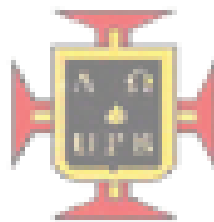


**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDACTICO PARA MEDIR PRESIÓN  
RELATIVA, BASADO EN UN MANÓMETRO TIPO BOURDON CON  
INDICACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL Y TRANSMISIÓN 4-20mA.**

**GUILLERMO HASSAN JARABA GULFO  
GERARDO IVAN SALAZAR VASQUEZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERA ELECTRONICA  
2010**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDACTICO PARA MEDIR PRESIÓN  
RELATIVA, BASADO EN UN MANÓMETRO TIPO BOURDON CON  
INDICACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL Y TRANSMISIÓN 4-20mA.**

**GUILLERMO HASSAN JARABA GULFO  
GERARDO IVAN SALAZAR VASQUEZ**

**PROYECTO DE GRADO**

**JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA  
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERA ELECTRONICA  
2010**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma de Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Bucaramanga, Octubre de 2010

A Dios y mi familia por  
por su esfuerzo  
e incondicionalidad.

Gerardo Iván Salazar Vásquez

A Dios y la Virgen, a mis Padres,  
Y Hermanos por todo su  
Amor y todo su apoyo

Guillermo Hassan Jaraba Gulfo

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero Juan Carlos Mantilla Saavedra, director del proyecto, por su dedicación, conocimientos y entusiasmo que fueron pieza clave para el desarrollo y ejecución del proyecto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por darnos la posibilidad de hacer uso de sus instalaciones para tomas de datos y pruebas necesarias para la culminación del proyecto.

A todas y cada una de las personas que estuvieron involucradas directa o indirectamente en el desarrollo del proyecto, ofreciéndonos conocimientos, ideas y apoyo para su terminación.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1. PRESIÓN</b> .....	2
<b>1.1 TIPOS DE PRESIÓN</b> .....	3
1.1.1. Presión Absoluta.....	3
1.1.2. Presión Atmosférica.....	3
1.1.3. Presión Relativa.....	3
1.1.4. Presión Diferencial.....	4
<b>1.2 TECNICAS PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN</b> .....	4
1.2.1. Instrumentos Mecánicos.....	4
1.2.2. Instrumentos Neumáticos.....	7
1.2.3. Elementos Electromecánicos y Electrónicos.....	7
<b>2.TUBO BOURDON</b> .....	12
<b>2.1. MANÓMETRO TIPO BOURDON EN C</b> .....	13
2.1.1. Ventajas del Manómetro Bourdon.....	14
2.1.2. Desventajas del Manómetro Bourdon.....	14
<b>2.2. MANÓMETRO TIPO BOURDON EN ESPIRAL Y HELICOIDAL</b> .....	14
<b>2.3. ESCOGENCIA DEL MANÓMETRO</b> .....	15
2.3.1. Rango.....	15
2.3.2. Alcance (Span).....	16
2.3.3. Error.....	16

<b>2.3.4. Incertidumbre de la Medida (Uncertainty)</b> .....	16
<b>2.3.5. Exactitud</b> .....	16
<b>2.3.6. Precisión o Repetibilidad (NTC2194)</b> .....	16
<b>2.3.7. Histéresis</b> .....	17
<b>2.4. RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE UN MANÓMETRO</b> ....	18
<b>2.5. RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN DE UN MANÓMETRO</b> .....	18
<b>2.5.1. Frecuencia de Inspección</b> .....	18
<b>2.5.2 Cuando Revisar la Precisión del Manómetro</b> .....	18
<b>2.5.3. Cuando Recalibrar el Manómetro</b> .....	18
<b>3. DESARROLLO DEL PROYECTO</b> .....	19
<b>3.1. CRITERIO DE SELECCIÓN DEL MANÓMETRO BOURDON</b> .....	19
<b>3.2. SISTEMA DE TRANSDUCCIÓN BASADO EN ENCODER</b> .....	20
<b>3.3. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN</b> .....	24
<b>3.4. TRANSMISIÓN 4 – 20 mA</b> .....	26
<b>3.5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO</b> .....	26
<b>3.6 PROGRAMACION DEL PIC</b> .....	29
<b>3.7. MÓDULO DIDACTICO</b> .....	29
<b>4. CARACTERIZACIÓN DEL INSTRUMENTO</b> .....	33
<b>4.1. ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	35
<b>CONCLUSIONES</b> .....	45
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	46
<b>ANEXOS</b> .....	48



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla No 1.</b> Registro de la Corriente de Salida del Módulo ( <i>I<sub>a</sub></i> ) en Aumento de Presión.....	36
<b>Tabla No 2.</b> Registro de la Corriente Registrada por el Módulo ( <i>I<sub>m</sub></i> ) en Descenso de Presión.....	38
<b>Tabla No 3.</b> Registro de la Presión Registrada en el Módulo en Ascenso.....	40

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Equivalencias entre Unidades de Presión.....	2
<b>Figura 2.</b> Clases de Presión.....	3
<b>Figura 3.</b> Manómetro de Tubo.....	4
<b>Figura 4.</b> Manómetro de Tubo en U.....	5
<b>Figura 5.</b> Manómetro de Campana.....	5
<b>Figura 6.</b> Manómetro Tipo Bourdon.....	6
<b>Figura 7.</b> Manómetro de Fuelle .....	6
<b>Figura 8.</b> Manómetro de Diafragma.....	6
<b>Figura 9.</b> Sistema Tobera-Obturador.....	7
<b>Figura 10.</b> Transductor Resistivo .....	8
<b>Figura 11.</b> Transductor de Inductancia Variable .....	8
<b>Figura 12.</b> Transductor de Reluctancia Variable.....	9
<b>Figura 13.</b> Transductor Capacitivo.....	9
<b>Figura 14.</b> Transductor Piezoeléctrico .....	10
<b>Figura 15.</b> Galga Extensiométrica .....	10
<b>Figura 16.</b> Instrumentos de Presión y Campos de Aplicación.....	11
<b>Figura 17.</b> Tubo Bourdon en C y en Espiral.....	12
<b>Figura 18.</b> Tubo Bourdon Helicoidal.....	12
<b>Figura 19.</b> Manómetro Tipo Bourdon en C.....	13
<b>Figura 20.</b> Manómetro Tipo Bourdon en Espiral.....	14
<b>Figura 21.</b> Manómetro Tipo Bourdon Helicoidal.....	15

<b>Figura 22.</b>	Curva Repetibilidad.....	16
<b>Figura 23.</b>	Curva Histeresis.....	17
<b>Figura 24.</b>	Manómetro Ashcroft 1279.....	19
<b>Figura 25.</b>	Disco Ranurado de un Encoder Incremental.....	20
<b>Figura 26.</b>	Señales emitidas por un encoder con sentido de giro.....	21
<b>Figura 27.</b>	Encoder Absoluto.....	22
<b>Figura 28.</b>	Mouse de Rueda y su Encoder.....	22
<b>Figura 29.</b>	Encoder Utilizado.....	23
<b>Figura 30.</b>	Electrónica para visualización y transmisión.....	24
<b>Figura 31.</b>	Esquema del circuito de visualización y transmisión.....	25
<b>Figura 32.</b>	Diagrama del funcionamiento del sistema .....	26
<b>Figura 33.</b>	Etapa 1 del Circuito.....	27
<b>Figura 34.</b>	Etapa 2 del Circuito.....	28
<b>Figura 35.</b>	Diagrama de Flujo del Programa.....	29
<b>Figura 36.</b>	Vista Frontal del Módulo.....	29
<b>Figura 37.</b>	Vista Posterior del Módulo.....	31
<b>Figura 38.</b>	Plano Vista Frontal del Módulo.....	31
<b>Figura 39.</b>	Plano Vista Lateral del Módulo.....	32
<b>Figura 40.</b>	Indicación de Variables ( $P_m$ , $I_m$ , Pulsos).....	33
<b>Figura 41.</b>	Indicación de Variables ( $P$ y $I_a$ ).....	33
<b>Figura 42.</b>	Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Corriente Generada por el Módulo ( $I_a$ ), en Ascenso.....	35
<b>Figura 43.</b>	Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Corriente Generada por el Módulo ( $I_a$ ), en Ascenso y Descenso.....	37

<b>Figura 44.</b> Gráficas de Presión (P) vs Corriente Registrada por el Módulo (Im), en Descenso.....	38
<b>Figura 45.</b> Gráficas de Presión (P) vs Corriente Registrada por el Módulo (Im), en Ascenso y Descenso.....	39
<b>Figura 46.</b> Gráficas de Presión del Manómetro (P) vs Presión Registrada en el Módulo (Pm), en Ascenso.....	40
<b>Figura 47</b> Gráficas de Presión del Manómetro (P) vs Presión Registrada en el Módulo (Pm), en Ascenso y Descenso.....	41
<b>Figura 48.</b> Gráficas de Presión del Manómetro (P) vs Pulsos Registrados por el Módulo, en Ascenso.....	42
<b>Figura 49.</b> Gráficas de Presión del manómetro (P) vs Pulsos Registrados por el Módulo (Pulsos), en Ascenso y Descenso.....	43

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO A.</b> Tabulación de datos para la caracterización del Módulo.....	50
<b>ANEXO B.</b> Gráficas Obtenidas para la Caracterización del Módulo.....	60
<b>ANEXO C.</b> Información Técnica del Manómetro Ashcroft 1279.....	73
<b>ANEXO D.</b> Plano Eléctrico Tarjeta.....	74
<b>ANEXO E.</b> Hoja Característica del XTR110.....	76
<b>ANEXO F.</b> Hoja de Características del PIC 16f876 .....	77
<b>ANEXO G.</b> Código Fuente para la Manipulación de Datos y Visualización.....	78
<b>ANEXO H.</b> Información Técnica de la Válvula de Regulación de Presión.....	79
<b>ANEXO I.</b> Información Técnica del Encoder.....	80
<b>ANEXO J.</b> Guía de Laboratorio.....	81
<b>ANEXO K.</b> Manual de Usuario.....	82

## GLOSARIO

**PSI:** Unidad estándar de presión en ingles que significa Pounds per Square Inchs (Libra por Pulgada Cuadrada).

**Señal Analógica:** Es aquella señal continua variante en el tiempo.

**Señal Digital:** Es una señal discreta o discontinua en el tiempo que está definida para todos los valores de algún intervalos de ella.

**Hastelloy:** Aleación de Níquel-molibdeno-cromo que genera un material más resistente a la corrosión y da posibilidad de trabajar en ambientes severos.

**Monel:** Aleación de Níquel-Cobre. Mucho más resistente que el cobre y altamente resistente a la corrosión.

**Pulso:** En electrónica, es el cambio en el nivel de voltaje de una señal de Vdc, de cero a 5 voltios dc permaneciendo en cada nivel un determinado lapso de tiempo.

**Tren de Pulsos:** conjunto de pulsos similares que son emitidos por un dispositivo durante un lapso de tiempo.

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDACTICO PARA MEDIR PRESIÓN RELATIVA, BASADO EN UN MANÓMETRO TIPO BOURDON CON INDICACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL Y TRANSMISIÓN 4-20mA.

**AUTOR(ES):** GUILLERMO HASSAN JARABA GULFO  
GERARDO IVAN SALAZAR VASQUEZ

**FACULTAD:** FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA

**DIRECTOR(A):** JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

### **RESUMEN**

Para este proyecto se implementó un manómetro tipo tubo Bourdon en C, y un Encoder como dispositivo de transducción para obtener una medición digital de la variable presión. Estos valores son procesados por una tarjeta la cual los visualiza en un display LCD, y los transmite en una señal de control de 4-20mA. Este sistema de transducción junto con el manómetro, se acopló en un módulo de tal manera que se pueden observar el funcionamiento interno del manómetro Bourdon, y el funcionamiento del Encoder. Este módulo permite la evaluación de la histéresis y la repetibilidad de un transmisor electrónico de presión manométrica.

**PALABRAS CLAVES:** Transducción, Sistema Mecánico, Bourbon.

**V°B°DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **ABSTRACT OF THESIS PROJECT**

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF A MODULE TO MEASURE RELATIVE PRESSURE DICACTICO BASED ON A MANOMETER TYPE BOURDON WITH INDICATION ANALOG AND DIGITAL AND TRANSMISSION 4-20mA

**AUTHOR(S):** GUILLERMO HASSAN JARABA GULFO  
GERARDO IVAN SALAZAR VASQUEZ

**DEPARTAMENT:** ELECTRONIC ENGINEERING

**DIRECTOR:** JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

### **ABSTRACT**

For this project it was implemented in the mechanical system of a Bourdon type pressure gauge 128 encoder steps as a transducer device for digital measurement of the variable pressure. These values are processed by a card which displays them on an LCD display as well as being capable of transmitting a 4-20mA signal transduction This system together with the gauge, the coupling in a module so that you can see both the Bourdon gauge mechanical system as the movement and operation of the encoder. This module allows the evaluation of the hysteresis and repeatability of an electronic gauge pressure transmitter.

**KEYWORDS:** Pressure, encoder, transduction, Bourdon

**V°B° THESIS DIRECTOR**



## INTRODUCCIÓN

Para este proyecto se implementó un manómetro tipo tubo Bourdon en C, un Encoder como dispositivo de transducción para obtener una medición digital de la variable presión. Estos valores son procesados por una tarjeta la cual los visualiza en un display LCD, y los transmite en una señal de control de 4-20mA. Este sistema de transducción junto con el manómetro, se acopló en un módulo de tal manera que se pueden observar el funcionamiento interno del manómetro Bourdon, y el funcionamiento del Encoder. Este módulo permite la evaluación de la histéresis y la repetibilidad de un transmisor electrónico de presión manométrica.

La variable presión como tal es una fuerza que se aplica en un área determinada y su medición se da en unidades de fuerza por unidad de área.

La presión es una de las variables que con mayor frecuencia es necesario medir y controlar para garantizar la estabilidad de los procesos industriales. Para este proceso de medición existen diferentes tipos de instrumentos. Dentro de la gran cantidad de instrumentos existentes están los manómetros analógicos y su escogencia depende, entre muchos criterios, del medio de trabajo y el rango de medición.

Para el buen funcionamiento del instrumento de medición es importante tener en cuenta el principio general de operación, los principios de instalación, la forma en que se debe mantener el instrumento, como se debe utilizar para controlar un sistema y la manera como se debe calibrar.

Es muy importante, sobre todo para estudiantes de ingeniería electrónica, tener la posibilidad de manipular una señal digital que pueda ser arrojada desde un instrumento de medición analógico como un manómetro tipo Bourdon. Con la comparación de ambas mediciones (análoga y digital) es posible hacer una buena caracterización del instrumento.

En este orden de ideas es conveniente que los ingenieros electrónicos desde la universidad tengan la posibilidad de conocer el funcionamiento de uno de los instrumentos de medición más comunes en la industria, como lo es el manómetro basado en el tubo Bourdon.

## 1. PRESIÓN

La presión es una fuerza que se ejerce sobre un área determinada, y se mide en unidades de fuerzas por unidades de área (Ecuación 1). Esta fuerza se puede aplicar a un punto en una superficie o distribuirse sobre esta. Cada vez que se ejerce se produce una deflexión, una distorsión o un cambio de volumen o dimensión.

Ecuación 1:

$$P = \frac{F}{A}$$

Las mediciones de presión pueden ser desde valores muy bajos que se consideran un vacío, hasta miles de toneladas por unidad de área. En la Figura 1 se pueden observar las unidades de presión.

Para evitar destrucción y rompimiento y ocasionar daños catastróficos, todos los materiales y equipos involucrados en un proceso industrial, tienen un máximo de tolerancia a presiones de un fluido. Por tal razón la variable presión debe ser controlada para así garantizar condiciones de operación seguras.

La presión, junto con la temperatura, constituyen las variables que más frecuentemente se miden y controlan en los procesos industriales.

	<i>Psi</i>	<i>Pulgada c. de a</i>	<i>Pulgada c. de. Hg</i>	<i>Atmosfer a</i>	<i>Km/cm<sup>2</sup></i>	<i>cm c. de a.</i>	<i>mm c. de Hg</i>	<i>Bar</i>	<i>Pa</i>
<i>Psi</i>	1	27.68	2.036	0.0680	0.0703	70.31	51.72	0.0689	71.42
<i>Pulgada c. de a</i>	0.031	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.250	1.868	0.0024	256.4
<i>Pulgada c. de. Hg</i>	0.4912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.53	25.4	0.0333	3448
<i>Atmosfera</i>	14.7	406.79	29.92	1	1.033	1033	760	1.0131	1.01x10 <sup>5</sup>
<i>Km/cm<sup>2</sup></i>	14.22	393.7	28.96	0.9678	1	1000	735.6	0.98	98100
<i>cm c. de a.</i>	0.0142	0.3937	0.0289	0.00096	0.0010	1	0.7355	0.0009	100
<i>mm c. de Hg</i>	0.0193	0.5353	0.0393	0.0013	0.0013	0.001 3	1	0.0013 3	133
<i>Bar</i>	14.5	408	29.99	0.987	1.02	1024	750	1	10 <sup>3</sup>
<i>Pa</i>	0.00014	0.0039	0.00029	0.987x10 <sup>-5</sup>	0.102x 10 <sup>-4</sup>	0.01	0.0075	10 <sup>-3</sup>	1

Figura No 1: Equivalencias entre unidades de Presión. [1]

La medición de la variable primaria presión es una de las más importantes que se hace en la industria, sobre todo en industrias de procesos continuos, la cantidad de instrumentos que miden la presión puede ser mucho mayor que la que se utiliza en cualquier otro tipo de proceso, un ejemplo claro de esto es que en la mayoría de procesos industriales entre un 30% y un 40% de todas las mediciones son mediciones de presiones.

## 1.1 TIPOS DE PRESIÓN

Es importante tener en cuenta la presión que se mide, ya que pueden distinguirse los siguientes tipos:

**1.1.1 La Presión Absoluta** se mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura 2) [1].

**1.1.2 La Presión Atmosférica** es la presión ejercida por la atmosfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de mercurio absolutas o 14,7 psis (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmosfera estándar [1].

**1.1.3 La Presión Relativa** es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura 2). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos B y B'), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas [1].

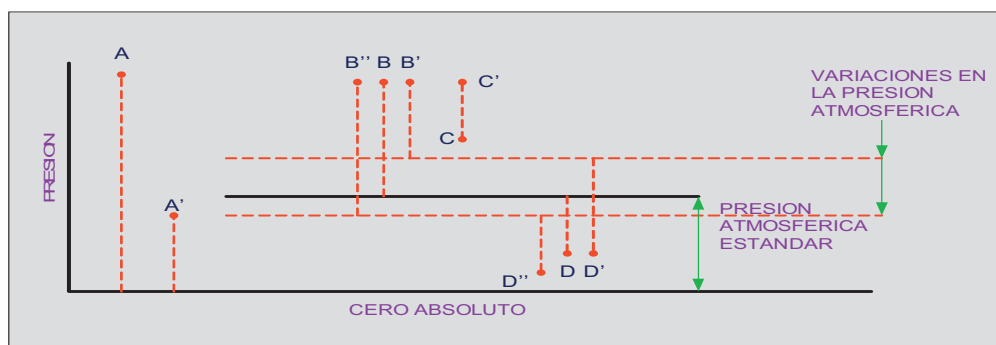


Figura No 2: Clases de Presión. [1]

**1.1.4 La Presión Diferencial** es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'. El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D"). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío [2].

## 1.2 TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE PRESIÓN.

Las diferentes presiones se miden tomando como referencia la presión atmosférica y el dispositivo más utilizado en la industria es el manómetro. Para la escogencia del manómetro, entre los diferentes tipos existentes, es necesario tener en cuenta factores externos tales como: el tipo de presión que se está midiendo, el rango de presión que se va a medir, el medio de trabajo en el que va trabajar el dispositivo, es decir, si es un medio que puede generar corrosión, si el dispositivo tiene que soportar altas o bajas temperaturas, etc. La escogencia del dispositivo también varía de acuerdo al grado de precisión que el proceso industrial en el que trabaje exija.

Los instrumentos de medición se clasifican en tres grupos: Mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

**1.2.1 Instrumentos Mecánicos:** Se dividen en:

- a. **Elementos primarios de medida directa:** Son también llamados de columna de vidrio y miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocida, dentro de los que se pueden mencionar el barómetro de cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana, etc. En las Figuras 3,4 y 5 se encuentran algunos de ellos.[1]

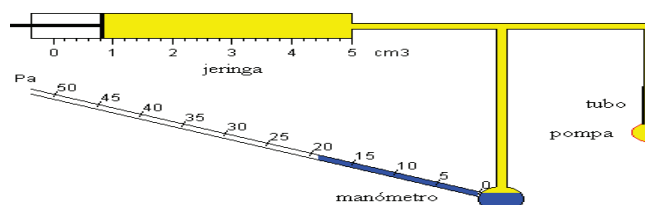


Figura No 3: Manómetro de Tubo. [2]

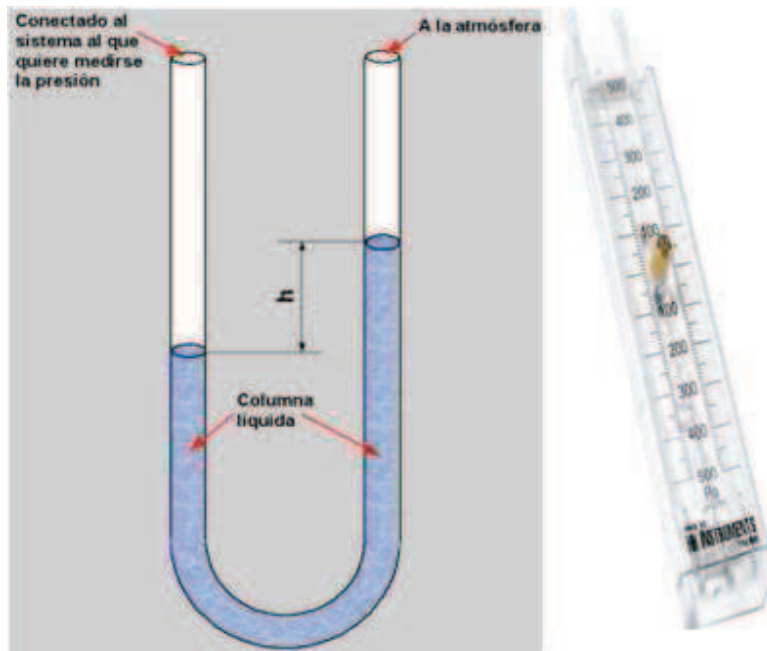


Figura No 4: Manómetro de tubo en U.[2]

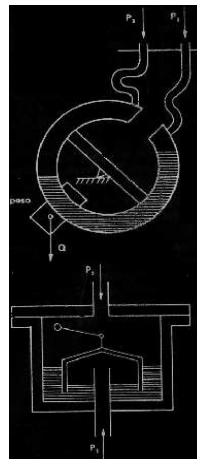


Figura No 5: Manómetro de campana. [1]

**b. Elementos primarios elásticos:** Son aquellos que se deforman por la presión que ejerce el líquido que pasa dentro de ellos. Los más utilizados son el tubo Bourbon, el elemento en espiral, el

helicoidal, el diafragma y el fuelle, los cuales se pueden observar en la Figuras 6,7 y 8. [1]

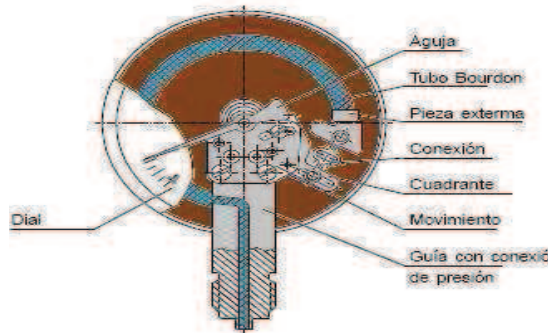


Figura No 6: Manómetro tipo Bourdon. [2]

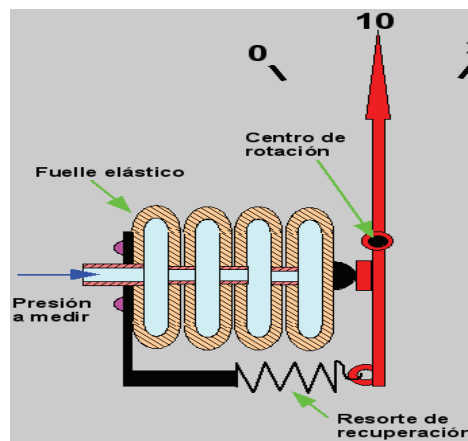


Figura No 7: Manómetro de fuelle. [2]

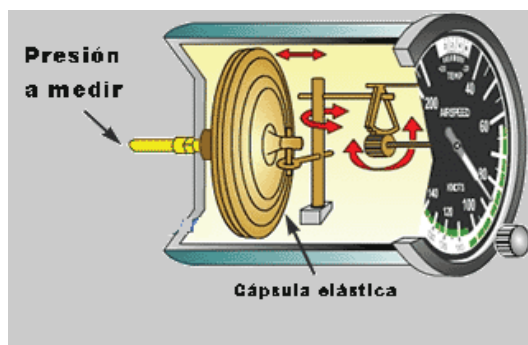


Figura 8: Manómetro de diafragma. [2]

### 1.2.2 Instrumentos Neumáticos:

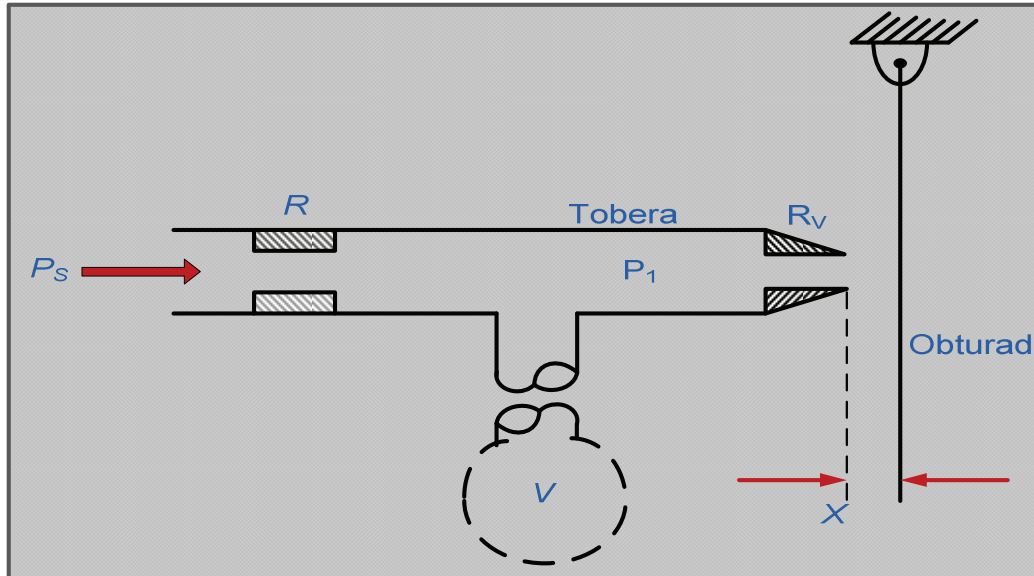


Figura No 9: Sistema tobera-obturador. [3]

Los instrumentos neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador (Figura 9), el cual convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

El sistema tobera-obturador consiste en un tubo neumático alimentado a una presión constante  $P_s$ , con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida.[1]

### 1.2.3 Elementos Electromecánicos y Electrónicos:

Estos elementos constan de un sistema elástico (Tubo Bourdon, Fuelle, Diafragma, hélice espiral, etc.) y un transductor eléctrico el cual genera una señal eléctrica utilizable en función a la magnitud física arrojada por el elemento elástico. [1]

Dentro de los transductores se pueden mencionar:

#### a. Transductores Resistivos:

Por su sencillez es uno de los elementos más usados en la industria. Consta de un elemento elástico como un tubo Bourdon o un fuelle el cual

con su desplazamiento hace que varíe la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión (vea Figura 10). [1]

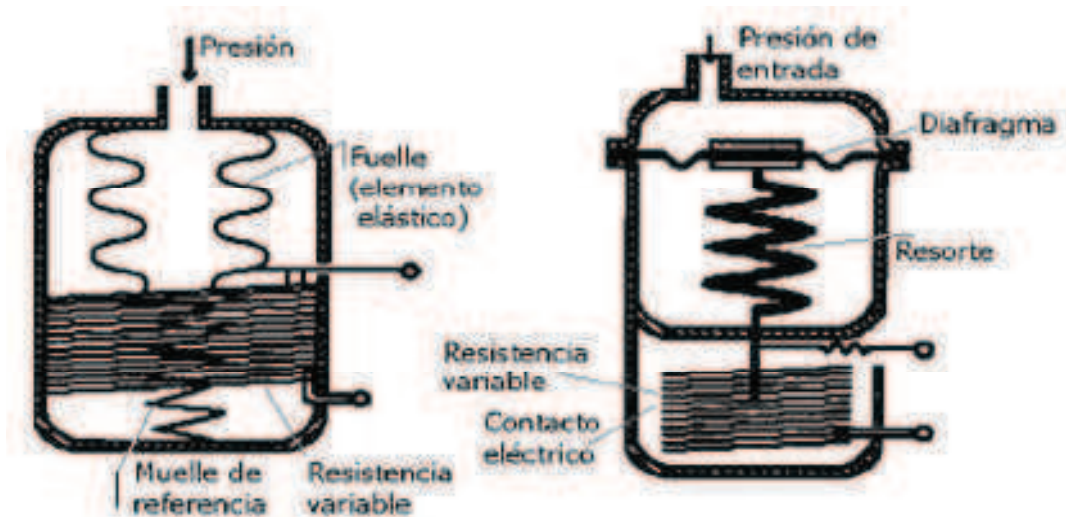


Figura No 10: Transductor Resistivo. [5]

**b. Transductores Magnéticos:** Existen dos tipos de transductores magnéticos:

- *Transductores Magnéticos de Inductancia Variable:* El desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de ésta en forma casi proporcional a la proporción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina (vea Figura 11).

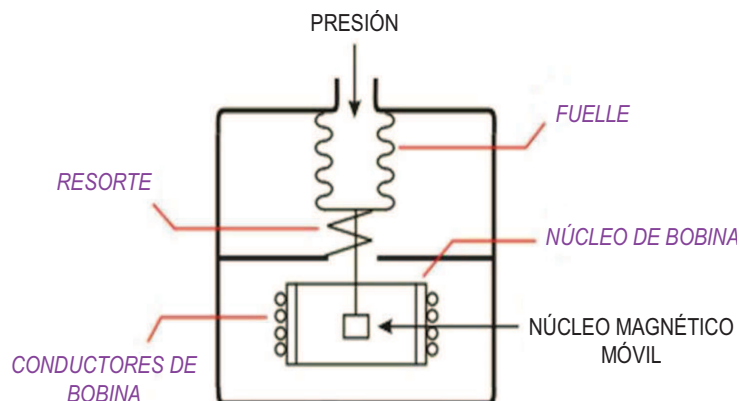


Figura No 11: Transductor de inductancia variable. [4]



- *Transductores Magnéticos de Reluctancia Variable:* Consiste en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético (ver Figura 12). El circuito magnético se alimenta con una f.e.m constante con la cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por tanto el flujo magnético, dando lugar a una corriente magnética inducida.

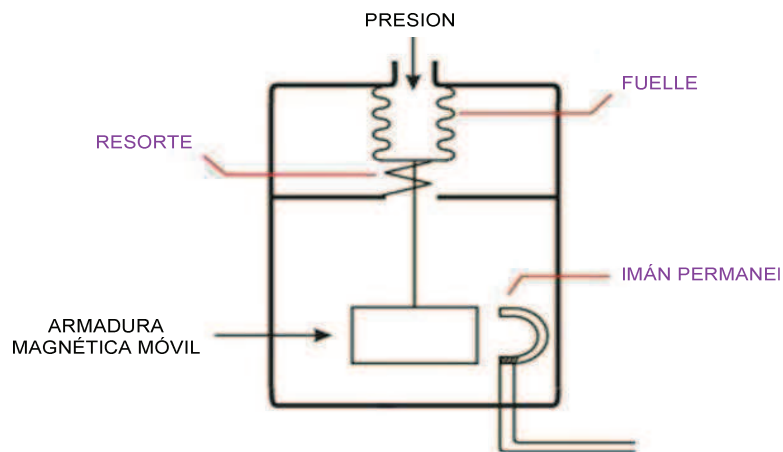


Figura No 12: Transductor de reluctancia variable. [5]

- c. **Transductores Capacitivos:** Se basa en la variación de la capacitancia de un condensador, cuando una de sus placas se desplaza al ejercer una presión sobre ella (vea Figura 13). La placa móvil tiene forma de diafragma y está entre dos placas fijas.[1]

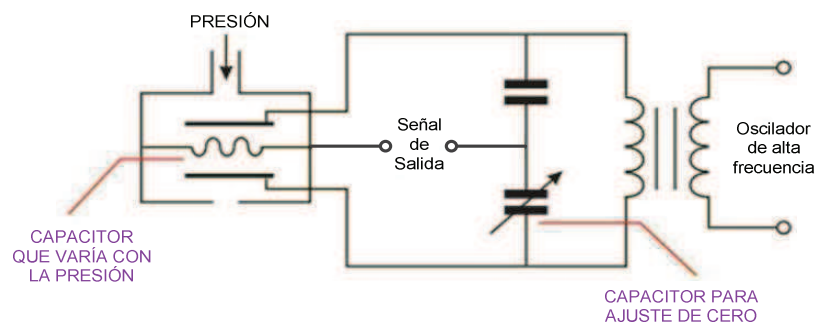


Figura No 13: Transductor Capacitivo. [3]

- d. **Transductores Piezoeléctricos:** Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que al deformarse por la acción de la presión

generan una señal eléctrica [1]. El esquema de un transductor piezoeléctrico se observa en la Figura 14.

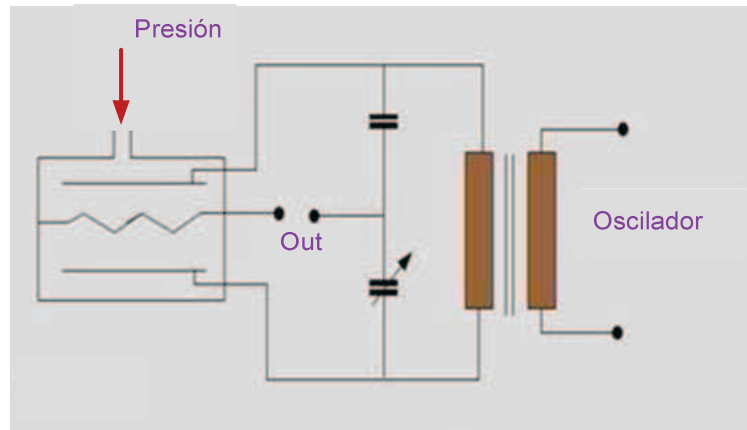


Figura No 14: Transductor piezoeléctrico. [7]

#### e. Galgas Extensiométricas:

Es un dispositivo electrónico que consiste en un alambre fino o papel metálico en forma de rejilla que se deforma proporcionalmente a la presión ejercida sobre ella (vea Figura 15).

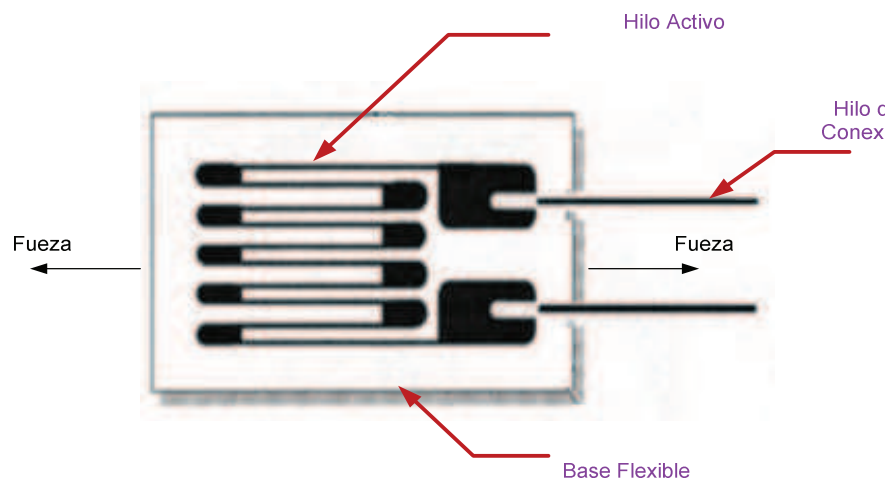


Figura No 15: Galga Extensiométrica. [7]

A manera de resumen en la figura 16 se tienen diferentes tipos de instrumentos de medición de presión y su rango de trabajo en PSI.

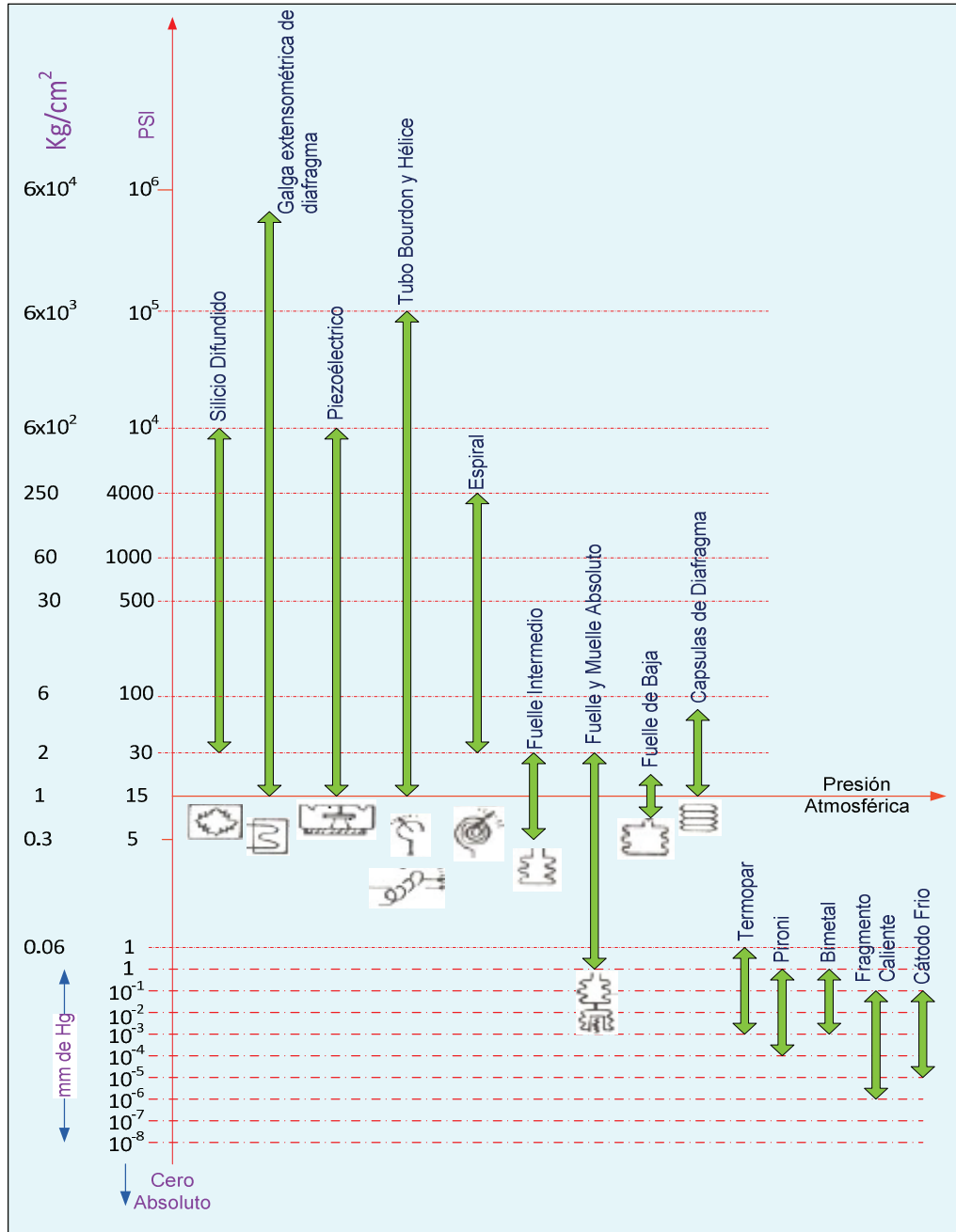


Figura No 16: Instrumentos de presión y campos de aplicación. [1]

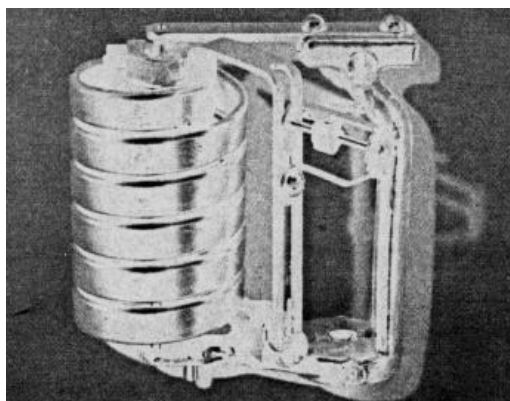
## 2. TUBO BOURDON

Llamado así por su inventor el ingeniero francés Eugene Bourdon. En la industria gran cantidad de instrumentos de medición de presión constan de un tubo Bourdon. Este tubo Bourdon es un dispositivo que tiene un extremo cerrado y otro acoplado a una línea de presión. A medida que el tubo detecta presión se deforma convirtiendo la variable presión en desplazamiento. Así mismo, esta acoplado a un mecanismo de engranajes y una aguja la cual mide dicho desplazamiento. En las Figuras 17 y 18 se pueden observar algunos ejemplos de Tubos Bourdon.

El material empleado para la construcción del tubo Bourdon es acero inoxidable, aleaciones de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel



*Figura No 17: Tubo Bourdon en C y en espiral.[9]*

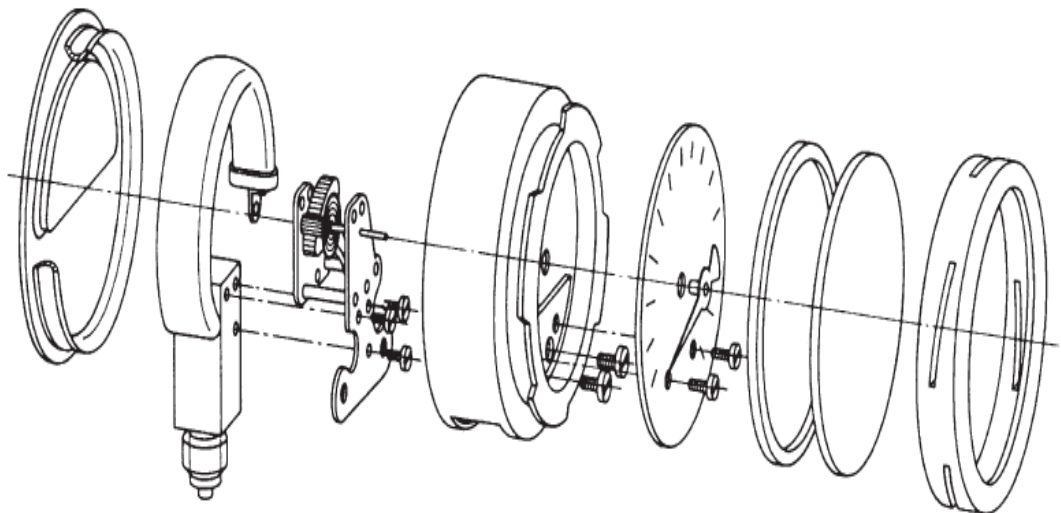


*Figura No 18: Tubo Bourdon Helicoidal. [9]*

## 2.1 MANÓMETRO TIPO BOURDON EN C.

Consta de un tubo Bourdon cerrado en uno de sus extremos y acoplado a una línea de presión en el otro. A medida que se aumenta la presión de entrada, el tubo tiende a enderezarse hasta que la fuerza de la presión del fluido sea balanceada por la resistencia elástica del material del tubo. Un indicador es acoplado al extremo cerrado del tubo por medio de un sistema mecánico de engranajes y piñones los cuales a su vez hacen girar una aguja que recorre una escala graduada, midiendo así la presión de entrada en función del desplazamiento del tubo Bourdon.

Aunque estos tubos se hacen trabajar dentro de sus límites de elasticidad, la relación que existe entre la presión y el desplazamiento no es igual cuando aumenta la presión que cuando disminuye; esta derivación se conoce como Histéresis y no ocasiona ningún error apreciable siempre y cuando el instrumento se mantenga dentro de su rango de medida. No se debe superar el rango máximo de medición del instrumento ya que esto generaría una deformación permanente del tubo de Bourdon y su inutilización. En la Figura 19 se observa un manómetro tubo Bourdon en C desglosado en partes.



*Figura No 19: Manómetro Tipo Bourdon en C.[12]*

### 2.1.1 Ventajas del Manómetro Bourdon:

El manómetro de Bourdon es un instrumento de medición muy versátil y permite que se trabaje con algunos líquidos, aceites y gases, todo esto dependiendo del proceso a manejar. Bajo precio y bajo costo de mantenimiento, algunos vienen rellenos de glicerina para de esta forma evitar vibraciones en la aguja y obtener mediciones mucho más confiables, son de fácil instalación, tienen baja rigidez y baja frecuencia natural.

### 2.1.2 Desventajas del Manómetro Bourdon:

Su funcionamiento se ve afectado por la temperatura ambiente a la que se encuentra el instrumento, la manera como se instalo el instrumento, vibraciones externas y por fallas ocasionadas por sobrepresión, corrosión o explosión del instrumento.

## 2.2 MANÓMETRO TIPO BOURDON EN ESPIRAL Y HELICOIDAL.

En el manómetro helicoidal (ver Figura 21), la parte transversal plana del tubo, como su nombre lo indica, esta enrollado en forma de hélice y a medida que se ejerce presión al interior del tubo este tiende a desenrollarse. De forma similar, está construido el manómetro con tubo Bourdon en espiral (ver Figura 20). Este tiene, tal como su nombre lo indica, la parte transversal plana del tubo enrollada en forma de espiral la cual tiende a desenrollarse cuando se ejerce una presión al tubo. Estas configuraciones, soportan más presión que el tipo C, puesto que se necesita más presión para obtener determinado desplazamiento del tubo.

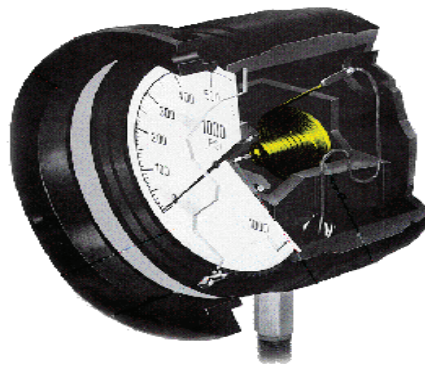


Figura 20: Manómetro Tipo Bourdon en Espiral.[10]

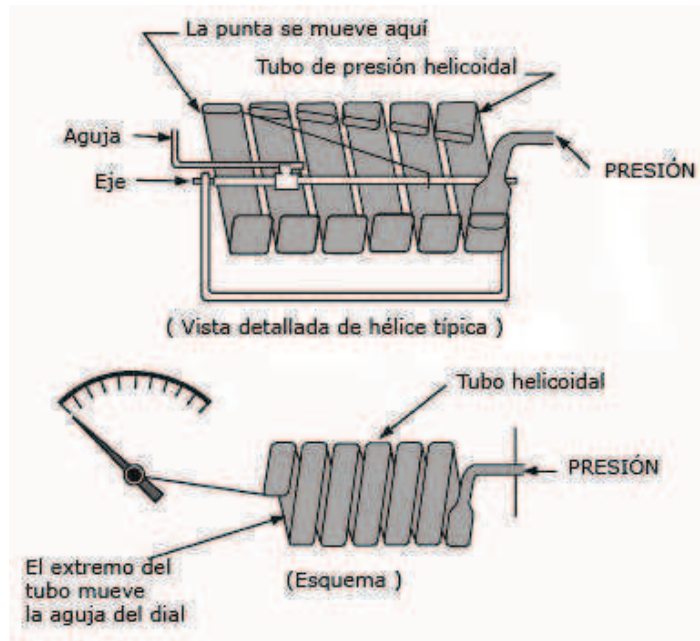


Figura 21: Manómetro Tipo Bourdon Helicoidal. [8]

## 2.3 ESCOGENCIA DEL MANÓMETRO.

Para que los resultados esperados sean óptimos y precisos, es fundamental una selección e instalación cuidadosa del manómetro. Al escoger el manómetro es conveniente tener en cuenta la aplicación que se le piensa dar, el tipo de fluido a utilizar, el medio en el que se va a trabajar y la presión a manejar. El rango de presión será óptimo cuando la presión a trabajar se encuentre en el tercio medio del rango de medición. Es recomendable que la presión máxima de funcionamiento no sobrepase el 75% de la presión máxima del manómetro. El tener en cuenta estas indicaciones condicionara la vida útil del instrumento. [9]

Es importante tener claro algunos conceptos a la hora de la escogencia y utilización del instrumento de medición:

### 2.3.1 Rango:

Es el conjunto de valores que se encuentra comprendido entre el límite inferior y el límite superior que es capaz de medir el instrumento, dentro de los límites de exactitud que este maneja. [1]

### 2.3.2 Alcance (Span):

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del instrumento de medición [1].

### 2.3.3 Error:

Es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Lo ideal sería que el error fuera cero, sin embargo todos los instrumentos modifican su comportamiento a lo largo de su vida de uso y es común calibrarlos de cuando en cuando.

### 2.3.4 Incertidumbre de la medida (uncertainty):

Es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida [1].

### 2.3.5 Exactitud:

Es la cualidad del instrumento de medición para dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida [1].

### 2.3.6 Precisión o Repetibilidad (NTC2194):

Es la aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre sí por aplicaciones repetidas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. En la Figura 22 se observa la curva característica de la repetibilidad.

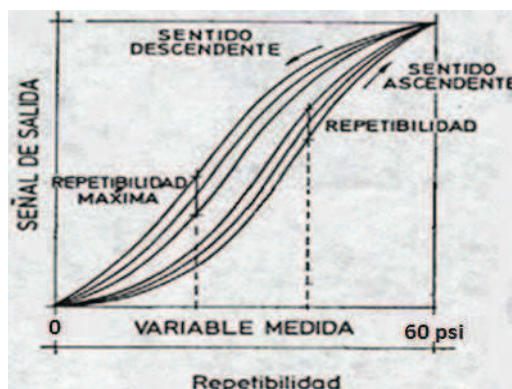


Figura No 22: Curva Repetibilidad.[1]



Ecuación para hallar la repetibilidad:

$$\frac{\sqrt{\sum (X_i - X)^2}}{N}$$

Donde  $X_i - X$  es la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento recorriendo todo el campo, y partiendo, para cada determinación, desde el valor mínimo del campo de medida y  $N$  el número de datos. [1]

### 2.3.7 Histéresis:

El amortiguamiento mas el rozamiento hace que haya un consumo de energía en la carga y descarga de los instrumentos, y debido a esto la curva de calibración ascendente no coincide con la descendente y a esto se le conoce como Histéresis. En la Figura 23 se observa la curva característica de la Histéresis. [1]

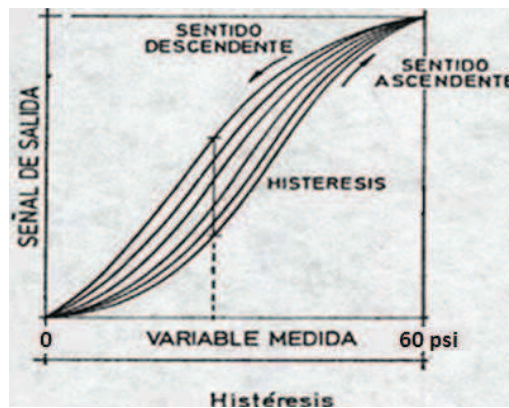


Figura No 23: Curva Histéresis. [1]

La ecuación para el cálculo de la histéresis es:

$$\frac{X_i - X}{FS} * 100$$

Donde  $X_i - X$  es la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento, y  $FS$  (*full scale*) es el rango completo a trabajar.

## **2.4 RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE UN MANÓMETRO.**

Los manómetros deben ser instalados en lugares donde se minimice cualquier efecto de vibración, y se deben evitar temperaturas extremas y la humedad. Ambientes secos lejos de cualquier fuente de calor son recomendados.

Se recomienda no mover un manómetro de un aplicación a otra ya que el número acumulativo de los ciclos de presión en la aplicación anterior es generalmente desconocido, debido esto se aconseja y es más seguro utilizar un manómetro nuevo cuando sea y donde sea necesaria su aplicación; esto minimiza la posibilidad de errores durante su funcionamiento. [10]

## **2.5 RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN DE UN MANÓMETRO.**

### **2.5.1 Frecuencia de inspección:**

La frecuencia de inspección es relativa y depende de la severidad del proceso al cual se encuentra sujeto el manómetro y de que tan crítica es la precisión de la presión medida. Por ejemplo se revisan mensualmente para aplicaciones de servicio severas y anualmente para aplicaciones que no sean críticas.[10]

### **2.5.2 Cuando Revisar la Precisión del Manómetro:**

Cuando exista cualquier comportamiento sospechoso en el puntero o indicador del manómetro se debe revisar la precisión (Accuracy) de este. Incluso si el manómetro no muestra ningún síntoma de anormalidad el usuario puede establecer una frecuencia de revisión para comprobar su correcto funcionamiento.[10]

### **2.5.3 Cuando Recalibrar el Manómetro:**

Esto depende de lo crítico que sea el proceso en el cual se utiliza el instrumento, cuando los resultados medidos no son los esperados y se observa una gran diferencia entre la medida obtenida y la real puede ser que el manómetro se encuentre descalibrado y sea hora de recalibrar. [10]

### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Se comenzó investigando los tipos y las marcas de manómetros existentes en el mercado para así tener varias opciones de equipos que se acercaran a las necesidades del proyecto. De esta manera y tomando en cuenta los criterios de selección de un instrumento de medición de presión, se escogió el manómetro 1279 de Ashcroft con rango de 0-60psi, clase 2A (0.5% de precisión); Bourdon de aleación de acero inoxidable AISI-316SS, caja de fenol negra con frente sólido (ver Figura 24).



*Figura No 24: Manómetro Ashcroft 1279.[10]*

#### 3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MANÓMETRO BOURDON.

- a. Rango de Trabajo: Para el rango de trabajo se tuvo en cuenta uno de los objetivos del proyecto que es observar el funcionamiento del sistema mecánico del manómetro, y la presión máxima que puede otorgar el laboratorio para hacer pruebas es de más o menos 150psi, conociendo esto se escogió un manómetro de 60psi para tener la posibilidad de observar todo el desplazamiento de la aguja sin ningún problema.
- b. Tamaño: Ya con presión máxima y rango de trabajo del manómetro definido, se definió el tamaño del manómetro, teniendo presente que del

tamaño depende el costo del mismo. Para las necesidades del proyecto (observar el funcionamiento mecánico), era ideal un tamaño grande para tener mayor rango visual del sistema mecánico del manómetro, para lo cual se implemento un manómetro con una medida comercial de 4.5 pulgadas.

- c. Medio de trabajo: Dado que el medio de trabajo no es abrasivo y tampoco tiene variables por vibración, se utilizó uno en materiales con costos bajos tal como aleaciones de fenol y sin glicerina.

### 3.2. SISTEMA DE TRANSDUCCIÓN BASADO EN ENCODER

#### ENCODERS

Un encoder es un dispositivo que permite convertir una variable física en una señal eléctrica, para fines de control o visualización digital de dichas variables. En la industria se encuentran acoplados internamente en dispositivos más complejos. Existen dos tipos de encoders, los incrementales (ver Figura 25) y los absolutos (ver Figura 27).

#### Encoder Incremental

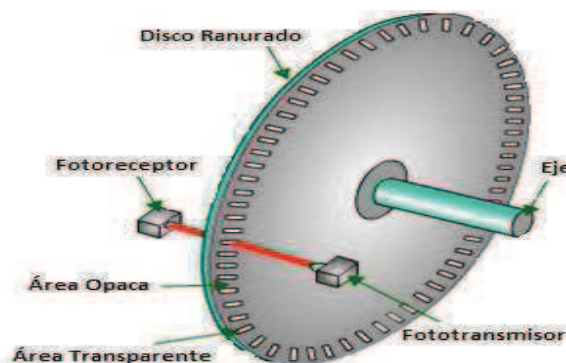


Figura No 25: Disco Ranurado de un Encoder Incremental.[11]

Los encoders incrementales tienen un disco ranurado acoplado a un rotor. Estas ranuras, están separadas exactamente por un paso las cuales giran gracias al rotor y pasando por un foto receptor y un foto transmisor, puede emitir un tren de pulsos que puede ser manipulado para una aplicación determinada. Normalmente estos encoder tiene dos pares de transmisor-receptor y otra sección de ranuras con el

fin de poder emitir dos señales desfasadas 90 grados entre si y así dar sentido de giro al mecanismo, es decir, cuando se nota un desfase de 90 o sea  $\frac{1}{4}$  de periodo demuestra giro en un sentido y cuando se nota desfase de 270 grados y  $\frac{3}{4}$  de periodo, el dispositivo demuestra giro en sentido contrario (véase Figura 26).

La resolución de la visualización de las señales obtenidas depende del número de ranuras que tenga el encoder.

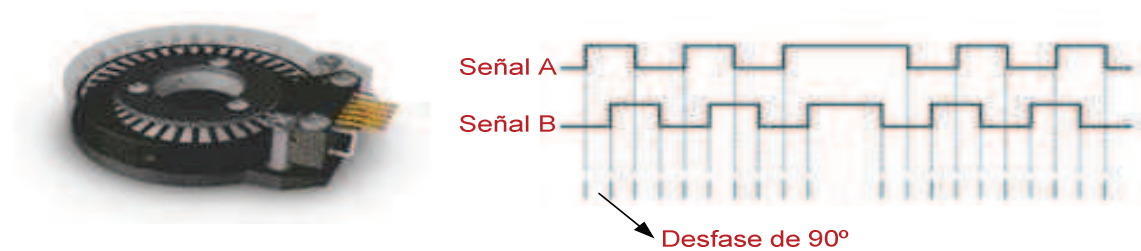


Figura No 26: Señales emitidas por un encoder con sentido de giro.[12]

### Encoder Absoluto

El encoder absoluto posee un disco conformado por una serie de bandas que a su vez tienen áreas transparentes y oscuras, dispuestas de tal manera, que en sentido radial, estas áreas oscuras y transparentes formen posiciones en código gray a medida que el estator gire.

Se le dice absoluto porque cada segmento de giro del estator es un único valor de posición. Y trabaja en código gray porque en cada cambio de posición solo cambia el estado de una de las bandas evitando así problemas de alineación de los fotoreceptores.[11]

Puesto que se utiliza código gray tiene que tener un fotoreceptor y un fototransmisor por cada banda, por consiguiente, para n encoder con n bandas permite  $2^n$  combinaciones. Así su resolución viene dada de dividir  $360^\circ$  de un giro completo del estator por  $2^n$  que es el número total de combinaciones que permite el encoder, lo que hace una diferencia considerable con el incremental, ya que por ende, un encoder absoluto requiere más circuitería para poder leer la información que este emite. [11]

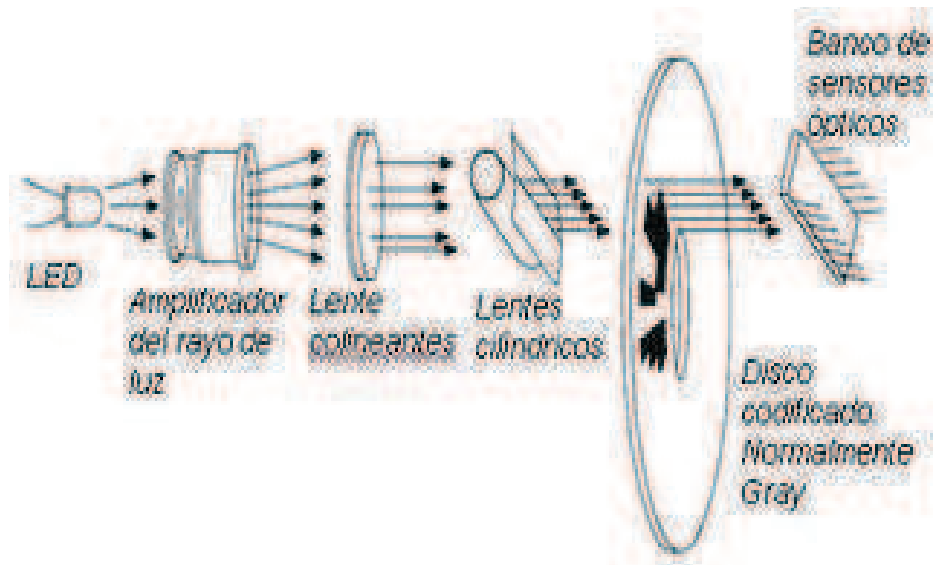


Figura No 27: Encoder Absoluto. [11]

Tal como se observa en la Figura No 28, los antiguos mouse para PC que salieron al mercado, para hacer su función tienen una esfera que gira a medida que el usuario mueve el mouse.

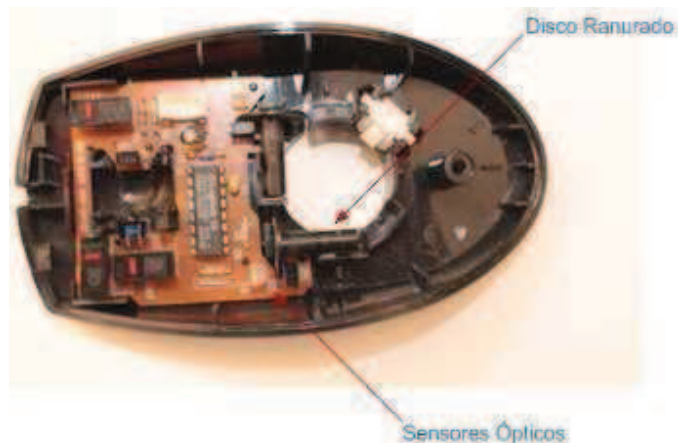


Figura No 28: Mouse de Rueda y su Encoder.

El movimiento de esta rueda, la puede ver el PC por medio de dos encoders incrementales que están acoplados a un pequeño circuito impreso al interior del mouse. A diferencia de los encoders que vemos en el mercado, sus fotoreceptores están acoplados a la electrónica y no al estator. Inicialmente la idea era trabajar con este encoder, pero se presentaron inconvenientes

irremediables. Primero, dado que el disco es de plástico el acople al sistema mecánico de manómetro, había que hacerlo con pegante convencional y no se contaba con la sensibilidad de la estructura giratoria de la aguja del manómetro. Basta con una pequeña presión al sistema mecánico para que la aguja se frene y por ende altere la medición del instrumento.

El otro problema que no se pudo solucionar con este encoder, fue la posición de los fotoreceptores, ya que la electrónica en donde van acoplados había también que acoplarla al sistema mecánico lo que implicaba ejercerle más presión al sistema lo que a su vez frenaba la aguja. Por otro lado, gracias a que tocaba acoplar la electrónica y el disco como dos sistemas por separado, los ángulos de recepción y transmisión de los sensores del encoder había que ajustarlos manualmente y a prueba y error. Esto ocasionaba que la mayoría de la veces no se pudiera obtener la señal de pulsos.

Para solucionar este problema definitivamente se cambió el encoder. Una solución viable era medir el movimiento angular generado en el eje de la aguja del manómetro por medio de un encoder incremental, esto por su precisión y la facilidad de implementar electrónicamente hablando.

Se busco un encoder que tuviera un eje metálico para poder utilizar soldadura y equipos finos de acople metálico para minimizar el error que se tenía en la integración del encoder con el sistema mecánico del manómetro. Además, se necesitaba uno que tuviera el disco y los sensores en un mismo sistema para eliminar el error por falta de recepción y transmisión y no generar señal de pulsos. El encoder utilizado se muestra en la Figura No 29.

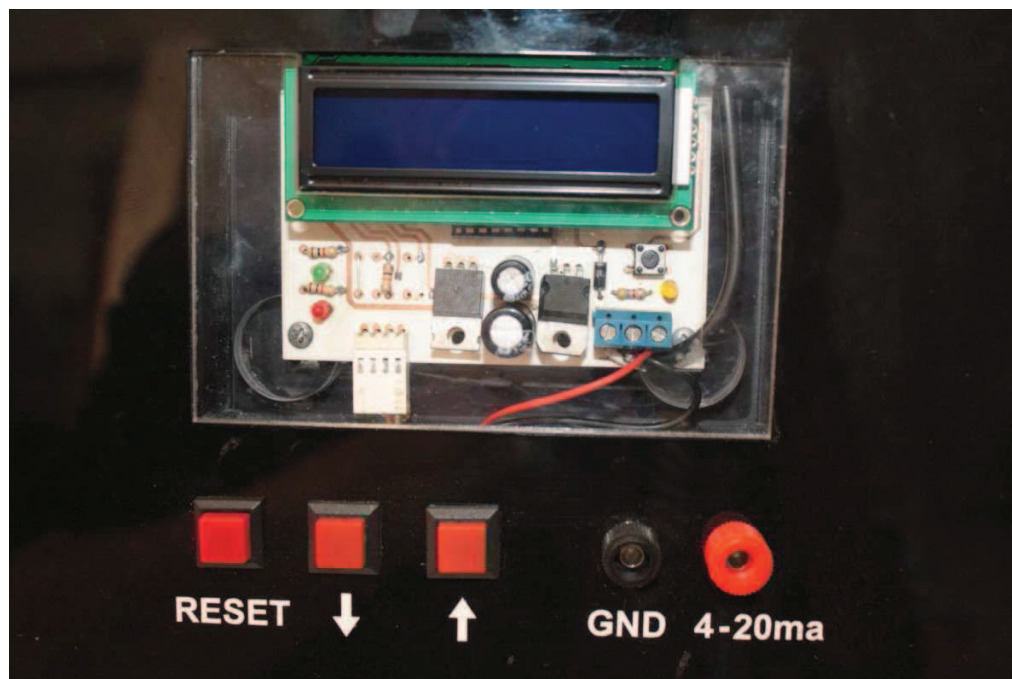


*Figura No 29: Encoder Utilizado.*

Con este encoder se tuvo la facilidad de que independientemente de cómo se acoplara siempre iba a medir el desplazamiento angular del eje de la aguja. Además de su eje metálico, también se tuvo en cuenta el torque que tiene su estator al girar. Se necesitaba el menor torque posible para que le hiciera la menor resistencia posible al giro del sistema mecánico del manómetro. El torque que maneja es de 1.5 oz.

### 3.3. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN.

Una vez obtenida la señal de pulsos, esta es procesada por una electrónica diseñada por nosotros con ayuda de un micro controlador (PIC16F876A), el cual está programado para contar los pulsos que emite el Encoder, tanto ascendente como descendente.



*Figura No 30: Electrónica para visualización y transmisión.*

Se utilizó un display LCD para la visualización el cual muestra, conteo de pulsos, medición digital de presión y la medición de una señal de transmisión de 4-20mA. Es importante agregar que el Módulo tiene control de reset y tiene la posibilidad de manipular el valor de presión aumentándolo o disminuyéndolo a conveniencia de alguna práctica de laboratorio en particular. El esquema circuital puede observarse en la Figura 31.



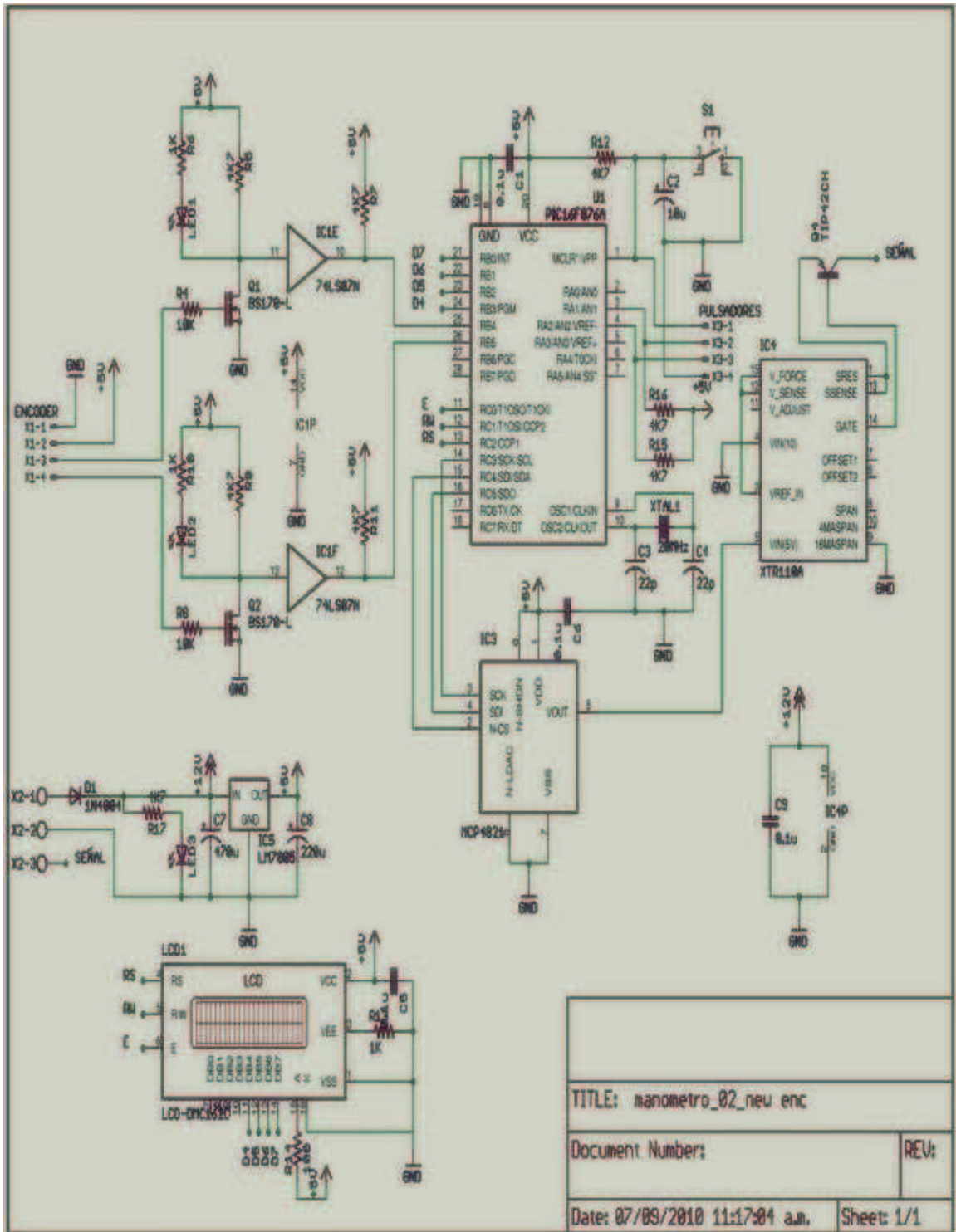


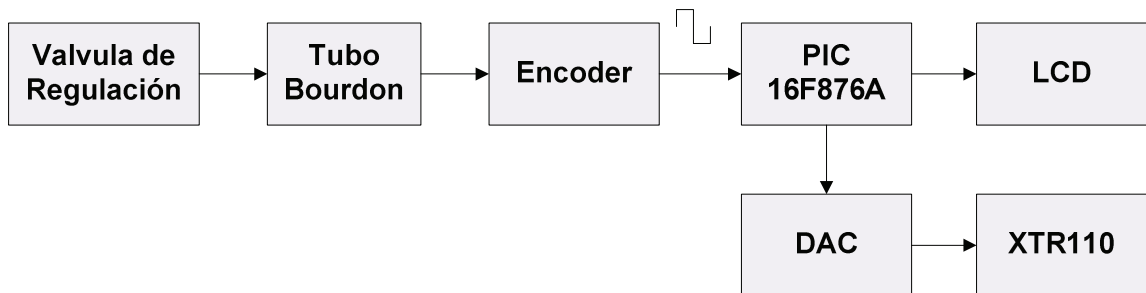
Figura No 31: Esquema del circuito de visualización y transmisión.

### 3.4. TRANSMISIÓN 4 – 20 mA.

Para la transmisión 4-20mA se utilizó un XTR110, un integrado que puede recibir una referencia de voltaje analógico de 0-5voltios y proporciona una señal de salida de 4-20mA.

### 3.5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Toda la operación comienza con la señal de pulsos emitida por el Encoder desde el manómetro. Esta señal es acondicionada de tal manera que cuando la reciba el PIC sea una señal de pulsos un poco más pura. El PIC la recibe, el programa hace el conteo, hace la conversión de pulsos a unidades de presión (Psi) y hace la visualización. El PIC tiene que enviar una señal de 0-5Vdc a un convertor



*Figura No 32: Diagrama del funcionamiento del sistema.*

Digital-Analógico (DAC) para proporcionarle la señal de 0-5V analógica que necesita el XTR110 para hacer la transmisión.

Descripción por etapas del circuito de la figura 31 (pág.25):

Esta es la primera etapa del circuito, se llama acondicionamiento de la señal digital emitida por el encoder. Los 74ls07 son compuertas tipo YES, es decir si entra un 1 sale un 1 y si entra un cero sale un cero. El uso que tienen es el de convertir la señal que amplifican los transistores en pulsos digitales ya que son compuertas tipo smith trigger. Para efectos de hacer la transmisión 4-20mA la señal digital de entrada es tratada por unos buffers para aumentar su valor de corriente, esto para evitar problemas por falta de corriente en las siguientes etapas del sistema.

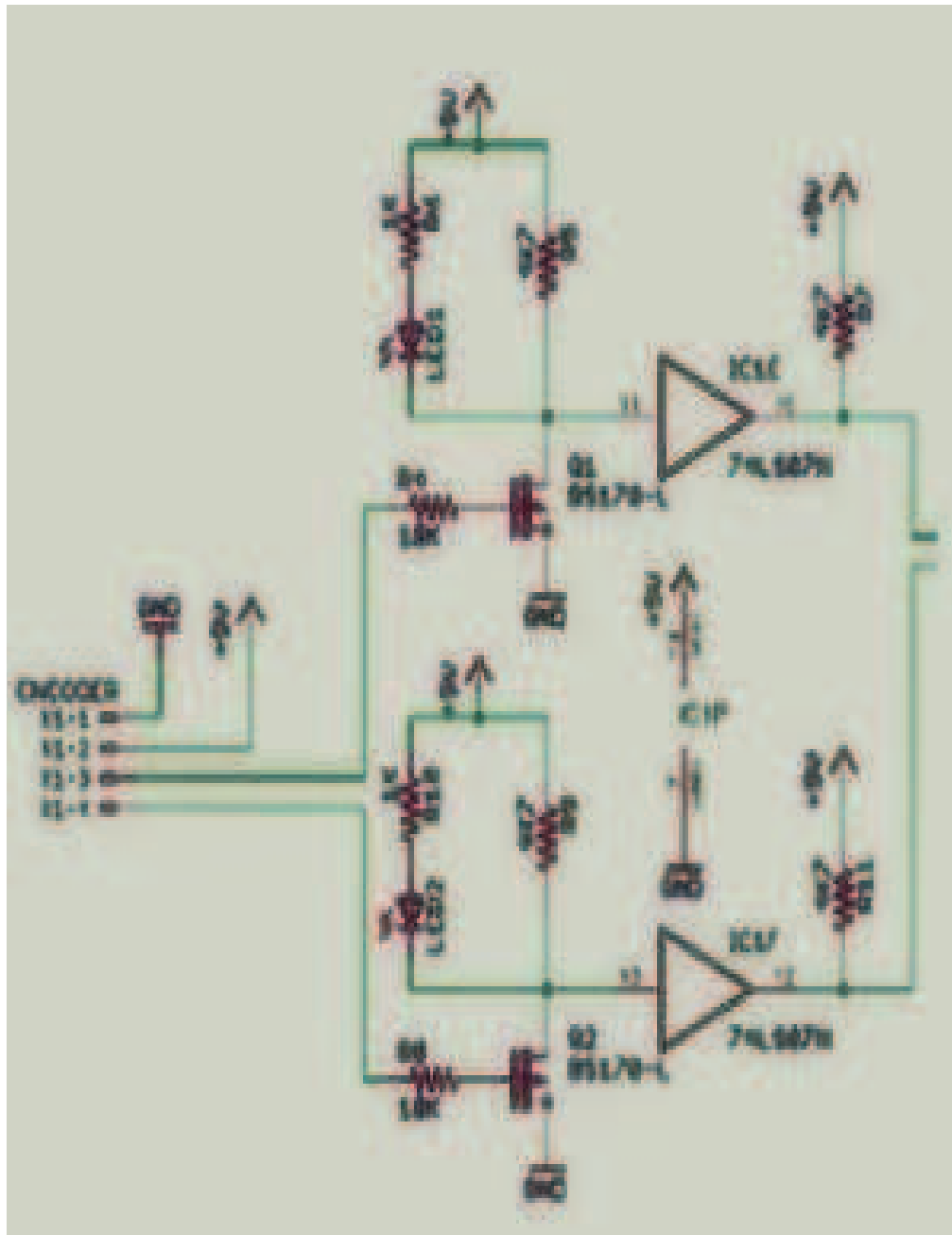


Figura No 33. Etapa 1 del circuito.

- Con la señal del encoder optimizada, hay que procesar los datos que lleva dicha señal de tal manera que se puedan visualizar en función de valores de presión y corriente. Este procedimiento se hace por medio de un micro controlador. Esta etapa es la etapa de procesamiento de datos.

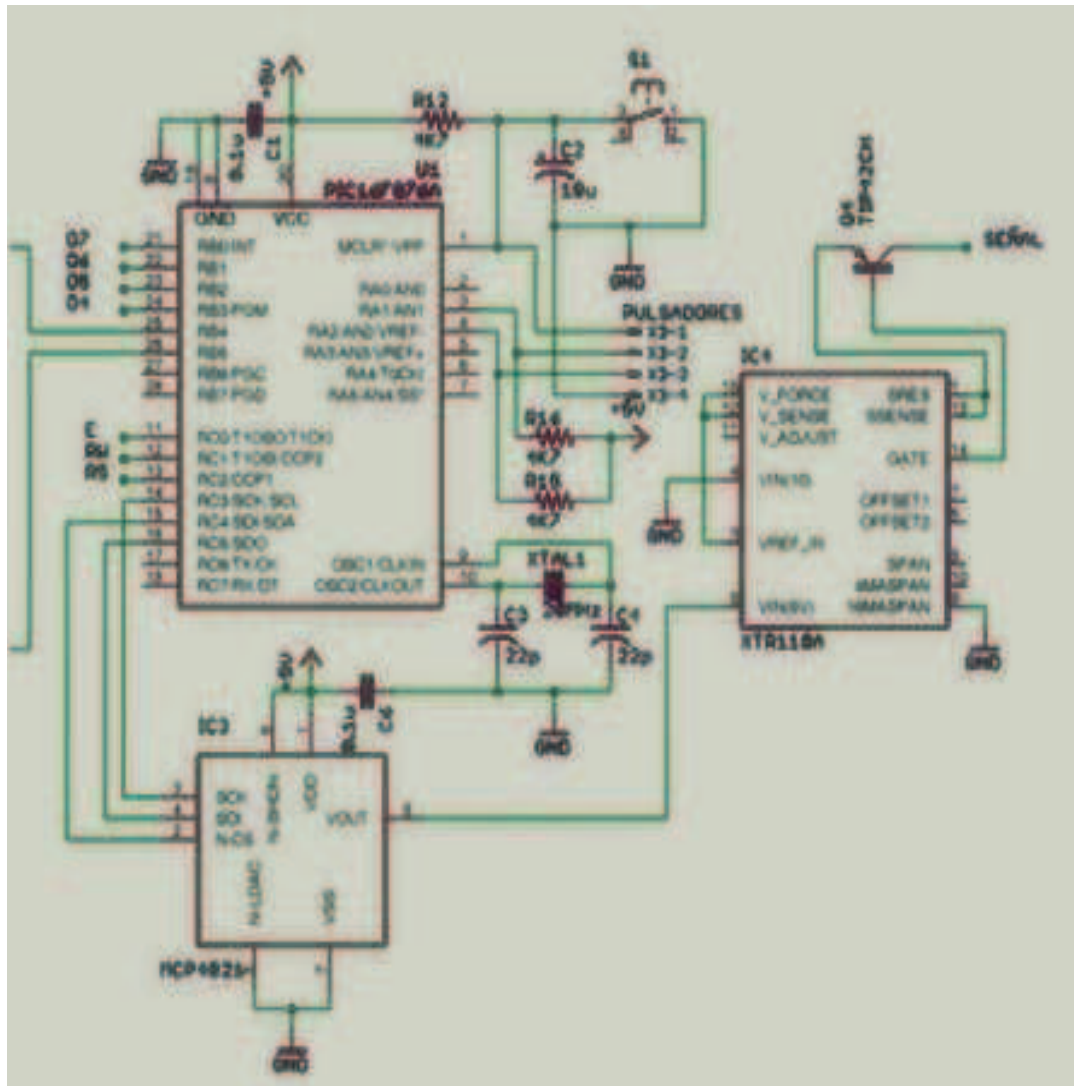


Figura No 34. Etapa 2 del Circuito.

- La etapa de visualización se hace con la comunicación del micro controlador y un display LCD el cual muestra valores de presión, pulsos del encoder y corriente de la transmisión 4-20mA.
- Para la etapa de la transmisión 4-20mA es necesario tomar la señal digital procesada en el Micro y convertirla en una señal analógica de voltaje. Es necesario porque la transmisión la realiza un integrado (XTR110) el cual, con una señal de entrada de voltaje analógica proporciona un rango de corriente de 4-20mA

### 3.6. PROGRAMACIÓN DEL PIC

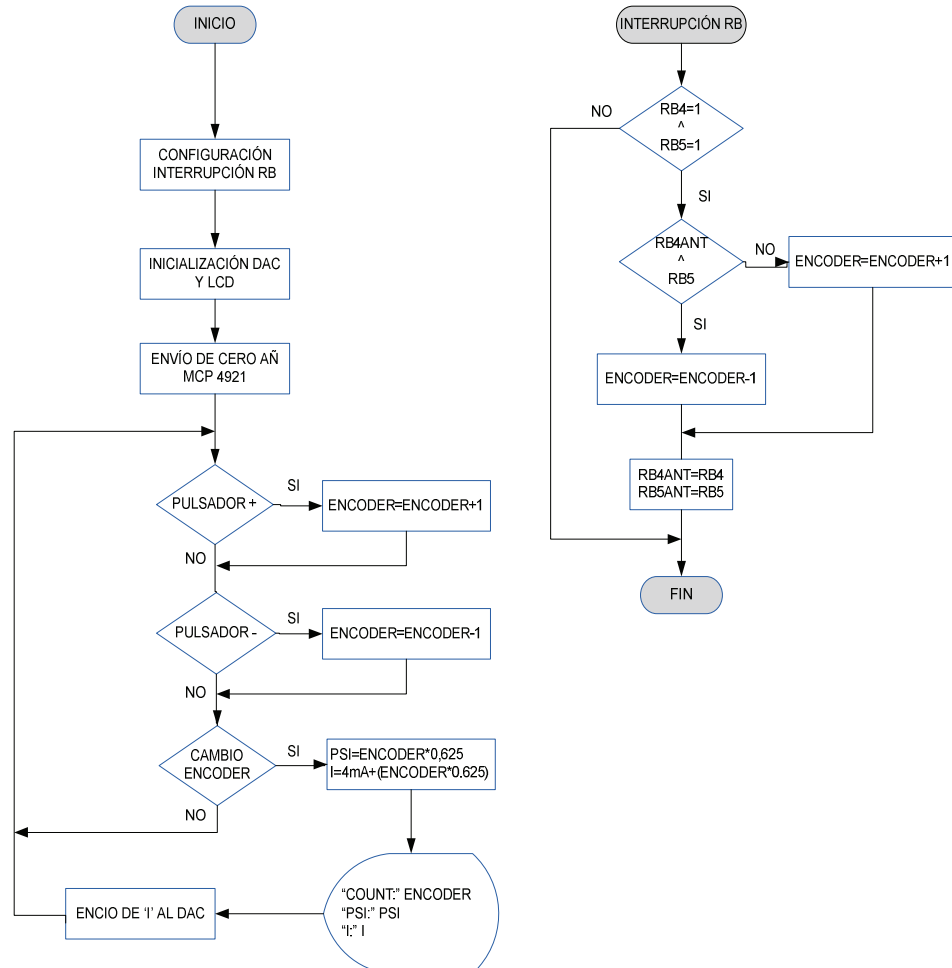


Figura No 35: Diagrama de Flujo del Programa.

El código del programa puede observarse en el **Anexo E**.

### 3.7. MÓDULO DIDACTICO

Partiendo del hecho que se estaba frente al diseño de un Módulo didáctico se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para su construcción:

- **Altura:** Dado que el Módulo es un instrumento de medición con un manómetro analógico, su altura se determino de tal manera que el operador quedara en una posición adecuada para reducir errores de paralaje y pudiera tomar lecturas cómodamente.

- Forma: Su base es robusta, de 28.4x28.4cms, para compensar el peso que ejerce el manómetro sobre él, dándole bastante estabilidad y a su vez seguridad al operador al tomar lecturas.



*Figura No 36: Vista Frontal del Módulo.*

- Material: Se escogió acrílico, ya que, uno de los objetivos del proyecto es ver el funcionamiento mecánico del manómetro, para lo que se necesitaba un material que fuera fácil de manipular, resistente para proteger el instrumento y pudiera ser transparente para poder observar su interior. Por otro lado el grosor del acrílico se escogió tomando en cuenta lo robusto y pesado del Módulo.
- Color: El color negro de la estructura se escogió con el único propósito de destacar las partes del Módulo, es decir, el manómetro, la electrónica, el regulador de presión y el sistema mecánico del manómetro y el Encoder.

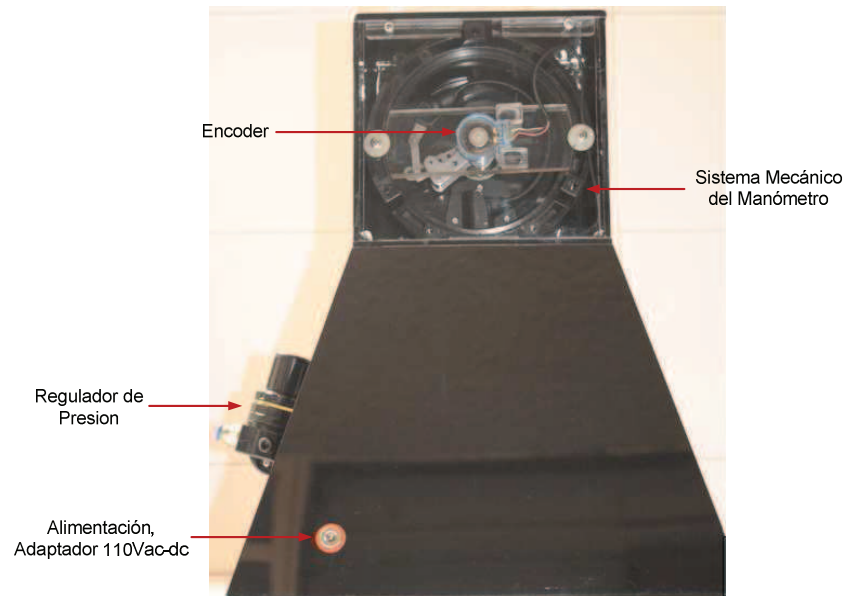


Figura No 37: Vista Posterior del Módulo.

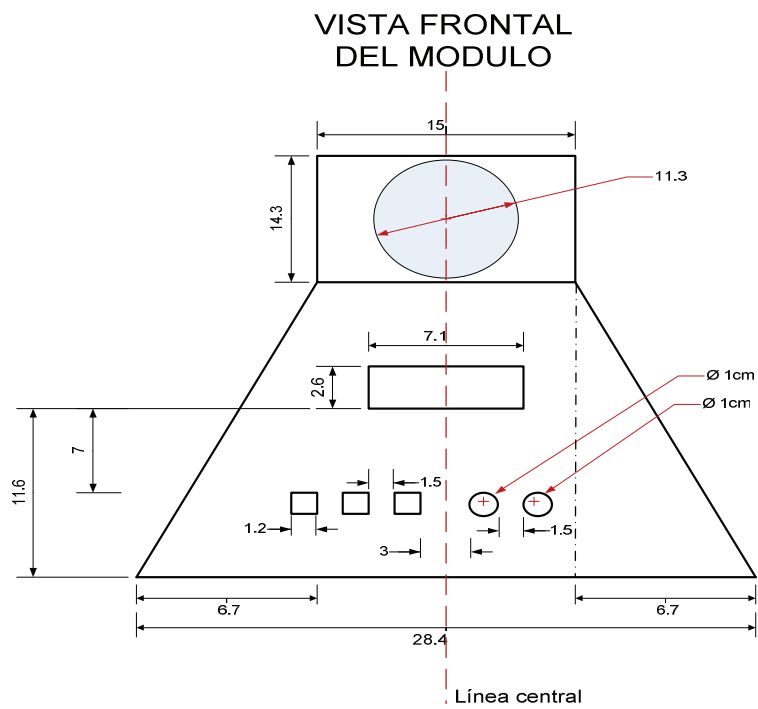
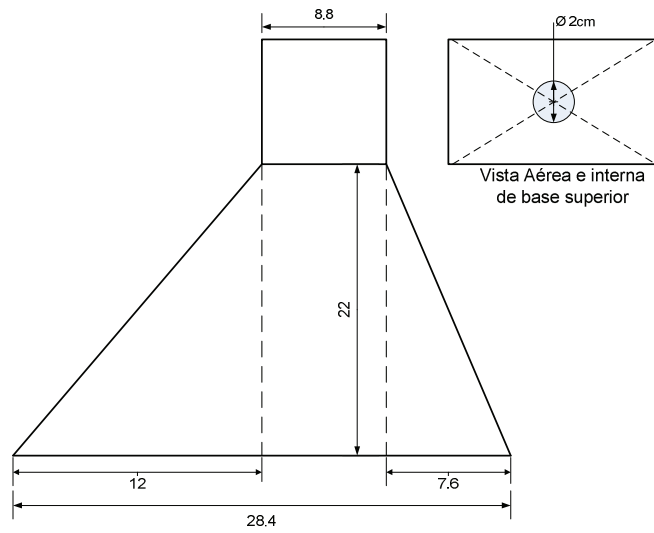


Figura No 38: Plano vista Frontal del módulo.

VISTA LATERAL  
DEL MODULO



*Figura No 39: Plano vista lateral del módulo.*



#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL INSTRUMENTO

Para comprobar el correcto funcionamiento del Módulo se realizaron varias pruebas en las que este fue sometido a aumentos y disminuciones de presión para así poder observar el comportamiento del manómetro y del encoder, y verificar que los valores de las variables registrados en el Módulo son correctos y consecuentes con los valores reales.

Los valores que se registraron durante la prueba del Módulo fueron:

- ❖ Presión del manómetro (P)
- ❖ Presión registrada en el Módulo (Pm)
- ❖ Corriente de salida del Módulo (Ia)
- ❖ Corriente registrada en el Módulo (Im)
- ❖ Pulsos registrados en el módulo



Figura No 40: Indicación de variables (Pm, Im, Pulsos).

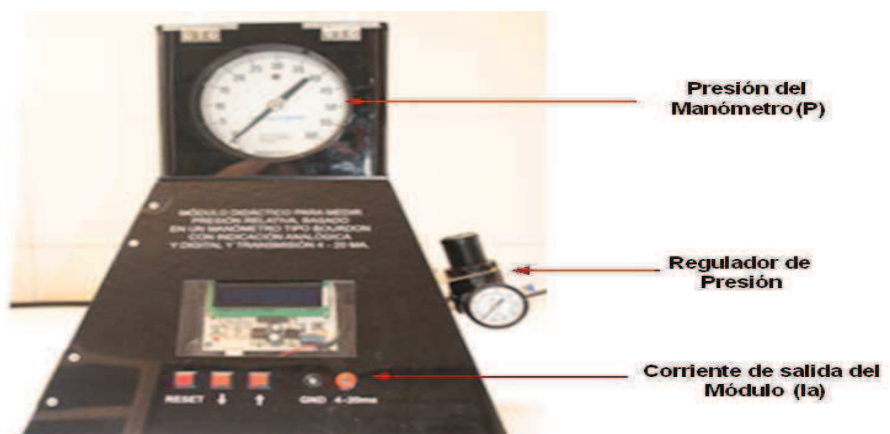


Figura No 41: Indicación variables (P, Ia).

Los datos se registraron de la siguiente manera:

Se colocó el Módulo en funcionamiento y se llevaron todas las variables a las condiciones iniciales, es decir, la presión del manómetro en 0psi, la corriente registrada por el Módulo en 4ma, el número de pulsos en 0 y la presión registrada por el Módulo 0psi. Para obtener el valor de la corriente de salida "*I<sub>a</sub>*" se utilizó un amperímetro que se instaló en las bornas de transmisión de 4 – 20mA. Se reseteó el Módulo.

Con todas las condiciones dadas se aumentó la presión de entrada al Módulo de 1psi en 1 psi, en cada unidad de presión se tomaron los valores de P, P<sub>m</sub>, I<sub>a</sub> (se mide con un amperímetro en la salida de 4 a 20mA), I<sub>m</sub> y pulsos (variables ya definidas al inicio de esta hoja) hasta llegar a 60psi, de la misma manera y sin cerrar la presión en el Módulo, al llegar a 60psi se disminuyó la presión de 1psi en 1 psi y se registraron las mismas variables que en el procedimiento de aumento de presión (P, P<sub>m</sub>, I<sub>a</sub>, I<sub>m</sub>, Pulsos).

Este procedimiento de aumento y disminución de presión se realizó 5 veces para tener un buen banco de datos, y así poder comprobar el correcto funcionamiento del Módulo y sacar conclusiones.

La tabulación de los resultados obtenidos pueden observarse en el **Anexo A**.

Teniendo este banco de datos se pudo entrar a analizar el comportamiento del módulo, su precisión y la histéresis.

Se procedió entonces a graficar los datos obtenidos para cada variable con respecto a cada unidad de presión mostrada en el manómetro (P) (que será tomada como presión real para efecto de cálculo de error) de 0 a 60psi y de 60 a 0psi, los resultados obtenidos pueden observarse en el **Anexo B**.

Observando y analizando cada una de las gráficas para cada variable por separado, se puede afirmar que el comportamiento es aproximadamente lineal, y que los valores de ascenso y descenso son muy similares.

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para analizar los resultados obtenidos en el módulo, y registrados en el **Anexo A** se realizó la comparación gráfica analizando el comportamiento de la Presión vs las Variables de Respuesta registradas en el módulo.

Se pudo así llegar a la conclusión de que el comportamiento es casi lineal (era lo esperado) y que la repetibilidad del Módulo es muy buena, al igual que su baja histéresis.

Para la repetibilidad (Precisión) y la Histéresis analizamos cada variable por aparte con respecto a la presión del manómetro (P) y se pudo observar lo siguiente:

- **Corriente de salida ( $I_a$ ) con respecto a la Presión:**

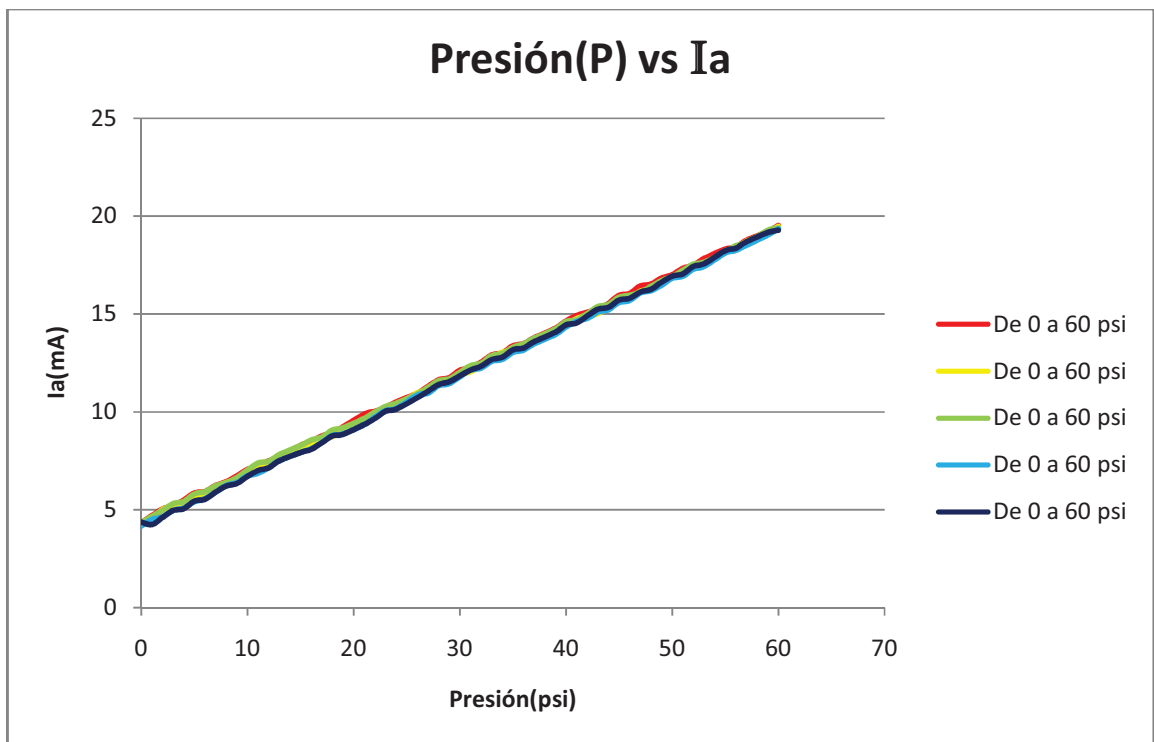


Figura No 42: Gráficas de Presión (P) vs Corriente generada por el módulo ( $I_a$ ), en Ascenso.

En la Figura No. 42 se muestra el aumento de presión de 1psi en 1psi desde 0 a 60psi y la corriente generada por el Módulo, esta operación se realizo 5 veces.

Claramente se puede observar en la gráfica como el comportamiento es casi lineal y como en cada una de las 5 tabulaciones el valor de corriente de salida del módulo para cada unidad de presión es muy similar, nótese que las líneas en la gráfica están casi que superpuestas.

Tomando algunos valores tenemos:

Presión(psi)	Ia(mA)1	Ia(mA)2	Ia(mA)3	Ia(mA)4	Ia(mA)5
10	7,05	6,9	7,02	6,73	6,7
21	9,88	9,53	9,66	9,36	9,35
30	12,12	11,9	12,02	11,79	11,84
40	14,64	14,42	14,61	14,34	14,44
50	17	16,92	16,92	16,82	16,93
60	19,52	19,47	19,4	19,36	19,28

*Tabla No 1: Registro de la Corriente de Salida del Módulo (Ia) en Aumento de Presión.*

En la tabla claramente se evidencia que la diferencia de valores de corriente para cada dato es muy pequeña lo que indica que el módulo tiene una muy buena repetibilidad o precisión.

Volviendo nuevamente a la Figura No. 42, se puede observar como la mayor diferencia de corriente en un mismo punto durante el aumento de presión se encuentra al llegar a los 11 psi, los valores de corriente registrados para este valor de presión fueron:

Presión(psi)	Ia(mA)1	Ia(mA)2	Ia(mA)3	Ia(mA)4	Ia(mA)5
11	7,19	7,2	7,38	6,86	7

Se puede ver que la mayor diferencia se presenta entre Ia(mA)3 e Ia(mA)4 ; para el cálculo de la repetibilidad o precisión se tomaron los 61 valores de corriente de la tabla No 1 para  $I_m$  e  $I_a$ , tomando  $I_a$  como valor verdadero:

$$\text{Repetibilidad en Ascenso} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{60} (X_i - X)^2}{61}} = \pm 0,51\%$$

$$\text{Repetibilidad en Descenso} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{60} (X_i - X)^2}{61}} = \pm 0,74\%$$

Para el cálculo de la Histéresis se debe analizar y graficar los valores obtenidos para cada unidad de presión tanto en el ascenso como en el descenso:

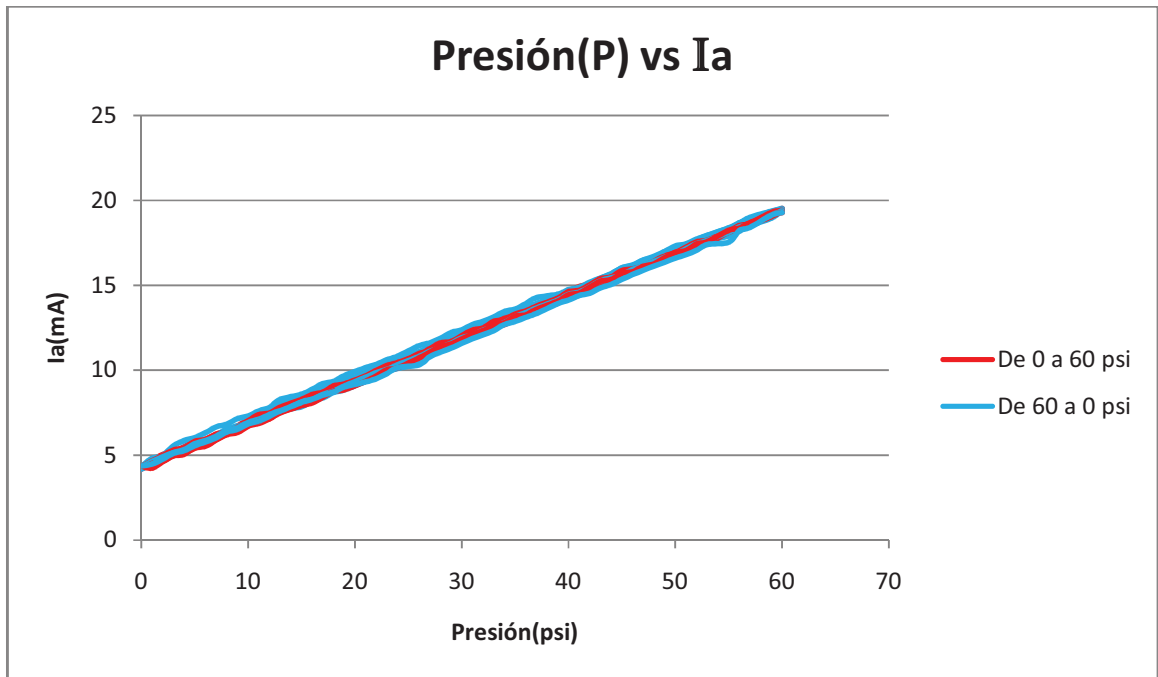


Figura No 43: Gráfica Presión(P) vs Corriente Generada por el Módulo(Ia), en Ascenso y Descenso.

La mayor diferencia entre las curvas de ascenso y descenso se presenta al registrar los 55 psi:

	Presión(psi)	Ia(mA)
Ascenso de 0 a 60 psi	55	18,31
Descenso de 60 a 0 psi	55	17,54

Conociendo esto, entonces la histéresis para la corriente de salida del módulo(Ia) será:

$$\text{Histéresis} = \frac{18,31 - 17,54}{20 - 4} \times 100 = \pm 4,81\%$$

Para las demás variables de respuesta ( $I_m$ ,  $P_m$ , Pulsos) el comportamiento también fue muy similar, es decir se mantenía una linealidad y una muy buena repetibilidad.

Estas son sus respectivas gráficas:

- **Presión(P) vs Corriente en el módulo( $I_m$ ):**

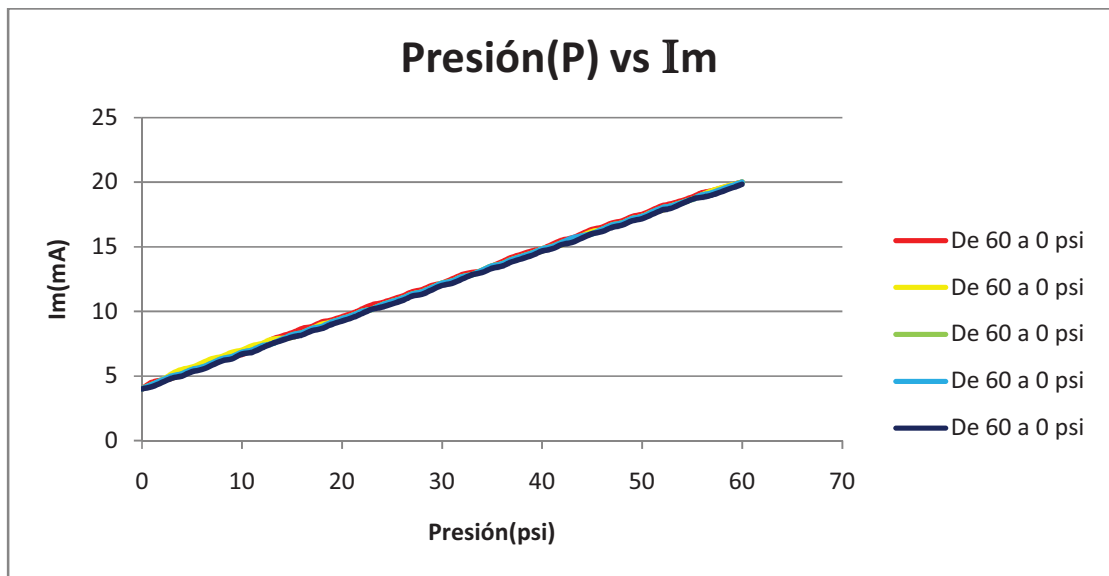


Figura No 44: Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el módulo ( $I_m$ ), en Descenso.

Se tendrá:

Presión(psi)	$I_m$ (mA)1	$I_m$ (mA)2	$I_m$ (mA)3	$I_m$ (mA)4	$I_m$ (mA)5
60	20	20	20	20	19,83
50	17,5	17,33	17,33	17,33	17,17
40	14,83	14,83	14,67	14,83	14,67
30	12,17	12,17	12,17	12,17	12
10	6,67	7	6,83	6,83	6,7

Tabla No 2: Registro de la Corriente Registrada por el Módulo ( $I_m$ ) en Descenso de Presión.

La mayor diferencia en la gráfica de la Figura No. 59 se encuentra cuando nos encontramos en 18 psi:

Presión(psi)	Im(mA)1	Im(mA)2	Im(mA)3	Im(mA)4	Im(mA)5
18	9,17	9	8,83	8,83	8,67

Para hallar la histéresis tendremos:

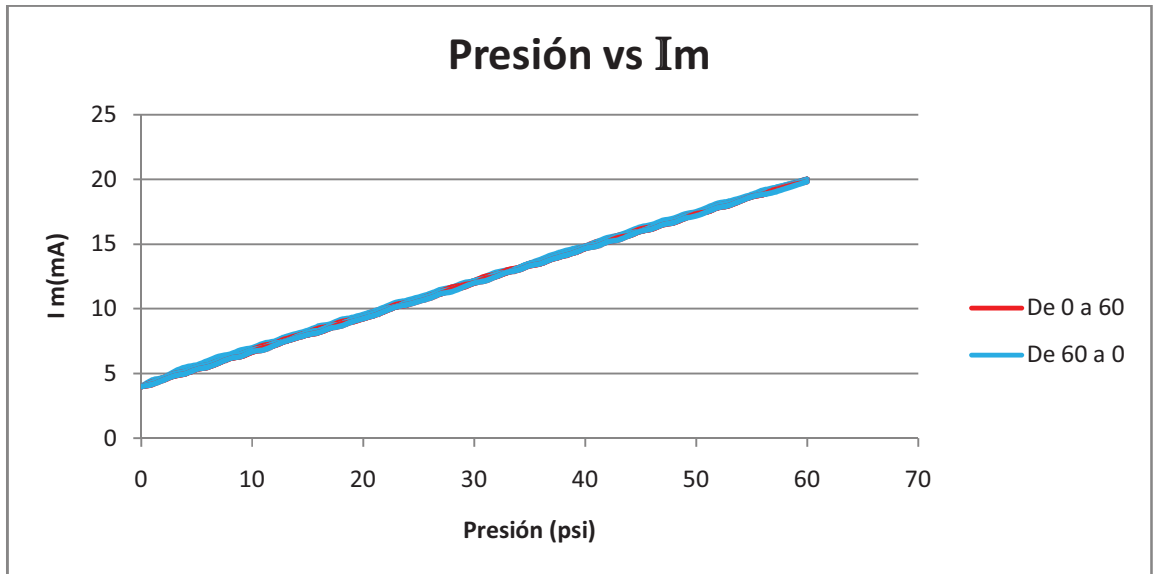


Figura No 45: Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el módulo (Im), en Ascenso y Descenso.

La mayor diferencia entre las curvas de ascenso y descenso se presenta a los 36 psi:

	Presión(psi)	Ia(mA)
Ascenso de 0 a 60 psi	36	13,83
Descenso de 60 a 0 psi	36	13,5

$$\text{Histéresis} = \frac{13,83 - 13,5}{20 - 4} \times 100 = \pm 2,06\%$$

- Presión(P) vs Presión registrada en el módulo:

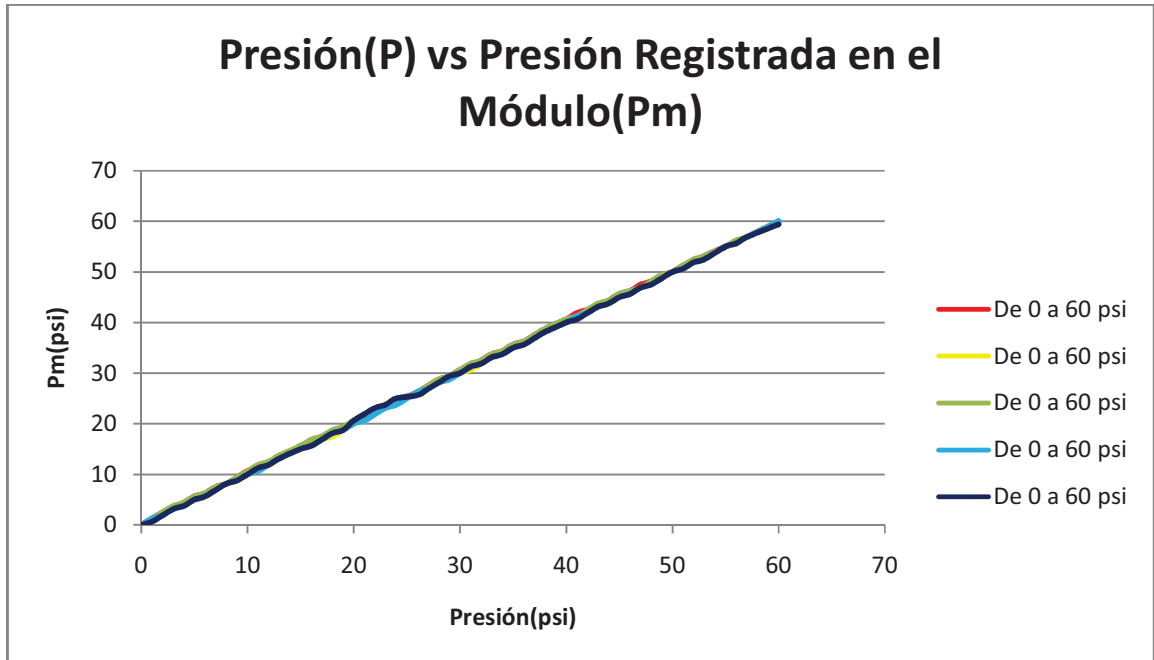


Figura No 46: Gráficas de Presión del manómetro (P) vs Presión registrada por el módulo (Pm), en ascenso.

En esta gráfica claramente se puede observar como el valor de presión registrado en el manómetro (valor real), es casi que el mismo registrado por el módulo, la recta obtenida es de casi 45° lo que nos indica la concordancia casi exacta del valor de presión analógico con el valor de presión digital.

Se tendrá:

Presión(psi)	Pm(psi)1	Pm(psi)2	Pm(psi)3	Pm(psi)4	Pm(psi)5
10	10,63	10	10,63	10	10
20	20	20	20,63	20	20,63
30	30,63	30	30,63	30	30
40	40,63	40	40,63	40	40
50	50	50	50	50	50
60	60	60	60	60	59,38

Tabla No 3: Registro de la Presión Registrada en el Módulo en Ascenso.

El punto más crítico en la gráfica de la Figura No. 46 se presenta a los 27 psi:



	Presión(psi)	Pm(psi)
Ascenso de 0 a 60 psi	27	27,5
Descenso de 60 a 0 psi	27	26,88

Calculó de la repetibilidad:

$$\text{Repetibilidad} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{60} (X_i - \bar{X})^2}{61}} = \pm 0,86\%$$

El manómetro Ashcroft 1279 es de grado 2A (ASME B40.100) lo que indica que tiene una precisión de  $\pm 0,5\%$ , el Módulo tiene una precisión de  $\pm 0,86\%$ , lo que indica que es un instrumento de medición de grado 1A (ASME B40.100). El incremento del error de precisión se debe al torque generado por el encoder el cual se encuentra acoplado sobre la aguja o pointer.

Otro análisis que se hizo fue el de la histéresis:

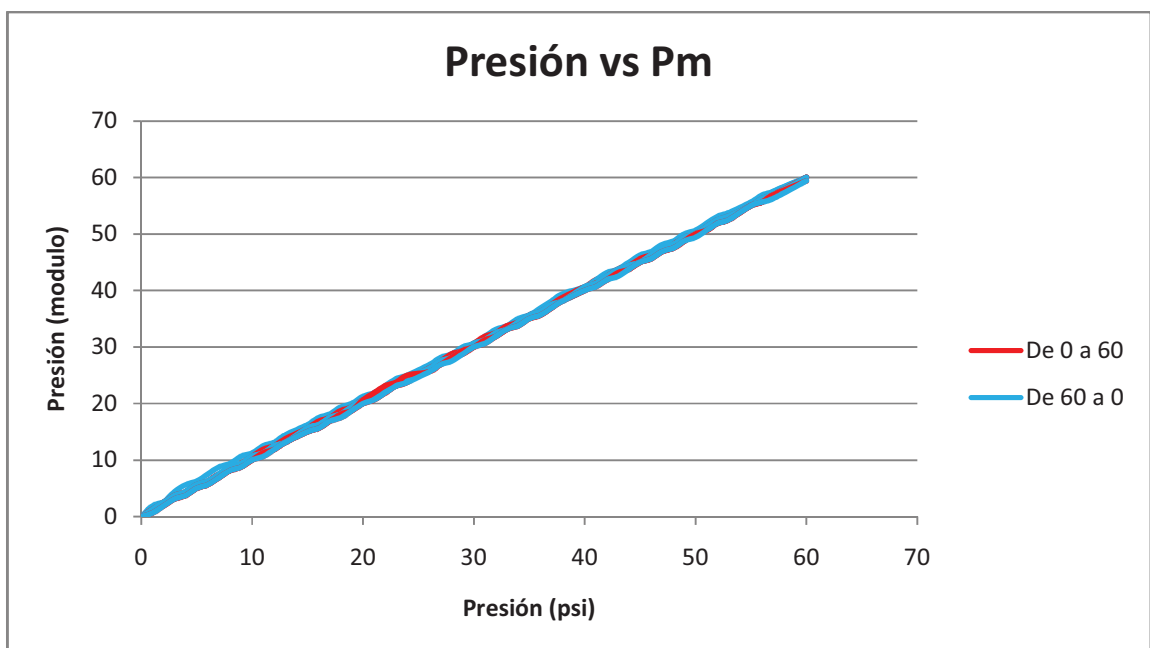


Figura No 47: Gráficas de Presión del manómetro (P) vs Presión registrada por el módulo (Pm), en Ascenso y Descenso.

Para el cálculo de la histéresis el punto más crítico se da al llegar a los 23 psi:

	Presión(psi)	Pm(psi)
Ascenso de 0 a 60 psi	23	23,13
Descenso de 60 a 0 psi	23	24,38

$$\text{Histéresis} = \frac{23,13 - 24,38}{60 - 0} \times 100 = \pm 2,08\%$$

- Presión(P) vs Pulsos registrados en el módulo(Pulsos):

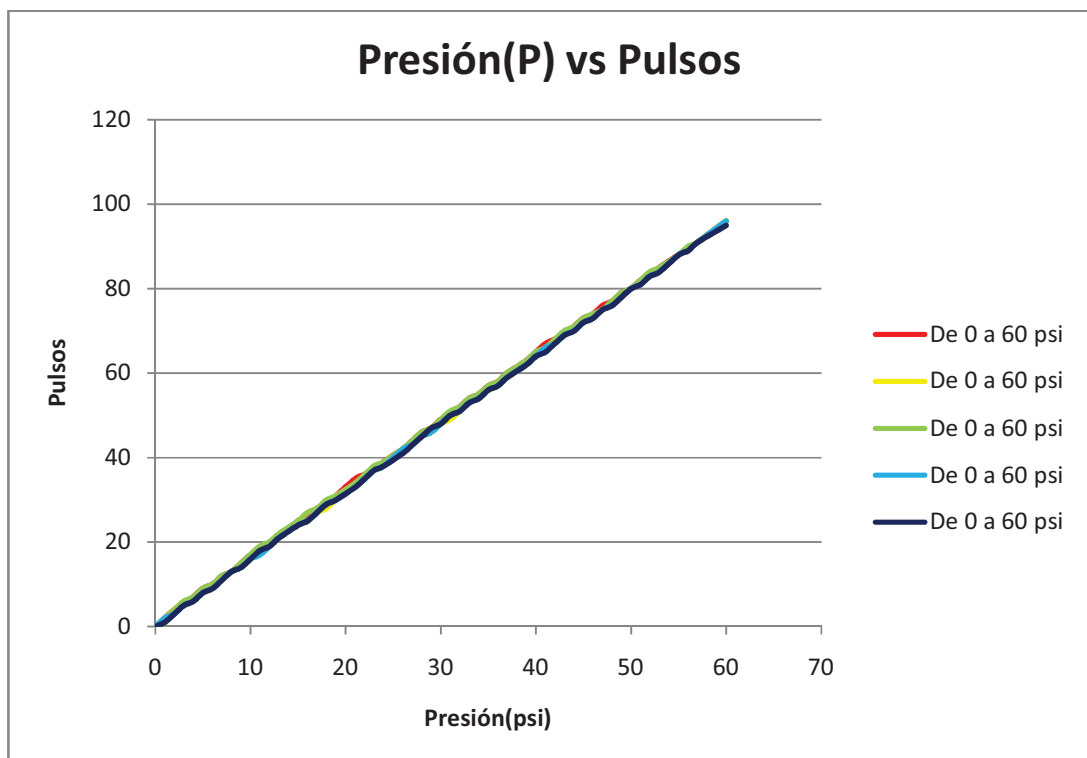


Figura No 48: Gráficas de Presión del manómetro (P) vs Pulsos registrados por el módulo (Pulsos), en Ascenso.

Analizando la gráfica de la Figura No. 48 podemos observar que la mayor diferencia se presenta al llegar a los 41 psi:

	Presión(psi)	Pulsos
Ascenso de 0 a 60 psi	41	67
Descenso de 60 a 0 psi	41	65

De la gráfica se deduce que existe una histéresis baja, estos valores muestran claramente como tanto de subida como de bajada los valores registrados son muy similares.

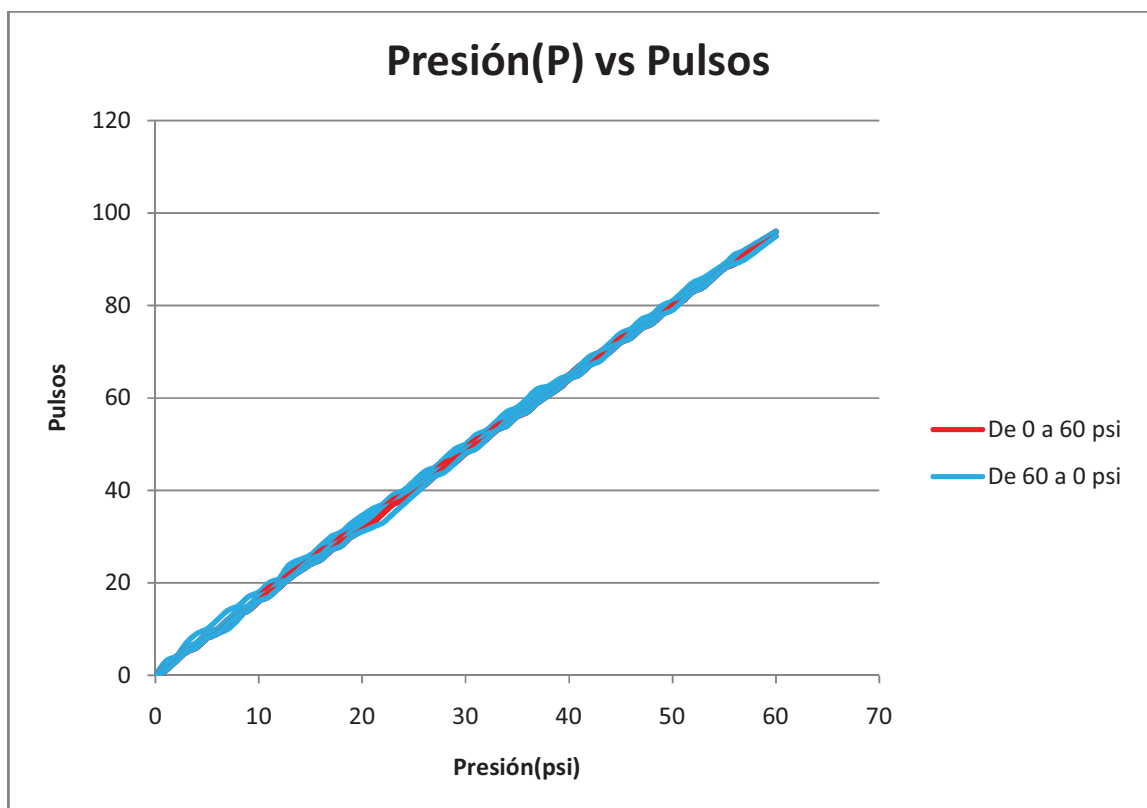


Figura No 49: Gráficas de Presión del manómetro (P) vs Pulsos registrados por el módulo (Pulsos), en Ascenso y Descenso.

Para el cálculo de la histéresis el punto más crítico se presentó a los 22 psi:

	<b>Presión(psi)</b>	<b>Pulsos</b>
Ascenso de 0 a 60 psi	22	36
Descenso de 60 a 0 psi	22	33

$$\text{Histéresis} = \frac{36-33}{96-0} \times 100 = \pm 3,13\%$$

Conociendo ya los valores de repetibilidad e Histéresis, y el análisis gráfico para cada una de las variables, se comprueba el correcto funcionamiento del módulo y la muy buena precisión de este.

Este Módulo de medición de presión Relativa tendrá una precisión de  $\pm 0.86\%$ (ver pág. 41).

## CONCLUSIONES

- ❖ Mediante el desarrollo del proyecto se pudo concluir que los manómetros son instrumentos de medición muy sensibles, su estructura mecánica es muy delicada y manipularla generará en el instrumento errores que perjudicaran la precisión del mismo.
- ❖ Por medio del módulo se puede obtener un valor analógico de presión y un valor digital realizando un solo procedimiento, con la facilidad de observar cómo se comporta la estructura mecánica del manómetro y cómo se comporta el encoder al aumentar o disminuir la presión.
- ❖ La precisión en el valor de las medidas obtenidas en el módulo se verá afectada debido al torque generado sobre la aguja por el encoder, este error sigue siendo pequeño.
- ❖ La capacidad del módulo de repetir o proporcionar indicaciones próximas entre sí para cada variable indica la buena repetibilidad o precisión del instrumento.
- ❖ Gracias a este proyecto se puede ofrecer un módulo práctico para el aprendizaje y la práctica en instrumentos de medición y transducción, con señal de control de 4 a 20mA.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] CREUS SOLÉ, Antonio. Instrumentación Industrial. Sexta Edición. Barcelona, España: Marcombo, 1997. 741p.
- [2] MANÓMETROS, [Página de internet] <http://www.sabelotodo.org/aparatos/manómetros.html> [Consulta: 2010-04-23]
- [3] PRESIÓN [Página de internet] <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtm> | [Consulta:2010-04-24]
- [4] INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN [Página de internet] [http://www.yoreparo.com/foros/balanzas\\_y\\_registradoras/406585\\_0.html#1338308](http://www.yoreparo.com/foros/balanzas_y_registradoras/406585_0.html#1338308)[Consulta: 2010-02-15]
- [5] PRESIÓN [Documento electrónico], <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc58.htm> [Consulta 2010-03-17]
- [6] BALANZAS Y REGISTRADORAS, [Página de internet], [http://www.yoreparo.com/foros/balanzas\\_y\\_registradoras/406585\\_0.html#1338308](http://www.yoreparo.com/foros/balanzas_y_registradoras/406585_0.html#1338308), [Consulta: 2010-02-20]
- [7] NEUMATICA, [Página de internet], <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica34.htm>, [Consulta:2010-03-21]
- [8]BOURDON, [Página de internet], [http://www.eq.uc.pt/~lferreira/BIBL\\_SEM/global/bourdon/3.htm](http://www.eq.uc.pt/~lferreira/BIBL_SEM/global/bourdon/3.htm), [Consulta:2010-04-5]
- [9]PRESSURE GAUGE INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE, [Documento electrónico]. En <http://www.ashcroft.com> [Consulta 2010-08-02]

- [10] ENCODERS. [Página de internet],  
<http://www.tecnoloxia.org/principal/?p=2520>, [Consulta: 2010-07-11]
- [11] Manómetros, Selección, configuración de los instrumentos de medición, Instrucciones de montaje y de trabajo [Documento Electrónico],  
[http://www.armaturenbaud.de/Diverse\\_PDF-Dokumente/Betriebsanleitungen/B1\\_BA-Manometros\\_Espanol.pdf](http://www.armaturenbaud.de/Diverse_PDF-Dokumente/Betriebsanleitungen/B1_BA-Manometros_Espanol.pdf). [Consulta: 2010-05-28].

## **ANEXOS**



**ANEXO A. Tabulación de Datos para la Caracterización del Módulo.**

- **Tabulación Ascenso y Descenso No 1:**

Ascenso de 0 a 60 psi					Descenso de 60 a 0 psi				
P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)	P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)
0	4,32	4	0	0	60	19,52	20	96	60
1	4,69	4,33	2	1,25	59	19,34	19,83	95	59,38
2	5,03	4,67	4	2,5	58	19,03	19,5	93	58,13
3	5,2	4,83	5	3,13	57	18,9	19,33	92	57,5
4	5,48	5,17	7	4,38	56	18,68	19,17	91	56,88
5	5,85	5,5	9	5,63	55	18,36	18,83	89	55,63
6	5,92	5,67	10	6,25	54	18,21	18,67	88	55
7	6,23	6	12	7,5	53	17,95	18,33	86	53,75
8	6,42	6,17	13	8,13	52	17,72	18,17	85	53,13
9	6,72	6,5	15	9,38	51	17,44	17,83	83	51,88
10	7,05	6,83	17	10,63	50	17,31	17,5	81	50,63
11	7,19	7	18	11,25	49	16,98	17,33	80	50
12	7,49	7,33	20	12,5	48	16,7	17	78	48,75
13	7,67	7,5	21	13,13	47	16,48	16,83	77	48,13
14	8	7,83	23	14,38	46	16,19	16,5	75	46,88
15	8,28	8,17	25	15,63	45	16,03	16,33	74	46,25
16	8,46	8,33	26	16,25	44	15,68	16	72	45
17	8,76	8,67	28	17,5	43	15,42	15,67	70	43,75
18	8,93	8,83	29	18,13	42	15,18	15,5	69	43,13
19	9,23	9,17	31	19,38	41	14,87	15,17	67	41,88
20	9,42	9,33	32	20	40	14,6	14,83	65	40,63
21	9,88	9,83	35	21,88	39	14,4	14,67	64	40
22	10,02	10	36	22,5	38	14,28	14,5	63	39,38
23	10,21	10,17	37	23,13	37	13,93	14,17	61	38,13
24	10,5	10,5	39	24,38	36	13,68	13,83	59	36,88
25	10,85	10,83	41	25,63	35	13,35	13,5	57	35,63
26	10,95	11	42	26,25	34	13,14	13,13	56	35
27	11,3	11,33	44	27,5	33	12,89	13	54	33,75
28	11,63	11,67	46	28,75	32	12,66	12,83	53	33,13
29	11,74	11,83	47	29,38	31	12,35	12,5	51	31,88
30	12,12	12,17	49	30,63	30	12,1	12,17	49	30,63
31	12,26	12,33	50	31,25	29	11,91	12	48	30

32	12,53	12,67	52	32,5	28	11,57	11,67	46	28,75
33	12,9	13	54	33,75	27	11,39	11,5	45	28,13
34	13,01	13,17	55	34,38	26	11,09	11,17	43	26,88
35	13,37	13,5	57	35,63	25	10,81	10,83	41	25,63
36	13,48	13,67	58	36,25	24	10,65	10,67	40	25
37	13,78	14	60	37,5	23	10,51	10,5	39	24,38
38	14,16	14,33	62	38,75	22	10,16	10,17	37	23,13
39	14,27	14,5	63	39,38	21	9,83	9,83	35	21,88
40	14,64	14,83	65	40,63	20	9,7	9,67	34	21,25
41	14,92	15,17	67	41,88	19	9,41	9,33	32	20
42	15,08	15,33	68	42,5	18	9,25	9,17	31	19,38
43	15,22	15,5	69	43,13	17	8,9	8,83	29	18,13
44	15,54	15,83	71	44,38	16	8,79	8,67	28	17,5
45	15,95	16,17	73	45,63	15	8,43	8,33	26	16,25
46	16,05	16,33	74	46,25	14	8,15	8	24	15
47	16,43	16,67	76	47,5	13	7,99	7,83	23	14,38
48	16,52	16,83	77	48,13	12	7,5	7,33	20	12,5
49	16,83	17,17	79	49,38	11	7,22	7	18	11,25
50	17	17,33	80	50	10	6,9	6,67	16	10
51	17,33	17,67	82	51,25	9	6,71	6,5	15	9,38
52	17,49	17,83	83	51,88	8	6,54	6,33	14	8,75
53	17,83	18,17	85	53,13	7	6,17	6	12	7,5
54	17,99	18,33	86	53,75	6	5,9	5,67	10	6,25
55	18,31	18,67	88	55	5	5,73	5,5	9	5,63
56	18,4	18,83	89	55,63	4	5,42	5,17	7	4,38
57	18,77	19,17	91	56,88	3	5,14	4,83	5	3,13
58	18,85	19,33	92	57,5	2	4,91	4,67	4	2,5
59	19,2	19,67	94	58,75	1	4,81	4,5	3	1,88
60	19,52	20	96	60	0	4,32	4	0	0

*Ascenso y Descenso No 1, Presión vs Variables de Respuesta*

● **Tabulación Ascenso y Descenso No 2:**

Ascenso de 0 a 60 psi					Descenso de 60 a 0 psi				
P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)	P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)
0	4,32	4	0	0	60	19,47	20	96	60
1	4,49	4,17	1	0,63	59	19,35	19,67	94	58,75

2	5	4,67	4	2,5	58	19,15	19,5	93	58,13
4	5,25	5	6	3,75	57	18,99	19,33	92	57,5
5	5,59	5,33	8	5	56	18,65	19	90	56,25
6	5,72	5,5	9	5,63	55	18,37	18,67	88	55
7	6,08	5,83	11	6,88	54	18,19	18,5	87	54,38
8	6,38	6,17	13	8,13	53	17,91	18,17	85	53,13
9	6,52	6,33	14	8,75	52	17,63	17,83	83	51,88
10	6,9	6,67	16	10	51	17,4	17,67	82	51,25
11	7,2	7	18	11,25	50	17,15	17,33	80	50
12	7,36	7,17	19	11,88	49	16,97	17,17	79	49,38
13	7,65	7,5	21	13,13	48	16,61	16,83	77	48,13
15	8,12	8	24	15	47	16,48	16,67	76	47,5
16	8,24	8,17	25	15,63	46	16,14	16,33	74	46,25
17	8,6	8,5	27	16,88	45	16,01	16,17	73	45,63
18	8,73	8,67	28	17,5	44	15,65	15,83	71	44,38
19	9,03	9	30	18,75	43	15,4	15,5	69	43,13
20	9,33	9,33	32	20	42	15,08	15,17	67	41,88
21	9,53	9,5	33	20,63	41	14,86	15	66	41,25
22	9,82	9,83	35	21,88	40	14,74	14,83	65	40,63
23	10,18	10,17	37	23,13	39	14,46	14,5	63	39,38
24	10,29	10,33	38	23,75	37	13,91	14	60	37,5
25	10,63	10,67	40	25	36	13,59	13,67	58	36,25
26	10,97	11	42	26,25	35	13,45	13,5	57	35,63
27	11,1	11,17	43	26,88	34	13,12	13,17	55	34,38
28	11,44	11,5	45	28,13	33	12,87	12,83	53	33,13
29	11,54	11,67	46	28,75	32	12,68	12,67	52	32,5
30	11,9	12	48	30	31	12,37	12,33	50	31,25
31	12,04	12,17	49	30,63	30	12,21	12,17	49	30,63
32	12,35	12,5	51	31,88	29	11,86	11,83	47	29,38
33	12,72	12,83	53	33,13	28	11,6	11,5	45	28,13
34	13,04	13,17	55	34,38	27	11,43	11,33	44	27,5
35	13,16	13,33	56	35	26	11,1	11	42	26,25
36	13,29	13,5	57	35,63	25	10,82	10,67	40	25
37	13,6	13,83	59	36,88	24	10,61	10,5	39	24,38
39	14,11	14,33	62	38,75	23	10,34	10,17	37	23,13
40	14,42	14,67	64	40	22	10,14	10	36	22,5

41	14,76	15	66	41,25	21	9,84	9,67	34	21,25
42	14,9	15,17	67	41,88	20	9,67	9,5	33	20,63
43	15,01	15,33	69	43,13	19	9,33	9,17	31	19,38
44	15,34	15,67	70	43,75	18	9,2	9	30	18,75
45	15,73	16	72	45	17	8,87	8,67	28	17,5
46	15,81	16,17	73	45,63	16	8,58	8,33	26	16,25
47	16,16	16,5	75	46,88	15	8,27	8	24	15
48	16,3	16,67	76	47,5	13	7,8	7,5	21	13,13
49	16,62	17	78	48,75	12	7,6	7,33	20	12,5
50	16,92	17,33	80	50	11	7,3	7	18	11,25
51	17,08	17,5	81	50,63	10	7,14	6,83	17	10,63
52	17,45	17,83	83	51,88	9	6,82	6,5	15	9,38
53	17,55	18	84	52,5	8	6,66	6,33	14	8,75
54	17,93	18,33	86	53,75	7	6,31	6	12	7,5
55	18,23	18,67	88	55	6	6,02	5,67	10	6,25
56	18,33	18,83	89	55,63	5	5,85	5,5	9	5,63
57	18,71	19,17	91	56,88	4	5,54	5,17	7	4,38
58	18,79	19,33	92	57,5	2	4,97	4,67	4	2,5
59	19,18	19,67	94	58,75	1	4,64	4,33	2	1,25
60	19,47	20	96	60	0	4,32	4	0	0

*Ascenso y Descenso No 2, Presión vs Variables de Respuesta*

- **Tabulación Ascenso y Descenso No 3:**

Ascenso de 0 a 60 psi					Descenso de 60 a 0 psi				
P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)	P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)
0	4,32	4	0	0	60	19,4	20	96	60
1	4,66	4,33	2	1,25	58	18,95	19,5	93	58,13
2	4,97	4,67	4	2,5	57	18,68	19,17	91	56,88
3	5,3	5	6	3,75	56	18,51	19	90	56,25
4	5,42	5,17	7	4,38	55	18,18	18,67	88	55
5	5,8	5,5	9	5,63	54	17,9	18,33	86	53,75
6	5,92	5,67	10	6,25	53	17,74	18,17	85	53,13
7	6,22	6	12	7,5	52	17,57	18	84	52,5
8	6,38	6,17	13	8,13	51	17,21	17,67	82	51,25
9	6,63	6,5	15	9,38	50	16,97	17,33	80	50

10	7,02	6,83	17	10,63	49	16,72	17,17	79	49,38
11	7,38	7,17	19	11,88	48	16,47	16,83	77	48,13
12	7,47	7,33	20	12,5	47	16,26	16,67	76	47,5
13	7,81	7,67	22	13,75	46	15,97	16,33	74	46,25
15	8,28	8,17	25	15,63	45	15,68	16	72	45
16	8,56	8,5	27	16,88	44	15,5	15,83	71	44,38
17	8,71	8,67	28	17,5	43	15,21	15,5	69	43,13
18	9,07	9	30	18,75	42	15	15,33	68	42,5
19	9,19	9,17	31	19,38	41	14,71	15	66	41,25
20	9,5	9,5	33	20,63	40	14,41	14,67	64	40
21	9,66	9,67	34	21,25	39	14,19	14,5	63	39,38
22	9,99	10	36	22,5	38	13,96	14,17	61	38,13
23	10,27	10,33	38	23,75	37	13,74	14	60	37,5
24	10,44	10,5	39	24,38	36	13,48	13,67	58	36,25
26	10,91	11	42	26,25	35	13,29	13,5	57	35,63
27	11,25	11,33	44	27,5	34	12,93	13,17	55	34,38
28	11,59	11,67	46	28,75	33	12,69	12,83	53	33,13
29	11,68	11,83	47	29,38	32	12,47	12,67	52	32,5
30	12,02	12,17	49	30,63	31	12,13	12,33	50	31,25
31	12,36	12,5	51	31,88	30	12	12,17	49	30,63
32	12,48	12,67	52	32,5	29	11,7	11,83	47	29,38
33	12,87	13	54	33,75	28	11,41	11,5	45	28,13
34	12,98	13,17	55	34,38	27	11,19	11,33	44	27,5
35	13,3	13,5	57	35,63	26	10,92	11	42	26,25
36	13,48	13,67	58	36,25	24	10,4	10,5	39	24,38
37	13,76	14	60	37,5	23	10,1	10,17	37	23,13
38	14,11	14,33	62	38,75	22	9,91	10	36	22,5
39	14,24	14,5	63	39,38	21	9,63	9,67	34	21,25
40	14,61	14,83	65	40,63	20	9,34	9,33	32	20
41	14,7	15	66	41,25	19	9,15	9,17	31	19,38
42	15,02	15,33	68	42,5	18	8,84	8,83	29	18,13
43	15,38	15,67	70	43,75	17	8,69	8,67	28	17,5
44	15,49	15,83	71	44,38	16	8,37	8,33	26	16,25
45	15,86	16,17	73	45,63	15	8,21	8,17	25	15,63
46	15,96	16,33	74	46,25	14	7,85	7,83	23	14,38
47	16,12	16,5	75	46,88	13	7,61	7,5	21	13,13
48	16,41	16,83	77	48,13	12	7,38	7,33	20	12,5
49	16,71	17,17	79	49,38	11	7,12	7	18	11,25

50	16,92	17,33	80	50	10	6,92	6,83	17	10,63
51	17,23	17,67	82	51,25	9	6,61	6,5	15	9,38
52	17,55	18	84	52,5	8	6,45	6,33	14	8,75
53	17,65	18,17	85	53,13	7	6,11	6	12	7,5
54	18,01	18,5	87	54,38	6	5,85	5,67	10	6,25
55	18,17	18,67	88	55	5	5,67	5,5	9	5,63
56	18,5	19	90	56,25	4	5,32	5,17	7	4,38
57	18,64	19,17	91	56,88	3	5,14	4,83	5	3,13
58	18,94	19,5	93	58,13	2	4,9	4,67	4	2,5
59	19,28	19,83	95	59,38	1	4,63	4,33	2	1,25
60	19,4	20	96	60	0	4,32	4	0	0

*Ascenso y Descenso No 3, Presión vs Variables de Respuesta*

- **Tabulación Ascenso y Descenso No 4:**

Ascenso de 0 a 60 psi					Descenso de 60 a 0 psi				
P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)	P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)
0	4,17	4	0	0	60	19,36	20	96	60
1	4,5	4,33	2	1,25	59	19,12	19,83	95	59,38
2	4,64	4,5	3	1,88	57	18,56	19,17	91	56,88
3	4,96	4,83	5	3,13	56	18,42	19	90	56,25
4	5,1	5	6	3,75	55	18,11	18,67	88	55
5	5,4	5,33	8	5	54	17,89	18,5	87	54,38
6	5,57	5,5	9	5,63	53	17,63	18,17	85	53,13
7	5,9	5,83	11	6,88	52	17,44	18	84	52,5
8	6,24	6,17	13	8,13	51	17,14	17,67	82	51,25
9	6,39	6,33	14	8,75	50	16,85	17,33	80	50
10	6,73	6,67	16	10	49	16,63	17,17	79	49,38
11	6,86	6,83	17	10,63	48	16,39	16,83	77	48,13
12	7,15	7,17	19	11,88	47	16,16	16,67	76	47,5
13	7,5	7,5	21	13,13	46	15,92	16,33	74	46,25
14	7,65	7,67	22	13,75	45	15,6	16	72	45
15	7,93	8	24	15	44	15,42	15,83	71	44,38
16	8,12	8,17	25	15,63	43	15,25	15,67	70	43,75
17	8,43	8,5	27	16,88	42	14,9	15,33	68	42,5
18	8,8	8,83	29	18,13	41	14,59	15	66	41,25
19	8,88	9	30	18,75	40	14,46	14,83	65	40,63

20	9,22	9,33	32	20	39	14,12	14,5	63	39,38
21	9,36	9,5	33	20,63	38	13,87	14,17	61	38,13
22	9,73	9,83	35	21,88	37	13,65	14	60	37,5
23	10,07	10,17	37	23,13	36	13,38	13,67	58	36,25
24	10,17	10,33	38	23,75	35	13,14	13,5	57	35,63
25	10,51	10,67	40	25	34	12,81	13,17	55	34,38
26	10,85	11	42	26,25	33	12,55	12,83	53	33,13
27	10,95	11,17	43	26,88	32	12,35	12,67	52	32,5
28	11,34	11,5	45	28,13	31	12,07	12,33	50	31,25
29	11,44	11,67	46	28,75	30	11,9	12,17	49	30,63
30	11,79	12	48	30	29	11,58	11,83	47	29,38
31	12,13	12,33	50	31,25	28	11,31	11,5	45	28,13
32	12,23	12,5	51	31,88	27	11,1	11,33	44	27,5
33	12,58	12,83	53	33,13	26	10,8	11	42	26,25
34	12,68	13	54	33,75	25	10,5	10,67	40	25
35	13,03	13,33	56	35	24	10,31	10,5	39	24,38
36	13,16	13,5	57	35,63	23	10,04	10,17	37	23,13
37	13,47	13,83	59	36,88	22	9,85	10	36	22,5
38	13,85	14,17	61	38,13	21	9,58	9,67	34	21,25
39	13,95	14,33	62	38,75	20	9,4	9,5	33	20,63
40	14,34	14,67	64	40	19	9,06	9,17	31	19,38
41	14,62	15	66	41,25	18	8,76	8,83	29	18,13
42	14,77	15,17	67	41,88	17	8,57	8,67	28	17,5
43	15,09	15,5	69	43,13	16	8,28	8,33	26	16,25
44	15,22	15,67	70	43,75	15	8,13	8,17	25	15,63
45	15,58	16	72	45	14	7,79	7,83	23	14,38
46	15,69	16,17	73	45,63	13	7,53	7,5	21	13,13
47	16,07	16,5	75	46,88	12	7,32	7,33	20	12,5
48	16,19	16,67	76	47,5	11	6,98	7	18	11,25
49	16,47	17	78	48,75	10	6,85	6,83	17	10,63
50	16,82	17,33	80	50	9	6,51	6,5	15	9,38
51	16,93	17,5	81	50,63	8	6,35	6,33	14	8,75
52	17,29	17,83	83	51,88	7	6	6	12	7,5
53	17,43	18	84	52,5	6	5,72	5,67	10	6,25
54	17,73	18,33	86	53,75	5	5,53	5,5	9	5,63
55	18,11	18,67	88	55	4	5,25	5,17	7	4,38



56	18,25	18,83	89	55,63	3	5,13	5	6	3,75
57	18,51	19,17	91	56,88	2	4,81	4,67	4	2,5
59	19,03	19,67	94	58,75	1	4,47	4,33	2	1,25
60	19,36	20	96	60	0	4,17	4	0	0

*Ascenso y Descenso No 4, Presión vs Variables de Respuesta*

• **Tabulación Ascenso y Descenso No 5:**

Ascenso de 0 a 60 psi					Descenso de 60 a 0 psi				
P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)	P (psi)	Ia (mA)	Im (mA)	Pulsos	Pm (psi)
0	4,36	4	0	0	60	19,28	19,83	95	59,38
1	4,24	4,17	1	0,63	59	19,13	19,67	94	58,75
2	4,61	4,5	3	1,88	57	18,56	19	90	56,25
3	4,96	4,83	5	3,13	56	18,41	18,83	89	55,63
4	5,05	5	6	3,75	55	18,22	18,67	88	55
5	5,44	5,33	8	5	53	17,54	18	84	52,5
6	5,53	5,5	9	5,63	52	17,4	17,83	83	51,88
7	5,89	5,83	11	6,88	51	17,06	17,5	81	50,63
8	6,21	6,17	13	8,13	50	16,8	17,17	79	49,38
9	6,34	6,33	14	8,75	49	16,6	17	78	48,75
10	6,7	6,67	16	10	48	16,35	16,67	76	47,5
11	7	7	18	11,25	47	16,13	16,5	75	46,88
12	7,14	7,17	19	11,88	46	15,88	16,17	73	45,63
13	7,5	7,5	21	13,13	45	15,63	16	72	45
14	7,6	7,67	22	13,75	44	15,35	15,67	70	43,75
15	7,92	8	24	15	43	15,05	15,33	68	42,5
16	8,08	8,17	25	15,63	42	14,85	15,17	67	41,88
17	8,42	8,5	27	16,88	41	14,54	14,83	65	40,63
18	8,77	8,83	29	18,13	40	14,39	14,67	64	40
19	8,85	9	30	18,75	39	14,13	14,33	62	38,75
21	9,35	9,5	33	20,63	38	13,92	14,17	61	38,13
22	9,66	9,83	35	21,88	37	13,6	13,83	59	36,88
23	10,03	10,17	37	23,13	36	13,34	13,5	57	35,63
24	10,14	10,33	38	23,75	35	13,11	13,33	56	35
26	10,72	10,83	41	25,63	34	12,87	13	54	33,75
27	11,05	11,17	43	26,88	33	12,69	12,83	53	33,13

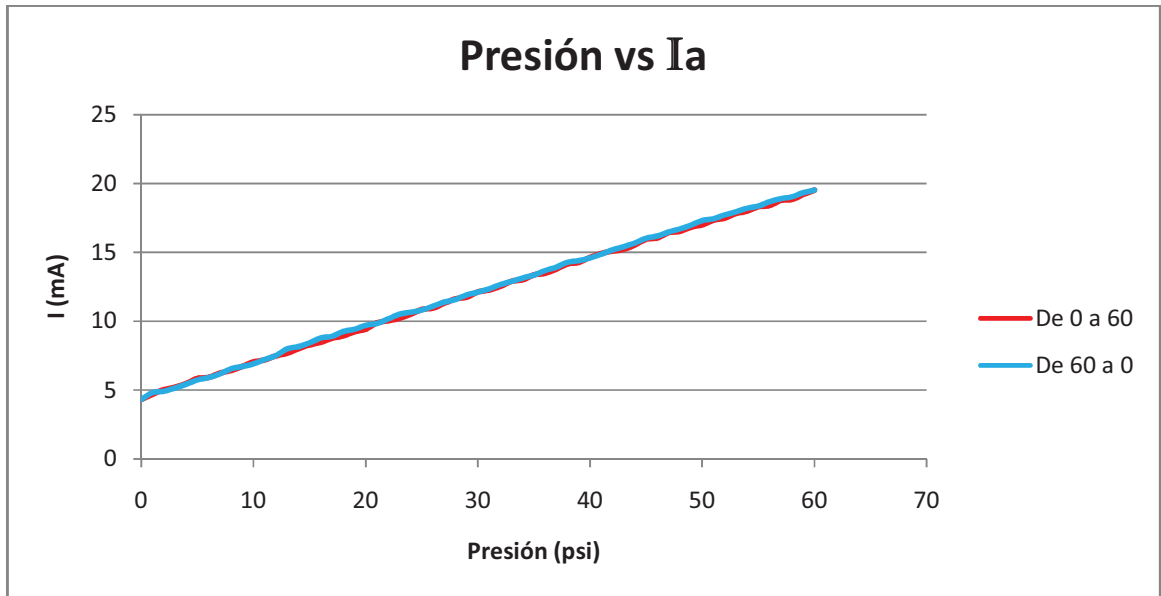
28	11,39	11,5	45	28,13	32	12,33	12,5	51	31,88
29	11,54	11,83	47	29,38	31	12,09	12,17	49	30,63
30	11,84	12	48	30	30	11,86	12	48	30
31,5	12,13	12,33	50	31,25	29	11,59	11,67	46	28,75
32	12,33	12,5	51	31,88	28	11,3	11,33	44	27,5
33	12,67	12,83	53	33,13	27	11,06	11,17	43	26,88
34	12,79	13	54	33,75	26	10,79	10,83	41	25,63
35	13,17	13,33	56	35	24	10,32	10,33	38	23,75
36	13,26	13,5	57	35,63	23	10,15	10,17	37	23,13
37	13,58	13,83	59	36,88	22	9,8	9,83	35	21,88
38	13,96	14,17	61	38,13	21	9,5	9,5	33	20,63
39	14,07	14,33	62	38,75	20	9,31	9,33	32	20
40	14,44	14,67	64	40	19	9,01	9	30	18,75
41	14,54	14,83	65	40,63	18	8,72	8,67	28	17,5
42	14,9	15,17	67	41,88	17	8,54	8,5	27	16,88
43	15,24	15,5	69	43,13	16	8,29	8,17	25	15,63
44	15,34	15,67	70	43,75	15	8,1	8	24	15
45	15,71	16	72	45	14	7,74	7,67	22	13,75
46	15,8	15,17	73	45,63	13	7,6	7,5	21	13,13
47	16,12	16,5	75	46,88	12	7,3	7,17	19	11,88
48	16,26	16,67	76	47,5	11	7,01	6,83	17	10,63
49	16,62	17	78	48,75	10	6,84	6,7	16	10
50	16,93	17,33	80	50	9	6,52	6,33	14	8,75
51	17,05	17,5	81	50,63	8	6,36	6,17	13	8,13
52	17,43	17,83	83	51,88	7	6,02	5,83	11	6,88
53	17,57	18	84	52,5	6	5,78	5,5	9	5,63
54	17,85	18,33	86	53,75	5	5,56	5,33	8	5
55	18,23	18,67	88	55	4	5,26	5	6	3,75
56	18,36	18,83	89	55,63	3	5,11	4,83	5	3,13
57	18,69	19,17	91	56,88	2	4,76	4,5	3	1,88
59	19,16	19,67	94	58,75	1	4,48	4,17	1	0,63
60	19,28	19,83	95	59,38	0	4,36	4	0	0

*Ascenso y Descenso No 5, Presión vs Variables de Respuesta.*

## **ANEXO B. Gráficas Obtenidas para la Caracterización del Módulo**

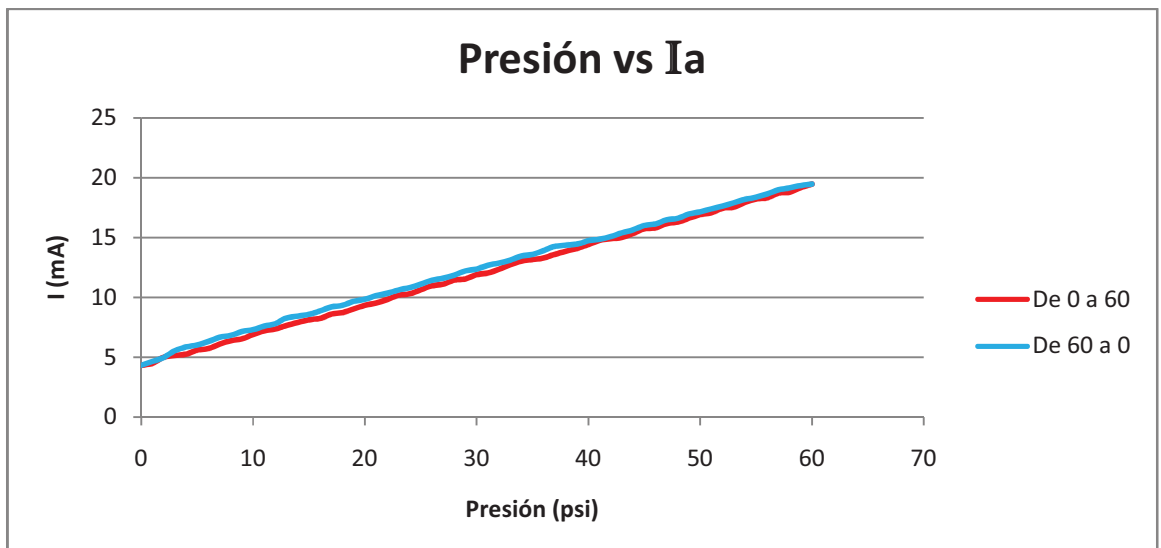
**Gráficas de Presión (P) vs Corriente de salida del Módulo (Ia):**

❖ **Primera toma de datos:**



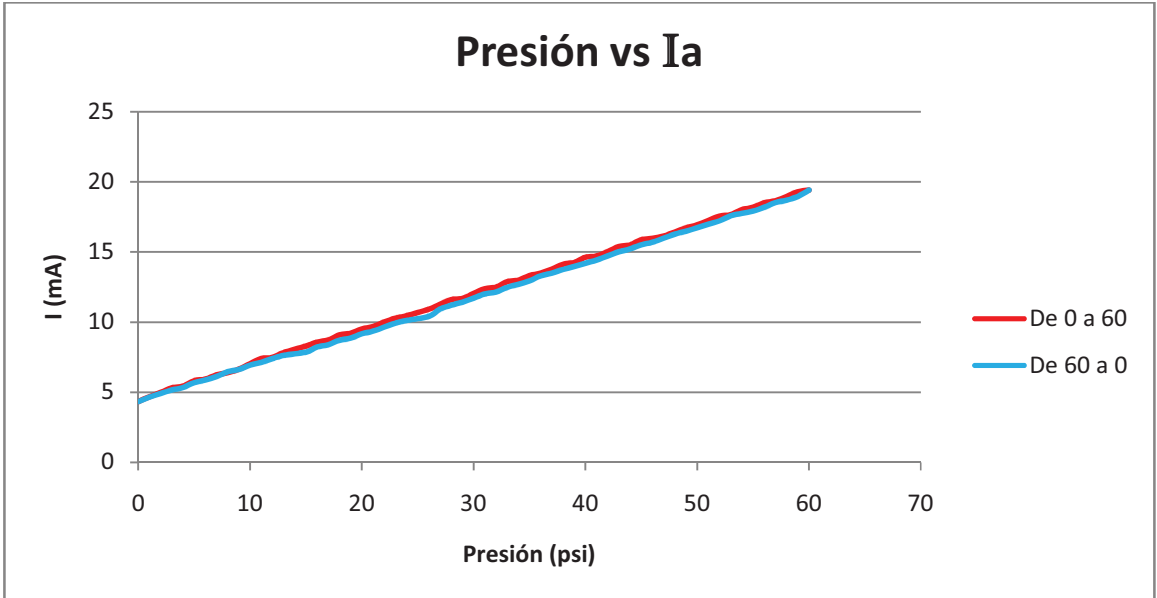
*Gráficas de Presión (P) vs Corriente de salida del Módulo (Ia), en Ascenso y Descenso.*

❖ **Segunda toma de datos:**



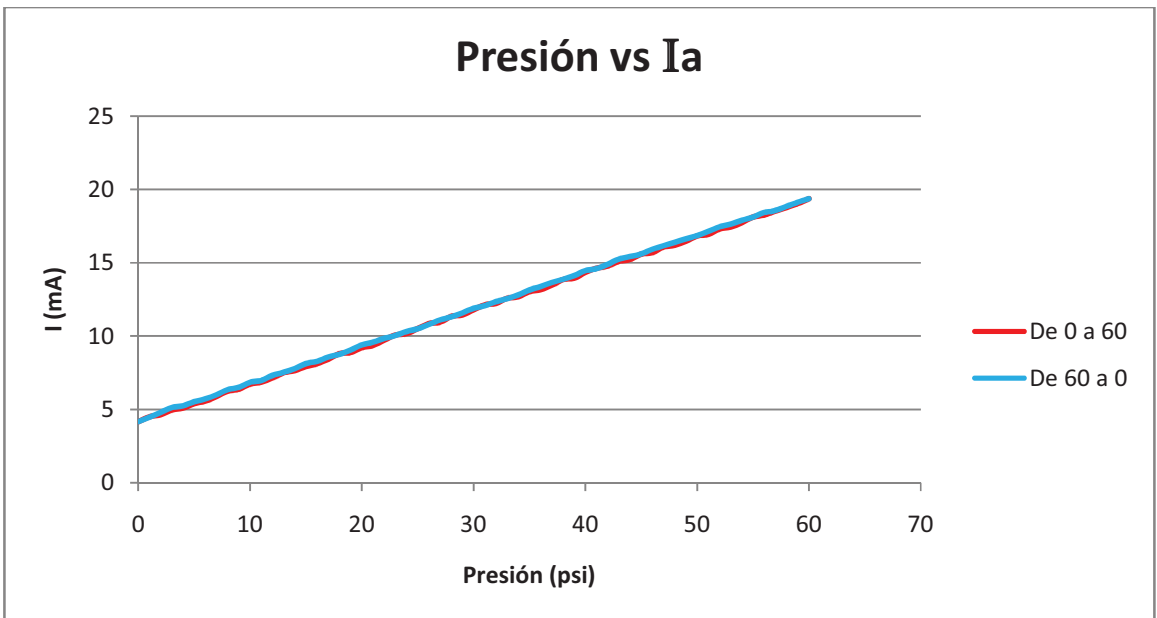
*Gráficas de Presión (P) vs Corriente de salida del Módulo (Ia), en Ascenso y Descenso.*

❖ **Tercera toma de datos:**



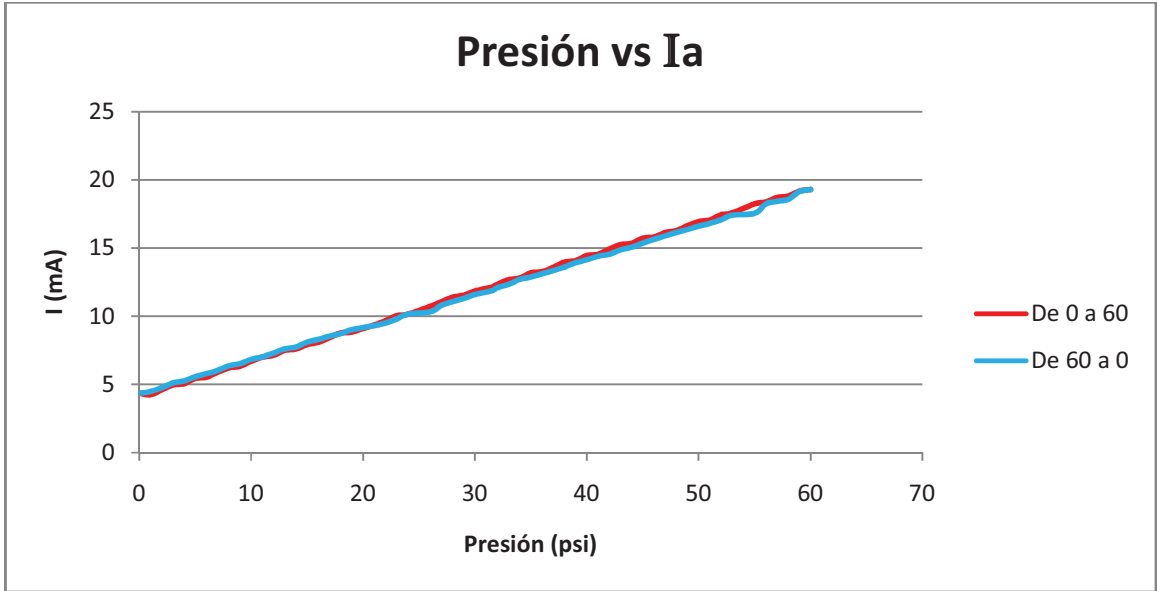
Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Corriente de salida del Módulo ( $I_a$ ), en Ascenso y Descenso.

❖ **Cuarta toma de datos:**



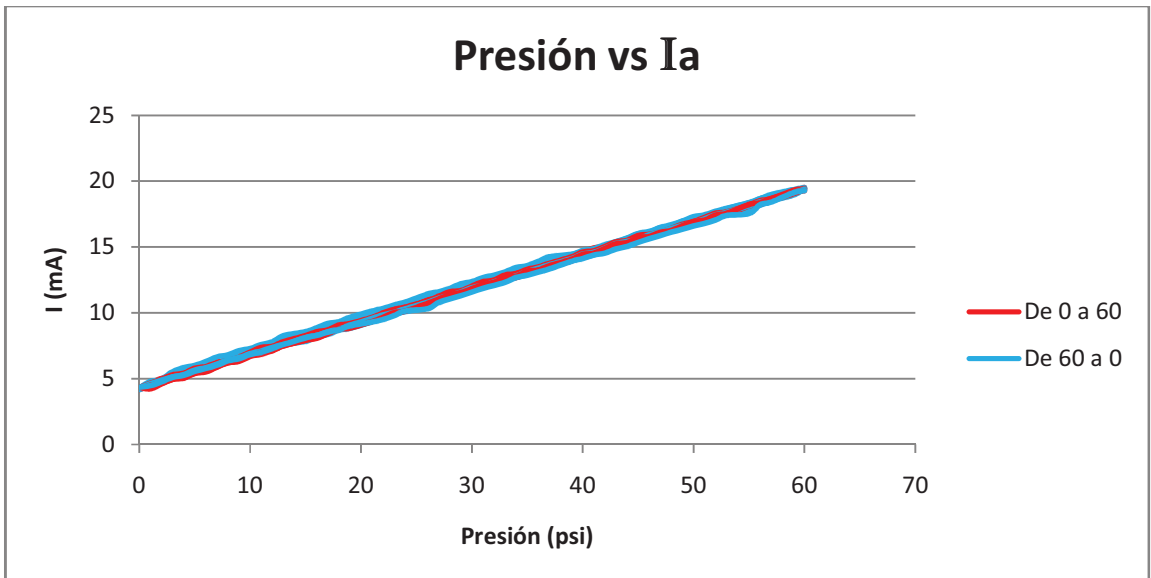
Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Corriente de salida del Módulo ( $I_a$ ), en Ascenso y Descenso.

❖ **Quinta toma de datos:**



*Gráficas de Presión (P) vs Corriente de salida del Módulo (Ia), en Ascenso y Descenso.*

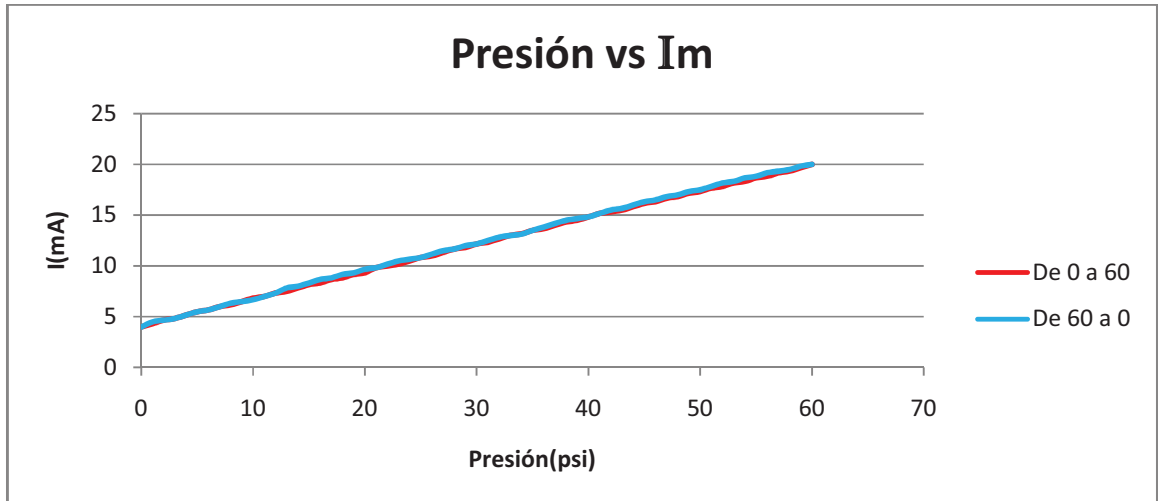
❖ **Curva de ascenso y descenso para la Presión vs Ia, para las 5 tomas de datos en simultánea:**



*Gráficas de Presión (P) vs Corriente de salida del Módulo (Ia), en Ascenso y Descenso.*

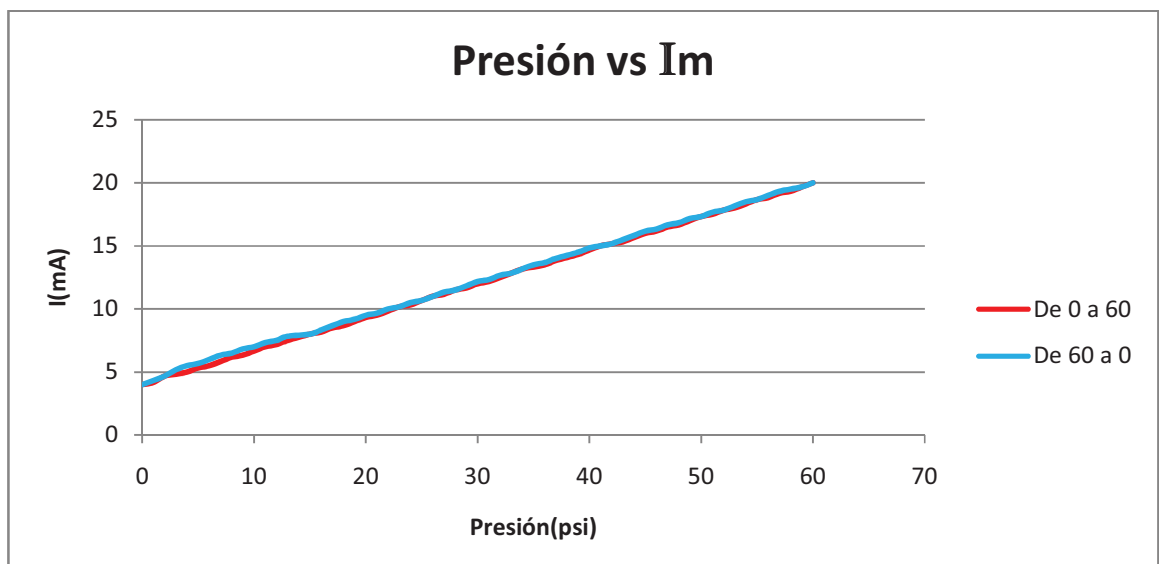
### Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el Módulo (Im):

❖ *De la primera toma de datos:*



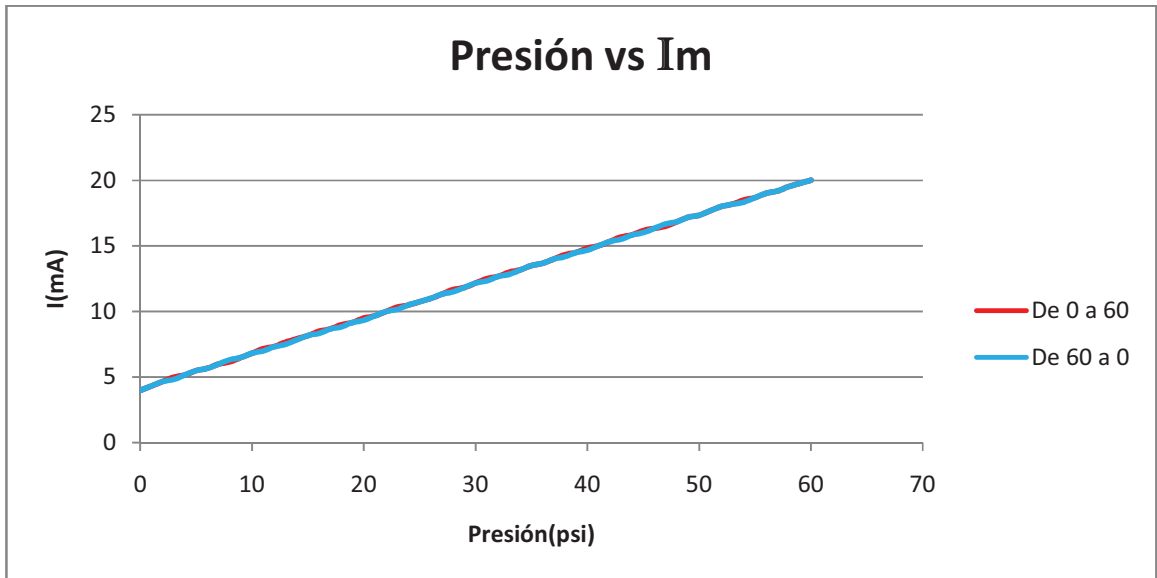
*Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el Módulo (Im), en Ascenso y Descenso.*

❖ *De la segunda toma de datos:*



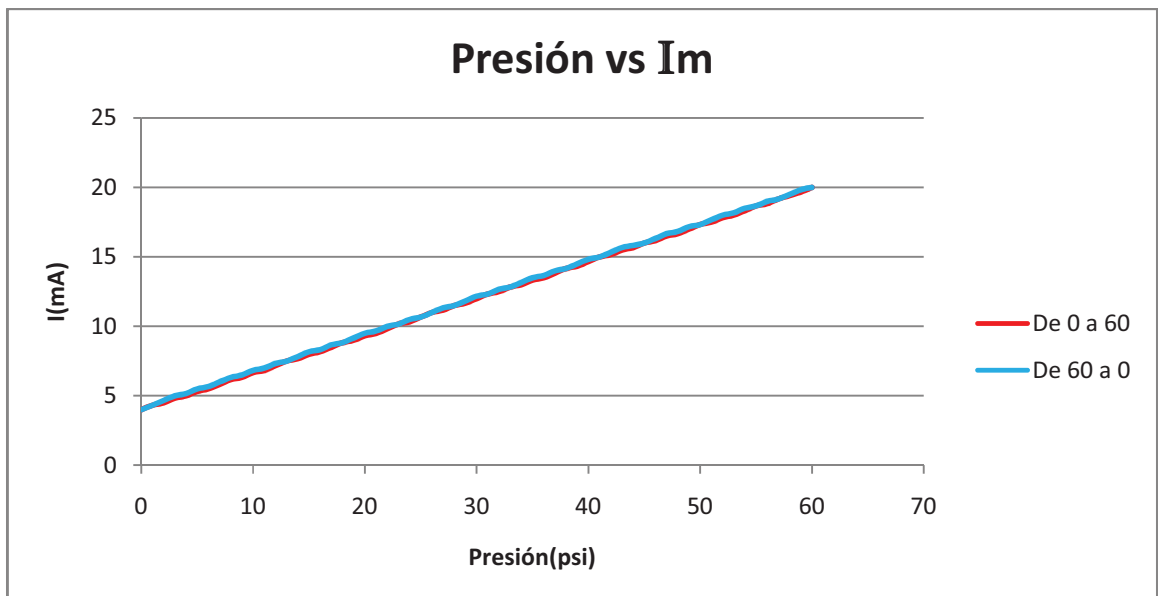
*Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el Módulo (Im), en Ascenso y Descenso.*

❖ *De la tercera toma de datos:*



*Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el Módulo ( $I_m$ ), en Ascenso y Descenso.*

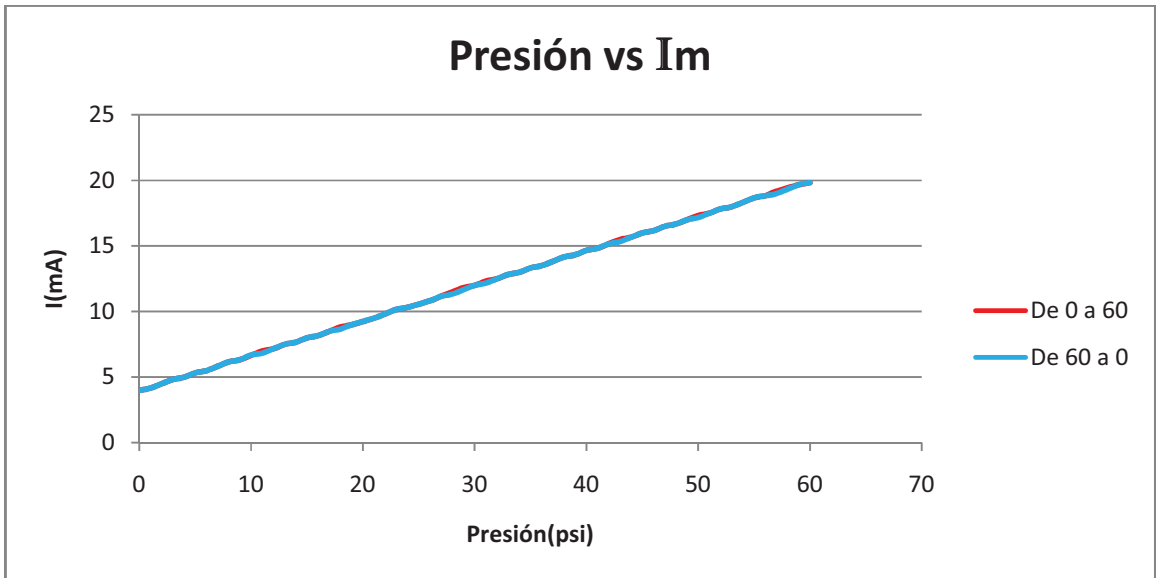
❖ *De la Cuarta toma de datos:*



*Gráficas de Presión (P) vs Corriente registrada por el Módulo ( $I_m$ ), en ascenso y descenso.*

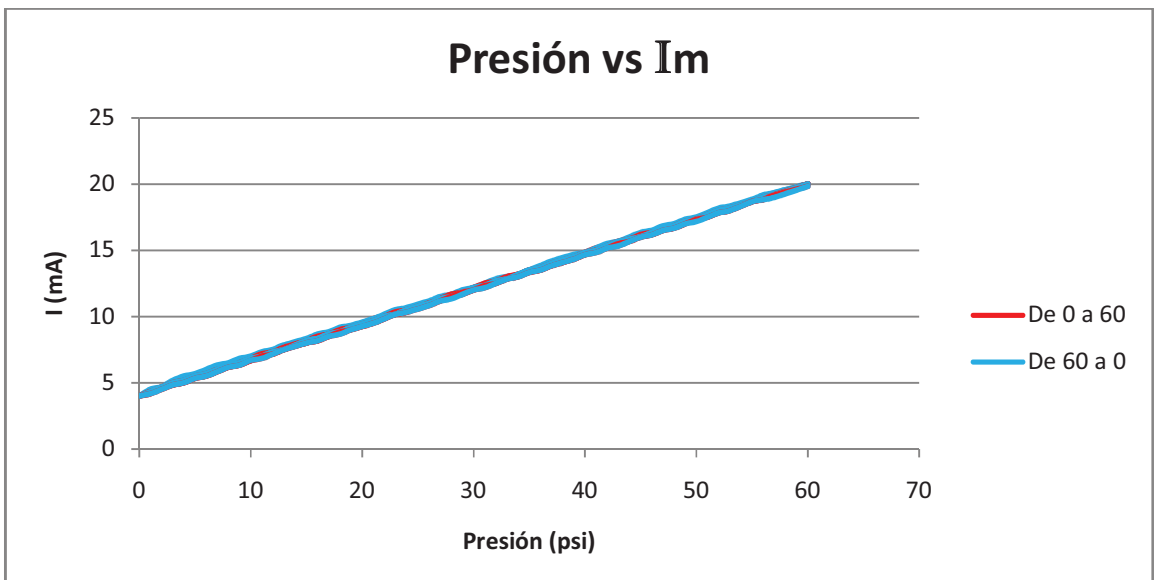


❖ De la Quinta toma de datos:



Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Corriente registrada por el Módulo ( $I_m$ ), en Ascenso y Descenso.

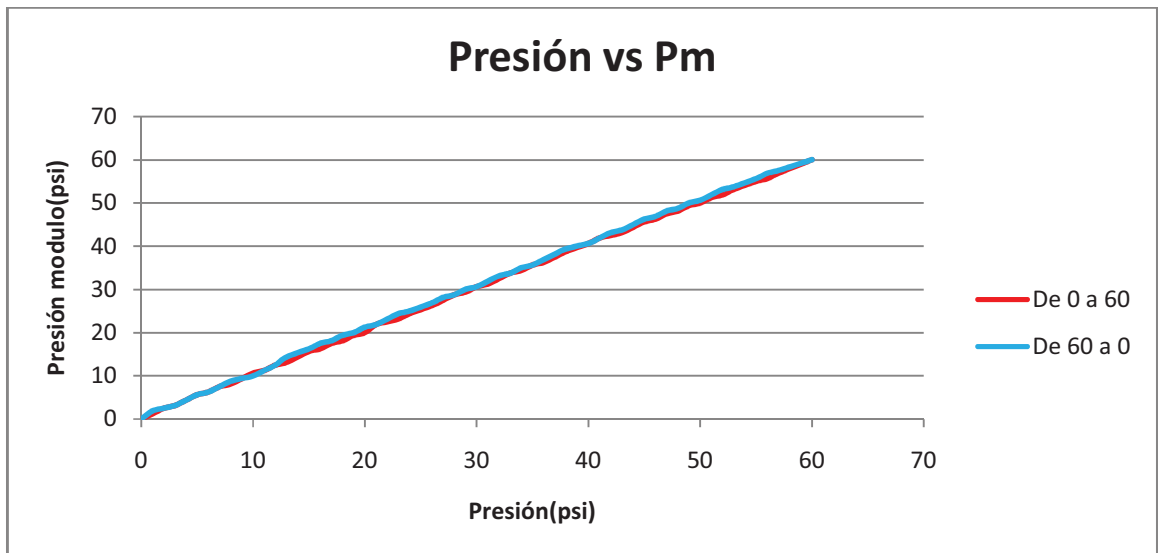
❖ Curva de ascenso y descenso para la Presión vs  $I_m$ , para las 5 tomas de datos en simultánea:



Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Corriente registrada en el Módulo ( $I_m$ ), en Ascenso y Descenso.

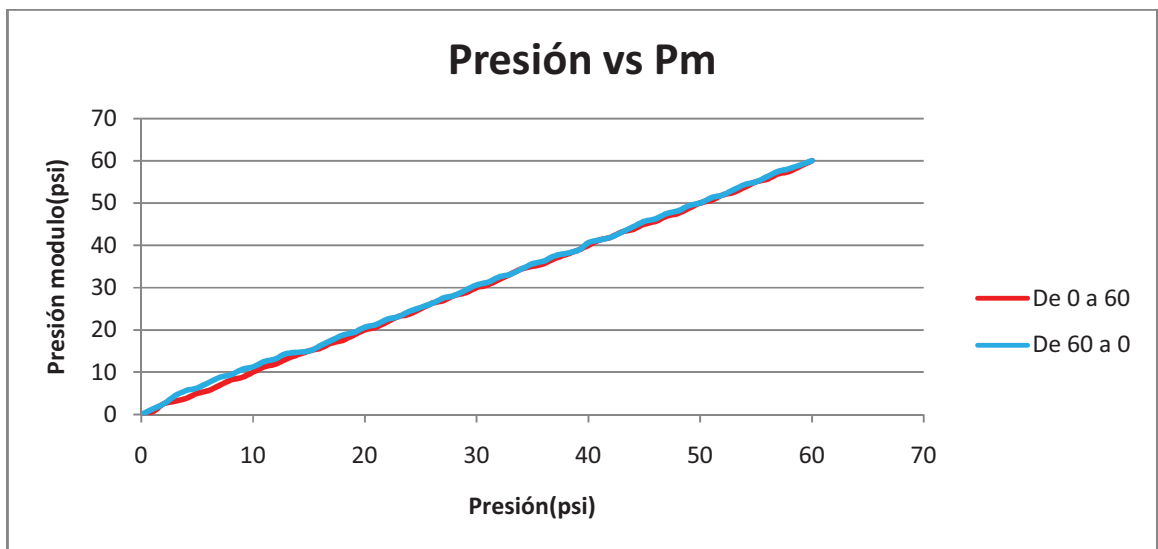
## Gráficas de Presión (P) vs Presión registrada en el Módulo (Pm):

❖ *De la Primera toma de datos:*



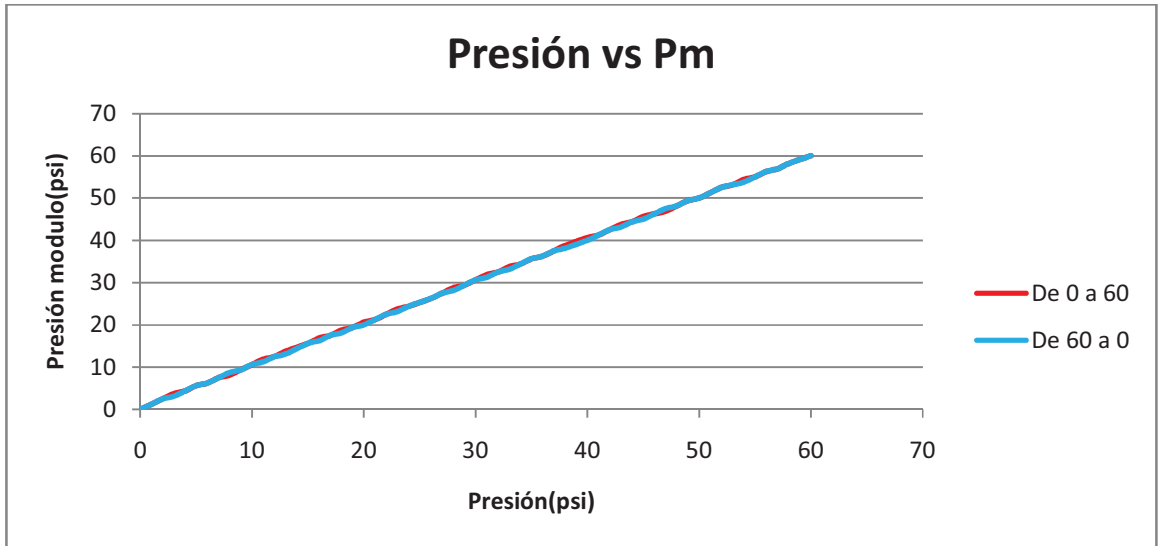
*Gráficas de Presión (P) vs Presión registrada en el Módulo (Pm), en Ascenso y Descenso.*

❖ *De la Segunda toma de datos:*



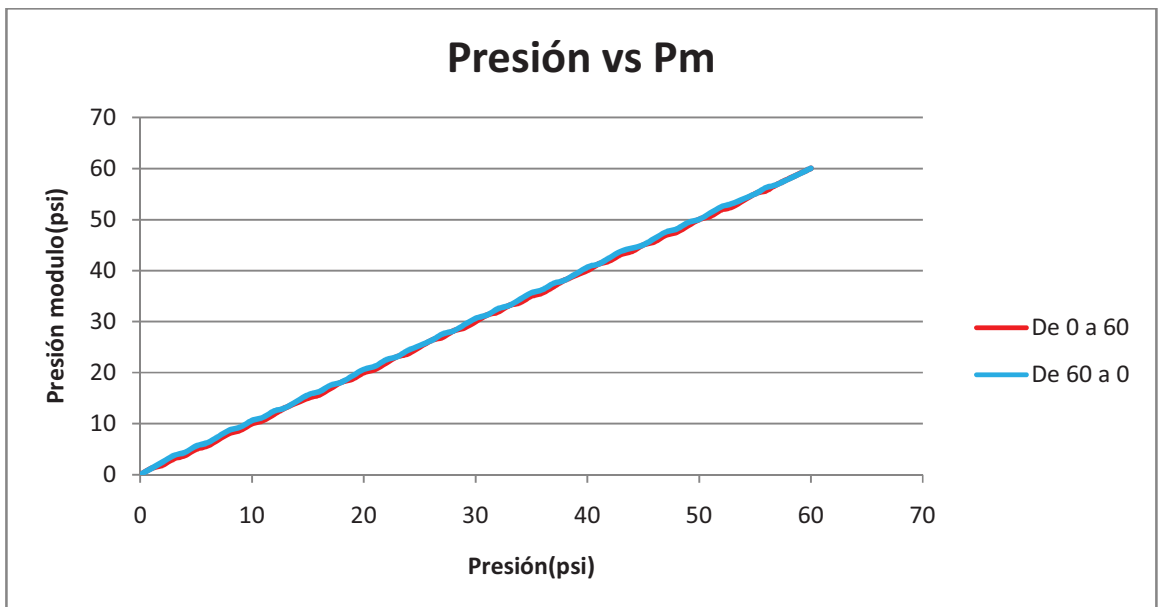
*Gráficas de Presión (P) vs Presión registrada en el Módulo (Pm), en Ascenso y Descenso.*

❖ **De las Tercera toma de datos:**



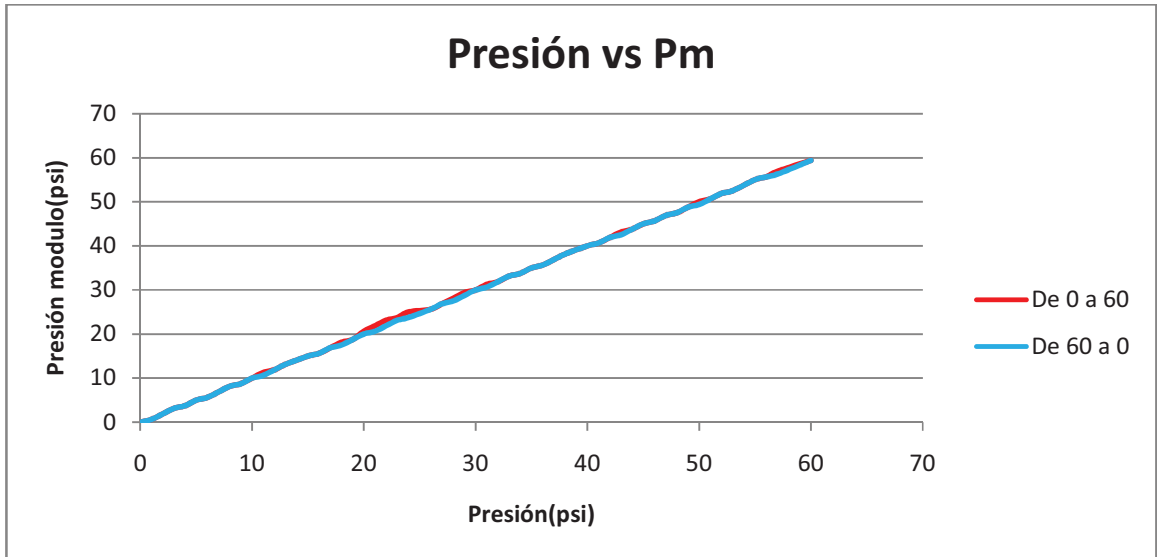
Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Presión registrada en el Módulo ( $P_m$ ), en Ascenso y Descenso.

❖ **De la Cuarta toma de datos:**



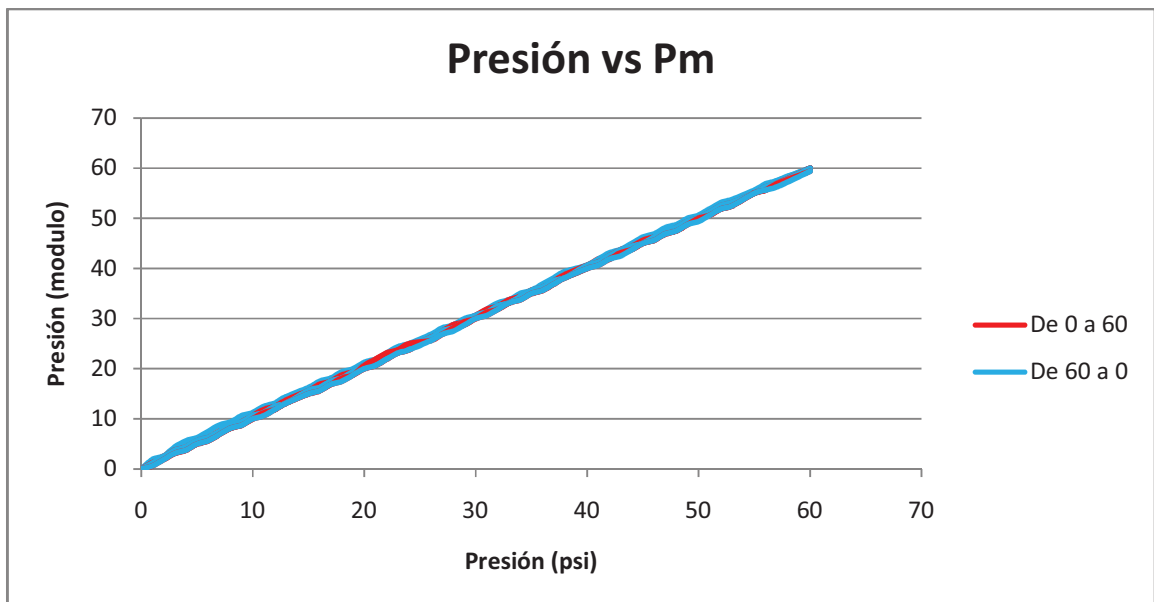
Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Presión registrada en el Módulo ( $P_m$ ), en Ascenso y Descenso.

❖ De la Quinta toma de datos:



Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Presión registrada en el Módulo ( $P_m$ ), en Ascenso y Descenso.

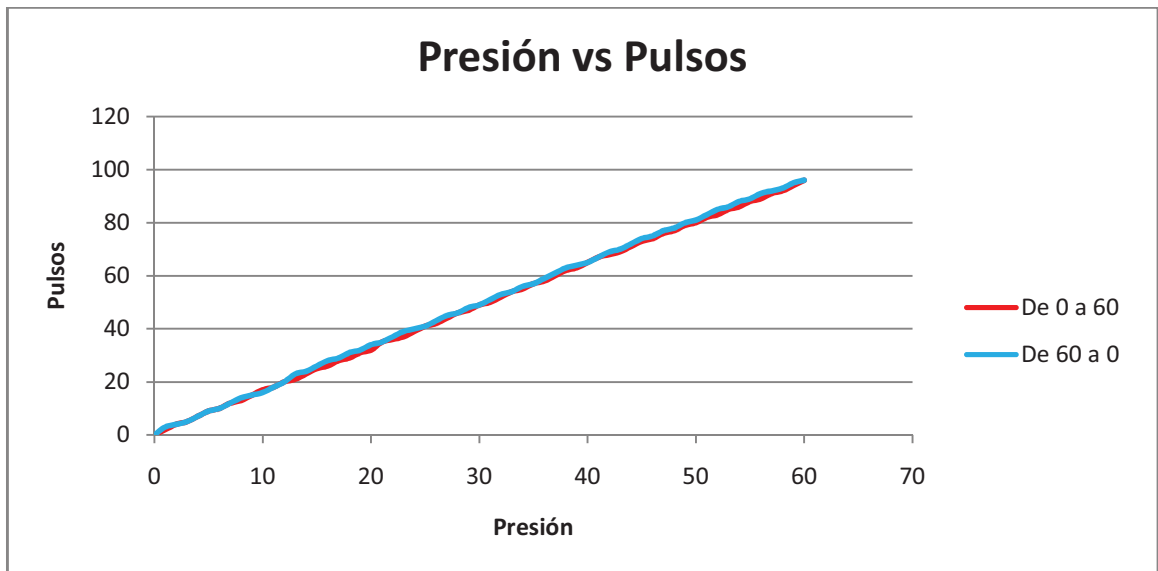
❖ Curva de ascenso y descenso para la Presión vs Pm, para las 5 tomas de datos en simultánea:



Gráficas de Presión ( $P$ ) vs Presión registrada en el Módulo ( $P_m$ ), en Ascenso y Descenso.

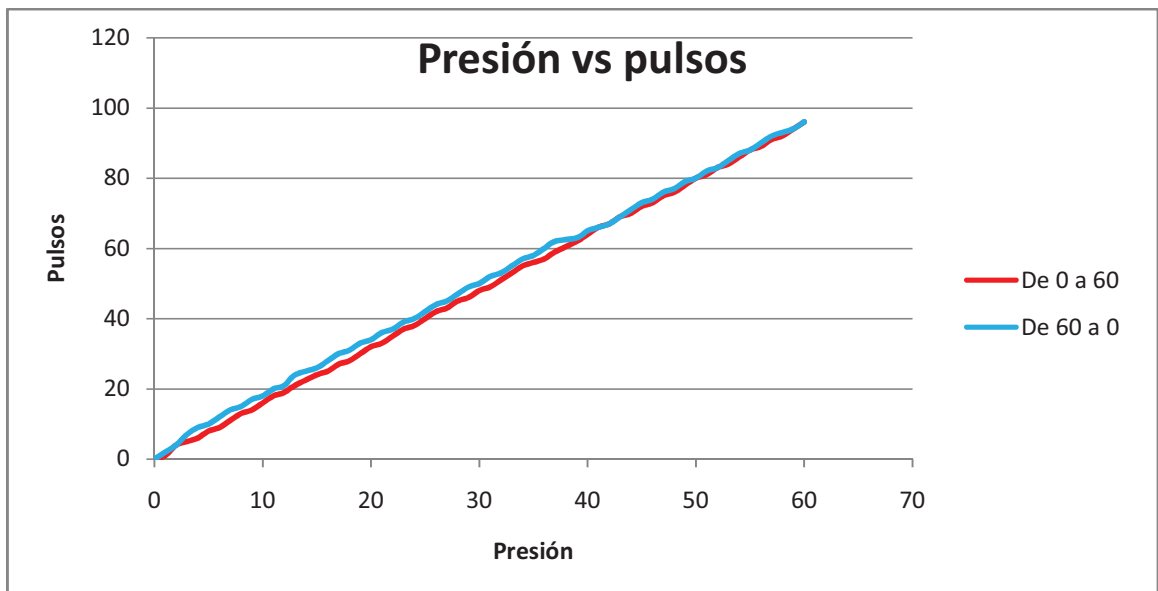
## Gráficas de la Presión (P) vs Pulsos:

❖ *De la Primera toma de datos:*



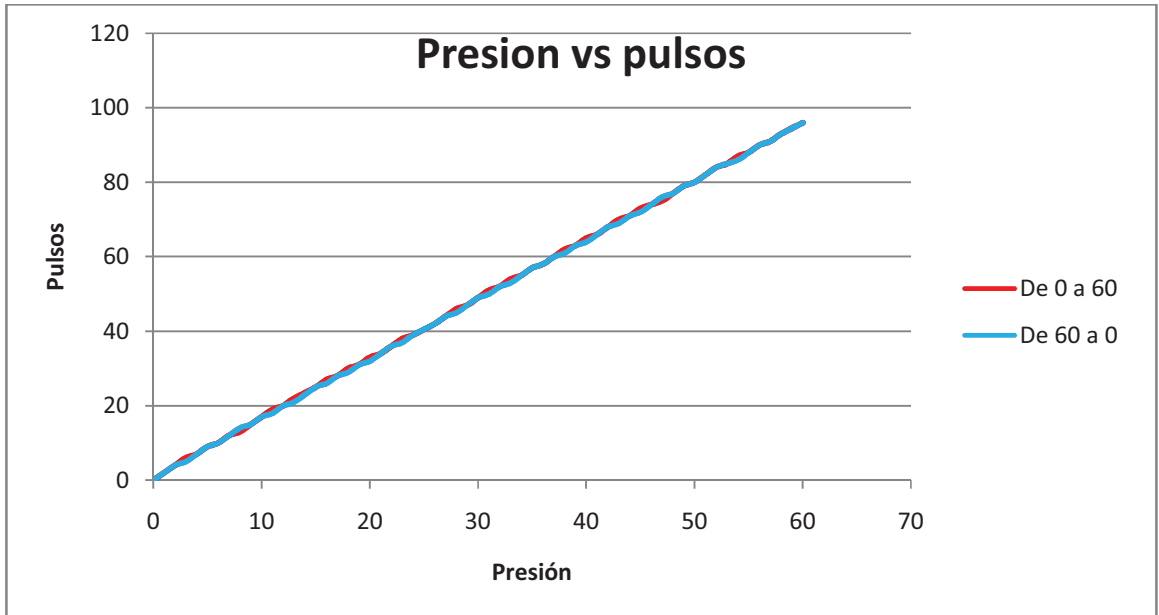
*Gráficas de la Presión (P) vs Pulsos, en Ascenso y Descenso*

❖ *De la Segunda toma de datos:*



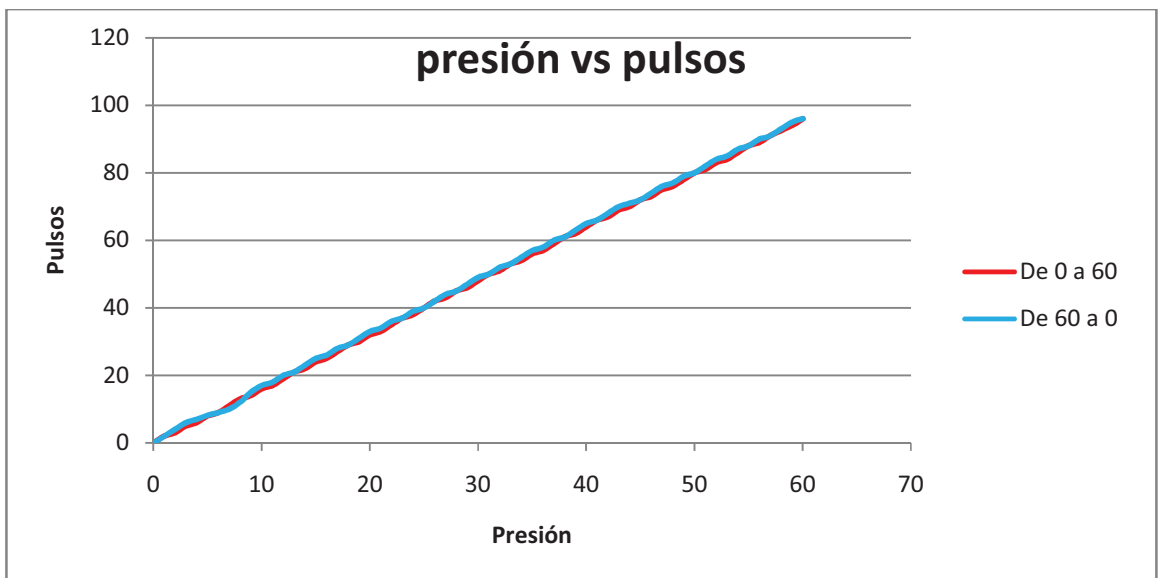
*Gráficas de la Presión (P) vs Pulsos, en Ascenso y Descenso.*

❖ *De la Tercera toma de datos:*



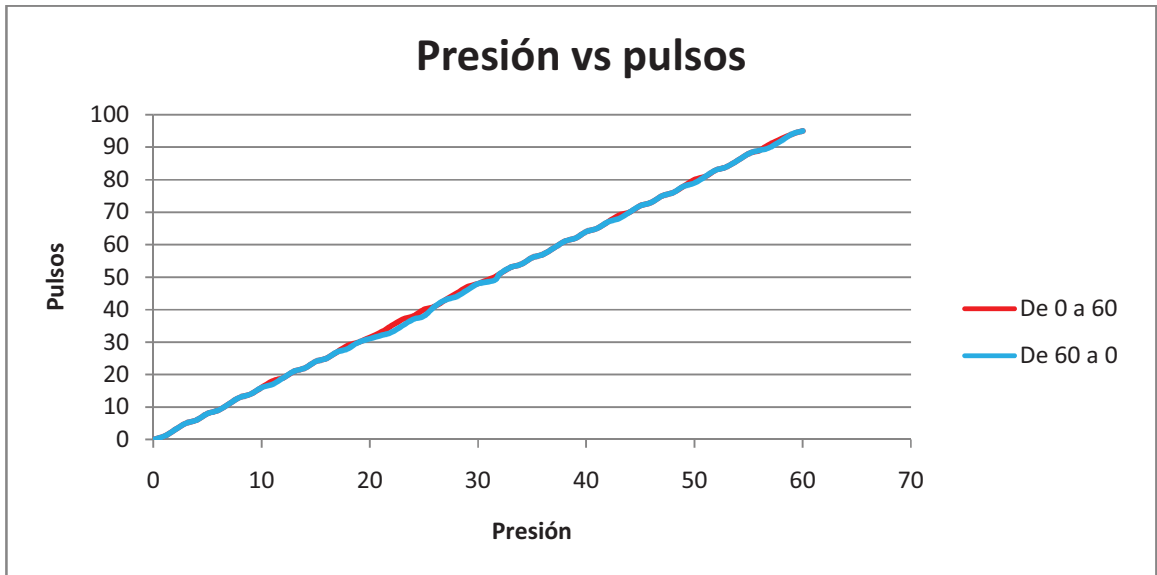
*Gráficas de la Presión (P) vs Pulsos, en Ascenso y Descenso.*

❖ *De la Cuarta toma de datos:*



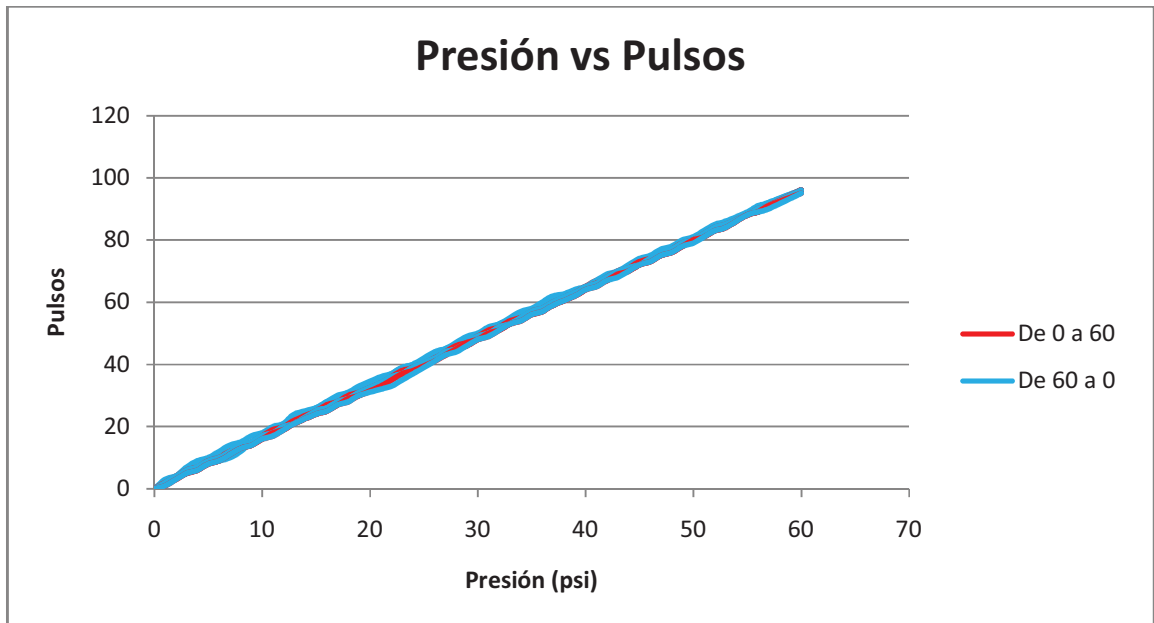
*Gráficas de la Presión (P) vs Pulsos, en Ascenso y Descenso.*

❖ **De la Quinta toma de datos:**



*Gráficas de la Presión (P) vs Pulsos, en Ascenso y Descenso.*

❖ **Curva de ascenso y descenso para la Presión vs Pulsos, para las 5 tomas de datos en simultánea:**



*Gráficas de Presión (P) vs Pulsos, en Ascenso y Descenso.*

## **ANEXO C. Información técnica del manómetro Ashcroft 1279**



## Type 1279 Duragauge® Pressure Gauge Available With PLUS!™ Performance Option



- Solid front case design, field convertible to hermetically sealed or liquid filled style
- Pressure ranges from vacuum — 30,000 psi.
- Select from various socket and Bourdon tube materials.
- Micrometer adjustable pointer.
- 400 Series stainless steel movement wears better for longer life
- Teflon-coated pinion for longer life
- Patented Duratube™ with welded-tube construction controls stresses for longer life
- PLUS!™ Performance Option:
  - Liquid-filled performance in a dry gauge
  - Fights vibration and pulsations without liquid-filled headaches
  - Order as option XLL

The Ashcroft® Duragauge® pressure gauge is the finest production gauge on the market for industrial use where precise indications are required. The product line offers a wide variety of case styles, Bourdon tubes and pressure ranges to meet your application needs.

With the component combinations available in the Duragauge gauge line, over ten million variations are possible to serve the needs of all types of industries, including process, power, nuclear, aerospace and cryogenics.

### PRODUCT SPECIFICATIONS

- Model Number:** 1279
- Accuracy:** ½% full scale (Grade 2A, ASME B40.100)
- Ranges:** Vac., compound to 30,000 psi
- Dial Size:** 4½" diameter
- Case Material:** Black phenolic, solid front
- Weather Protection:** Dry Case: IP54  
Liquid filled or hermetically sealed case: IP 65
- Ring:** Threaded reinforced black polypropylene
- Window:** Glass
- Dial:** Aluminum, white background, black figures and intervals.
- Pointer:** Micrometer adjustable

**Movement:** Rotary, 400 SS, Teflon® coated pinion gear and segment

**Bourdon Tube and Socket:** C510 Phos. bronze/brass brazed (A)  
316L SS/steel (R)  
316L SS/316L SS (S)  
K Monel/ Monel (P)

**Connection Size:** ¼", ½" NPT

**Connection Location:** Lower or back

### OPTIONAL FEATURES

**Fill:** L-Glycerin-Standard  
XGV-Silicone-Optional  
XGX-Halocarbon-Optional

**PLUS! Performance:** XLL

**Hermetic Seal:** H

**Flush Mounting Ring:** X56

**Receiver Gauge:** XPR

**Shatter Proof Glass Window:** XSG

**Acrylic Window:** XPD

**Set Hand:** XSH

**Maximum Pointer:** XEP

### STANDARD RANGE TABLE\*

Pressure - psi		
Range	Figure interval	Minor Graduation
0/15	1	0.1
0/30	5	0.2
0/60	5	0.5
0/100	10	1
0/160	20	2
0/200	20	2
0/300	50	2
0/400	50	5
0/600	50	5
0/800	100	10
0/1000	100	10
0/1500	200	20
0/2000	200	20
0/3000	500	20
0/5000	500	50
0/6000	500	50
0/10,000	1000	100
0/20,000	2000	200
0/30,000	5000	200

Compound				
Range	Figure Interval		Minor Grads	
	in Hg	psi	in Hg	psi
30" Hg/15 psi	5	3	0.5	0.2
30" Hg/30 psi	10	5	1	0.5
30" Hg/60 psi	10	10	1	1
30" Hg/100 psi	10	10	2	1
30" Hg/150 psi	10	20	5	2
30" Hg/200 psi	30	20	5	2
30" Hg/300 psi	30	50	5	2

Vacuum		
Range	Figure Interval	Minor Grads
30/0 in. Hg	5 in	0.2 in
34/0 ft H <sub>2</sub> O	5 ft	0.5 ft

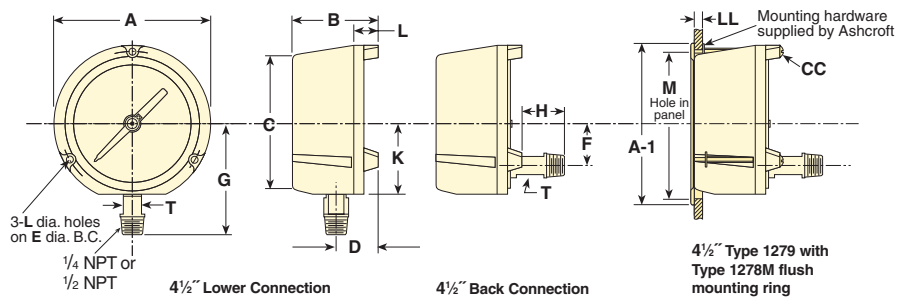
\*Full standard and metric equivalent range table available on our web site.

**ISO 9001**  
REGISTERED FIRM

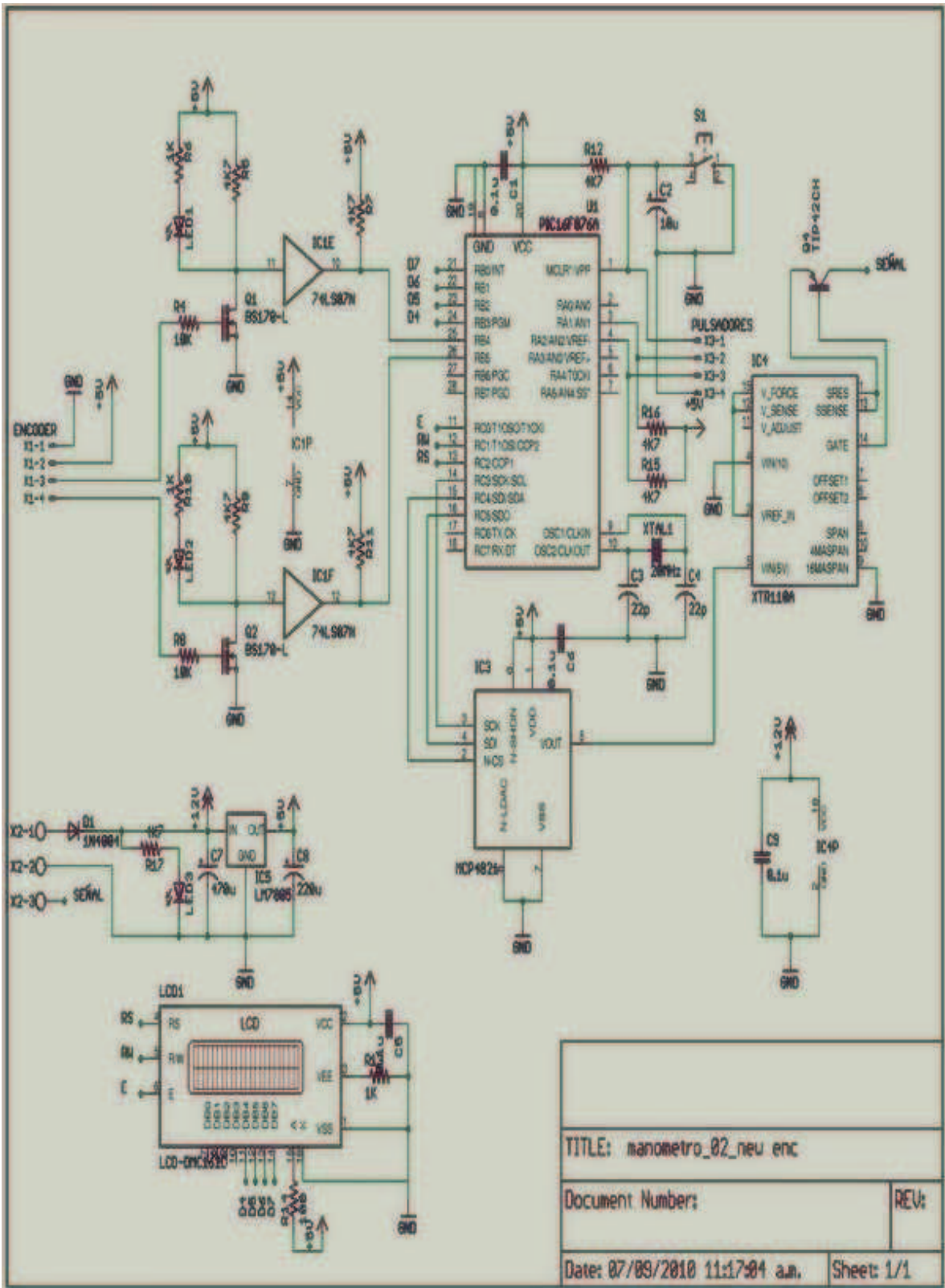
BULLETIN DU-1 1279

All specifications are subject to change without notice.  
All sales subject to standard terms and conditions.  
© Ashcroft Inc. 2009 11/09

Ashcroft Inc., 250 East Main Street, Stratford, CT 06614 USA  
Tel: 203-378-8281 • Fax: 203-385-0408  
email: info@ashcroft.com • www.ashcroft.com



## **ANEXO D. Plano Eléctrico de la Tarjeta**



TITLE: manometro\_02\_nou enc

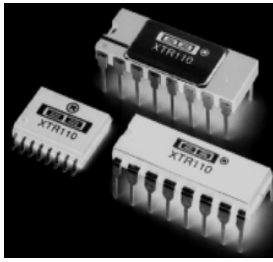
Document Number:

REV:

Date: 07/09/2010 11:17:04 a.m.

Sheet: 1/1

**ANEXO E. Hoja Característica del XTR 110**



# PRECISION VOLTAGE-TO-CURRENT CONVERTER/TRANSMITTER

## FEATURES

- 4mA TO 20mA TRANSMITTER
- SELECTABLE INPUT/OUTPUT RANGES:  
0V to +5V, 0V to +10V Inputs  
0mA to 20mA, 5mA to 25mA Outputs  
Other Ranges
- 0.005% MAX NONLINEARITY, 14 BIT
- PRECISION +10V REFERENCE OUTPUT
- SINGLE-SUPPLY OPERATION
- WIDE SUPPLY RANGE: 13.5V to 40V

## DESCRIPTION

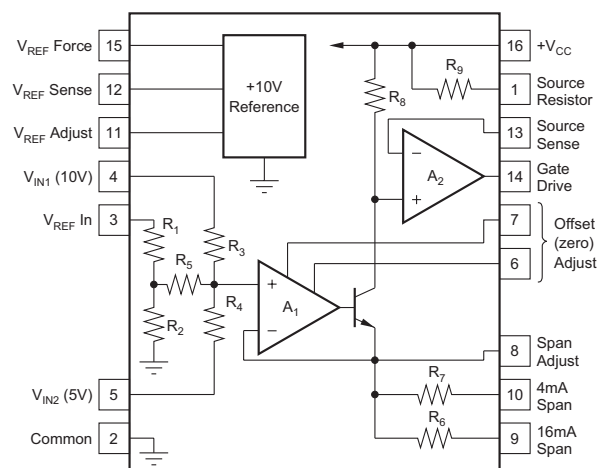
The XTR110 is a precision voltage-to-current converter designed for analog signal transmission. It accepts inputs of 0 to 5V or 0 to 10V and can be connected for outputs of 4mA to 20mA, 0mA to 20mA, 5mA to 25mA, and many other commonly used ranges.

A precision on-chip metal film resistor network provides input scaling and current offsetting. An internal 10V voltage reference can be used to drive external circuitry.

The XTR110 is available in 16-pin plastic DIP, ceramic DIP and SOL-16 surface-mount packages. Commercial and industrial temperature range models are available.

## APPLICATIONS

- INDUSTRIAL PROCESS CONTROL
- PRESSURE/TEMPERATURE TRANSMITTERS
- CURRENT-MODE BRIDGE EXCITATION
- GROUNDED TRANSDUCER CIRCUITS
- CURRENT SOURCE REFERENCE FOR DATA ACQUISITION
- PROGRAMMABLE CURRENT SOURCE FOR TEST EQUIPMENT
- POWER PLANT/ENERGY SYSTEM MONITORING



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

**PRODUCTION DATA** information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Power Supply, $+V_{CC}$ .....	40V
Input Voltage, $V_{IN1}$ , $V_{IN2}$ , $V_{REF IN}$ .....	$+V_{CC}$
See text regarding safe negative input voltage range.	
Storage Temperature Range: A, B .....	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
K, U .....	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
Output Short-Circuit Duration, Gate Drive and $V_{REF}$ Force .....	Continuous to common and $+V_{CC}$
Output Current Using Internal $50\Omega$ Resistor .....	40mA

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability.



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

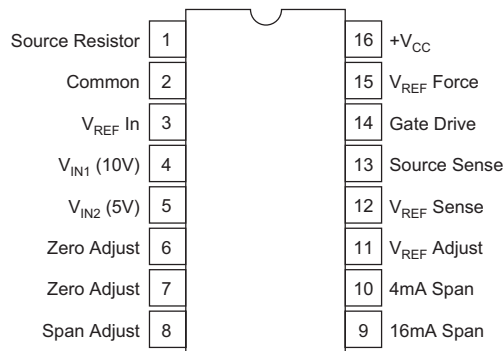
## PACKAGE/ORDERING INFORMATION<sup>(1)</sup>

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	TEMPERATURE RANGE
XTR110AG	DIP-16 Ceramic	JD	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
XTR110BG	DIP-16 Ceramic	JD	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
XTR110KP	DIP-16 Plastic	N	$0^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$
XTR110KU	SOL-16 Surface-Mount	DW	$0^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$

NOTE: (1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI website at [www.ti.com](http://www.ti.com).

## PIN CONFIGURATION

### TOP VIEW



# ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$  and  $V_{CC} = +24\text{V}$  and  $R_L = 250\Omega^{**}$ , unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	XTR110AG, KP, KU			XTR110BG			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>TRANSMITTER</b>								
Transfer Function			$I_O = 10 [(V_{REF}/16) + (V_{IN1}/4) + (V_{IN2}/2)] / R_{SPAN}$					
Input Range: $V_{IN1}^{(5)}$	Specified Performance	0		+10	*		*	V
$V_{IN2}$	Specified Performance	0		+5	*		*	V
Current, $I_O$	Specified Performance <sup>(1)</sup>	4		20	*		*	mA
	Derated Performance <sup>(1)</sup>	0		40	*		*	mA
Nonlinearity	16mA/20mA Span <sup>(2)</sup>		0.01	0.025		0.002	0.005	% of Span
Offset Current, $I_{OS}$	$I_O = 4\text{mA}^{(1)}$							
Initial	(1)		0.2	0.4		0.02	0.1	% of Span
vs Temperature	(1)		0.0003	0.005		*	0.003	% of Span/ $^\circ\text{C}$
vs Supply, $V_{CC}$	(1)		0.0005	0.005		*	*	% of Span/V
Span Error	$I_O = 20\text{mA}$							
Initial	(1)		0.3	0.6		0.05	0.2	% of Span
vs Temperature	(1)		0.0025	0.005		0.0009	0.003	% of Span/ $^\circ\text{C}$
vs Supply, $V_{CC}$	(1)		0.003	0.005		*	*	% of Span/V
Output Resistance	From Drain of FET ( $Q_{EXT}$ ) <sup>(3)</sup>			$10 \times 10^9$		*	*	$\Omega$
Input Resistance	$V_{IN1}$			27		*	*	k $\Omega$
	$V_{IN2}$			22		*	*	k $\Omega$
	$V_{REF}$ In			19		*	*	k $\Omega$
Dynamic Response								
Settling Time	To 0.1% of Span		15			*	*	$\mu\text{s}$
	To 0.01% of Span		20			*	*	$\mu\text{s}$
Slew Rate			1.3			*	*	mA/ $\mu\text{s}$
<b>VOLTAGE REFERENCE</b>								
Output Voltage		+9.95	+10	+10.05	+9.98	*	+10.02	V
vs Temperature			35	50		15	30	ppm/ $^\circ\text{C}$
vs Supply, $V_{CC}$	Line Regulation		0.0002	0.005		*	*	%/V
vs Output Current	Load Regulation		0.0005	0.01		*	*	%/mA
vs Time			100			*	*	ppm/1k hrs
Trim Range		-0.100		+0.25	*		*	V
Output Current	Specified Performance	10			*			mA
<b>POWER SUPPLY</b>								
Input Voltage, $V_{CC}$		+13.5		+40	*		*	V
Quiescent Current	Excluding $I_O$		3	4.5		*	*	mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Specification: AG, BG		-40		+85	*		*	$^\circ\text{C}$
KP, KU		0		+70				$^\circ\text{C}$
Operating: AG, BG		-55		+125	*		*	$^\circ\text{C}$
KP, KU		-25		+85				$^\circ\text{C}$

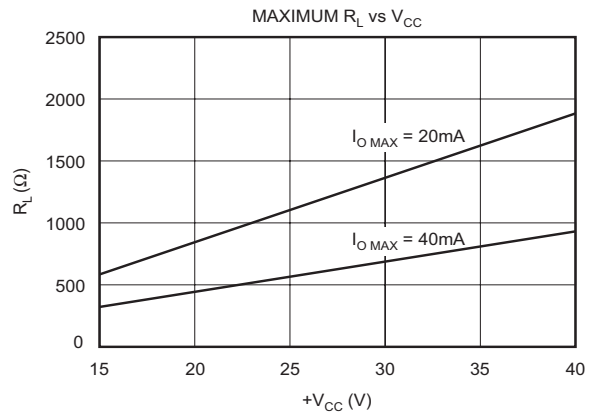
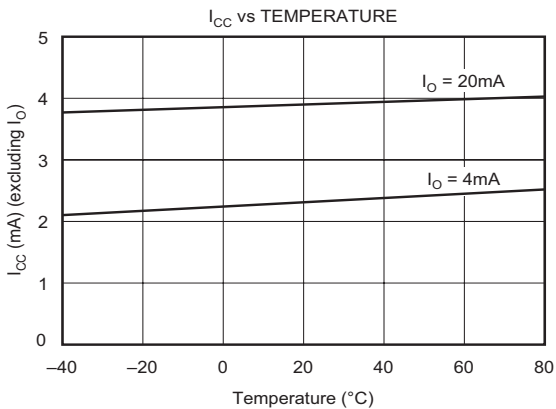
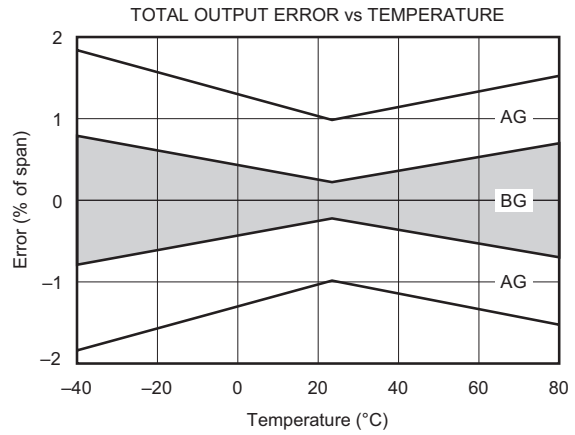
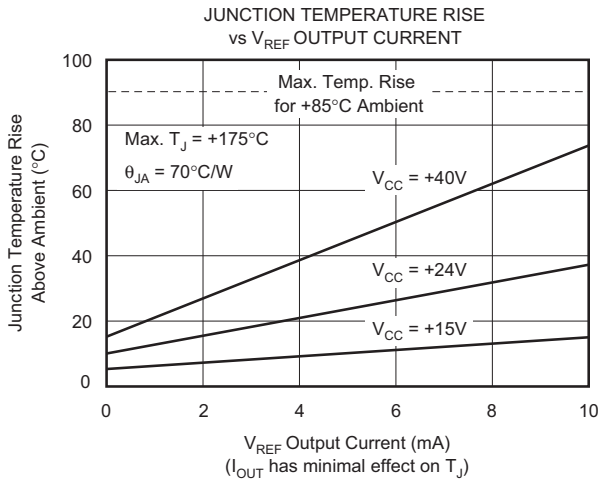
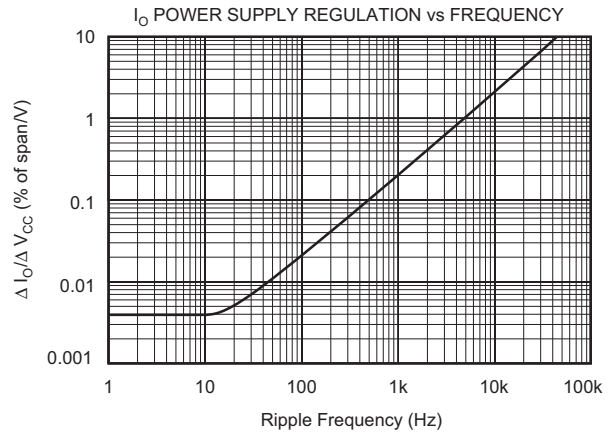
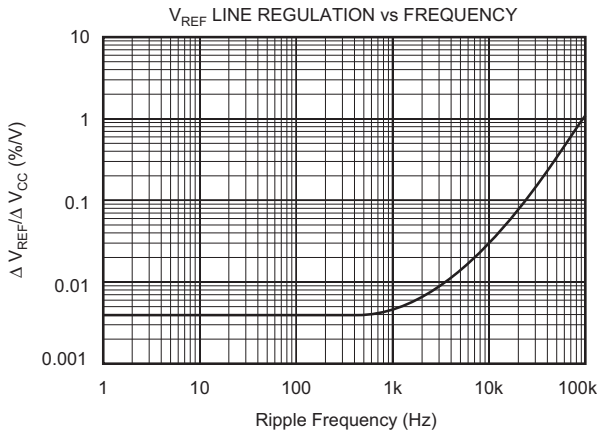
\* Specifications same as AG/KP grades. \*\* Specifications apply to the range of  $R_L$  shown in Typical Performance Curves.

NOTES: (1) Including internal reference. (2) Span is the change in output current resulting from a full-scale change in input voltage. (3) Within compliance range limited by  $(+V_{CC} - 2V) + V_{DS}$  required for linear operation of the FET. (4) For  $V_{REF}$  adjustment circuit see Figure 3. (5) For extended  $I_{REF}$  drive circuit see Figure 4. (5) Unit may be damaged. See *Input Voltage Range* section.



# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

$T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 24\text{VDC}$ ,  $R_L = 250\Omega$ , unless otherwise noted.



**ANEXO F. Hoja Característica del PIC 16F877**





# **PIC16F87XA**

## **Data Sheet**

28/40/44-Pin Enhanced Flash  
Microcontrollers

---

---

**Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:**

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

---

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

#### Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoQ, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

AmpLab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

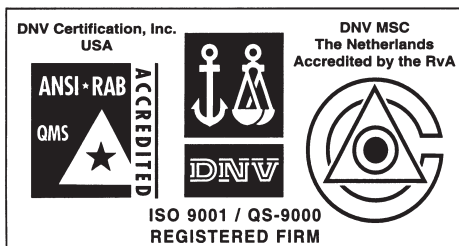
Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICKit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rFLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartShunt, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.



*Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.*



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

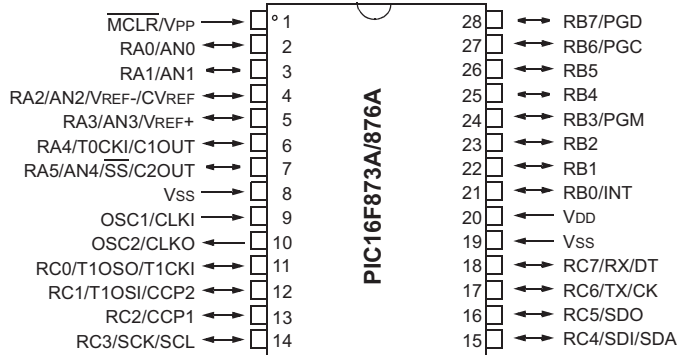
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

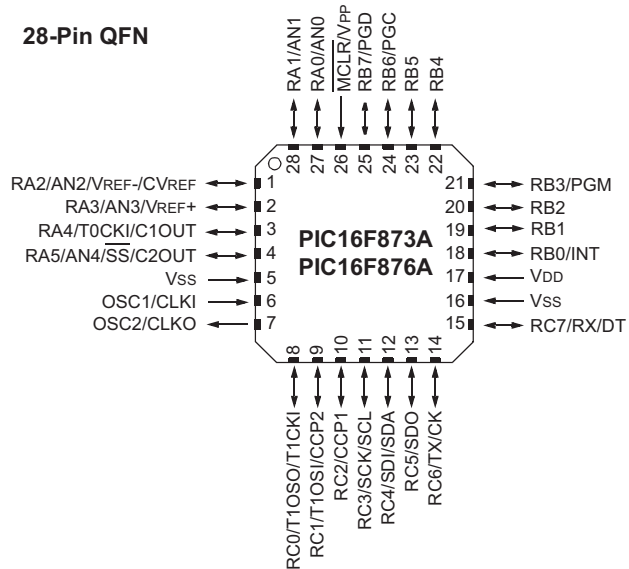
# PIC16F87XA

## Pin Diagrams

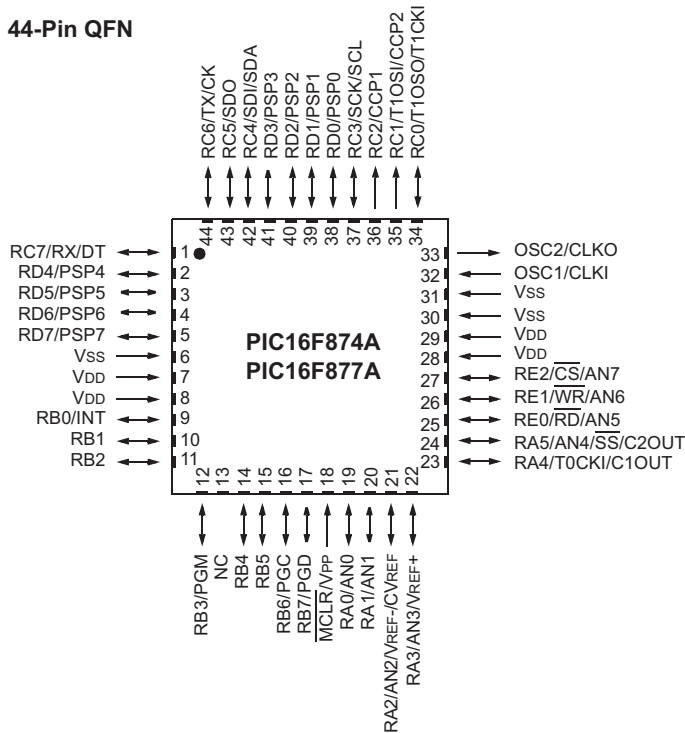
### 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



### 28-Pin QFN

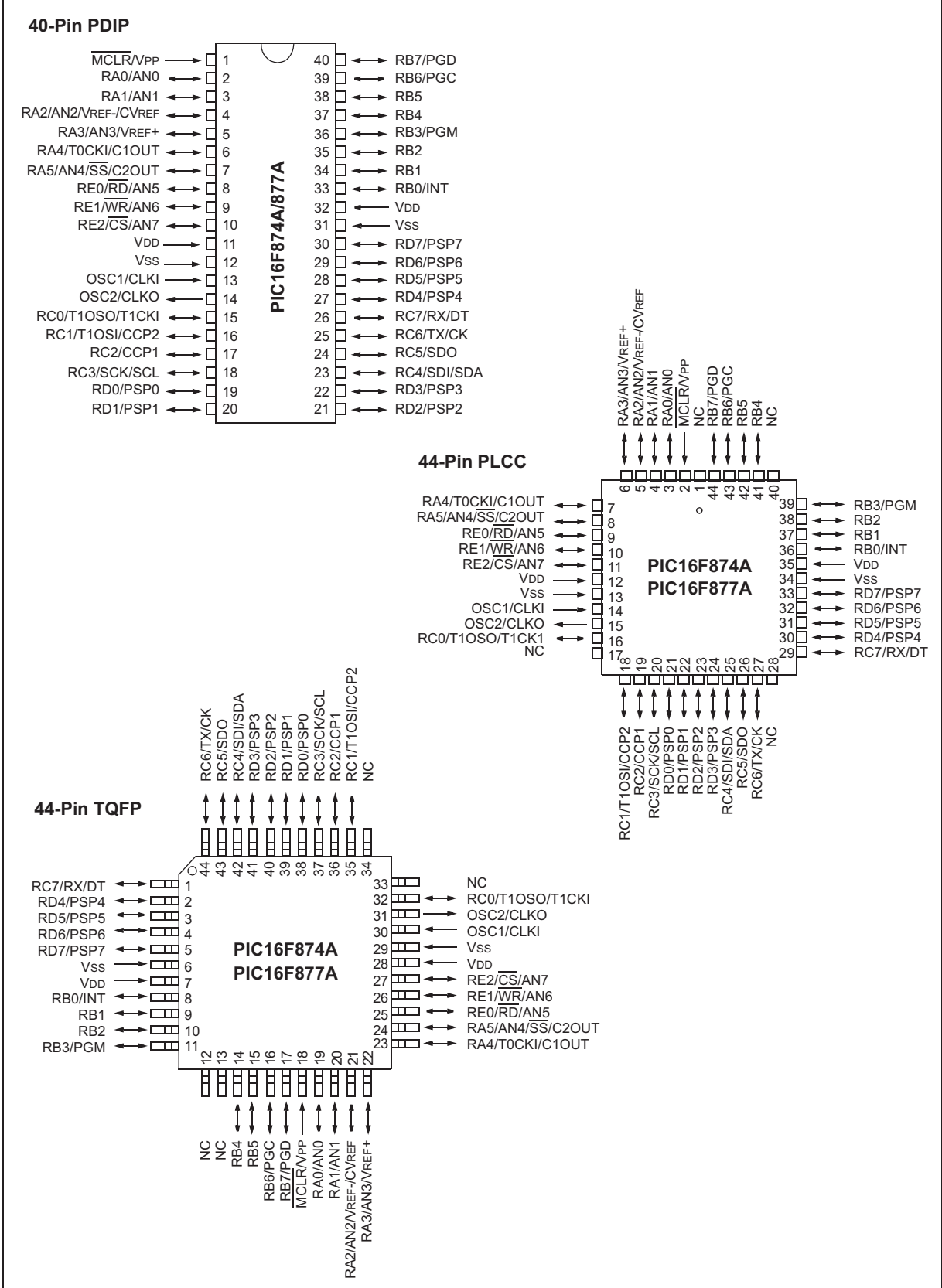


### 44-Pin QFN



# PIC16F87XA

## Pin Diagrams (Continued)





# PIC16F87XA

## Table of Contents

1.0	Device Overview .....	5
2.0	Memory Organization.....	15
3.0	Data EEPROM and Flash Program Memory .....	33
4.0	I/O Ports.....	41
5.0	Timer0 Module.....	53
6.0	Timer1 Module.....	57
7.0	Timer2 Module.....	61
8.0	Capture/Compare/PWM Modules .....	63
9.0	Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module.....	71
10.0	Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART).....	111
11.0	Analog-to-Digital Converter (A/D) Module .....	127
12.0	Comparator Module .....	135
13.0	Comparator Voltage Reference Module .....	141
14.0	Special Features of the CPU .....	143
15.0	Instruction Set Summary.....	159
16.0	Development Support .....	167
17.0	Electrical Characteristics.....	173
18.0	DC and AC Characteristics Graphs and Tables .....	197
19.0	Packaging Information .....	209
	Appendix A: Revision History .....	219
	Appendix B: Device Differences.....	219
	Appendix C: Conversion Considerations .....	220
	Index .....	221
	On-Line Support.....	229
	Systems Information and Upgrade Hot Line .....	229
	Reader Response .....	230
	PIC16F87XA Product Identification System.....	231

## TO OUR VALUED CUSTOMERS

It is our intention to provide our valued customers with the best documentation possible to ensure successful use of your Microchip products. To this end, we will continue to improve our publications to better suit your needs. Our publications will be refined and enhanced as new volumes and updates are introduced.

If you have any questions or comments regarding this publication, please contact the Marketing Communications Department via E-mail at [docerrors@mail.microchip.com](mailto:docerrors@mail.microchip.com) or fax the **Reader Response Form** in the back of this data sheet to (480) 792-4150. We welcome your feedback.

### Most Current Data Sheet

To obtain the most up-to-date version of this data sheet, please register at our Worldwide Web site at:

<http://www.microchip.com>

You can determine the version of a data sheet by examining its literature number found on the bottom outside corner of any page. The last character of the literature number is the version number, (e.g., DS30000A is version A of document DS30000).

### Errata

An errata sheet, describing minor operational differences from the data sheet and recommended workarounds, may exist for current devices. As device/documentation issues become known to us, we will publish an errata sheet. The errata will specify the revision of silicon and revision of document to which it applies.

To determine if an errata sheet exists for a particular device, please check with one of the following:

- Microchip's Worldwide Web site; <http://www.microchip.com>
- Your local Microchip sales office (see last page)
- The Microchip Corporate Literature Center; U.S. FAX: (480) 792-7277

When contacting a sales office or the literature center, please specify which device, revision of silicon and data sheet (include literature number) you are using.

### Customer Notification System

Register on our Web site at [www.microchip.com/cn](http://www.microchip.com/cn) to receive the most current information on all of our products.

# PIC16F87XA

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

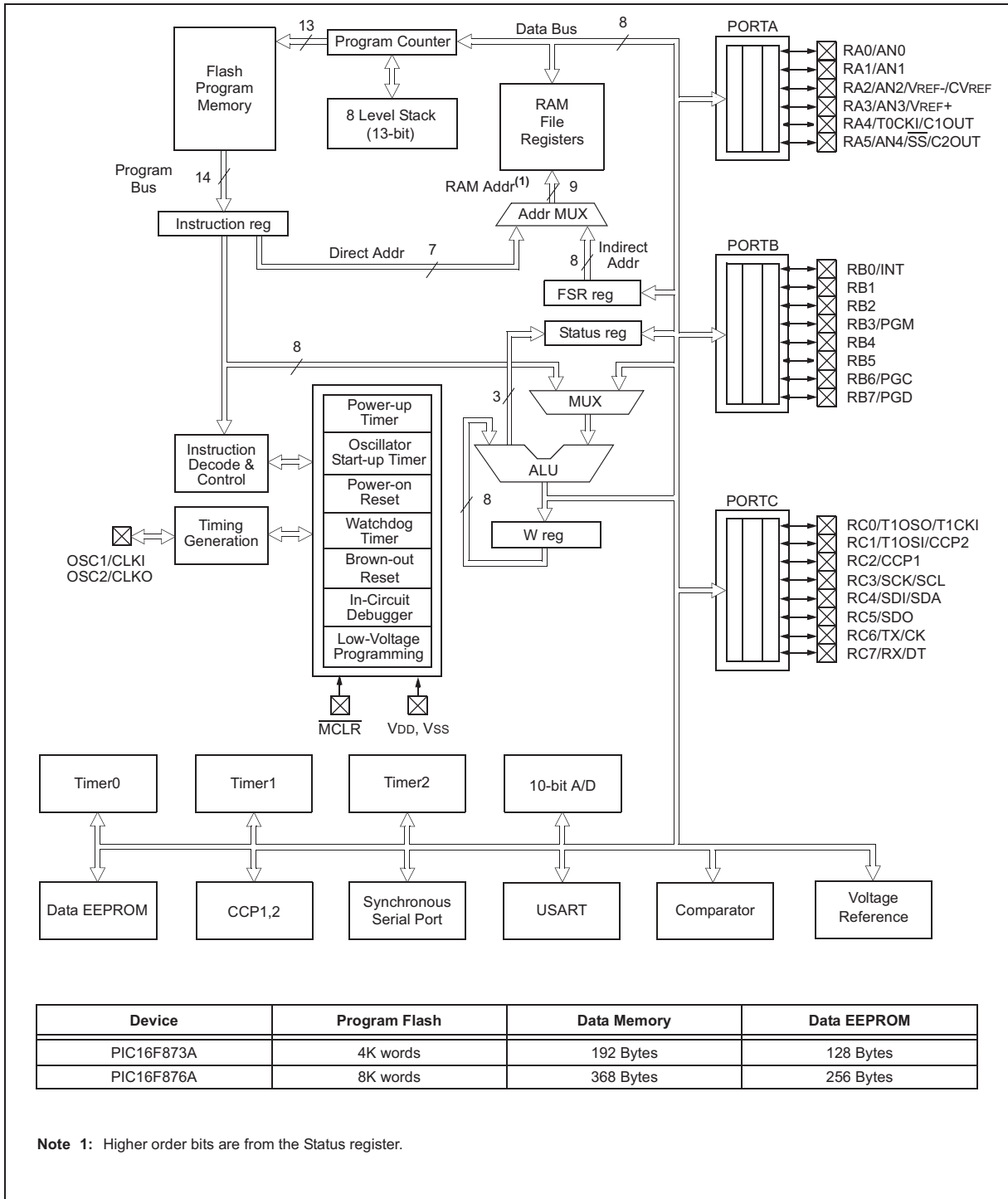
Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

**TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES**

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

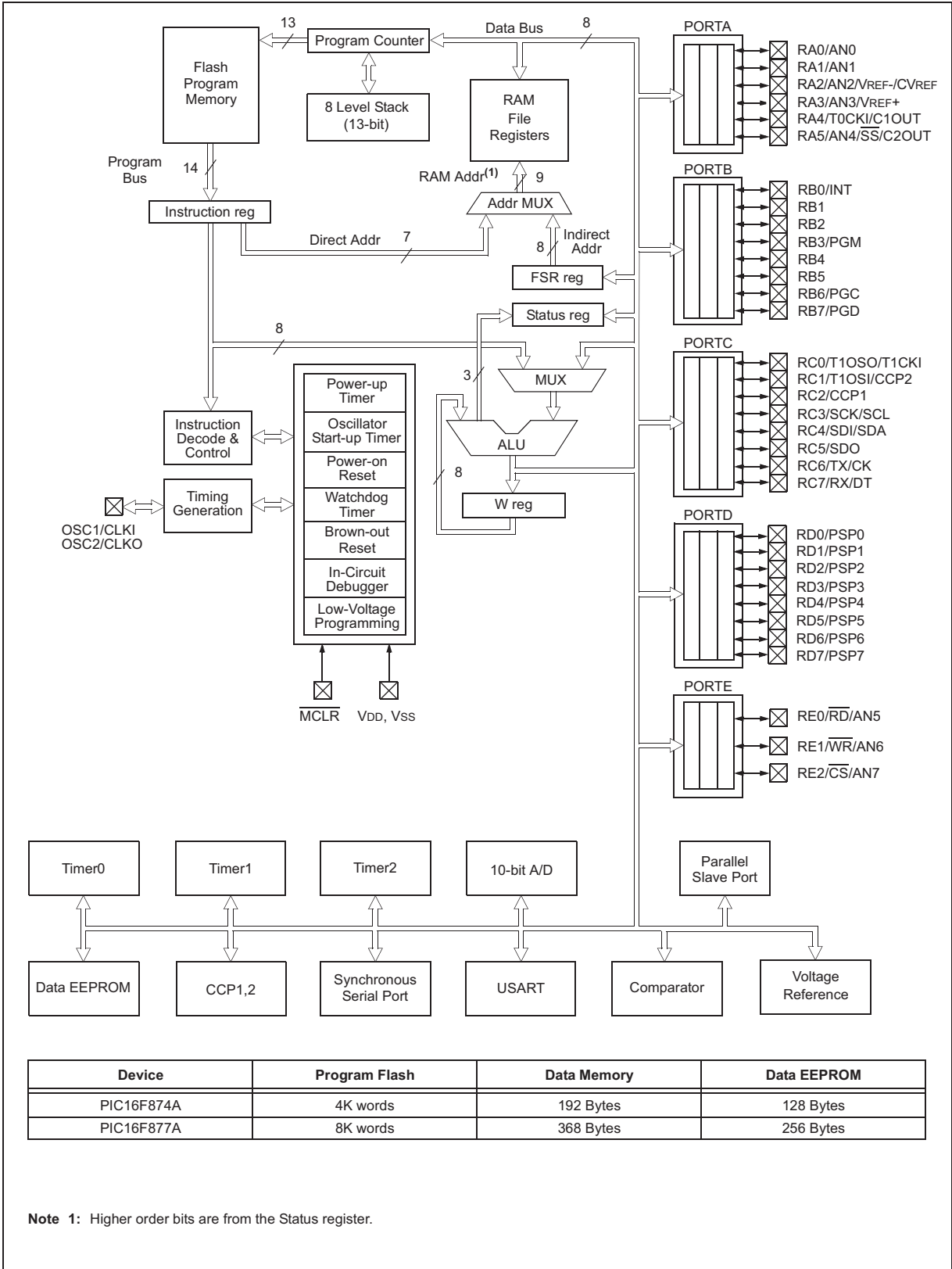
# PIC16F87XA

FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



# PIC16F87XA

**FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM**



# PIC16F87XA

**TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	9	6	I  I	ST/CMOS <sup>(3)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	10	7	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
$\overline{\text{MCLR}}$ /VPP MCLR  VPP	1	26	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	27	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	28	I/O I	TTL	Digital I/O. Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-/ CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	1	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	2	I/O I I	TTL	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.
RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT	6	3	I/O I O	ST	Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.
RA5/AN4/ $\overline{\text{SS}}$ /C2OUT RA5 AN4 $\overline{\text{SS}}$ C2OUT	7	4	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

**TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	21	18	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	22	19	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	23	20	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	24	21	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage (single-supply) ICSP programming enable pin.
RB4	25	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	26	23	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	27	24	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	25	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	8	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	12	9	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	10	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	11	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	12	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	13	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	14	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	15	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.
Vss	8, 19	5, 6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	17	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
**Note 3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

**TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	13	14	30	32	I  I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	14	15	31	33	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	2	18	18	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	3	19	19	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	4	20	20	I/O I	TTL	
RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	5	21	21	I/O I I O	TTL	
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	6	22	22	I/O I I	TTL	
RA4/T0CKI/C1OUT RA4  T0CKI C1OUT	6	7	23	23	I/O  I O	ST	
RA5/AN4/ $\overline{SS}$ /C2OUT RA5 AN4 $\overline{SS}$ C2OUT	7	8	24	24	I/O I I O	TTL	

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
**Note 3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

**TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.  Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.



# PIC16F87XA

**TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK  SCL	18	20	37	37	I/O I/O  I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
**Note 3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

**TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus.  Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5 RE0 $\overline{\text{RD}}$ AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTE is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6 RE1 $\overline{\text{WR}}$ AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7 RE2 $\overline{\text{CS}}$ AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
Vss	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

**Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
**Note 3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

---

NOTES:

# PIC16F87XA

## 2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87XA devices. The program memory and data memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in **Section 3.0 “Data EEPROM and Flash Program Memory”**.

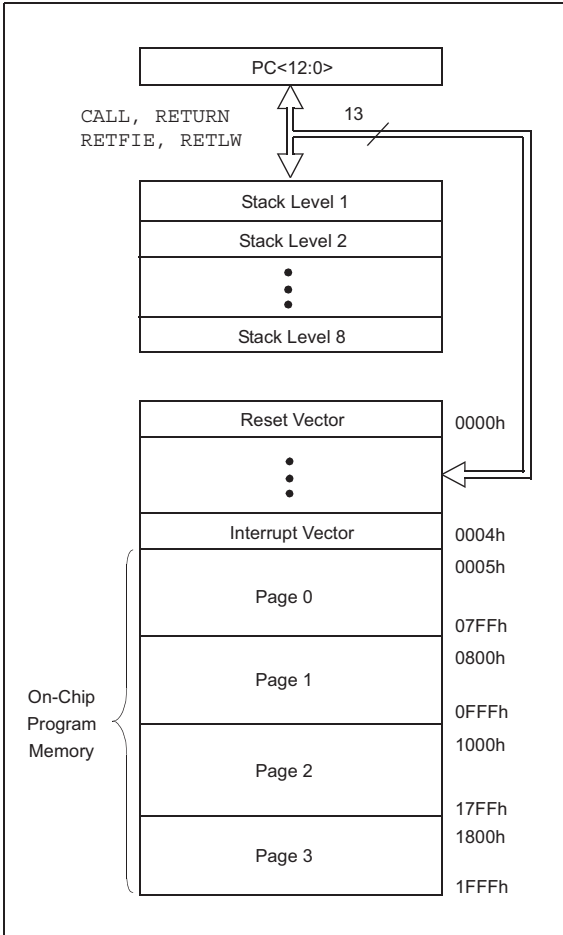
Additional information on device memory may be found in the PICmicro® Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

## 2.1 Program Memory Organization

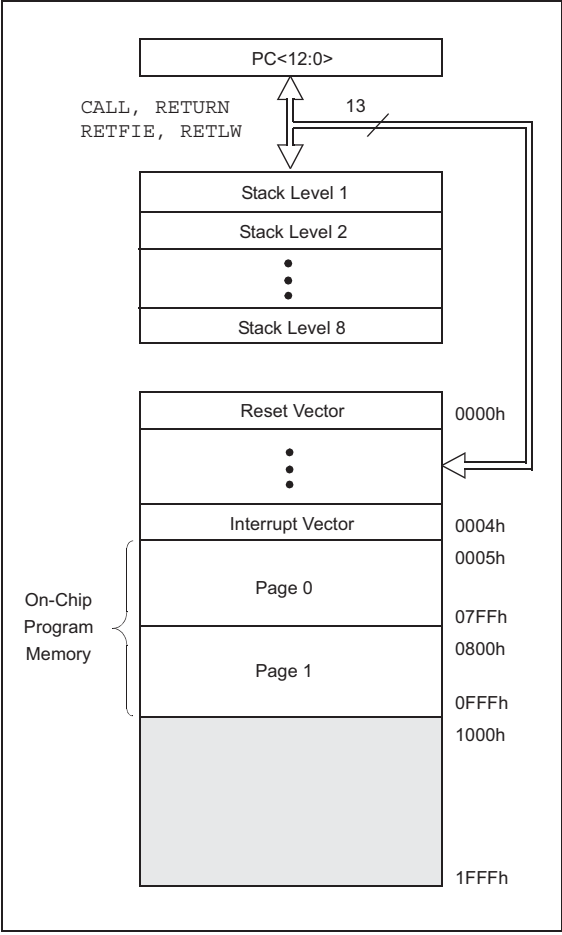
The PIC16F87XA devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K word x 14 bit program memory space. The PIC16F876A/877A devices have 8K words x 14 bits of Flash program memory, while PIC16F873A/874A devices have 4K words x 14 bits. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The Reset vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

**FIGURE 2-1: PIC16F876A/877A PROGRAM MEMORY MAP AND STACK**



**FIGURE 2-2: PIC16F873A/874A PROGRAM MEMORY MAP AND STACK**



# PIC16F87XA

---

## 2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into multiple banks which contain the General Purpose Registers and the Special Function Registers. Bits RP1 (Status<6>) and RP0 (Status<5>) are the bank select bits.

RP1:RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3

Each bank extends up to 7Fh (128 bytes). The lower locations of each bank are reserved for the Special Function Registers. Above the Special Function Registers are General Purpose Registers, implemented as static RAM. All implemented banks contain Special Function Registers. Some frequently used Special Function Registers from one bank may be mirrored in another bank for code reduction and quicker access.

**Note:** The EEPROM data memory description can be found in **Section 3.0 “Data EEPROM and Flash Program Memory”** of this data sheet.

### 2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file can be accessed either directly, or indirectly, through the File Select Register (FSR).

**FIGURE 2-3: PIC16F876A/877A REGISTER FILE MAP**

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. <sup>(*)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD <sup>(1)</sup>	08h	TRISD <sup>(1)</sup>	88h		108h		188h
PORTE <sup>(1)</sup>	09h	TRISE <sup>(1)</sup>	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h		95h		115h		195h
CCPR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register 16 Bytes	117h	General Purpose Register 16 Bytes	197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h		118h		198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch	CMCON	9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh	CVRCON	9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register 96 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes	
			EFh		16Fh		1EFh
		accesses 70h-7Fh	F0h	accesses 70h-7Fh	170h	accesses 70h - 7Fh	1F0h
	7Fh		FFh		17Fh		1FFh
Bank 0		Bank 1		Bank 2		Bank 3	

Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
 \* Not a physical register.

**Note 1:** These registers are not implemented on the PIC16F876A.  
**Note 2:** These registers are reserved; maintain these registers clear.

# PIC16F87XA

FIGURE 2-4: PIC16F873A/874A REGISTER FILE MAP

File Address	File Address	File Address	File Address
Indirect addr. <sup>(*)</sup> 00h	Indirect addr. <sup>(*)</sup> 80h	Indirect addr. <sup>(*)</sup> 100h	Indirect addr. <sup>(*)</sup> 180h
TMR0 01h	OPTION_REG 81h	TMR0 101h	OPTION_REG 181h
PCL 02h	PCL 82h	PCL 102h	PCL 182h
STATUS 03h	STATUS 83h	STATUS 103h	STATUS 183h
FSR 04h	FSR 84h	FSR 104h	FSR 184h
PORTA 05h	TRISA 85h	105h	185h
PORTB 06h	TRISB 86h	PORTB 106h	TRISB 186h
PORTC 07h	TRISC 87h	107h	187h
PORTD <sup>(1)</sup> 08h	TRISD <sup>(1)</sup> 88h	108h	188h
PORTE <sup>(1)</sup> 09h	TRISE <sup>(1)</sup> 89h	109h	189h
PCLATH 0Ah	PCLATH 8Ah	PCLATH 10Ah	PCLATH 18Ah
INTCON 0Bh	INTCON 8Bh	INTCON 10Bh	INTCON 18Bh
PIR1 0Ch	PIE1 8Ch	EEDATA 10Ch	EECON1 18Ch
PIR2 0Dh	PIE2 8Dh	EEADR 10Dh	EECON2 18Dh
TMR1L 0Eh	PCON 8Eh	EEDATH 10Eh	Reserved <sup>(2)</sup> 18Eh
TMR1H 0Fh	8Fh	EEADRH 10Fh	Reserved <sup>(2)</sup> 18Fh
T1CON 10h	90h	110h	190h
TMR2 11h	SSPCON2 91h		
T2CON 12h	PR2 92h		
SSPBUF 13h	SSPADD 93h		
SSPCON 14h	SSPSTAT 94h		
CCPR1L 15h	95h		
CCPR1H 16h	96h		
CCP1CON 17h	97h		
RCSTA 18h	TXSTA 98h		
TXREG 19h	SPBRG 99h		
RCREG 1Ah	9Ah		
CCPR2L 1Bh	9Bh		
CCPR2H 1Ch	CMCON 9Ch		
CCP2CON 1Dh	CVRCON 9Dh		
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh		
ADCON0 1Fh	ADCON1 9Fh		
20h	A0h	120h	1A0h
General Purpose Register 96 Bytes	General Purpose Register 96 Bytes	accesses 20h-7Fh	accesses A0h - FFh
7Fh	FFh	16Fh 170h	1EFh 1F0h
Bank 0	Bank 1	Bank 2	Bank 3

Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
 \* Not a physical register.

**Note 1:** These registers are not implemented on the PIC16F873A.  
**Note 2:** These registers are reserved; maintain these registers clear.

# PIC16F87XA

## 2.2.2 SPECIAL FUNCTION REGISTERS

The Special Function Registers are registers used by the CPU and peripheral modules for controlling the desired operation of the device. These registers are implemented as static RAM. A list of these registers is given in Table 2-1.

The Special Function Registers can be classified into two sets: core (CPU) and peripheral. Those registers associated with the core functions are described in detail in this section. Those related to the operation of the peripheral features are described in detail in the peripheral features section.

**TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:		
<b>Bank 0</b>													
00h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)									0000 0000	31, 150	
01h	TMR0	Timer0 Module Register									xxxx xxxx	55, 150	
02h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte									0000 0000	30, 150	
03h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C	0001 1xxxx	22, 150		
04h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer									xxxx xxxx	31, 150	
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read								--0x 0000	43, 150
06h	PORTB	PORTB Data Latch when written: PORTB pins when read									xxxx xxxx	45, 150	
07h	PORTC	PORTC Data Latch when written: PORTC pins when read									xxxx xxxx	47, 150	
08h <sup>(4)</sup>	PORTD	PORTD Data Latch when written: PORTD pins when read									xxxx xxxx	48, 150	
09h <sup>(4)</sup>	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	--- -xxx	49, 150		
0Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter						---0 0000	30, 150	
0Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150		
0Ch	PIR1	PSPIF <sup>(3)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	26, 150		
0Dh	PIR2	—	CMIF	—	EEIF	BCLIF	—	—	CCP2IF	-0-0 0--0	28, 150		
0Eh	TMR1L	Holding Register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register									xxxx xxxx	60, 150	
0Fh	TMR1H	Holding Register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register									xxxx xxxx	60, 150	
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	$\overline{T1SYNC}$	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	57, 150		
11h	TMR2	Timer2 Module Register									0000 0000	62, 150	
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	61, 150		
13h	SSPBUF	Synchronous Serial Port Receive Buffer/Transmit Register									xxxx xxxx	79, 150	
14h	SSPCON	WCOL	SSPOV	SSPEN	CKP	SSPM3	SSPM2	SSPM1	SSPM0	0000 0000	82, 82, 150		
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register 1 (LSB)									xxxx xxxx	63, 150	
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register 1 (MSB)									xxxx xxxx	63, 150	
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	64, 150		
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	112, 150		
19h	TXREG	USART Transmit Data Register									0000 0000	118, 150	
1Ah	RCREG	USART Receive Data Register									0000 0000	118, 150	
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register 2 (LSB)									xxxx xxxx	63, 150	
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register 2 (MSB)									xxxx xxxx	63, 150	
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	64, 150		
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte									xxxx xxxx	133, 150	
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	127, 150		

**Legend:** x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved. Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note 1:** The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8>, whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- 2:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain these bits clear.
- 3:** These registers can be addressed from any bank.
- 4:** PORTD, PORTE, TRISD and TRISE are not implemented on PIC16F873A/876A devices, read as '0'.
- 5:** Bit 4 of EEADRH implemented only on the PIC16F876A/877A devices.



# PIC16F87XA

**TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY (CONTINUED)**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:	
<b>Bank 1</b>												
80h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	31, 150	
81h	OPTION_REG	RBP $\bar{U}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	23, 150	
82h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte								0000 0000	30, 150	
83h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\bar{T}O$	$\bar{P}D$	Z	DC	C	0001 1xxx	22, 150	
84h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	31, 150	
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	43, 150	
86h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	45, 150	
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	47, 150	
88h <sup>(4)</sup>	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	48, 151	
89h <sup>(4)</sup>	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	50, 151	
8Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter						--0 0000	30, 150
8Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150	
8Ch	PIE1	PSPIE <sup>(2)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	25, 151	
8Dh	PIE2	—	CMIE	—	EEIE	BCLIE	—	—	CCP2IE	-0-0 0--0	27, 151	
8Eh	PCON	—	—	—	—	—	—	$\bar{P}OR$	$\bar{B}OR$	---- -q	29, 151	
8Fh	—	Unimplemented								—	—	
90h	—	Unimplemented								—	—	
91h	SSPCON2	GCEN	ACKSTAT	ACKDT	ACKEN	RCEN	PEN	RSEN	SEN	0000 0000	83, 151	
92h	PR2	Timer2 Period Register								1111 1111	62, 151	
93h	SSPADD	Synchronous Serial Port (I <sup>2</sup> C mode) Address Register								0000 0000	79, 151	
94h	SSPSTAT	SMP	CKE	D/ $\bar{A}$	P	S	R/ $\bar{W}$	UA	BF	0000 0000	79, 151	
95h	—	Unimplemented								—	—	
96h	—	Unimplemented								—	—	
97h	—	Unimplemented								—	—	
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	111, 151	
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	113, 151	
9Ah	—	Unimplemented								—	—	
9Bh	—	Unimplemented								—	—	
9Ch	CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0	0000 0111	135, 151	
9Dh	CVRCON	CVREN	CVROE	CVRR	—	CVR3	CVR2	CVR1	CVR0	000- 0000	141, 151	
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	133, 151	
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	128, 151	

**Legend:** x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved.  
Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note 1:** The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8>, whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- 2:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain these bits clear.
- 3:** These registers can be addressed from any bank.
- 4:** PORTD, PORTE, TRISD and TRISE are not implemented on PIC16F873A/876A devices, read as '0'.
- 5:** Bit 4 of EEADRH implemented only on the PIC16F876A/877A devices.

# PIC16F87XA

**TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY (CONTINUED)**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:
<b>Bank 2</b>											
100h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	31, 150
101h	TMR0	Timer0 Module Register								xxxx xxxx	55, 150
102h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter's (PC) Least Significant Byte								0000 0000	30, 150
103h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C	0001 1xxx	22, 150
104h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	31, 150
105h	—	Unimplemented								—	—
106h	PORTB	PORTB Data Latch when written: PORTB pins when read								xxxx xxxx	45, 150
107h	—	Unimplemented								—	—
108h	—	Unimplemented								—	—
109h	—	Unimplemented								—	—
10Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	30, 150
10Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150
10Ch	EEDATA	EEPROM Data Register Low Byte								xxxx xxxx	39, 151
10Dh	EEADR	EEPROM Address Register Low Byte								xxxx xxxx	39, 151
10Eh	EEDATH	—	—	EEPROM Data Register High Byte					--xx xxxx	39, 151	
10Fh	EEADRH	—	—	—	— <sup>(5)</sup>	EEPROM Address Register High Byte				---- xxxx	39, 151
<b>Bank 3</b>											
180h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	31, 150
181h	OPTION_REG	$\overline{RBPV}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	23, 150
182h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte								0000 0000	30, 150
183h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C	0001 1xxx	22, 150
184h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	31, 150
185h	—	Unimplemented								—	—
186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	45, 150
187h	—	Unimplemented								—	—
188h	—	Unimplemented								—	—
189h	—	Unimplemented								—	—
18Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	30, 150
18Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150
18Ch	EECON1	EEPGD	—	—	—	WRERR	WREN	WR	RD	x--- x000	34, 151
18Dh	EECON2	EEPROM Control Register 2 (not a physical register)								---- ----	39, 151
18Eh	—	Reserved; maintain clear								0000 0000	—
18Fh	—	Reserved; maintain clear								0000 0000	—

**Legend:** x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved.  
Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

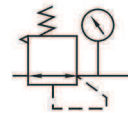
- Note 1:** The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8>, whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- 2:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain these bits clear.
- 3:** These registers can be addressed from any bank.
- 4:** PORTD, PORTE, TRISD and TRISE are not implemented on PIC16F873A/876A devices, read as '0'.
- 5:** Bit 4 of EEADRH implemented only on the PIC16F876A/877A devices.

## **ANEXO G. Información Técnica de la Válvula de Regulación de Presión**

# MINI REGULATOR SR SERIES



### Symbol

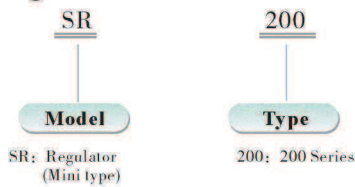


### Specification

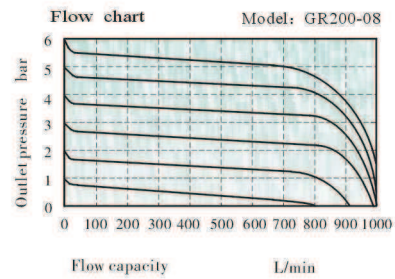
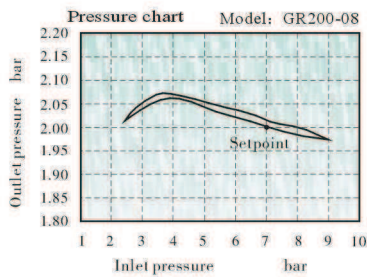
Model	SR200-06	SR200L-06	SR200-08	SR200L-08
Fluid	Air			
Port size	1/8"		1/4"	
Pressure range	0.5~9.0bar(0.05~0.9MPa)(7~128Psi)			
Max service pressure	10.0bar(1.0MPa)(142Psi)			
Proof pressure	15.0bar(1.5MPa)(213Psi)			
Temperature	5~60°C			

\*Note: PT, NPT, BSPP Thread are available.

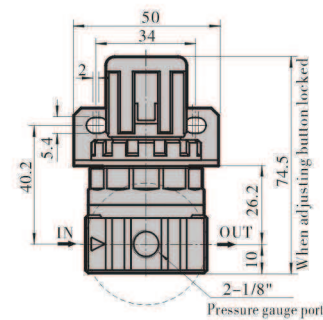
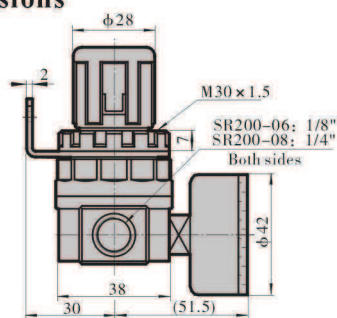
### Ordering code



### Pressure Flow Chart



### Dimensions



## **ANEXO H. Información Técnica del Encoder**

# Honeywell

---



*Representative photograph, actual product appearance may vary.*

*Due to regional agency approval requirements, some products may not be available in your area. Please contact your regional Honeywell office regarding your product of choice.*

## **600EN-128-CN1**

**600 Series Optical, 128 Pulse Per Rev, 2-bit gray code**

### **Features**

- Long life-10 million revolutions minimum (no contacts)
- Cost effective, eliminates need for A/D converters
- Stainless steel shafts and nickel-plated bushings
- Stability from -40 °C to 65 °C [-40 °F to 149 °F]
- Cable and printed circuit terminations available

### **Typical Applications**

- Motion sensing and control
- Motor control
- Flow control
- Low-to-high input for test and measurement
- Medical and instrumentation
- Robotics
- Computer peripherals

### **Description**

The 600 Series controls are manually operated, rotary, optical encoders that output two square waves in quadrature at a rate of 128 pulses per channel per revolution as a standard with other resolutions down to 60 pulses available. The outputs are TTL compatible. PC terminals or cable leads are available.

# Honeywell

---

## 600EN-128-CN1

### 600 Series Optical, 128 Pulse Per Rev, 2-bit gray code

Product Specifications	
<b>Encoder Type</b>	Optical
<b>Pulse Per Rev</b>	128 pulses/rev
<b>Dome Switch</b>	No
<b>Output</b>	2-square wave, Channel A leads Channel B by 90 ° electrically in counterclockwise direction
<b>Electrical Travel</b>	Continuous
<b>Source Voltage Range</b>	4.75 Vdc min., 5.0 Vdc nom., 5.25 V max.
<b>Suppy Current</b>	30 mA
<b>Voltage Out High</b>	2.4 Vdc min.
<b>Voltage Out Low</b>	0.4 Vdc max.
<b>Pull-up Resistor</b>	10 kOhms
<b>Operating Speed</b>	300 RPM max.
<b>Operating Torque</b>	0,011 Nm [1.5 oz in] max.
<b>Terminals</b>	190,5 mm [7.5 in] long cable/connector
<b>Terminals Strength</b>	0,9 kg [2.0 lbs]
<b>Housing</b>	Molded thermoplastic
<b>Mechanical Travel</b>	Continuous
<b>Rotational Life</b>	10 million shaft rotations
<b>Shaft Axial Force</b>	6,8 kg [15 lbs] push/pull
<b>Shaft End Play</b>	0,127 mm [0.005 in] max.
<b>Shaft Radial Play</b>	0,254 mm [0.01 in] at 25,4 mm [1 in]
<b>Shaft Material</b>	Stainless Steel
<b>Shaft Diameter</b>	6,35 mm [0.25 in]
<b>Shaft length</b>	19,05 mm [0.75 in]
<b>Bushing Material</b>	Nichel plated brass
<b>Bushing Diameter</b>	9,53 mm [0.375 in] x 32 NEF-2A

<b>Bushing length</b>	9,53 mm [0.375 in]
<b>Operating Temperature</b>	-40 °C to 65 °C [-40 °F to 149 °F]
<b>Storage Temperature</b>	-55 °C to 110 °C [-67 °F to 230 °F]
<b>Humidity</b>	85% RH at 40 °C [104 °F] 240 Hr
<b>Shock</b>	100 G at 6 per MIL-STD-202; Method 213, Condition C
<b>Vibration</b>	10 Hz to 2000 Hz, 15 G; MIL-STD-202, Method 204, Condition C
<b>Series Name</b>	600 Series
<b>Availability</b>	Global
<b>UNSPSC Code</b>	30211929
<b>UNSPSC Commodity</b>	30211929 Encoders



## 600EN-128-CN1

600 Series Optical, 128 Pulse Per Rev, 2-bit gray code

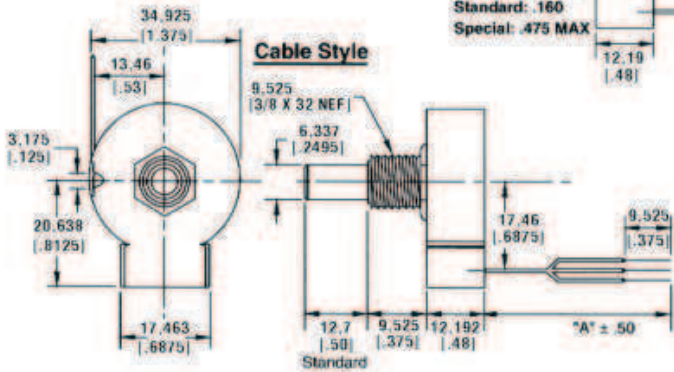


## DIMENSIONS (For Reference Only) mm [in]

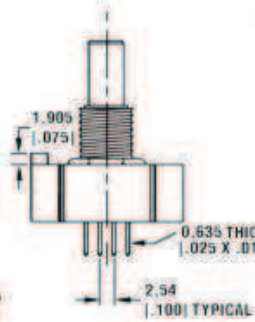
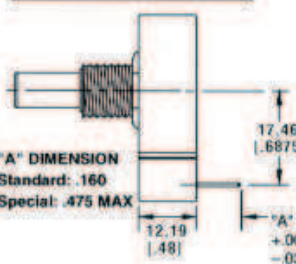
### Styles

#### 600 Series

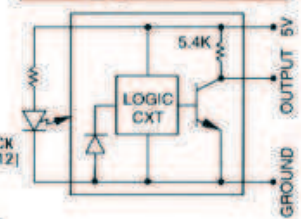
- 600 Sleeve Bearing
- 605 Sleeve, single channel
- 610 Ball bearing
- 615 Ball bearing, single channel



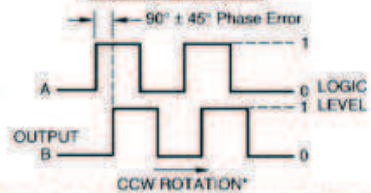
#### PC Terminals: Type C-24



#### Block Diagram One Output

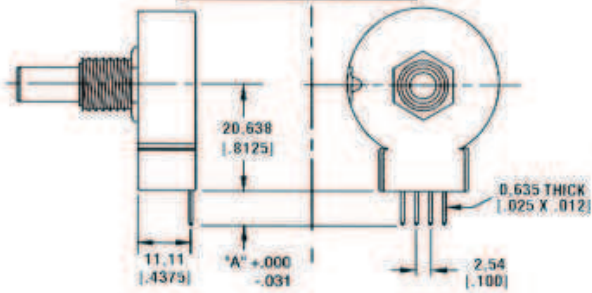


#### Output Waveform



\*Channel A leads Channel B by 90° electrically in CCW direction

#### PC Terminals Type B-66



TERM #	FUNCTION
1	5VDC ± 5% @ 30ma MAX
2	"A" Out
3	Ground
4	"B" Out

"A" DIMENSIONS	
Standard	4.57 [180]
Special	10.16 [400] MAX.

#### Dimension Tolerances, Unless Otherwise Specified

FRACTIONS = ± 1/64 (0.40mm) DECIMALS = ± .005 GRDS = ± .010 (0.25mm)

#### NOTE:

- "A" Cable Length Standard 190.5 [7.5]  
Other lengths available, specified by customer
- "A" and "B" Outputs are TTL compatible on all models

COLOR	CABLE CODE	FUNCTION
Red		5VDC ± 5% @ 30ma MAX
Green		Ground
Yellow		"A" Out
Orange		"B" Out

# Honeywell

## 600EN-128-CN1

600 Series Optical, 128 Pulse Per Rev, 2-bit gray code

### **WARNING**

#### **PERSONAL INJURY**

DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices, or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

### **WARNING**

#### **MISUSE OF DOCUMENTATION**

- The information presented in this product sheet (or catalog) is for reference only. DO NOT USE this document as product installation information.
- Complete installation, operation and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

© Copyright Honeywell Inc. 1998-2004 All rights reserved.

## **ANEXO I. Guía de Laboratorio**

**LABORATORIO DE INSTRUMENTACION  
ESPECIALIZACION EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA**

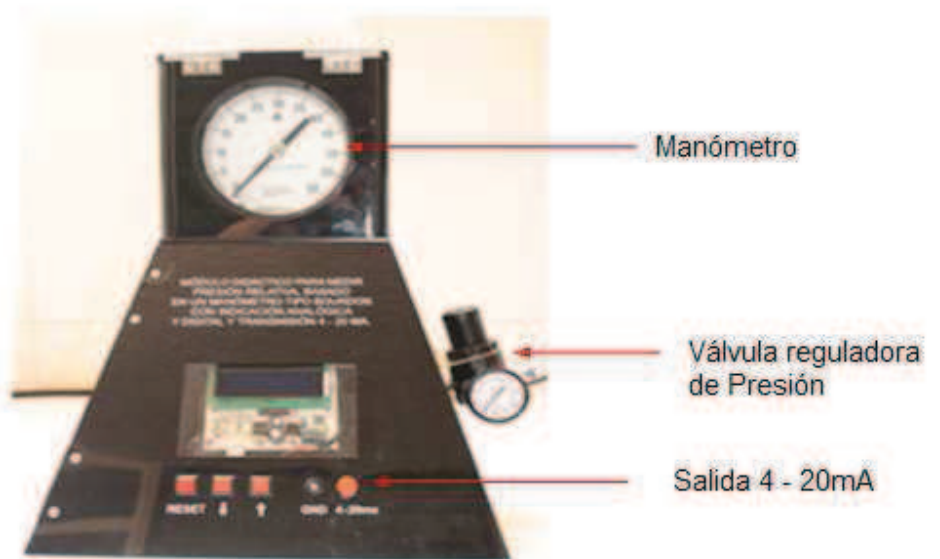
**MODULO DE PRESION RELATIVA.**

- **Objetivos**

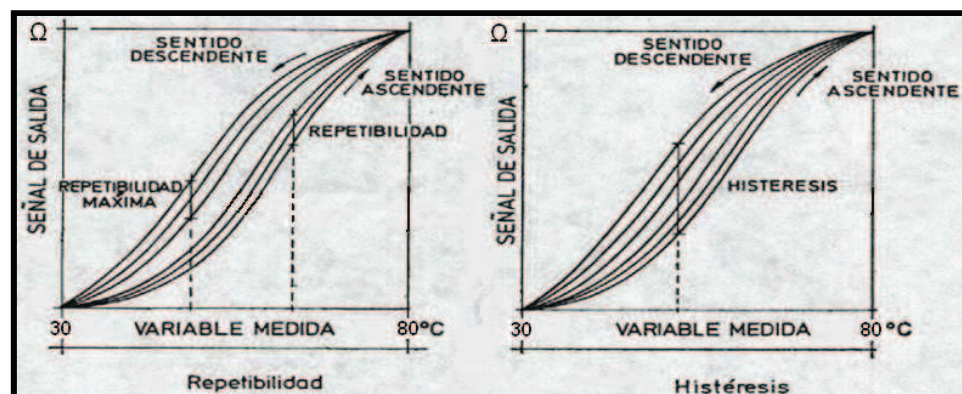
- a. Conocer la estructura interna y el principio de operación de un medidor mecánico de presión relativa (manómetro) y una de las formas de transducción para convertirlo en un transmisor indicador electrónico de presión relativa.
- b. Evaluar la repetibilidad (precisión) y la histéresis de un transmisor indicador electrónico de presión relativa.

- **Procedimiento.**

- a. Encender el compresor de aire del sistema.
- b. Identificar el sistema de suministro de aire de instrumentos.
- c. Identificar en el Módulo de Presión, la válvula reguladora de presión de entrada, el manómetro y su estructura interna, el transductor y transmisor indicador electrónico de presión relativa con señal de salida 4 a 20mA.

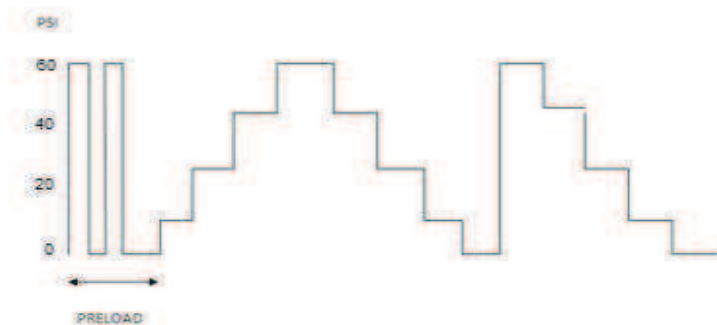


- d. Con la válvula de regulación del modulo completamente cerrada, abrir la válvula de bola principal y ajustar la válvula de presión del *sistema de suministro de aire de instrumentos* para obtener una presión. Purgar el sistema manipulando la válvula de purga del filtro.
- e. Con la válvula reguladora de presión de entrada ajustar la presión del manómetro en 0psi.
- f. Establecer las condiciones del proceso para la calibración del transmisor indicador de presión relativa de 60psi.

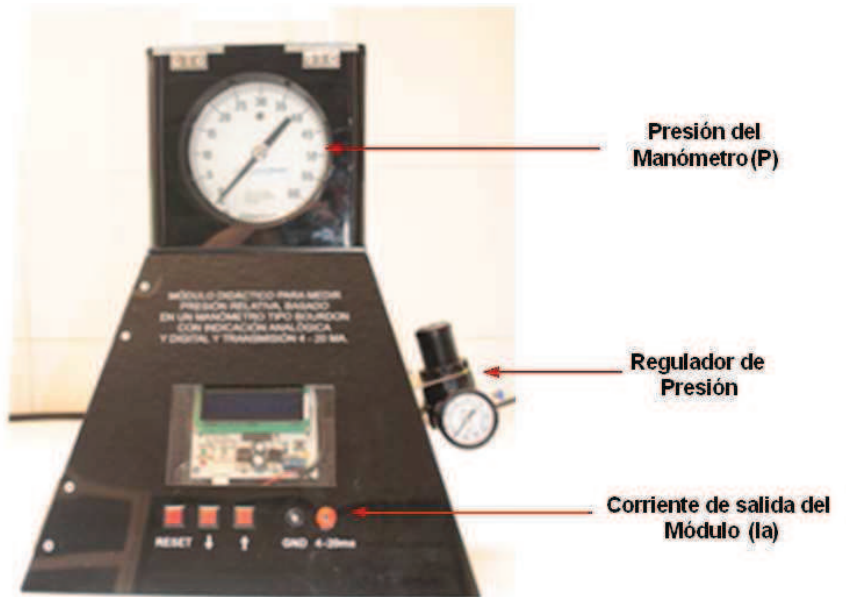


- g. Realizar un preload en el manómetro. Inyectar presión al manómetro a través de la válvula de regulación hasta los 60 psi y al llegar a los

60psi cerrar el suministro de presión, realizar este procedimiento como mínimo tres veces. Abrir nuevamente la válvula de regulación y aumentar de 20 psi en 20 psi hasta llegar a los 60psi, hacerlo también en descenso. Esto se hace para garantizar el correcto funcionamiento del manómetro y el libre desplazamiento de la aguja indicadora.



- h. Colocar el manómetro en 0psi, un amperímetro (escala de 20mA) en la salida de 4 a 20mA y observar que en la pantalla de indicación del modulo los valores mostrados sean: Pulsos=0, Corriente= 4mA y la presión=0psi; en caso de que no sea así llevar el manómetro a cero dando unos leves golpecitos a este y resetear el sistema para que las condiciones iniciales sean las ideales para el correcto funcionamiento del modulo.
- i. Teniendo las condiciones iniciales listas, incremente la presión de un psi en un psi por medio de la válvula de regulación y tabule los datos, al llegar a 60 psi; hacer lo mismo que se hizo anteriormente pero decrementando de 1 psi en 1 psi, los datos a tabular son:
  - Presión mostrada en el manómetro
  - Presión registrada por el modulo
  - Corriente del amperímetro en la salida de 4 a 20mA
  - Corriente mostrada en el modulo



- j. Realizar el procedimiento anterior como mínimo 4 veces.
- k. Cerrar la válvula de regulación de presión (asegurándola) hasta llevar el manómetro a cero, cerrar la válvula de la línea de presión principal y desenergizar el modulo.

Tabla de toma de datos

Toma de datos en Ascenso					Toma de datos en descenso				
P(psi)	Ia(mA)	Im(mA)	Pm(psi)	Pulsos	P(psi)	Ia(mA)	Im(mA)	Pm(psi)	Pulsos
0					60				
1					59				

2					58				
3					57				
4					56				
5					55				
6					54				
7					53				
8					52				
9					51				
10					50				
11					49				
12					48				
13					47				
14					46				
15					45				
16					44				
17					43				
18					42				
19					41				
20					40				
21					39				
21					38				
22					37				
23					36				
24					35				
25					34				
26					33				
27					32				
28					31				
29					30				
30					29				
31					28				
32					27				
33					26				
34					25				
35					24				
36					23				
37					22				
38					21				
39					21				
40					20				



41					19				
42					18				
43					17				
44					16				
45					15				
46					14				
47					13				
48					12				
49					11				
50					10				
51					9				
52					8				
53					7				
54					6				
55					5				
56					4				
57					3				
58					2				
59					1				
60					0				

- **Resultados.**

- Analizar los valores obtenidos y hallar los porcentajes de error tanto para la presión como para la corriente, tomando como valor real de presión la que muestra el manómetro y como valor real de corriente la que se mide con el Amperímetro en la salida de 4 a 20mA
- Realizar las graficas de Presión en el manómetro vs Corriente de salida, Presión del manómetro vs Corriente indicada en el modulo, Presión en el manómetro vs Presión indicada en el modulo, y analizar en ascenso y descenso de presión.
- Evaluar Repetibilidad, histéresis y linealidad del transmisor.
- Conclusiones

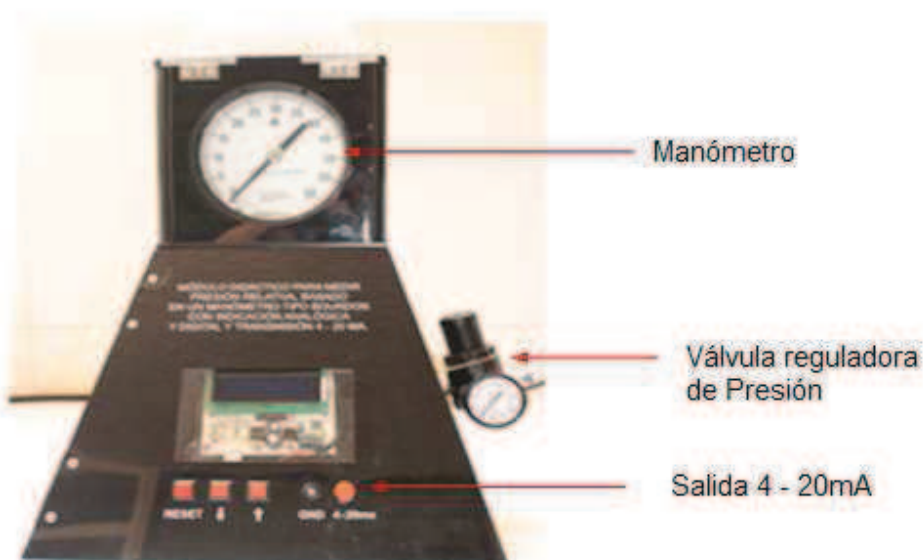
## **ANEXO J. Manual de Usuario**

## Manual de Usuario

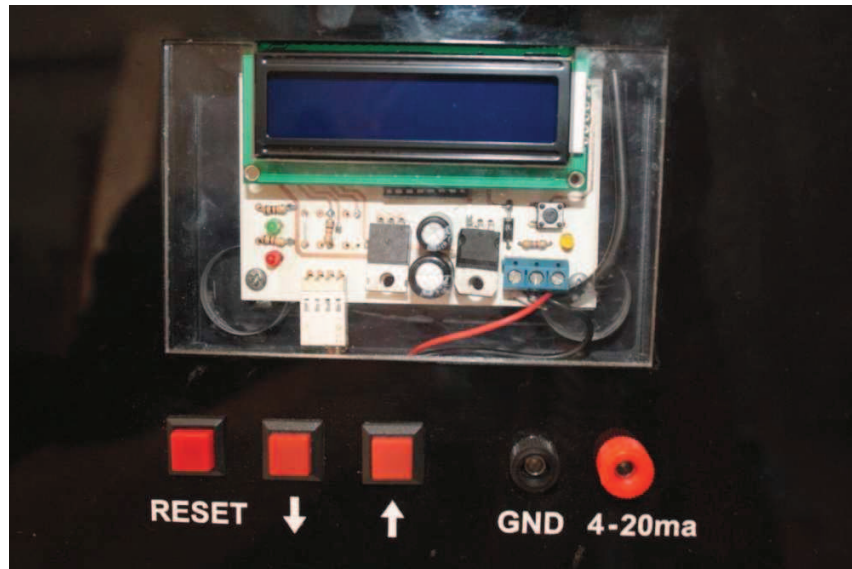
### Instalación del Módulo:

El Módulo didáctico debe ser cuidadosamente instalado, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Revisar que la válvula reguladora de presión (SR-200, ver Anexo H) se encuentre cerrada. La fuente de suministro de presión debe permanecer cerrada.
2. Conectar la válvula reguladora a la fuente de suministro de presión.
3. Conectar el modulo a la fuente de suministro de energía (AC 110V).



4. Instalado el módulo y antes de manipularlo, verifique que la aguja del manómetro se encuentra indicando 0psi. De no ser así, lleve la aguja del manómetro a 0psi dándole unos leves golpes a la cara frontal del mismo.
5. Verifique que las variables mostradas en el LCD del módulo sean correctas, es decir, la corriente ( $I_m$ ) igual a 4mA, el número de pulsos igual a 0 y el valor de presión igual a 0psi.



De no ser así, oprima el botón RESET para inicializar las variables en los valores correspondientes.

6. Verifique nuevamente los 5 pasos anteriores. Estando todo en orden, puede abrir la fuente de suministro de presión y comenzar a manipular el Módulo.

**Nota:** Debe tener mucho cuidado de no sobrepresionar el módulo, este maneja una escala máxima de 60psi y no debe ser superado este valor de presión ya que podría ocasionar graves daños al manómetro.

### **Desinstalación del Módulo:**

Para desinstalar el módulo correctamente se deben seguir los siguientes pasos:

1. Cerrar la fuente de suministro de presión.
2. Cerrar y asegurar la válvula reguladora de presión (SR-200), y desconectar esta de la fuente de suministro principal.
3. Desenergizar el Módulo.

**Notas importantes:**

- Para realizar mantenimiento al módulo es necesario que esté desenergizado y desconectado de la fuente de presión para así evitar riesgos.
- El manómetro instalado en el módulo debe ser revisado anualmente para verificar su correcto funcionamiento.
- A la hora de sacar el manómetro del módulo debe tener mucho cuidado en su manipulación ya que el encoder se encuentra acoplado al eje de la aguja. Una manipulación indebida podría ocasionar errores en la Precisión y Exactitud del instrumento.