya que el protocolo HART solo soporta un máximo de 16 dispositivos en paralelo.

5.2 AJUSTE DE TRANSMISOR INTELIGENTE DE PRESIÓN DIFERENCIAL LD301 PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA

La primera actividad práctica con el transmisor LD301 se constituyó en el ajuste del transmisor a la medición de presión hidrostática dada las limitaciones de montaje presentes en el taller de producción de SINCRÓN.

Cuando se configura un transmisor LD301 se pueden identificar dos fases; la primera correspondiente al ajuste de los parámetros de medición y la segunda correspondiente a la fase de prueba, en esta parte de la práctica se realizó la fase de configuración y la fase de prueba para la medición de presión.

Para configurar un transmisor LD301 se debe tener en cuenta ciertas especificaciones tanto de ajuste como de funcionamiento del sensor, es decir, se debe confirmar el rango de funcionamiento de la celda capacitiva, esto con el fin de conocer las limitaciones al momento de aplicar presión en la fase de prueba.

5.2.1 Configuración de los Parámetros de Medición.

Primeramente se debe configurar el rango bajo el cual va a trabajar el transmisor y se ajustan los parámetros:

- Unidades de Variable de Proceso
- Máximo y Mínimo valor de medición.
- Si es necesario se adjudica el valor de **damping**, este valor es sólo una amortiguación a los campos bruscos de medida, es decir, hace al instrumento responder de manera más lenta, el LD 301 ya tiene un amortiguamiento mecánico de 0.10s [1].

5.2.2 Configuración de Despliegue de Variables.

El paso siguiente fue configurar la manera como se muestran los datos en el despliegue digital del dispositivo para lo cual se accede a la función **Conf.** (Configuración). Aquí se modificaron los siguientes aspectos:

- **Seguridad de falla:** En caso de que ocurra un error en el transmisor, este los mostrará como un estado saturado que puede estar por encima de 20 mA o por debajo de 4 mA, si se escoge Seguridad de Falla como HIGH toda falla se hará visible con una corriente superior a 20 mA y si se escoge LOW la falla se medirá como una corriente inferior a 4mA.
- **Función de transferencia:** En este caso de medición de diferencia de presión la función escogida es lineal.
- Se configuró las variables a observar en el despliegue del transmisor como: Salida (mA), PV (mmH₂O)

5.3 MONTAJE PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA

En SINCRÓN se puede contar con dos tipos de montajes para ajustar los transmisores LD301 a la medición de presión; montaje constituido por

compresor, válvula reguladora de presión y manómetro analógico, y el montaje constituido por un tubo vertical, con escala de nivel en centímetros, que puede ser llenado con cualquier líquido; en este caso se comenzó trabajando con la columna de agua ya que simula la medición de nivel y capacidad. La Figura 11 muestra el esquema del montaje empleado y la forma de conexión del transmisor a la toma de presión.

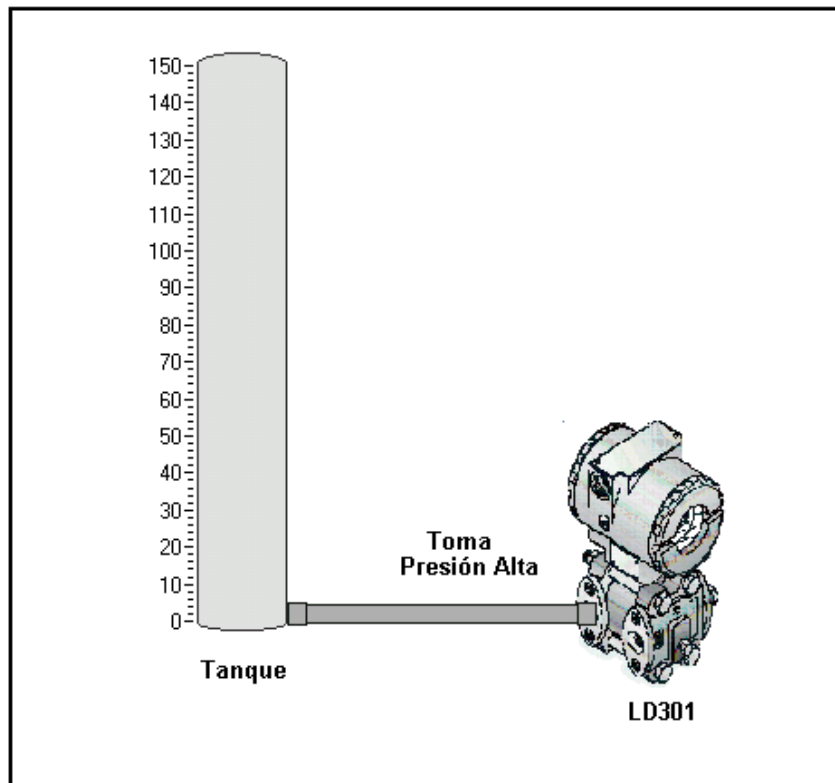


Figura 11. Diagrama de Montaje de Medición de Presión de Columna de Agua

La primera prueba realizada tuvo como objetivo detectar posibles fuentes de error en la medición con el montaje anteriormente citado, para lo cual se hizo uso de un transmisor ya ajustado y verificado su buen funcionamiento.

5.3.1 Análisis de Resultados Obtenidos de la Medición de Presión Hidrostática.

La tabla 3 muestra la relación entre la entrada y la lectura del transmisor, y de ella se hace una estimación del error presente en el montaje.

Tabla 3. Lecturas de Presión en Columna de Agua

Altura columna H₂O (mmH₂O)	Presión leída en el LD301 (mmH₂O)	Error (mmH₂O)
Sin conexión	0	0
0	0	0
257	249	8
331	312.	19
460	444	16
541	524	17
601	584	17
758	740	18
830	815	15

De la prueba anterior se determinó un error promedio de 16 mmH₂O, para lo cual se hizo revisión del montaje y se detectó falta de nivelación entre la toma de la columna y la toma del transmisor, lo cual fue corregido elevando el transmisor en 16 ± 2 mm.

5.4 AJUSTE DE PRESIÓN CON REFERENCIA

Se trabajaron otros tipos de ajuste de rango de medición, el ajuste de presión baja con referencia y el ajuste de presión alta con referencia.

- Ajuste de Presión Baja con Referencia (identificado como función Lower Trim)

Para el desarrollo de esta función se aplica la presión más baja de la escala y se activa la función. Si la presión mostrada por el transmisor está en concordancia con la aplicada; el usuario informa al transmisor que la lectura es correcta a través del configurador HART (Palm).

- Ajuste de presión Alta con Referencia (Upper Trim)

Se realiza de manera similar al procedimiento anterior, salvo que se activa la función *Upper Trim*.

6. FASE III

6.1 GENERALIDADES DE LA CALIBRACION DE TRANSMISOR LD301

La siguiente fase del trabajo consistió en la actividad de ajuste del transmisor, como parte fundamental del reconocimiento de errores y recolección de conocimientos.

Hay dos aspectos fundamentales involucrados en la calibración de cualquier instrumento.

- Prueba del instrumento para determinar su desempeño
- Ajuste del instrumento para operar bajo las especificaciones

Probar el instrumento requiere recoger suficientes datos para estimar los errores de operación del instrumento y ajustar el instrumento significa manipular aquellas funciones que permitirán al instrumento desempeñar una labor de medición específica [4].

6.2 PRUEBA DEL INSTRUMENTO PARA DETERMINACIÓN DE DESEMPEÑO

En esta pasantía se tuvo la oportunidad de trabajar con más de quince transmisores LD301 diferentes, para los cuales siempre se les realizó una prueba de funcionamiento. Dichas pruebas estuvieron encaminadas a comprobar los siguientes aspectos:

- Respuesta a la alimentación, es decir, el funcionamiento continuo al ser conectado a la fuente de alimentación.
- El estado de comunicación del transmisor para corroborar la posibilidad de realizar ajustes con el configurador Palm
- Concordancia de la lectura del sensor a la entrada de diferencias de presión.
- Comportamiento lineal de la medida de presión arrojada por el equipo con respecto a la presión aplicada.
- Comportamiento lineal de la medida de presión arrojada por el equipo con respecto a la corriente de salida

El 100% de los transmisores nuevos que fueron probados para asegurar su buen funcionamiento mostraron excelente comportamiento, 4 de 5 de los transmisores que llegaban a revisión después de estar en campo, no mostraban concordancia en la lectura y necesitaron de recuperación de calibración de fábrica, el restante de los equipos que entraban para revisión no respondieron a la recuperación de calibración por pérdida total de la celda.

Ninguno de los equipos necesitó de tabla de calibración, puesto que luego de realizar el procedimiento de recuperación de calibración de fábrica, operaron de manera satisfactoria.

6.3 AJUSTE DEL INSTRUMENTO PARA CORRECCIÓN DE OPERACIÓN

6.3.1 Ajustes de Transmisor para Corrección de Falta de Linealidad .

En resumen, se logró identificar dos procedimientos para ajustar la medida (presión) a la señal de entrada (presión de referencia) como parte del trabajo de ajuste de transmisores para clientes de Sincrón

6.3.1.1 Recuperación de Calibración de Fábrica.

Esta operación permite la recuperación de la calibración realizada en los laboratorios de la fábrica y guardada en la memoria del sensor.

Suele suceder que los muchos ajustes que se deben realizar a un transmisor alteran otras funciones con errores que no se pueden identificar, la recuperación de calibración de fábrica permite devolver a la CPU del transmisor los ajustes propios del sensor, grabados en la memoria de la celda capacitiva. Esto en la mayoría de los casos atendidos, permitió devolver al equipo la linealidad en la medida de presión.

6.3.1.2 Tabla de Calibración.

En el caso de no existir linealidad en la medición se puede realizar un ajuste fino haciendo uso de esta tabla de caracterización, la cual es una subfunción de la función de ajuste (Trim). La figura 12, muestra la pantalla correspondiente a la Tabla de Caracterización

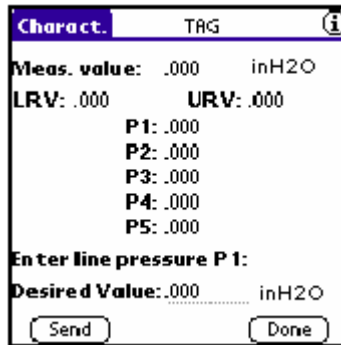


Figura 12 Pantalla principal de la tabla de caracterización

Puede observarse aquí la presencia de cinco puntos para caracterización, la asignación de los puntos es automática y secuencial iniciando en el primer punto (P1). Esta caracterización se realiza con presión aplicada al transmisor, bajo el procedimiento siguiente:

Se aplica la presión correspondiente a P1, esta presión es conocida lo que permite escribir en el campo **Desired Value** la magnitud de dicha entrada, se selecciona **Send** para aceptar el cambio, de manera similar se llenará el total de puntos. Finalizado este procedimiento se oprime **Done** para salir de la ventana de caracterización.

Al efectuarse la función de caracterización en el visor del transmisor se leerá la palabra CHAR, que indica la activación de este proceso.

Otro factor que puede alterar la medida es la activación de funciones de transferencia erróneas, se debe recordar que el transmisor LD301 tiene la posibilidad de operar la medida de presión con raíz cuadrada, raíz cuadrada a la tercera y quinta potencia y tabla de puntos, de estas opciones se debe escoger la apropiada para cada aplicación.

Una configuración mas que puede causar errores es la activación de unidades de usuario o el ajuste incorrecto de esta función, las unidades de usuario actúan como una simple regla de tres, así que su uso inadecuado puede alterar la Variable del Proceso

6.3.2 Ajuste de Error en la Medida.

6.3.2.1 Saturación.

Se debe recordar que el LD 301 es un instrumento de medición de diferencias de presión y que el valor de dicha diferencia debe estar dentro del rango de medida ajustado para evitar el mensaje "SAT". Si el estado saturado no es causado por medidas de presión por encima del rango de medición programado para el transmisor, se puede recurrir al ajuste de cero, dicho procedimiento consiste en aplicar a ambos lados de la celda capacitiva o sensor de presión del LD301 la misma presión para obtener una diferencia igual a cero, el método más sencillo implementado fue el de dejar los dos diafragmas del sensor (tomas de presión) libres, en contacto con la atmósfera para obtener la igualdad de presiones, luego de dicho proceso se ajusta el cero recurriendo a la función *de ajuste de cero*, al ejecutar dicha función la diferencia de presiones es reconocida por el instrumento como una medida de cero presión, dicho procedimiento permite superar el estado saturado del transmisor y pasar al estado de medición disminuyendo el error en la medida.

Existen casos para los cuales el ajuste del cero no resulta ser efectivo para salir de un estado saturado, es entonces cuando se debe recurrir a la recuperación de calibración de fabrica y efectuar el ajuste de cero posteriormente.

6.3.2.2 Ajuste de Temperatura.

El transmisor LD 301 realiza una corrección de temperatura en la medición de presión, ya que integra dentro de la tarjeta electrónica de la celda capacitiva un sensor de temperatura.

La medida de temperatura también debe ser ajustada y se debe verificar periódicamente la lectura, para corregir errores adicionales a la medida de presión.

6.3.3 Ajuste de Error en la Salida de Corriente.

Se debe tener en cuenta que el mínimo del rango de trabajo el cual se identifica con LRV corresponde al 0% de la señal medida y que el máximo del rango de trabajo o URV corresponde al 100%. La señal de salida esperada para un transmisor 4-20mA es:

4 mA a una señal de entrada de 0% del rango.

20 mA a 100% del rango.

En algunos casos de desajuste la señal de salida no corresponde a lo esperado, y será necesario realizar un ajuste de Corriente.

Para realizar este procedimiento es necesario contar con un amperímetro de precisión como referencia de medición.

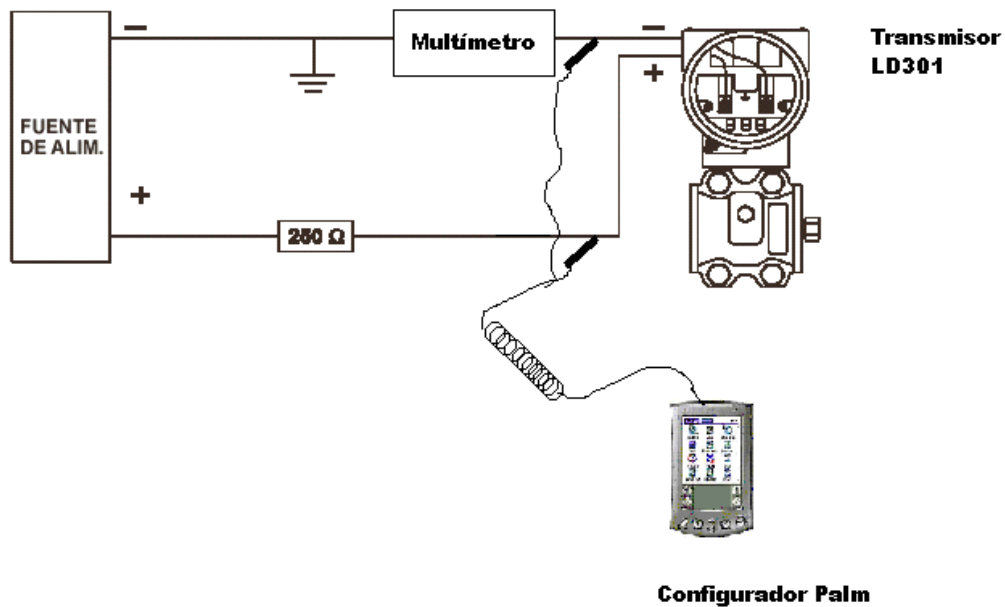


Figura 13. Diagrama de cableado para ajuste de corriente

Se conecta el multímetro como lo muestra la figura, se selecciona uno de los tipos de ajuste.

- **Ajuste de 4 mA** : Se usa para ajustar el valor de la corriente de salida que corresponde a 0% de la medición.
- **Ajuste de 20 mA**: Se usa para ajustar el valor de la corriente de salida que corresponde a 100% de la medición.

Se espera un momento a que la corriente se estabilice y se informa al transmisor el valor de la corriente del amperímetro de precisión.

6.4 ESTUDIO DE ERRORES DEPENDIENTES DEL MONTAJE DEL TRANSMISOR LD301

Cuando un transmisor LD 301 es vendido por Sincrón, la empresa se compromete a entregarlo operando en las mejores condiciones bajo especificaciones acordes al proceso descrito por el cliente, cada transmisor es probado y ajustado para la operación específica, pero existen factores adicionales que no dependen de la calibración y que pueden adicionar error a la medida. A continuación se describen brevemente los casos de error en el montaje del dispositivo, que provocan una alteración de la medida de presión arrojada por el instrumento LD301.

6.4.1 Ubicación de la Toma con Respecto a la Ubicación del Transmisor.

El transmisor Smar LD301 no posee una configuración única para todos los casos de medición de presión en fluidos. La Figura 14 muestra las configuraciones sugeridas por el fabricante para la posición del transmisor y las tomas en gas y líquido.

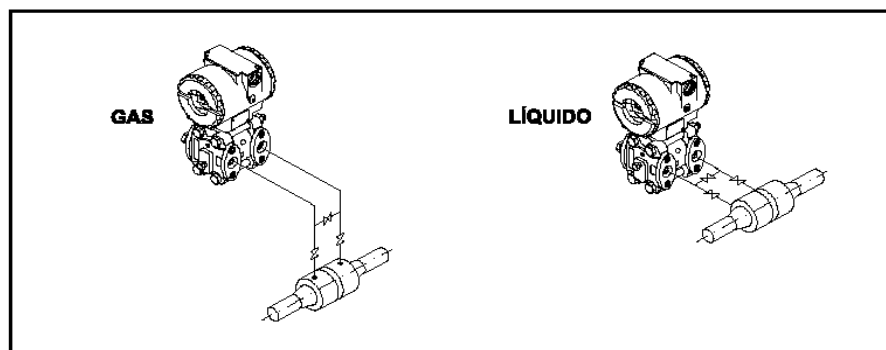


Figura 14. Posición del Transmisor y las Tomas en medición de Presión en Gas y Líquido.

Las tomas para medición de presión con gas, se sugieren en la parte superior de la tubería ya que así se evitan las fases líquidas que puedan existir en la tubería y que podrían generar una presión adicional a la del gas si ingresa por las tomas a la cavidad de medición de la celda.

Las tomas para líquidos se hacen laterales, y como se vió en el apartado 5.3.1, y específicamente la tabla 3, se comprobó si el transmisor no se encuentra alineado con la toma se genera un error provocado por la presión ejercida por el peso del fluido en la tubería de la toma.

6.4.2 Purga en la Tubería de las Tomas.

Otro de los factores que adiciona error a la medida y que suelen ocasionar discrepancia entre las medidas obtenidas en el ajuste en banco y las obtenidas en el campo, es el descuido de no purgar las tomas de presión que van directo a las entradas de medición del transmisor. Purgar es la palabra asignada al proceso de sacar los excesos de fluidos que no son de interés de las tomas de medición, por ejemplo aire en el proceso de medición de diferencias de presión en líquido. El LD301 posee unos pequeños tornillos que al ser abiertos un poco permiten la salida de un poco de fluido del proceso y también del fluido parásito, estos tornillos hacen las veces de una válvula de drenaje (ver Anexo A, Número de Pieza 23). La tabla 4, muestra el error adicionado a la medida por la falta de purga, estos datos se obtuvieron usando el montaje para medición de presión hidrostática ver figura 11, y midiendo la presión ejercida por la columna de agua, sin aflojar la válvula de drenaje, de esta forma quedan atrapadas burbujas de aire dentro de la tubería.

La tabla 4. Error Adicionado a la Medida de Presión por la Falta de Purga en las Tomas.

Presión Aplicada (mmH ₂ O)	Presión Medida por el LD301 (mmH ₂ O)	Error (mmH ₂ O)
298	283	15
372	354	18
440	420	20
573	556	17
678	658	20
761	739	22
939	913	21
988	961	18

6.4.3 Inclinación del Transmisor.

La tabla 5, muestra el error en porcentaje sobre el máximo rango de medición, agregado a la medida como causa de la Inclinación del transmisor en una prueba realizada para comprobar la teoría de “que la inclinación del Transmisor agrega un error considerable a la medida”. Para obtener los datos solo se rota el transmisor en el plano lateral de la celda capacitiva.

Tabla 5. Error Agregado a la Medida como causa de la Inclinación del Transmisor.

Inclinación (°)	Error (mmH ₂ O)	Error (%)
0	0	0
90	0.148	0.0296
180	0	0
270	-0.152	-0.0304

Como se observa en la tabla 5 el error es pequeño y puede obviarse si la medición requiere una precisión del 1%.

6.4.4 Edad de la Celda.

La garantía ofrecida por el fabricante para las celdas capacitivas que emplean los LD301, suele ser de dos años, fuera de este tiempo una celda puede alcanzar un tiempo de vida útil, en promedio de diez años. La empresa tiene un registro del tiempo que un transmisor LD301 en proceso exigente, requiere de ajuste. Este tiempo es igual a seis meses. Pero el tiempo entre ajuste y ajuste realizado a los transmisores varía principalmente de la edad de la celda; a medida que aumenta la edad de la celda es necesario un ajuste de medición con mayor frecuencia, ya que este dispositivo capacitivo pierde sensibilidad.

La tabla 6. muestra los datos arrojados por una celda capacitiva de aproximadamente tres años de operación, en esta tabla se ven un caso particular en el que el error aumenta con el tiempo a una tasa muy alta en comparación con lo esperado.

Tabla 6. Aumento del error en transmisor LD301 serial 153145

Tiempo (minutos)	Error (mmH₂O)
0	0.00
5	1.00
7	2.17
10	2.50
15	4.20
25	4.32
27	9.06
30	10.76
40	20.00
45	24.91
50	27.48
55	29.49
60	40.00
70	50.00
80	64.00
85	68.00
90	70.46

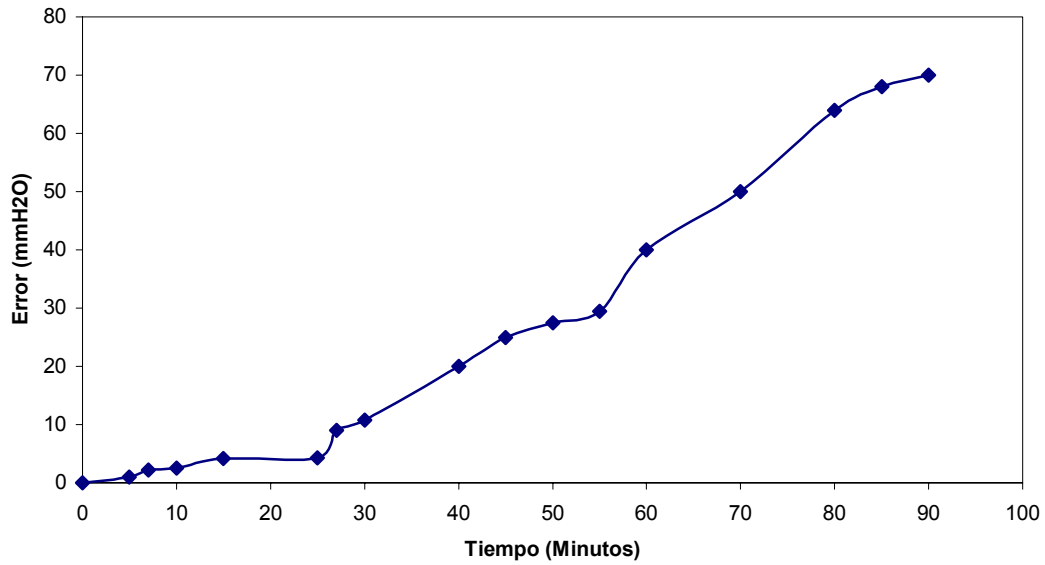


Figura. 15 Aumento del Error en el Transmisor LD301 serial 153145

Dado que error para el transmisor de estudio se encuentran en ascenso con el tiempo, la opción propuesta para minimizar el error es ajustar en el software de control o supervisorío una función de error que reste al valor leído del transmisor el error estimado según el comportamiento de la curva.

7. FASE IV –APLICACIÓN DE CONFIGURACION PARA MEDICIONES DERIVADAS DE LA PRESION DIFERENCIAL, CONFIGURACION EN MULTIPUNTO Y CONTROLADOR PID

7.1 MEDICIÓN DE NIVEL

El principio físico que relaciona la presión con la altura de un líquido se expresa como:

La presión absoluta P_a a una profundidad h debajo de la superficie de un líquido abierto a la atmósfera es mayor que la presión atmosférica en una cantidad ρgh , donde ρ es la densidad del líquido, g es la aceleración de la gravedad y h la profundidad, expresado en fórmula se tiene que:

$$\Delta P = \rho gh$$

El siguiente dibujo muestra el esquema del montaje para medición de nivel con un transmisor LD301, este es un ejemplo de medición de nivel con sensor de presión diferencial.

Para efectuar la medición de nivel el diafragma de presión alta del LD 301 debe estar en contacto con el líquido del tanque, de modo que se medirá la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto, así que la toma de presión baja se deja libre.

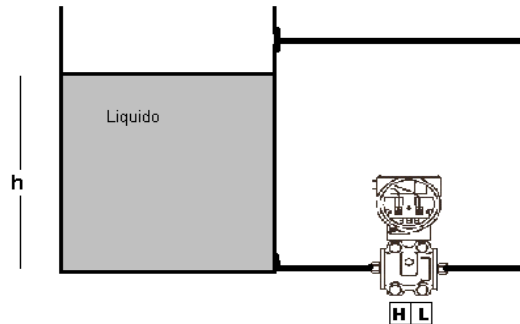


Figura 16. Esquema Montaje Transmisor LD301 para la medición de nivel.

Donde h corresponde a la altura de líquido que se desea medir.

La configuración software del equipo empieza de igual forma que para la medición de presión diferencial:

- Se configuran las unidades de ingeniería para presión ingresando a **Range / PV unit**
- Se ajusta el rango de medición ingresando a **Range** y modificando **LRV** y **URV**.
- Se configura el filtro **Range/Damping**
- Se adjudica la dirección del equipo en la función **Multidrop**
- Se configura el despliegue de datos **Conf/LCD**, para visualizar la medición de nivel una de las variables debe ser **PV**.
- Se habilitan y ajustan las unidades de usuario en **User Unit**

A continuación se describe el proceso de ajuste de dos transmisores LD301 a la medición de nivel en tanques de aguardiente de la Industria Licorera del Cauca.

Para la aplicación de nivel de la Licorera del Cauca, el transmisor se ajustó de manera que la salida de corriente estuviera en concordancia con la medida en

nivel, de igual manera se programó el despliegue de tal forma que pudiera observarse la medida de nivel en metros. Los datos ingresados para realizar la conversión presión a nivel fueron resultado del trabajo de pasantía titulada “Diseño e Implementación de un Sistema Supervisorio de Flujo Nivel por PC para la Industria Licorera del Cauca” [7] y pueden ser vistos en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros que influyen en la medida de nivel del aguardiente [7]

DENSIDAD DEL LIQUIDO (Kg/m ³)	1020
ALTURA DE LOS TANQUES (m)	2,73
DIÁMETRO DE LOS TANQUES(m)	1,69
CAPACIDAD TANQUES (litros)	61.200
ACELERACION g (m/s ²)	9,776
AREA TRANSVERSAL DEL TANQUE (m ²)	2,24
PRESION A ALTURA MAX (Pa)	27.222,25

Dado que $\Delta P = \rho g h$

Se relacionan las variables:

Cuando se mida cero presión, la altura debe ser cero

Si la presión es máxima es decir: 27.222,25 Pa (resultado de la operación $\rho g h$ en donde $\rho = 1020 \text{Kg/m}^3$, $h = 2.73 \text{m}$ y $g = 9.776 \text{m/s}^2$) para dicha presión la altura debe ser 2.73m

Para este ejemplo se configura en **Range**

URV=27.222,25 Pa

LRV=0 Pa

y las unidades de usuario (**User Unit**) se ajustaron así:

E.U(100%)=2.73 m

E.U(0%)=0m

La unidad elegida para mostrar el nivel es m y además se configuró el visor para mostrar **PV** (variable del proceso para este caso nivel) y **Out(mA)**

7.2 MEDICIÓN DE VOLUMEN

La medición de volumen bajo la medición de presión diferencial, se realiza bajo el mismo principio de la medición de nivel, solo se debe recordar que para un tanque con sección transversal constante, el volumen es igual al producto de la sección transversal por la altura.

La configuración software del equipo empieza de igual forma que para la medición de presión diferencia:

- Se configuran las unidades ingeniería para presión ingresando a **Range / PV unit**
- Se ajusta el rango de medición ingresando a **Range** y modificando **LRV** y **URV**.
- Se configura el filtro **Range/Damping**
- Se adjudica la dirección del equipo en la función **Multidrop**
- Se configura el despliegue de datos **Conf/LCD**, para visualizar la medición de volumen una de las variables debe ser **PV (Variable del Proceso)**.
- Se habilitan y ajustan las unidades de usuario en **User Unit**

En una aplicación para medición de volumen de líquido en la empresa Licorera del Cauca; para efectuar la actividad de ajuste se usaron los mismos datos que para el caso de la aplicación de nivel, ya que la verdadera necesidad de la empresa, mas que conocer el nivel de aguardiente es recoger la cantidad de litros de aguardiente almacenados en cada tanque.

Para efectuar este ajuste se usaron las cantidades mostradas en la tabla anterior.

El primer paso para el ajuste de una aplicación en particular es conocer la función de transferencia es decir la ecuación matemática que operará el valor de diferencia de presión para obtener su equivalente en volumen.

Se puede obtener fácilmente la expresión para el volumen retomando la expresión para el nivel y multiplicando a lado y lado de la ecuación por el área de la sección transversal, la siguiente es la expresión obtenida:

$$V = \rho g \frac{A}{\Delta P}$$

Donde:

V; es el volumen

ρ ; la densidad del liquido

A; el área de la sección transversal

ΔP ; la diferencia de presiones

Relacionando las variables se tiene:

Cuando se mida cero presión el volumen debe ser cero.

Si la presión es máxima es decir: 27.222,25 Pa (resultado de la operación ρgh en donde $\rho = 1020\text{Kg/m}^3$, $h = 2.73\text{m}$ y $g = 9.776\text{m/s}^2$) para dicha presión el volumen debe ser 6123,86 litros (resultado de multiplicar la altura máxima por el área transversal del tanque).

Para esta aplicación se realizó el siguiente proceso de configuración:

- Se configuró el rango como
Máximo = 27.222,25 Pa
Mínimo = 0 Pa
- Las unidades de Usuario se configuraron como:
E.U(100%)=6123.86 litros
E.U(0%)=0litros

Lo anterior significa que cuando el transmisor detecte una entrada de 27.222,25 Pa, en la salida de corriente y en el visor del transmisor se tendrá un equivalente de medida en litros igual a 6123.86 litros, ya que se configuró el visor para mostrar **PV** (litros) y **Out** (mA), y la relación entre la entrada y la salida es lineal, ya que se estimo un tanque cilíndrico.

Después de efectuar el proceso de ajuste de los dos transmisores seleccionados para esta aplicación se efectuó en proceso de verificación de la medida obteniendo los datos consignados en la tabla 8.

Tabla 8. Valores obtenidos en la medición de volumen con LD301

Volumen Esperado (l)	Volumen Leído LD301 (l)	Error (l)	Error (%)
468,887	468,739	0,148	2,422E-4
783,575	783,479	0,096	1,572E-4
1205,539	1205,708	-0,169	2.757E-4
1397,049	1396,863	0,186	3,045E-4
1386,444	1386,300	0,144	2,359 E-4
2580,249	2580,030	0,219	3,572 E-4

Para efectuar mediciones de volumen o nivel en tanques con sección transversal variable el proceso que se recomienda medir es realizar pruebas que permitan encontrar la relación presión nivel o presión volumen, y hacer uso de la tabla de puntos incluida dentro del transmisor, lo que permitirá que la medida se obtenga por interpolación.

7.3 MEDICIÓN DE FLUJO

Aparte del trabajo efectuado con los transmisores de nivel ajustados en SINCRÓN pero comprados por la Licorera del Cauca se ajustó un tercer transmisor para la medición de flujo.

Entre los muchos instrumentos de medición de flujo volumétrico, se destacan el basado en presión diferencial, ya que es el método más antiguo y el más utilizado para la medición de flujo en tuberías cerradas. [3]

Para usar el método de presión diferencial es necesario dos elementos: el sensor o transmisor de presión diferencial y un elemento que ofrezca restricción al fluido.

Para la aplicación de la Industria Licorera del Cauca el elemento de restricción escogido, fue la placa orificio y como transmisor de presión, se seleccionó un LD301.

La placa de orificio consiste en una placa perforada que se instala en la tubería la cual puede ser: concéntrico, excéntrico y segmental, según la aplicación la placa incorpora, normalmente, un pequeño orificio de purga. Para captar la

presión diferencial que origina la placa de orificio, es necesario conectar dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior de la placa. La disposición de las tomas, puede ser: en las bridas, en la vena contraída, en la tubería o radiales [3]

La Industria Licorera del Cauca hizo la adquisición de una placa orificio concéntrica de toma en las bridas, cuando se hace referencia a una placa orificio de tomas en las bridas se habla de una placa orificio cuya toma de presión se realiza en los flanches a distancias de 1 in antes de la placa y ½ in después de la placa.

A continuación se describen brevemente los principios físicos utilizados para definir la función de transferencia que debía ser programada en el transmisor:

7.3.1 Principios Físicos de la Medición de Flujo en Tubería

Dos ecuaciones de la dinámica de fluidos son la base para el cálculo de flujo inferido de la medición de diferencias de presión; la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli.

Para un sistema de flujo continuo, la masa dentro del fluido permanece constante a través del tiempo: $dm/dt = 0$.

Si la descarga del flujo Q esta definida como:

$$Q = A * V \quad (6)$$

La ecuación de continuidad se expresa de la siguiente forma: [1]

$$m = \rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_2 \quad (7)$$

Si se considera la densidad constante se tiene:

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (8)$$

La ecuación de continuidad indica que:

El producto del área y la velocidad del fluido en todos los puntos a lo largo de un tubo es una constante en el caso de un fluido incompresible[2].

Puede pensarse en la ecuación de Bernoulli como una forma especial de la ecuación de balance de energía, y se obtiene al integrar la ecuación de Euler.[1]

La ecuación de Bernoulli se define como:

$$z + \frac{v_2}{2 * g} + \frac{P}{\rho * g} = \text{Constante} \quad (9)$$

Así que las ecuaciones de continuidad y Bernoulli juntas permiten derivar la expresión para el flujo.

En aplicaciones reales el flujo calculado es mayor al real debido al coeficiente de descarga C_d , la cual es una cantidad experimental, debido a que en esta aplicación no era posible realizar un proceso experimental que condujera a la obtención de C_d , se optó por usar la ecuación propuesta en la referencia [8] para la medición de flujo en tubería con placa orificio con toma en las bridas.

La ecuación propuesta para la obtención del flujo es la siguiente:

$$Q_v = \frac{\pi}{4} E_v C_d d^2 Y * \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}} \quad (m^3 s^{-1}) \quad (10)$$

C_d = Coeficiente de Descarga

d = Diámetro de la restricción

E_v = Factor de Acercamiento de Velocidad
 Y = Factor de expansión del Fluido
 ΔP = Diferencia de presión
 ρ_f = Densidad del Fluido a la Temperatura de Flujo

En donde E_v es equivalente a:

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (11)$$

Y β es el factor entre el diámetro de la restricción y el diámetro de la tubería es igual a:

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (12)$$

C_d según la referencia [8] para una placa-orificio con toma en las bridas (ver figura) que cumpla las siguientes especificaciones:

$$0.05\text{m} \leq D \leq 1\text{m}$$

$$d \geq 0.0125\text{m}$$

$$0.2 \leq \beta \leq 0.75$$

$$Re \geq 1,260 \beta^2 D \quad (\beta \leq 0.45)$$

$$Re \geq 1,260 \beta^2 D \quad (\beta > 0.45)$$

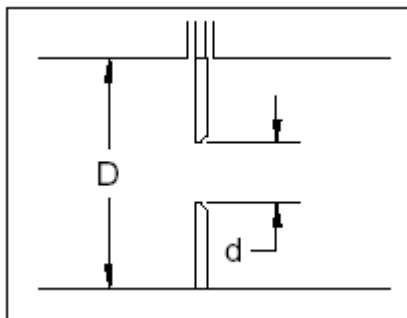


Figura 17. Esquema de una placa orificio

El término matemático que define a C_d (Coeficiente de Descarga) es:

Si $L_1 < 0.433$ entonces:

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5} \left(\frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{0.75} + 0.09L_1 \left(\frac{\beta^4}{1-\beta^4} \right) - 0.0337L_2\beta^3 \quad (13)$$

Si $L_1 \geq 0.433$ entonces:

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5} \left(\frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{0.75} + 0.039L_1 \left(\frac{\beta^4}{1-\beta^4} \right) - 0.0337L_2\beta \quad (14)$$

Para placa-orificio con toma en las bridas:

$$L_1 = L_2 = \frac{0.254}{D} \quad (15)$$

Como L_1 es menor a 0.4333 se uso la primera ecuación.

Las ecuaciones anteriormente expuestas son las expresiones aproximadas para C_d , que proporciona el dato mas cercano al valor experimental del coeficiente de descarga.

la tabla 9, muestra los datos proporcionados por la empresa Licorera del Cauca y la tabla 10 describe los datos calculados a partir de los valores suministrados.

Tabla 9. Cantidades de interés para la medición de flujo I

Viscosidad Cinemática(m²/s)	1,54E-06
Densidad del Alcohol (Kg/m³)	806
Caudal Promedio (m³/s)	3,33E-03
Diámetro Tubería(m)	5,08E-02
Area secc. transvers. (m³)	2,03E+00
Velocidad Media (m/s)	1,64
Numero de Reynolds	54098
Diámetro Placa Orificio(m)	0,029
Area secc. transvers. (m³)	6,62E-04

Tabla 10. Cantidades de interés para la medición de flujo II

L1=L2	4,17E-02
Cd	5,96E-01
FLUJO Máximo (L/s)	4,24
β	5,71E-01
E_v	1,06

7.3.2 Configuración de Transmisor LD301 a la Medición de Flujo.

Ya que se recogieron los datos que debían ser usados, se procedió a configurar los elementos software que servirán de herramienta para la obtención del valor de flujo a partir de la medición de presión.

El transmisor LD301 tiene la posibilidad de aplicar funciones de transferencia tales como raíz cuadrada, raíz cúbica y raíz cúbica de la quinta potencia, para la medición de flujo en tubería y en canal abierto. Como la ecuación 10 muestra

una relación de raíz cuadrada, se debe configura el LD301 para que efectué la acción de operar la diferencia de presión medida con raíz cuadrada.

Este fue el procedimiento usado para configurar el transmisor LD 301 para desarrollar la función de medidor de flujo volumétrico.

- Se configuran las unidades de la variable de proceso (presión) en Pascales (Pa).
- Se ajusta el rango de medición entre los valores:
Máximo: 4×10^4 Pa
Mínimo: 0 Pa
- Se configura la constante del filtro a 0s
- Se adjudica la dirección del equipo como dirección cero.
- Se configuró el despliegue de datos, para visualizar la medición de flujo.
- Se habilitan y ajustan las Unidades de Usuario de la siguiente forma:
100% = 4.24 litros
0% = 0 litros

La tabla 11. muestra los resultados de la prueba realizada después del ajuste del transmisor LD301 a la medición de Flujo.

Tabla 11. Datos obtenidos en la aplicación de medición de flujo

PRESION(Pa)	FLUJO MEDIDO LD301 (l/s)	FLUJO ESPERADO (l/s)	ERROR (l/s)
5932,77	1,68	1,63	0,05
10156,66	2,20	2,14	0,07
8148,51	1,97	1,91	0,06
500,20	0,66	0,47	0,19
2915,00	1,18	1,14	0,04

El error en la medición de flujo se estimó pequeño y acorde a las condiciones del cliente.

7.3.2.1 Totalizador.

Cuando el LD301 funciona en aplicaciones de flujo, puede ser conveniente totalizar el flujo, para conocer el volumen acumulado o la masa que circula a través del canal o tubería, esto se consigue activando una función llamada totalizador.

Por tal motivo uno de los requerimientos hechos por la Industria Licorera del Cauca fue el de poder visualizar en el despliegue frontal del equipo el valor acumulado en el catalizador con el objetivo de tener registro de la cantidad de litros acumulados.

Para modificar y activar la operación de totalizador se selecciona la función **total**, presente en la ventana principal del software HI301.

Se configuró la función de totalizador con los siguientes datos:

- Familia de Unidades: **Volumen**
- Unidades de Totalización: **Litros**
- Flujo Máximo: **3.33 Litros**

7.3.2.1.1 Errores más Frecuentes en la Configuración del Totalizador.

A continuación se describe el problema ocurrido en una prueba de medición de flujo para un proyecto de ECOPETROL.

Se configuró un transmisor LD301 para medición de flujo volumétrico con unidades: barriles día, en el rango de medida de 0-300 bbl/d.

Para configurar el totalizador, se seleccionó:

- Familia de Unidades: **Volumen**
- Unidades de totalizador: **BBL (barriles)**
- Máximo flujo **300 BBL**

Se realizó una prueba con un software Supervisorío llamado Factory Floor4, el programa se encarga de leer el valor de presión arrojado por el transmisor, se realizaba el cálculo matemático para el flujo y totalizador y luego, se verificaba con los valores de flujo y total arrojado por el transmisor. La medida de flujo mostró concordancia entre la arrojada por el LD301 y el valor calculado por el programa de Factory Floor, pero la medida total mostraba ser muy diferente. Después de hacer un pequeño estudio de la causa de error se notó que el valor de máximo flujo debe ser escrito siempre con una base de tiempo en segundos ya que la operación matemática que permite la obtención del flujo es una integral con tiempo en segundos, ya que se había escrito el valor máximo de flujo como 300 BBL proveniente del máximo rango equivalente a 300 BBL, se procedió a realizar la conversión de barriles/día a barriles/segundos, para lo cual se hace la respectiva conversión:

300 (bbl/d) (1d/86400 s), lo cual da como resultado:

0.0034 bbl/s

Este es el valor que debe ser escrito en el campo de flujo máximo.

Dicha acción permitió corregir el error en el conteo del totalizador, pero se debe tener en cuenta que el totalizador solo muestra números enteros de la unidad de totalización de manera que solo se pudo observar un cambio de un

barril en el totalizador cada 5 minutos, ya que la exigencia del cliente es representar el flujo en bbl/día, usar el totalizador del transmisor es un inconveniente por la pérdida de fiabilidad de la medida, por lo tanto implementar el esquema del totalizador en el software de control o supervisión constituye una buena opción si lo deseado es tener mas números decimales en el valor actual del totalizador

Nota:

Cuando se efectúa un cambio en el totalizador el valor totalizado no se pone en cero automáticamente, es decir, se conserva el valor obtenido antes de la configuración, por lo cual se debe oprimir el botón reseteo de totalizador y luego activar el totalizador. Además, se debe tener en cuenta que no se puede realizar ningún ajuste en el totalizador si este no se ha desactivado con anterioridad.

7.4 MULTIPUNTO

Con la ayuda de esta función se adjudica una dirección al transmisor LD301 que va de un número entre 0 y 15. Un transmisor con dirección 0 trabaja de manera similar a un transmisor de corriente, pero un equipo con dirección entre 1-15 trabaja en modo multipunto (múltiples dispositivos en paralelo) y su salida será siempre un valor constante igual a 4 mA, el valor de la variable de proceso solo podrá ser accedida haciendo uso de la comunicación digital.

Dentro de esta pasantía se tuvo la oportunidad de realizar una prueba para comunicación multipunto entre seis transmisores LD301 (transmisores de medición de diferencias de presión), dos LD201 (transmisores de presión manométrica) y un PC que actuaba como dispositivo maestro primario.

Para configurar cada instrumento con la dirección HART deseada, se conectó cada dispositivo punto a punto con la terminal de mano Pocket PC y luego se conectan todos los dispositivos al dispositivo maestro según la topología de red que se desee, para este caso en especial; la topología de bus, la figura 18 muestra el esquema de conexión empleado.

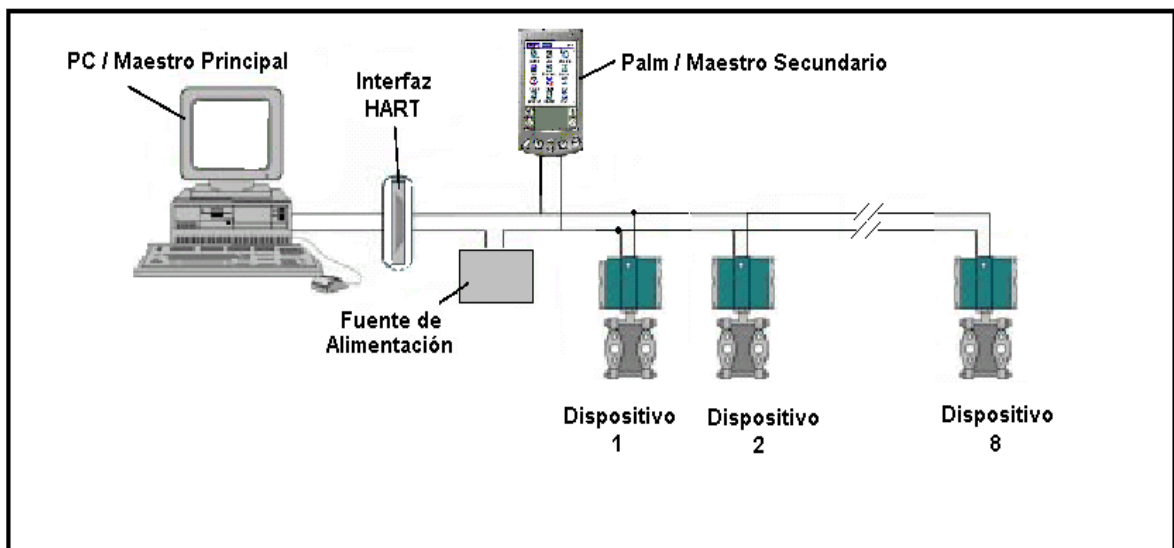


Figura 18. Diagrama de montaje multipunto

La prueba arrojó buen funcionamiento de los instrumentos en red, y permitió comprobar el tiempo empleado por el dispositivo maestro para interrogar al instrumento y recibir respuesta; el tiempo promedio fue de 4s para interrogar la variable primaria de todos los dispositivos de la red, de lo cual se concluye una muy baja velocidad de comunicación para esta experiencia comparada con las bondades de la comunicación cien por ciento digital como es el caso de Fieldbus.

7.5 CONTROLADOR PID

Otra de las cualidades del LD301 es su versatilidad para trabajar no solo como transmisor sino también como controlador, la figura siguiente muestra el cableado típico para el LD301 trabajando una aplicación como controlador.

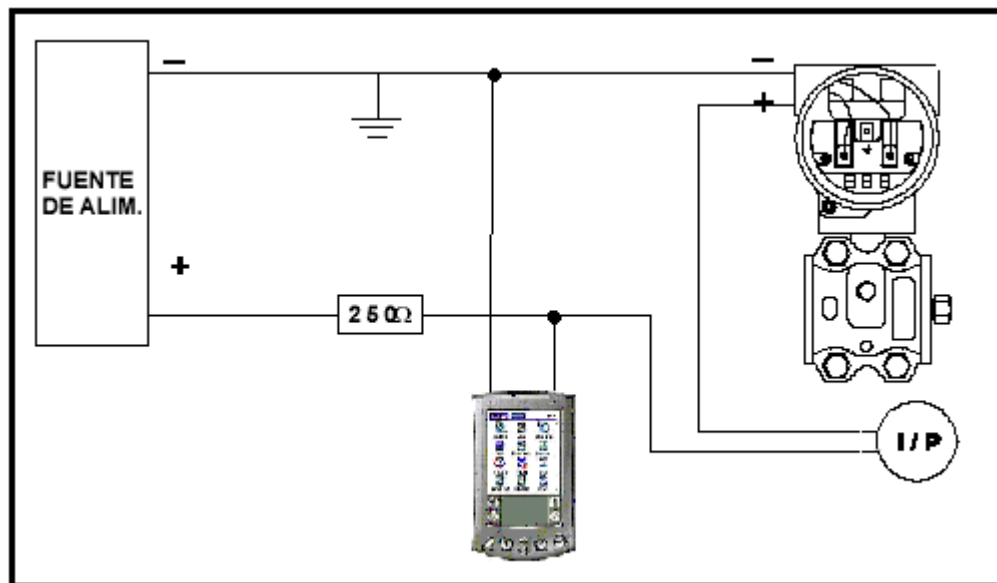


Figura 19 Figura montaje del LD301 como controlador

En la configuración como controlador el LD301 ejecutará una acción de control PID, y la salida de corriente 4-20 mA representará la variable manipulada o MV de la forma 4mA para MV 0% y 20 mA para MV100%.

La salida del transmisor actúa sobre un convertor corriente / presión que modifica la presión de salida del aire que pasa a través de él de manera lineal entre los siguientes rangos:

Entrada	Salida
4 mA	3 psi
20 mA	15 psi

Para configurar los parámetros PID:

- Se habilita la función de controlador seleccionando el botón ON.
- Se configuran los parámetros de sintonía ingresando los valores en el campo correspondiente para **Kp**, **Tr** y **Td**.
- Se configura la acción de control haciendo clic sobre el botón **D** para acción directa o el botón **R** para la acción inversa.
- Para configurar el Modo de Control se selecciona **A** para Modo automático y **M** para modo manual.

Dando clic al botón **Safety** en la ventana **PID** se tendrá acceso a **PID safety limits** Este grupo permite configurar: Salida de Seguridad, Tasa de salida y límite superior e inferior de salida.

8. ACTIVIDADES ADICIONALES

- Revisión y ajuste, Barómetro/altímetro Cole Palmer 99770, cliente: EPSA.
- Charla sobre medición de presión y flujo dirigida a personal de ingenieros y técnicos de la empresa, duración 3 horas.
- Revisión y reparación básculas marca OHAUS, seriales 11661 y 10778.
- Prueba de funcionamiento I/P Bellofram con polarización de 24 V DC, y simulador de corriente 4-20mA en serie.
- Revisión y ajuste de transmisores de presión diferencial marca SMAR, rango 2 seriales no. 32678 y 32673, propietarios VARITEL LTDA
Se probó el equipo para el correcto funcionamiento en la medición de presión en la escala de 0-1000 mmH₂O y se ajustó a medición de flujo.
- Prueba Contador Nais LC4H+ Temporizador Nais PM4H-A, elaboración manual de usuario y plano de conexionado, propietario: PRODUVARIOS SA. Orden de salida PRODUVARIOS No 43223.
- Se realizó mantenimiento, prueba y ajuste de Transmisor de presión diferencial LD301 procedente de la empresa Varitel Ltda., seriales: transmisor 32672, sensor U61047. Se configuró el transmisor para medición de flujo bajo parámetros proporcionados por el cliente.
- Prueba de equipo I/P: Bellofram T-1000, Serial o lote No: 210973
Resultado de la prueba: El equipo presentó avería de kit eléctrico, con deterioro en la bobina.
Posible falla: entrada de corriente por encima de rango máximo soportado por la bobina.
Se reemplazó elemento dañado y se realizó proceso de ajuste y prueba.

- Prueba de Transmisor de Presión Smar LD301, con sello de medición externo, Serial No:95592, Serial Celda U147215, Sello 12471.

Al ser revisado se encontró daño de la tarjeta central y tarjeta de despliegue, para lo cual se realizó cambio de los elementos dañados.

Se realizaron las respectivas pruebas para verificar el buen estado del sensor. Sometiéndolo a las siguientes presiones:

47 mmH₂O

100 mmH₂O

150 mmH₂O

El sensor mostró una respuesta satisfactoria, a los cambio de presión.

El rango para el cual se ajustó el transmisor es el siguiente:

Max. 5.000 mmH₂O

Min 0 mmH₂O

- Recomendación para ajuste de Temperatura en Transmisor LD301, Celda D2, rango 5-200 H₂O, Cliente: Colombiana de Controles
- Estudio comparacional entre controles de temperatura Nais KT4 y Desin BS 1100, como requisito de gerencia para aprobar el cambio de representación comercial de controles de temperatura Desin a controles de temperatura Nais.

9. CONCLUSIONES

La función tabla de puntos proporcionada por el transmisor LD301 resulta ser muy útil cuando se pretende obtener una señal derivada del valor de presión diferencial, tal es caso de: volumen, flujo, nivel, fuerza.

Entre las funciones de mayor importancia se encuentra la tabla de calibración, ya que permite crear una curva de presiones de calibración a la cual se ajusta el LD301 de manera automática, pero ninguno de los equipos manipulados en este trabajo necesito de la activación de esta función, ya que luego de realizar el procedimiento de recuperación de “calibración de fábrica” se presento un correcto funcionamiento del transmisor, ya que la recuperación de calibración de fabrica devuelve a la memoria del sensor los datos de calibración originales devolviendo la linealidad a la medida de presión

Entre los factores que puede alterar la medida se encuentra la activación de funciones de transferencia erróneas; se debe recordar que el transmisor LD301 tiene la posibilidad de operar la medida de presión con raíz cuadrada, raíz cuadrada a la tercera y quinta potencia y tabla de puntos, de estas opciones se debe escoger la apropiada para cada aplicación. Otra de las configuraciones que puede causar errores: es la activación de unidades de usuario o el ajuste incorrecto de esta función, las unidades de usuario actúan como una simple regla de tres, así que su uso inadecuado puede alterar el valor mostrado como Variable del Proceso

Existen casos para los cuales el ajuste del cero no resulta ser efectivo para salir de un estado saturado, es entonces cuando se debe recurrir a la

recuperación de calibración de fábrica y efectuar el ajuste de cero posteriormente.

El tiempo entre ajuste y ajuste realizado a los transmisores varía principalmente por la edad de la celda; a medida que aumenta la edad de la celda es necesario un ajuste de medición con mayor frecuencia, ya que este dispositivo capacitivo pierde sensibilidad.

Para efectuar mediciones de volumen o nivel en tanques con sección transversal variable el proceso que se recomienda; es realizar pruebas que permitan encontrar la relación presión nivel o presión volumen, y hacer uso de la tabla de puntos incluida dentro del transmisor, lo que permitirá que la medida se obtenga por interpolación.

La prueba realizada con transmisores LD301 en conexión de múltiples dispositivos en paralelo (multipunto) arrojó buen funcionamiento de los instrumentos en red, y permitió comprobar el tiempo empleado por el dispositivo maestro para interrogar al instrumento y recibir respuesta; el tiempo promedio fue de 4s para interrogar la variable primaria de todos los dispositivos de la red, de lo cual se concluye una muy baja velocidad de comunicación con transmisores HART comparada con las bondades de la comunicación cien por ciento digital como en el caso de Fieldbus.

Los conocimientos recopilados con esta práctica fueron consignados en forma de manual de usuario, el cual servirá para mejorar el manejo de los transmisores LD301 por parte del personal de SINCRÓN.

De esta Pasantía queda la gran experiencia profesional y personal en una gran empresa Vallecaucana dedicada a la instrumentación y control, y para SINCRÓN queda la imagen del ingeniero Físico como un profesional acorde a las necesidades de la empresa, y afín laboralmente con muchas otras empresas que ofrecen productos y servicios similares.

BIBLIOGRAFIA

[1] _____ LD301 Intelligent Pressure Transmitter, Instruction Manual, Smar. 2003.

[2] POPE J. Edward. Soluciones Prácticas Para el ingeniero Mecánico. México. Mc Graw Hill. 2000. 5 p.

[3] PARROTT H. Instrumentación Industrial. Seminario sobre Instrumentación y Control Digital de Procesos. Cali. Universidad del Valle. Departamento de Electricidad. 1994. Libro I.

[4] HOLLADAY Kenneth. Calibrating HART Transmitter. Southwest Research Institute. San Antonio.

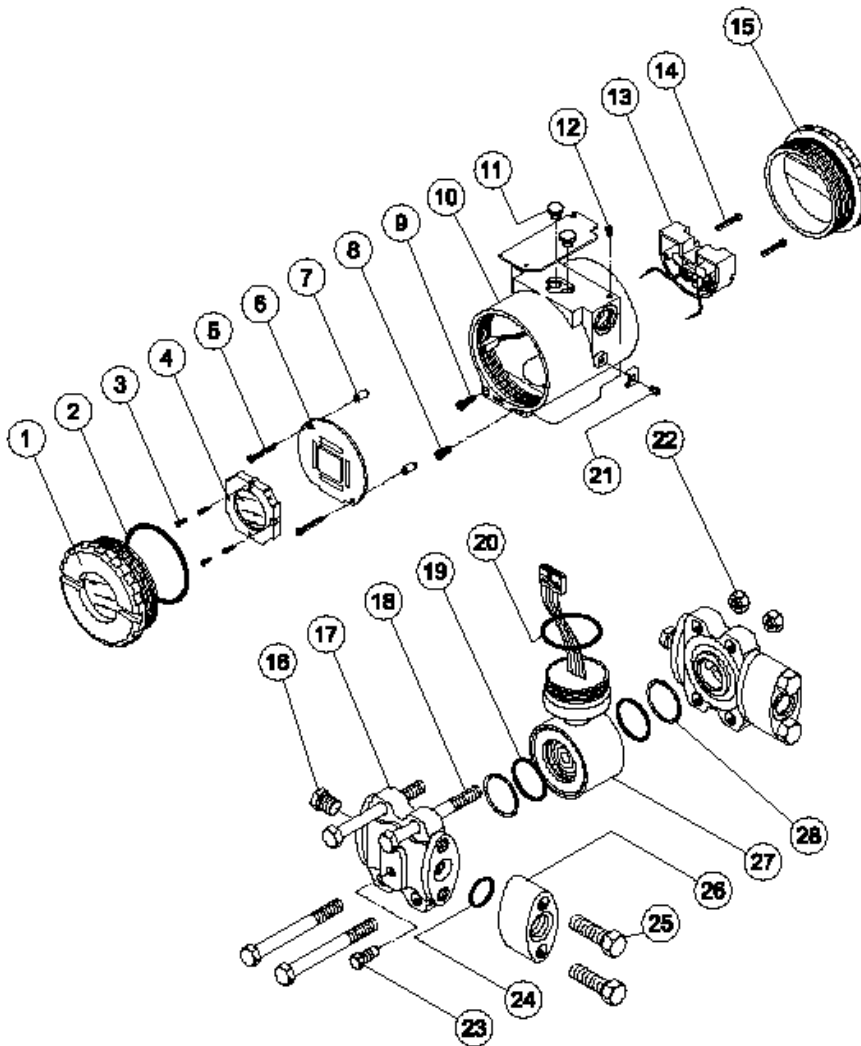
[5] _____LD201 Intelligent Pressure Transmitter, HART Command Specification. Smar. 2003.

[6] _____Smart Transmitter Interface Products (HART Protocol). User Manual. Allen Bradley

[7] BRAVO, Diego. Diseño e Implementación de un Sistema Supervisorio de Flujo Nivel por PC para la Industria Licorera del Cauca. Universidad del Cauca. 2003. 94-91p.

[8] _____Mass Flow Rate Determination for Multivariable Transmitter, Application Notes V1.0 . Smar Research Corporation. 2003.

ANEXO A. PARTES DEL LD 301

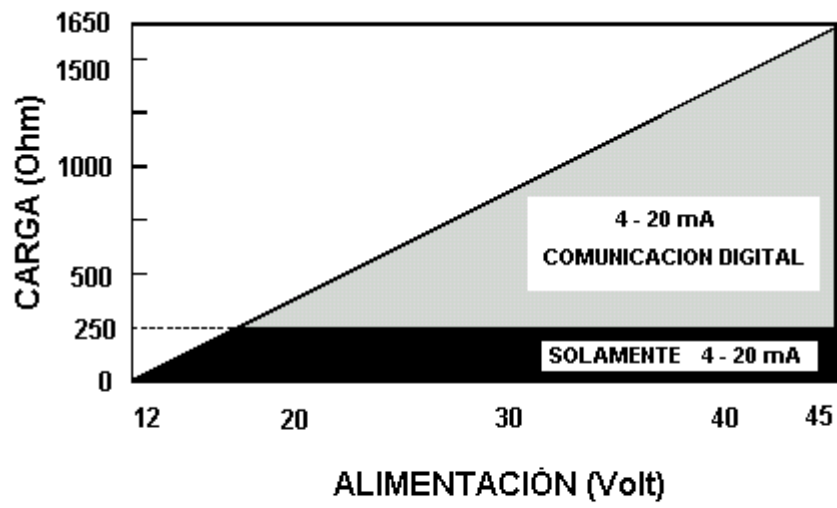


Lista de partes:

- 1.Tapa delantera con visor para el indicador
- 2.Empaque tapa
- 3.Tornillos placa principal
- 4.Visor o despliegue digital
- 5.Tornillos plaqueta de circuito
- 6.Plaqueta de circuito electrónico
- 7.Tuerca tornillo plaqueta

- 8.Tornillo de fijación sensor
- 9.Tornillo de fijación tapa
- 10.Alojamiento de Aluminio o acero inoxidable
- 11.Casquillo Protector ajuste local
- 12.Tornillo de fijación placa de identificación
- 13.Aislador del borne de conexiones
- 14.Tornillo de sujeción del terminal
- 15.Tapa trasera
- 16.Tapón brida
- 17.Brida
- 18.Pernos bridas
- 19.Anillos de refuerzo
- 20.Empaque Tuerca del sensor
- 21.Tornillo de tierra externo
- 22.Tuercas brida
- 23.Tornillo válvula de drenaje
- 24.Empaque adaptador
- 25.Perno adaptador
- 26.Adaptador
- 27.Sensor
- 28.Anillos de refuerzo

ANEXO B. LIMITE DE CARGA DEL LD 301



 AREA DE OPERACIÓN