

# **Diseño y Construcción de un Transmisor de Presión Diferencial para Medición de Caudal Usando como Elemento Primario un Tubo Venturi**

## **I. Calma**

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Vicerrectorado Puerto Ordaz, Centro de Instrumentación y Control, Puerto Ordaz, Venezuela, Email: [cicunexpo@gmail.com](mailto:cicunexpo@gmail.com)

## **A. Custodio**

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Vicerrectorado Puerto Ordaz, Centro de Instrumentación y Control, Puerto Ordaz, Venezuela, Email: [cicunexpo@gmail.com](mailto:cicunexpo@gmail.com)

## **RESUMEN**

El presente trabajo consiste en el diseño de un transmisor de presión a partir de sensores de presión diferencial, aplicando un escalamiento y procesamiento de señal mediante un microprocesador. Se desarrolla con el fin de generar tecnología nacional que permita reducir la dependencia en esta área del conocimiento aplicado. El diseño incluye además de la captación de la variable y el procesamiento, la indicación local de la variable mediante una pantalla de visualización LCD, una salida normalizada de (4 a 20) mA y un puerto de comunicación USB. El equipo se implementó para medir caudal tomando la diferencia de presión, de un circuito hidráulico mediante un tubo Venturi. La calibración del transmisor arrojó un margen de medida de (0 a 22) cmH<sub>2</sub>O y un error de  $\pm 0,1$  cmH<sub>2</sub>O utilizando como patrón la medida en un tubo en U.

**Palabras claves:** Transmisor de Caudal, Laboratorio Virtual, Educación

## **ABSTRACT**

The present work is the design of a pressure transmitter from differential pressure sensors by applying a scaling and signal processing by a microprocessor. It is developed to generate national technology that reduces reliance on this area of applied knowledge. The design also includes the variable uptake and processing, local indication of the variable using an LCD display, standard output (4 to 20) mA and a USB communication port. The team was deployed to measure flow by taking the differential pressure of a hydraulic circuit through a venturi. Transmitter Calibration yielded a measurement range (0 to 22) cmH<sub>2</sub>O and an error of  $\pm 0.1$  cmH<sub>2</sub>O using as a standard measure in a U-tube.

**Keywords:** Flow Transmitter, Virtual Laboratory, Education

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases. Existen varios métodos para medir caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado, por esta razón los instrumentos para la medición de caudal es bastante extensa, no solo por el tipo de caudal sino por la gran variedad de fluidos que existen con múltiples características de masa, volumen y temperatura, que pueden estar presentes en un determinado proceso.

Las industrias que se encuentran en Venezuela, cuentan en su totalidad con equipos de instrumentación de nacionalidad extranjera para hacer el control de sus diversos procesos de producción; haciendo que estas industrias necesiten de estos equipos para mantener la calidad de sus productos. Por este motivo la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO) ha desarrollado una línea de investigación orientada a generar tecnología propia que permita el dominio de esta área de conocimiento.

Ruiz y Custodio (2009) implementaron un transmisor de presión diferencial con interfaz digital directa. En el prescindieron de componentes para realizar la interfaz del mundo analógico y el digital, reduciendo no solo el tamaño del hardware sino el de los costos totales. Sulani y Custodio (2009) realizaron el Diseño y construcción de un transmisor de presión diferencial inteligente con salida de (4 a 20) mA, este diseño se debió a la carencia de equipos que se encontraban en el laboratorio de instrumentación de la UNEXPO. Más tarde Vargas y Custodio (2009) realizaron el Diseño y construcción de un transmisor de presión diferencial con salidas RS232 y RS485. En este diseño se agregó la salida RS232 y RS485 como avance tecnológico, además de su salida de (4 a 20) mA. Córdova y Custodio (2009) realizaron el Diseño y construcción de un transmisor de temperatura basado en interfaz inteligente. West. y Custodio (2008), realizaron el Diseño y construcción de un transmisor inteligente de presión diferencial basado en un microcontrolador con puerto de comunicaciones USB.

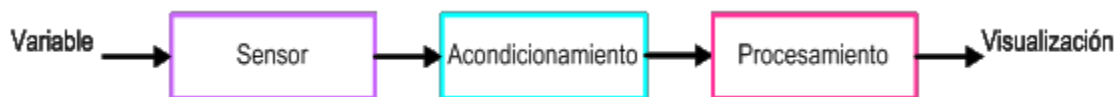
Estos proyectos serán la base del diseño a implementar, ya que reúne las características de la selección de los elementos a utilizar, además de la comunicación USB.

El presente trabajo aplica el desarrollo de un transmisor de caudal de presión diferencial para medición de caudal usando como elemento primario una placa orificio y un tubo Venturi, con el fin de obtener un diseño funcional de un modelo de transmisor de caudal con salida USB que permita visualizar en la computadora las medidas obtenidas.

## 2. DISEÑO

La medición se logra mediante un sensor de presión diferencial al cual se le conecta dos tubos plásticos. La salida del sensor es un valor expresado en unos cuantos miliVolt que luego es amplificado mediante un amplificador de instrumentación (AD620) para tener los niveles de voltaje necesarios y sea procesado por el microcontrolador PIC 18F4550 para mostrar los valores respectivos en caudal en un LCD y convertirlo al protocolo USB y enviarlo al computador para efectos de visualización en pantalla. Por otra parte el microcontrolador enviará los datos digitales al convertor DAC para generar los niveles analógicos y así poder controlar el lazo de corriente donde la salida será expresada en los valores estándares (4 a 20) mA.

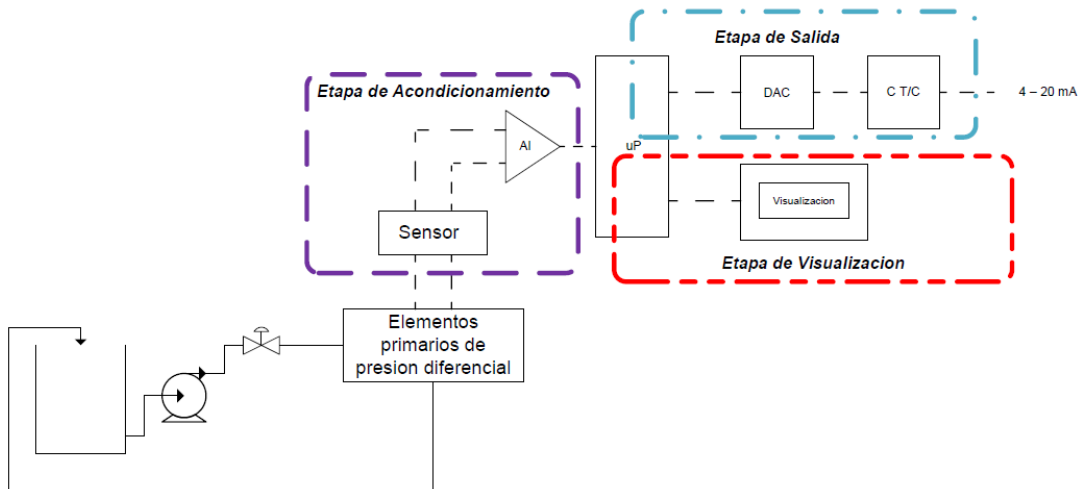
El diagrama de bloque del proyecto está en la figura 1.



**Figura 1: Diagrama en Bloques del Proyecto**

### 2.1 HARDWARE

El sistema se divide en tres etapas (Figura 2): etapa de acondicionamiento, etapa de visualización y manejo de la señal y etapa de salida. En la Figura 3 se muestra el transmisor con todas sus etapas, el circuito se basa en el microcontrolador PIC18F4550, teniendo incorporado un convertor analógico digital, haciendo a la vez de elemento de procesamiento de las señales. Es microprocesador cuenta también con el soporte nativo para USB. El circuito se divide en cuatro partes fundamentales que son: Circuito Sensor y acople de las señales de entrada, se basa en el sensor 24PCEFA6D y el amplificador de instrumentación AD620; Circuito de Adquisición de datos, se fundamenta en el microcontrolador 18F4550 de la Microchip; Circuito de conversión digital a analógica, se basa en el DAC0800; y Circuito transmisor, basado en amplificadores operaciones TL084.



**Figura2: Diagrama en Bloques del Sistema**

## 2.2 SOFTWARE

Básicamente el algoritmo del microcontrolador es la recepción de datos del circuito conformador, representado por el amplificador AD620, procesándola y conformándola a los valores convenientes para que la salida del microcontrolador pueda controlar el convertor digital analógico y el arreglo de operacionales y así conseguir una salida del transmisor de (4 a 20) mA. Las correcciones del cero y del span se hacen automáticamente y en forma digital.

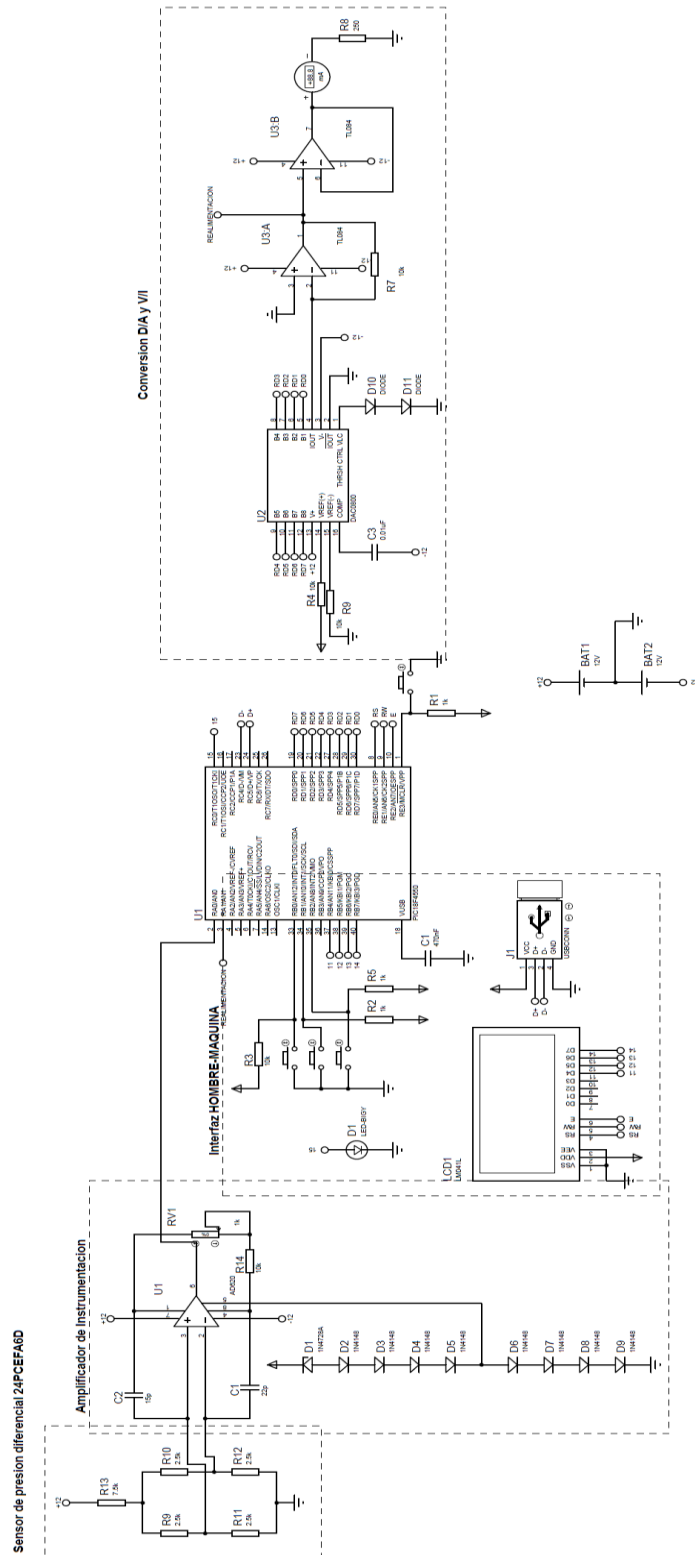
El algoritmo discrimina si el USB está conectado o no: si está conectado procesa las señales y la muestra en la pantalla de cristal líquido, si el USB está conectado entonces hace el mismo procedimiento del algoritmo principal, pero anexando la característica de enviar los datos al puerto USB.

Los valores mostrados en la pantalla LCD comprenden dos variables: La variable presión representada en cm de agua, siendo este proporcional al valor de voltaje obtenido de la salida de amplificación de la señal captada. La variable caudal, que es el valor proporcional a la variable presión, en este caso, se representa el L/s.

Para este envío se debe seleccionar primeramente la opción de la activación del USB.

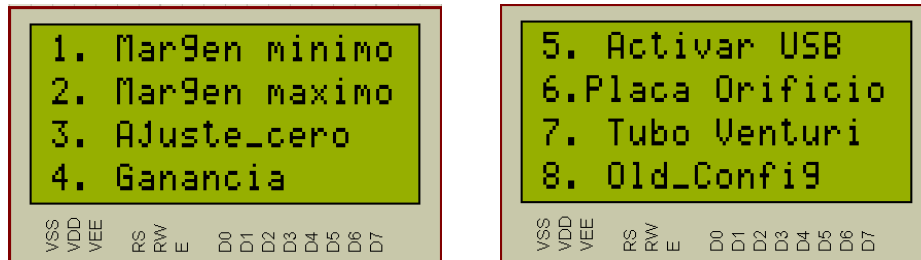
Los datos se envían usando las librerías USB del software CCS compilador C. Siendo estos principalmente el archivo usb.c, y el pic18\_usb.h. El archivo usb.c contiene la configuración del usb y los descriptores para el microcontrolador en cuestión. El pic18\_usb.h que contiene la configuración del Hardware del pic. El envío de datos del microcontrolador empieza con la configuración del usb, se inicia además de habilitar el periférico y las interrupciones respectivas, usando en este caso transmisión por bulk de datos. Hecho esto debe ser configurado por el host del computador de manera de tener comunicación, luego se entra en un ciclo infinito gestionado por un comando de enumeración del dispositivo que verifica si el puerto USB está ocupado por el dispositivo en cuestión, si todo está configurado comienza la verificación del endpoint, si es así entonces el puerto tiene datos para ser mandado y habilita la opción para mandar los paquetes de datos.

Para la visualización de los datos a través del puerto USB hasta un computador se contará con el HyperTerminal de la PC.



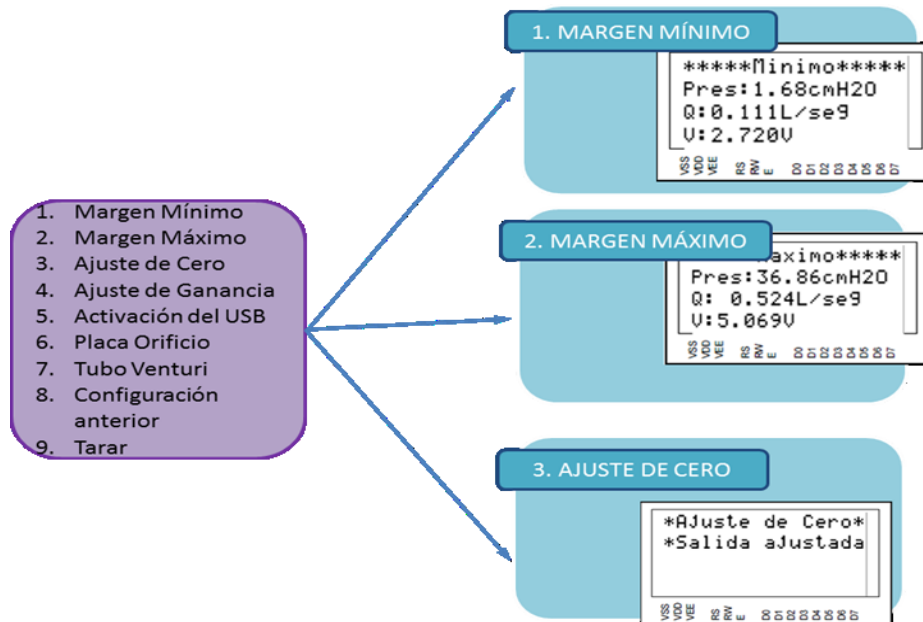
**Figura3: Circuito Electrónico Completo Implementado**

El transmisor contará con un menú en el que se podrá seleccionar cual es el elemento a trabajar, en este caso, tubo Venturi o Placa orificio; así como la puesta en funcionamiento de la comunicación a través del protocolo USB, se basará en un sensor de presión diferencial 24PCEFA6D dispositivo que está montado en un puente de Wheastone, con dos entradas de alimentación que pueden variar de (10-12)Vdc y la otra a GND (0V), se contará con una salida de corriente variable (4 a 20) mA, el valor de la corriente será el correspondiente a la medición que se esté realizando, siendo los 4mA la corriente para el margen mínimo y los 20mA para el margen máximo. Cuenta con una pantalla LCD que permite la visualización y configuración de los parámetros de medición, el menú se puede visualizar en la Figura 4.



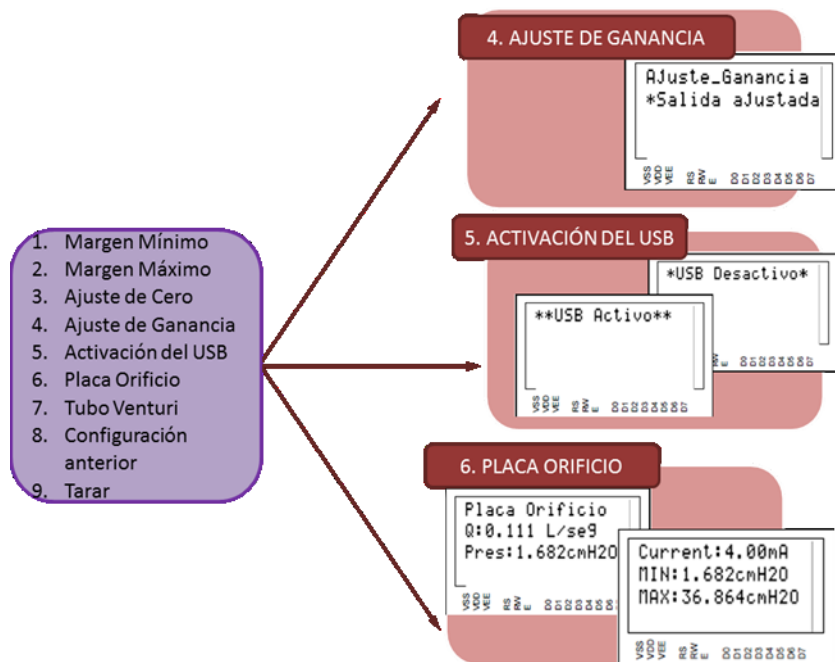
**Figura 4: Menú del transmisor propuesto**

En la Figura 5 se puede observar el mensaje en la LCD al seleccionar las opciones correspondientes al Margen Mínimo, Máximo y Ajuste de Cero. Al ser seleccionada la opción de margen mínimo el usuario estará guardando en memoria el valor que es tomado en la etapa de procesamiento de datos, tomando la variable asignada para el margen mínimo este valor en Voltios y visualizado centímetros de agua. Al ser seleccionada la opción de Margen Máximo el usuario estará guardando en memoria el valor que es tomado en la etapa de procesamiento de datos, tomando la variable asignada para el margen máximo este valor en Volt y visualizado centímetros de agua. Al ser seleccionada la opción de Ajuste de Cero el valor correspondiente de la etapa de procesamiento de datos y se comparara con el valor mínimo almacenado en la variable de margen mínimo, si estos valores son iguales en la pantalla se indicara que el valor es el correcto y la salida se forzara para que en ella se consiga 4 mA, en caso contrario mostrara que el valor de entrada no es el correcto.



**Figura 5: Mensaje mostrado en el LCD al seleccionar en el menú las opciones Margen mínimo, máximo y ajuste de cero**

En la Figura 6 se puede observar el mensaje mostrado a través de la LCD al ser seleccionado las opciones correspondientes al Ajuste de Ganancia, Activación del USB y Placa Orificio. En el Ajuste de Ganancia será comparada el valor tomado en el procesamiento de datos y el valor almacenado en la variable de margen máximo, en caso de que los valores coincidan se mostrara en la pantalla que el valor es correcto y se forzara la salida a 20 mA, en caso contrario se mostrara en pantalla que el valor no es el correcto. En la Activación del USB se activara o desactivara el envío a través del protocolo USB. Y en la opción Placa Orificio en la pantalla de la LCD se mostrara el valor de la presión en centímetros de agua, el caudal en litros/segundos, la corriente de salida en el momento en el que se está tomando la muestra y los valores del margen mínimo y máximo almacenado previamente. En caso de que el protocolo USB se haya activado el mensaje mostrado en la LCD se verá en la PC a través de la HyperTerminal.



**Figura 6: Mensaje mostrado en el LCD al seleccionar en el menú las opciones Tubo Venturi y Ultima Configuración del Transmisor de Caudal**

En la Figura 7 se puede observar el mensaje en la LCD al seleccionar las opciones correspondientes al Tubo Venturi y la Ultima Configuración del transmisor de Caudal. En Tubo Venturi la pantalla de la LCD mostrara el valor de la presión en centímetros de agua, el caudal en litros/segundos, la corriente de salida en el momento en el que se está tomando la muestra y los valores del margen mínimo y máximo almacenados previamente. En caso de que el protocolo USB se haya activado el mensaje mostrado en la LCD se verá en la PC a través de la HyperTerminal. En Ultima Configuración, la LCD mostrará los valores del margen mínimo, el margen máximo y el elemento de medida seleccionado, en este caso la Placa Orificio o el Tubo Venturi. Al marcar la opción Tarar, en la pantalla de la LCD se mostrara el valor mínimo, utilizado en la función de transferencia para el cálculo de la presión.

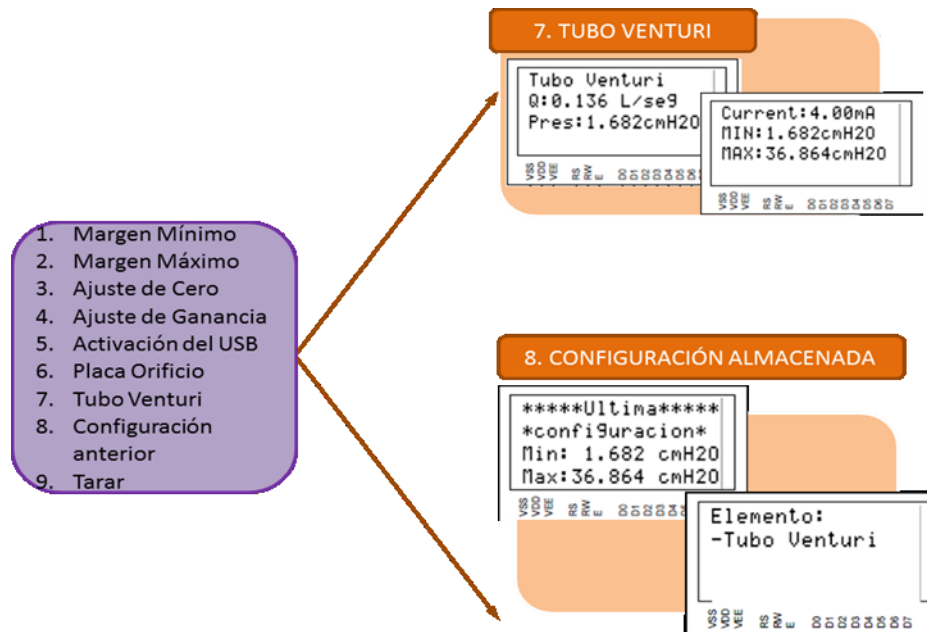


Figura 7: Mensaje mostrado en el LCD al seleccionar en el menú las opciones Tubo Venturi y Ultima Configuración del Transmisor de Caudal

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la toma de datos experimentales el procedimiento consistirá en la medición de los valores diferenciales de presión, siendo estos valores proporcionales a las diferencias de alturas que tengan las tuberías respectivas, el procedimiento es básicamente medir cinco veces el 0%, 25%, 50%, 75%, 100% del margen de medida total, y de allí promediar y obtener los errores respectivos, para poder construir las gráficas y figuras asociadas. Las medidas serán hechas no solo al transmisor propuesto, sino al tubo U de manera de poder obtener una referencia de instrumento para efectos de comparación y posterior calibración del mismo.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para el tubo Venturi.

Para valores subiendo el error de cero será:

$$Error_{cero} = Offset_{Tubo U} - Offset_{Transmisor}$$

$$Error_{cero} = 0 - 0 = 0 \text{ l/seg}$$

Para valores bajando:

$$Error_{cero} = Offset_{Tubo U} - Offset_{Transmisor}$$

$$Error_{cero} = 0 - 0 = 0 \text{ l/seg}$$

**Tabla 1: Valores del transmisor propuesto y el tubo en U para el Venturi (LCD)**

ΔH cmH <sub>2</sub> O	Q <sub>v</sub> <L/seg>	Tubo U cmH <sub>2</sub> O±3mm	LCD							
			▲				▼			
			P <cmH <sub>2</sub> O>	$\bar{x}$	QV <L/seg>	$\bar{x}$	P <cmH <sub>2</sub> O>	$\bar{x}$	QV <L/seg>	$\bar{x}$
0,0	0,000	0,0	0,0	0,00	0,0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,000
			0,0		0,0		0,0			
			0,0		0,0		0,0			
			0,0		0,0		0,0			
			0,0		0,0		0,0			
5,5	0,236	5,5	5,6	5,6	0,238	0,237	5,5	5,5	0,236	0,236
			5,5		0,236		5,5		0,236	
			5,5		0,236		5,5		0,236	
			5,5		0,236		5,5		0,236	
			5,7		0,240		5,6		0,238	
11,0	0,334	11,0	11,1	11,1	0,335	0,335	11,1	11,1	0,335	0,335
			11,0		0,334		11,1		0,335	
			11,1		0,335		11,1		0,335	
			11,2		0,337		11,1		0,335	
			11,1		0,335		11,1		0,335	
16,5	0,409	16,5	16,6	16,6	0,410	0,410	16,6	16,6	0,410	0,410
			16,7		0,411		16,6		0,410	
			16,6		0,410		16,6		0,410	
			16,6		0,410		16,6		0,410	
			16,6		0,410		16,6		0,410	
22,0	0,472	22,0	22,1	22,1	0,473	0,473	22	22,0	0,472	0,472
			22		0,472		22		0,472	
			22,1		0,473		22,1		0,473	
			22		0,472		22		0,472	
			22,1		0,473		22		0,472	

El error total es un valor porcentual que denota el alejamiento del valor experimental del valor patrón:

$$Error_{total} = \frac{\bar{V}_{promedio} - \bar{V}_{patron}}{Fondo\ escala} \cdot 100\%$$

*Fondo escala*

: 0.5 PSI = 35,1545 cmH<sub>2</sub>O

$\bar{V}_{promedio}$  = promedio de los valores experimentales

$\bar{V}_{patron}$  = promedio de valores patrones



Para efectos de medición del error total se tiene los valores promedios experimentales y su respectivos valores patrones del tubo en U, en este caso valores subiendo (Tabla 2 y Tabla 3).

**Tabla 2: Tabla de error total para valores subiendo**

Valores promedios (Subiendo)			
%	Tubo U	Transmisor	Error (%)
0	0,00	0,00	0,00
25	5,50	5,52	0,05
50	11,00	11,10	0,28
75	16,50	16,62	0,34
100	22,00	22,06	0,17

**Tabla 3: Error total para valores bajando**

Valores promedios (Bajando)			
%	Tubo U	Transmisor	Error (%)
0	0,00	0,00	0,00
25	5,50	5,52	0,05
50	11,00	11,10	0,28
75	16,50	16,60	0,28
100	22,00	22,02	0,05

Al analizar estos resultados se puede observar un comportamiento satisfactorio del transmisor diseñado, logrando cumplir con éxito los objetivos planteados. El equipo fue construido en circuito impreso y probado de tal manera.

#### 4. CONCLUSIONES

El transmisor de presión diferencial que se diseño tiene las características propias de un transmisor de caudal estándar: salida de 4mA a 20mA, sensor, circuitos de acondicionamiento, circuitos de salida.

El transmisor diseñado tiene comunicación por puerto USB, visualización por Display LCD, además este dispositivo es pasivo, por tanto se alimenta de la fuente a la vez que suministra las mediciones hechas por la misma alimentación del dispositivo.

El transmisor de caudal al ser un dispositivo inteligente, debido a la presencia de microcontroladores, puede ejecutar tareas inteligentes como la compensación automática de los errores del cero y del span, además de que estos pueden ser manualmente modificados mediante botones de entrada, así como la posibilidad de usar el protocolo USB, y la visualización por Display LCD.

Debido a las características propias de los componentes, como el alto rechazo al modo común por parte del amplificador AD620, la capacidad de ahorro de energía y eficaz conversión analógico digital por parte del microcontrolador, la sensibilidad y alta respuesta del sensor 24PC, y la alta eficacia de conversión de voltaje a corriente a través del DAC0800 y el operacional TL084, el conjunto de estos componentes lineal con perturbaciones relativamente mínimas, desde la toma de los valores de la variable hasta su salida de 4mA a 20mA

Las pruebas del transmisor propuesto arrojan valores de error y histéresis razonables, pues los valores experimentales obtenidos del transmisor prototipo se acercan a los valores patrones del tubo en U.

## **REFERENCIAS**

- Cordova, A. y Custodio, A. (2010). “Diseño y construcción de un transmisor de temperatura basado en interfaz inteligente” Trabajo de Grado UNEXPO Puerto Ordaz.
- Ruiz, K. y Custodio, A. (2009). “Transmisor de presión diferencial con interfaz digital directa” Trabajo de Grado UNEXPO Puerto Ordaz.
- Sulani, D. y Custodio, A. (2009). “Diseño y construcción de un transmisor de presión diferencial inteligente con salida de 4 mA a 20 mA” Trabajo de Grado UNEXPO Puerto Ordaz, Venezuela.
- Vargas, M. y Custodio, A. (2009). “Diseño y construcción de un transmisor de presión diferencial con salidas RS232 y RS485” Trabajo de Grado UNEXPO Puerto Ordaz.
- West, G. y Custodio, A. (2009). “Diseño y construcción de un transmisor de presión diferencial basado en un microcontrolador con puerto de comunicaciones USB” Trabajo de Grado UNEXPO Puerto Ordaz.

## ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.*