



TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

FREDDY ALBERTO VEGA REYES

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2009

TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

FREDDY ALBERTO VEGA REYES

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

Director:

EDGAR BARRIOS URUEÑA

Ing. MSc, Ingeniería Eléctrica

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2009

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga 23 de Marzo de 2009

A Dios por nacer y ser una gran persona,
A mi Padre por educarme como una persona digna y
con principios morales para ser un buen ingeniero,
A mi madre, por sus oraciones y su apoyo,
A mi familia, por la motivación que siempre me brindaron,
Y a mis amigos, por su aporte técnico y emocional,
A todos gracias por estar siempre en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Freddy Vega Devia (Mi Padre), Instrumentista de Ecopetrol. Por ser un gran padre quien me brindo todos sus conocimientos, opiniones y motivación con el fin de educarme con el perfil de ser un excelente profesional. Gracias a sus contactos y aporte económico se logro construir un módulo con instrumentos de última tecnología.

Edgar Barrios Urueña, Profesor de Ingeniería Electrónica. Por ser un buen director en el que se pudo encontrar los consejos, sugerencias y recomendaciones para hacer de este proyecto un diseño de alta calidad.

Juan Carlos Mantilla, Ingeniero Electrónico. Por su orientación y amplio conocimiento del tema en busca de un proyecto práctico con instrumentación industrial al servicio de los estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Fabio Alonso Guzmán Serna, Ingeniero Electrónico especialista en telecomunicaciones. Por su gran aporte en el diseño electrónico en donde se recomendó los mejores dispositivos y se desarrollaron los circuitos necesarios para todas las etapas del transmisor.

Omar Pinzón Ardila, Ingeniero Electrónico. Por sus consejos y recomendaciones en la etapa de potencia del módulo, y los cálculos necesarios para determinar los límites de operación de los dispositivos.

A todos los profesores que durante el desarrollo de la carrera fueron el pilar de conocimiento para ser de nosotros unos excelentes ingenieros.

A todos mis amigos por estar siempre presente en los momentos que más se necesitaban dándome su apoyo incondicional y buenos consejos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1. OBJETIVOS.....	19
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. PRESIÓN.....	20
2.1.1. Introducción a la presión.....	20
2.1.2. Historia de las mediciones de presión.....	20
2.1.3. Fundamentos y características de la presión.....	21
2.1.4. Unidades.....	23
2.1.5. Aplicaciones.....	23
2.2. SENSOR.....	24
2.2.1. Introducción al sensor.....	24
2.2.2. Definición.....	25
2.2.3. Características de un sensor.....	25
2.2.4. Tipos de sensores.....	26
2.3. MANÓMETRO, MEDIDOR DE PRESIÓN.....	26
2.3.1. COMPONENTES DE UN MANÓMETRO.....	27
2.3.1.1. Conexión.....	27
2.3.1.2. Elementos sensores.....	28
2.3.1.2.1. Tubo de Bourdon.....	29
2.3.1.2.2. Elemento tipo capsula.....	30
2.3.1.2.3. Elemento tipo hélice.....	31
2.3.1.2.4. Elemento en espiral.....	31
2.3.1.3. Mecanismo amplificador o movimiento.....	32
2.3.1.4. Dial o caratula.....	33
2.3.1.5. Visor.....	34
2.3.1.6. Cajas.....	34
2.3.2. RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR UN MANÓMETRO.....	35
2.3.2.1. Instalación de un manómetro.....	35
2.3.2.2. Posición.....	35
2.3.2.3. Vibración.....	35
2.3.2.4. Presiones pulsantes.....	36
2.3.2.5. Fluidos especiales.....	36
2.3.2.6. Conexiones.....	36
2.3.2.7. Montaje.....	37

2.3.2.8.	Tipo de tubería.....	37
2.3.2.9.	Riesgos de explosión.....	37
2.3.2.10.	Altas temperaturas.....	37
2.3.3.	CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS.....	38
2.3.3.1.	Conceptos de calibración.....	38
2.3.3.2.	Inspección de precisión.....	39
2.3.3.3.	Método.....	39
2.3.3.4.	Carta de calibración.....	40
2.3.3.5.	Cero.....	40
2.3.3.6.	Span.....	40
2.3.3.7.	Linealidad.....	41
2.3.3.8.	Histéresis.....	41
2.4.	TRANSDUCTOR.....	42
2.4.1.	Elementos electromecánicos de presión.....	42
2.4.2.	Transductores resistivos.....	42
2.4.3.	Transductores capacitivos.....	43
2.4.4.	Galgas extensométricas.....	44
2.4.5.	Transductores piezoeléctricos.....	46
2.4.6.	Puente de Wheatstone.....	46
2.5.	TRANSMISORES.....	48
2.5.1.	Transmisores neumáticos.....	48
2.5.1.1.	Transmisores de equilibrio de movimiento.....	49
2.5.2.	Transmisores electrónicos.....	50
2.5.2.1.	Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerza.....	50
2.5.2.2.	Transmisores digitales.....	50
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	53
3.1.	VISITAS TÉCNICAS.....	53
3.1.1.	INFORME TÉCNICO #1.....	53
3.1.2.	INFORME TÉCNICO #2.....	58
3.1.3.	INFORME TÉCNICO #3.....	64
3.1.4.	INFORME TÉCNICO #4.....	67
3.2.	DISEÑO DEL MÓDULO DE PRESIÓN DIFERENCIAL FAVR M1.....	70
3.2.1.	COMPRESOR.....	71
3.2.1.1.	Instrucciones de seguridad.....	73
3.2.1.2.	Problemas, causas y soluciones.....	74
3.2.1.3.	Lista de partes.....	76
3.2.1.4.	Dibujo de partes.....	76
3.2.2.	ACUMULADOR DE AIRE.....	77
3.2.3.	MANÓMETRO G3.....	78
3.2.3.1.	Especificaciones del manómetro G3.....	79
3.2.4.	REGULADOR R1.....	79
3.2.4.1.	Especificaciones del regulador R1.....	80
3.2.4.2.	Instalación.....	81
3.2.4.3.	Protección contra sobrepresión.....	81

3.2.4.4.	Arranque.....	82
3.2.4.5.	Ajuste.....	82
3.2.4.6.	Lista de piezas.....	82
3.2.4.7.	Dibujo de partes.....	83
3.2.5.	MANÓMETRO G1.....	84
3.2.5.1.	Especificaciones del manómetro G1.....	85
3.2.6.	REGULADOR R2.....	85
3.2.6.1.	Especificaciones del regulador R1.....	86
3.2.7.	MANÓMETRO G2.....	87
3.2.7.1.	Especificaciones del manómetro G2.....	88
3.2.7.2.	Recomendaciones.....	89
3.2.7.3.	Mantenimiento.....	90
3.2.8.	FLUJOMETRO.....	90
3.2.8.1.	Especificaciones del flujómetro.....	91
3.2.8.2.	Calibración.....	92
3.2.9.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	92
3.2.9.1.	Especificaciones del fuente.....	93
3.2.9.2.	Cables de conexión de la fuente.....	93
3.2.10.	Montaje del módulo FAVR M1.....	94
3.2.10.1.	Alimentación de aire comprimido.....	94
3.2.10.2.	Sistema de presión.....	98
3.2.10.3.	Módulo FAVR S1.....	101
3.2.10.4.	Módulo FAVR T1.....	102
3.2.10.5.	Puntos de voltaje.....	103
3.2.10.6.	Cables de conexión para los módulos.....	104
3.2.10.7.	Montaje de la fuente.....	105
3.2.10.8.	Etiquetas.....	106
3.2.10.9.	Montaje del panel principal.....	107
3.3.	Diseño de transmisor de presión diferencial.....	109
3.3.1.	SENSOR DE PRESIÓN.....	110
3.3.1.1.	Descripción.....	110
3.3.1.2.	Características del MPX2100DP.....	110
3.3.1.3.	Aplicaciones del MPX2100DP.....	111
3.3.1.4.	Rangos máximos de operación.....	112
3.3.1.5.	Características de trabajo.....	112
3.3.1.6.	Calibración y compensación de temperatura del chip.....	114
3.3.1.7.	Presión P1 y P2.....	115
3.3.2.	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	116
3.3.2.1.	Características del AD620.....	116
3.3.2.2.	Aplicaciones del AD620.....	118
3.3.2.3.	Especificaciones máximas de operación.....	118
3.3.2.4.	Voltaje de alimentación del AD620.....	118
3.3.2.5.	Calculo de ganancia.....	119
3.3.2.6.	Error de offset.....	119

3.3.2.7.	Ruido.....	120
3.3.3.	TRANSMISIÓN.....	120
3.3.3.1.	Descripción.....	120
3.3.3.2.	Características del XTR110KP.....	121
3.3.3.3.	Aplicaciones del XTR110KP.....	121
3.3.3.4.	Especificaciones máximas de operación.....	122
3.3.3.5.	Configuración de pines.....	122
3.3.3.6.	Transistor externo.....	123
3.3.3.7.	Circuito básico de conexión 4 a 20mA.....	123
3.3.3.8.	Ajuste de offset (cero).....	124
3.3.3.9.	Ajuste de span.....	125
3.3.3.10.	Voltaje de alimentación (+Vcc).....	125
3.3.4.	DISEÑO Y MONTAJE DE CIRCUITOS.....	126
3.3.4.1.	Circuito sensor – acondicionamiento de señal.....	126
3.3.4.2.	Circuito de transmisión.....	128
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	131
4.1.	PRUEBAS EN PROTOBOARD.....	131
4.1.1.	Sensor y amplificador de instrumentación.....	131
4.1.2.	Transmisión.....	134
4.2.	PRUEBAS DE MONTAJE.....	132
4.3.	PRUEBAS NEUMÁTICAS.....	135
4.3.1.	Compresor y acumulador de aire.....	135
4.3.2.	Sistemas de presión.....	136
4.4.	PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL.....	137
5.	EXPERIENCIA 1.....	138
5.1.	Objetivos.....	138
5.2.	Práctica 1: Familiarización del módulo FAVR M1.....	140
5.3.	Práctica 2: Familiarización y recomendaciones iniciales.....	141
5.4.	Práctica 3: Calibración del sensor – transmisor de presión diferencial.....	142
5.5.	Práctica 4: Estudio de histéresis del sensor – transmisor de presión diferencial.....	143
5.6.	Práctica 5: Obtención de la constante de tiempo del acumulador.....	144
6.	CONCLUSIONES.....	148
7.	RECOMENDACIONES.....	150
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	151
9.	ANEXOS.....	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de presión.....	22
Figura 2. Principio de funcionamiento de un manómetro	26
Figura 3. Partes de un manómetro	27
Figura 4. Conexión Vertical.....	28
Figura 5. Conexión Trasera	28
Figura 6. Tubo Bourdon.....	29
Figura 7. Elemento tipo cápsula	30
Figura 8. Elemento tipo hélice	31
Figura 9. Elemento en espiral.....	31
Figura 10. Transductor Resistivo	43
Figura 11. Transductor Capacitivo	44
Figura 12. Galga cementada y galga sin cementar	45
Figura 13. Puente de Wheatstone para galgas extensométricas	45
Figura 14. Transductor Piezoeléctrico	46
Figura 15. Disposición del Puente de Wheatstone	47
Figura 16. Sistema Tobera-Obturador.....	49
Figura 17. Transmisor de equilibrio de movimientos.....	49
Figura 18. Elementos de un transmisor electrónico	51
Figura 19. Transmisores Inteligentes	52
Figura 20. Manómetros Bourdon Haenni	56

Figura 21. Sensores y transmisores de presión Bourdon Haenni	57
Figura 22. Características Técnicas Sensores y transmisores de presión Bourdon Haenni. 57	
Figura 23. Ensayo y calibración Bourdon Haenni.....	58
Figura 24. Transmisor Digital de Presión Diferencial XYR 5000 Diferencial.....	61
Figura 25. Tarjeta del XYR 5000 Diferencial	61
Figura 26. Tarjeta de alimentación del XYR 5000 Diferencial.....	61
Figura 27. Sensor y Tarjeta de Acondicionamiento de señal del XYR 5000 Diferencial	62
Figura 28. Diafragma del XYR 5000 Diferencial	62
Figura 29. Desarmando el XYR 5000 Diferencial	62
Figura 30. Principio Tubo de Bourdon en un Manómetro	63
Figura 31. Peso Muerto	63
Figura 32. Manómetro de Patronamiento	63
Figura 33. Sensor Galga Extensométricas	66
Figura 34. Sensor de Presión Diferencial	66
Figura 35. Transmisor Deltabar S PMD70	66
Figura 36. Sensor Capacitivo Parte Interna.....	67
Figura 37. Transmisor de Presión PMC131.....	67
Figura 38. Manómetro 1220.....	69
Figura 39. Manómetro Diferencial F5503.....	70
Figura 40. Esquema del módulo FAVR M1	71
Figura 41. Compresor Evans	72
Figura 42. Cable Conector.....	73
Figura 43. Dibujo de partes del compresor.....	77
Figura 44. Acumulador de Aire.....	77

Figura 45. Manómetro (G3) Royal Gauge de 100 psi	78
Figura 46. Regulador (R1) 97CFR Fisher	80
Figura 47. Dibujo de partes del 97CFR	83
Figura 48. Dimensiones e instalación del separador.....	84
Figura 49. Manómetro (G1) Royal Gauge de 100 psi	84
Figura 50. Regulador de aire XR4	86
Figura 51. Manómetro G2 de Bourdon Haenni 60 psi.....	87
Figura 52. Flujometro RMB	91
Figura 53. Fuente de alimentación.....	92
Figura 54. Válvula de ajuste externa de aire del compresor	94
Figura 55. Conector de ¼" Hembra-Macho	95
Figura 56. Montaje conexión compresor - acumulador de aire.....	96
Figura 57. Válvula de escape de residuos.....	96
Figura 58. Conexión acumulador - sistema de presión.....	96
Figura 59. Acumulador de aire en el módulo FAVR M1	97
Figura 60. Montaje Regulador 1	98
Figura 61. Montaje punto de Presion1	99
Figura 62. Montaje regulador 2	99
Figura 63. Montaje Punto de Presión 2.....	100
Figura 64. Montaje Flujometro.....	100
Figura 65. Soportes.....	101
Figura 66. Sistema de presión.....	101
Figura 67. Módulo FAVR S1	102
Figura 68. Módulo FAVR T1 internamente	103

Figura 69. Módulo FAVR T1	103
Figura 70. Puntos de voltaje	104
Figura 71. Conector Din 5-pines	104
Figura 72. Cable utp con conectores Din 5-pines	105
Figura 73. Montaje fuente de alimentación	106
Figura 74 Parte frontal del panel.	108
Figura 75. Parte Trasera del panel.	108
Figura 76. Parte Lateral del panel.....	108
Figura 77. Sensor de presión diferencial MPX2100DP.....	110
Figura 78. Diagrama de pines del MPX2100DP	111
Figura 79. Salida vs diferencial de presión	115
Figura 80. Diagrama de la sección de cruce	115
Figura 81. Dimensiones de Empaquetado.....	116
Figura 82. Diagrama de conexiones del AD620.....	117
Figura 83. Dimensiones del AD620	117
Figura 84. Estructura interna del circuito.....	121
Figura 85. Configuración de pines XTR110KP	123
Figura 86. Circuito Básico 4 a 20 mA	124
Figura 87. Ajuste de Offset y Span para una entrada 0v a +10V, salida 4mA a 20mA.....	124
Figura 88. Gráfica para el ajuste del cero y span	125
Figura 89. Gráfica de Carga vs Vcc.....	126
Figura 90. Conexiones entre AD620 y MPX2100D	127
Figura 91. Circuito en Eagle del módulo FAVR S1.....	127
Figura 92. Tarjeta del módulo FAVR S1	128

Figura 93. Circuito en Eagle de transmisión para el módulo FAVR T1	129
Figura 94. Tarjeta del circuito de transmisión.....	130
Figura 95. Gráfica Señal de Entrada (psi) Vs Voltaje de salida (mV)	132
Figura 96. Indicación (G3) de presión en el acumulador de aire	135
Figura 97. Presión a la salida del regulador R1	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro Unidades de Presión.....	23
Tabla 2. Ficha Técnica del Compresor	72
Tabla 3. Problemas, causas y soluciones.....	74
Tabla 4. Lista de partes del compresor.....	76
Tabla 5. Especificaciones del Manómetro 3	79
Tabla 6. Especificaciones del regulador 1	80
Tabla 7. Lista de piezas del regulador 67CFR.....	82
Tabla 8. Especificaciones del manómetro G1	85
Tabla 9. Especificaciones del regulador 1	86
Tabla 10. Especificaciones del manómetro G2	88
Tabla 11. Precauciones al uso de un manómetro	89
Tabla 12. Especificaciones del flujómetro RMB	91
Tabla 13. Especificaciones Fuente de alimentación.....	93
Tabla 14. Identificación cables de la fuente de alimentación.....	93
Tabla 15. Identificación de conexiones entre cable utp y conectores Din 5-pines	105
Tabla 16. Letras de Identificación del Módulo FAVR M1	106
Tabla 17. Rangos máximos del MPX2100D	112
Tabla 18. Características de trabajo del MPX2100D.....	112
Tabla 19. Especificaciones máximas de operación del AD620.....	118
Tabla 20. Especificaciones máximas de operación	122
Tabla 21. Identificación de los cables en el circuito del módulo FAVR S1	128
Tabla 22. Identificación de cables para el módulo FAVR T1	129

Tabla 23. Puntos de conexión entre transistor IRF9510 y el XTR110	130
Tabla 24. Señal de presión diferencial de entrada y Voltaje de salida del sensor.....	132
Tabla 25. Resultados a la salida del AD620 simulando con un divisor.....	133
Tabla 26. Resultados finales entre MPX2100DP y AD620	133
Tabla 27. Resultados prueba del circuito transmisor XTR110	134
Tabla 28. Presión Diferencia con respecto a P1 y P2	137
Tabla 29. Pruebas del Transmisor de presión diferencial	138
Tabla 30. Presión Diferencia con respecto a P1 y P2	142
Tabla 31. Presión Vs Corriente ascendente	144
Tabla 32. Presión Vs Corriente descendente	145
Tabla 33. Presión Vs Tiempo de carga.....	146

GLOSARIO

PASCAL: En el sistema internacional de medidas (SI), es la unidad oficial de medida y se simboliza como **Pa**.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton/ } 1 \text{ m}^2$$

AISI 316L: Corresponde a una denominación, según la norma ANSI que es de origen Americano. Para el acero inoxidable de alta pureza, lo que quiere decir es que tiene un bajo contenido de carbono, y es equivalente a la denominación 1.44404 de la norma Europea.

PRECISIÓN: La precisión corresponde al error máximo permitido expresado en porcentaje del intervalo de medida P.

CLASE DE PRECISIÓN: La clase de precisión del aparato está definida convencionalmente por el mayor valor del error máximo tolerado sobre el rango de la medida especificada.

PRUEBA DE OXIGENO: Es la prueba que se le hace al manómetro que garantiza que puede ser utilizado en un circuito de oxígeno sin que exista riesgo de una explosión.

PRESIÓN PULSANTE: Se denomina presión pulsante a los cambios bruscos, rápidos y repetidos de la presión, lo que conlleva a fuertes movimientos que ocasionan grandes daños a los instrumentos.

AGUJA MICROMÉTRICA: Tipo de aguja que se caracteriza por tener un tornillo o hendidura que permite realizar el ajuste de cero del manómetro sin necesidad de manipular las partes internas de este.

NPT: Tipo de rosca en la conexión del manómetro que sigue las especificaciones de la norma americana estándar ANSI B2.1.

EUGENE BOURDON: Ingeniero Francés que en junio de 1849 patentó un elemento medidor de presiones, el cual todavía se conoce con el nombre de tubo Bourdon.

CONEXIÓN HORIZONTAL: En un manómetro es la misma conexión trasera.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

AUTOR(ES): FREDDY ALBERTO VEGA REYES

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): EDGAR BARRIOS URUEÑA

RESUMEN

En el proceso de investigación del proyecto se realizó unas visitas técnicas a empresas distribuidoras de instrumentos industriales en donde se conoció sobre sensores, medidores y transmisores de presión. Toda esta información fue la base para el diseño de un módulo de presión con un sistema neumático compuesto por un compresor, un acumulador de aire, reguladores, manómetros, tuberías y conectores. También incluye un transmisor de presión diferencial que tiene un sensor acoplado por un amplificador de instrumentación a un conversor de voltaje a corriente; de esta manera se logra convertir una señal de presión diferencial de 0-14.5psi a una señal de corriente de 4 a 20mA. Se planteo una experiencia con cinco prácticas de laboratorio en donde el estudiante se familiariza con el módulo y logra adquirir un conocimiento sobre instrumentos industriales.

PALABRAS CLAVES: Presión, Sensor, Transmisor, Calibración, Neumático, Corriente

GENERAL OVERVIEW OF PROJECT

TITLE: DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSMITTER

AUTOR(S): FREDDY ALBERTO VEGA REYES

FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: EDGAR BARRIOS URUEÑA

ABSTRACT

In the process of project research was conducted technical visits to distribution companies in industrial instruments which met on sensors, gauges and pressure transmitters. All this information was the basis for designing a module with a pneumatic pressure comprises a compressor, an air tank, regulator, gauges, pipes and connectors. It also includes a differential pressure transmitter that has a sensor coupled to an instrumentation amplifier, a voltage to current converter; this will convert a differential pressure signal from 0 to 14.5psi signal flow 4 to 20mA. It was an experience of raising five laboratory practices where the student becomes familiar with the module and succeeds in acquiring knowledge of industrial instruments.

KEY WORDS: Pressure, Sensor, Transmitter, Calibration, Pneumatic, Current

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las industrias en Colombia tienden a buscar la automatización de sus instalaciones con el fin de obtener de la producción un proceso eficiente y de alta calidad. Desafortunadamente los costos que implican agregar nueva tecnología a medianas y pequeñas industrias es muy alto por lo que se busca la manera de ofrecer soluciones de ingeniería que resulten viables para el desarrollo de nuestro país.

En unas visitas técnicas a empresas que manejan equipos industriales para la medición, control y transmisión de sistemas de presión se observó que el avance en el sensado de variables físicas es un proceso en el que se están presentando cambios permanentes debido a la evolución de la electrónica en su afán de proponer dispositivos de alta precisión y fiabilidad.

Se ve la necesidad de tener en el mercado nacional la oferta de elementos de instrumentación de bajo costo que permitan la automatización en forma masiva de la industria nacional. En el mercado local se consigue elementos de instrumentación y automatización pero son de elevado costo lo que limita su aplicación a unas pocas industrias que pueden pagar los elevados costos de la automatización.

En este proyecto se desarrolló un módulo de pruebas con un transmisor de presión diferencial hecho con dispositivos económicos y de fácil consecución en el mercado nacional. El módulo desarrollado facilita al estudiante adquirir conocimientos en uno de los procesos industriales más comunes en las empresas del país. El módulo se compone de un sistema de alimentación de aire comprimido con acumulador, un sistema de regulación e indicación y un sistema de sensado y transmisión.

Con el módulo se puede analizar y entender diversas aplicaciones que aparecen en un sistema de control de presión y se da un paso a desarrollar nuevos dispositivos de aplicación en la automatización de la industria en Colombia.

Se propone, también, prácticas de laboratorio que tienen como objetivo enseñar los dispositivos más usados en un proceso industrial de presión y que el estudiante pueda conocer la instrumentación desde un punto de vista práctico didáctico.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

- ❖ Diseñar e implementar un banco de pruebas con un transmisor de presión diferencial con salida de 4 a 20mA con elementos de bajo costo y de fácil adquisición en el mercado industrial.

1.2. Objetivos Específicos

- ❖ Estudiar los diferentes tipos de sensores y medidores de presión, sus elementos de construcción, sus características de funcionamiento y sus métodos de calibración.
- ❖ Seleccionar y adquirir un sensor de presión diferencial de fácil adquisición en el país con las características estándares para ser utilizado en los módulos de presión del Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería Electrónica.
- ❖ Estudiar los transmisores electrónicos de presión con salida 4-20mA.
- ❖ Diseñar y construir un transmisor para ser acoplado al sensor de presión seleccionado previamente.
- ❖ Construir un módulo de pruebas para la caracterización de sensores de presión diferencial para un rango de 0-30 psi.
- ❖ Probar el transmisor construido.
- ❖ Desarrollo de práctica de laboratorio para conocimiento y aplicación del módulo de pruebas y transmisor.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PRESIÓN

2.1.1. Introducción a la presión

La medida de las presiones se ha convertido en una operación corriente e indispensable en la industria, debido a la multiplicidad de instalaciones en las que se utilizan los más diversos fluidos y procesos de transformación. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando, esta, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden causar la destrucción del instrumento, sino también pueden causar la destrucción de otro equipo adyacente y ponen al personal en condiciones peligrosas, principalmente cuando se trata de fluidos inflamables o corrosivos. Las mediciones precisas son una necesidad para asegurar el funcionamiento normal de una instalación por razones de seguridad industrial.

La presión se define como la fuerza por unidad de área; para la mayoría de los casos, se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza conocida, que puede ser la de una columna líquida un resorte, un embolo cargado con un peso ó, un diagrama cargado con un resorte ó, cualquier otro elemento que pueda sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica presión.

2.1.2. Historia de las mediciones de presión

En 1643 Evangelista Torricelli y su amigo Viviani experimentaron con mercurio y la presión atmosférica. Ellos sellaron un tubo de vidrio en un extremo y lo llenaron con mercurio. Al Invertir el tubo dentro de un vaso, también lleno de mercurio, causaba que la altura de la columna de mercurio subiera a un nivel alrededor de 30 pulgadas sobre el nivel de mercurio en el plato, concluyendo que la atmósfera terrestre ejercía cierta fuerza sobre la columna de mercurio, y que esta fuerza cambiaba cada día.

Otros experimentos mostraron que la altura de la columna de mercurio varía con los cambios de elevación de aproximadamente una pulgada por cada 1.000 pies de altitud.

En 1640 Blaise Pascal llamó a este dispositivo el barómetro. En 1660 Robert Boyle anunció que a una determinada temperatura el producto de la presión y el volumen es constante para una determinada masa de aire. En 1738 Daniel Bernoulli convirtió la teoría del impacto de la presión del gas al punto donde la ley de Boyle podía ser deducida analíticamente. Bernoulli observó que la presión de un gas se incrementa al calentarlo sobre un volumen constante. En 1811 Amedeo Avogadro descubrió que dos volúmenes iguales de gases diferentes, en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas. Posteriormente se determinó que era $2,69 \times 10^{19}$ moléculas/cm³ a 0 ° C y 1 atmósfera.

Entre 1847 y 1859 la teoría cinética de presión del gas definió a la presión como una medida del total de energía cinética de las moléculas en un sistema cerrado.

En 1662 Robert Boyle utilizó un manómetro para la determinación exacta de la constante de presión de un fluido.

En 1849 un inventor francés llamado Eugene Bourdon recibió una patente por el tubo de Bourdon que es utilizado comúnmente en los manómetros de la actualidad. En 1874 H. McLeod desarrolló un indicador para medir con exactitud presiones absolutas muy bajas.

2.1.3. Fundamentos y características de la presión

Presión: Se define como la fuerza perpendicular que actúa sobre una determinada área, y se representa de la siguiente manera:

$$P = F/A$$

Dentro de esta definición cabe distinguir cuatro tipos de medida de presión:

Medida de presión Absoluta: Tiene como referencia el vacío absoluto, como en el caso de la presión atmosférica, y es la presión relativa aumentada en la presión atmosférica.

Medida de la presión relativa o efectiva: Tiene como referencia la presión circundante, generalmente la presión atmosférica, es una presión superior a la atmosférica y que se mide a partir de ella.

Medida de la presión diferencial: Es la diferencia entre dos presiones. La presión relativa y la de vacío son de hecho la diferencia entre dos presiones puesto que es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica, pero el término se aplica generalmente para designar la diferencia entre dos presiones relativas.

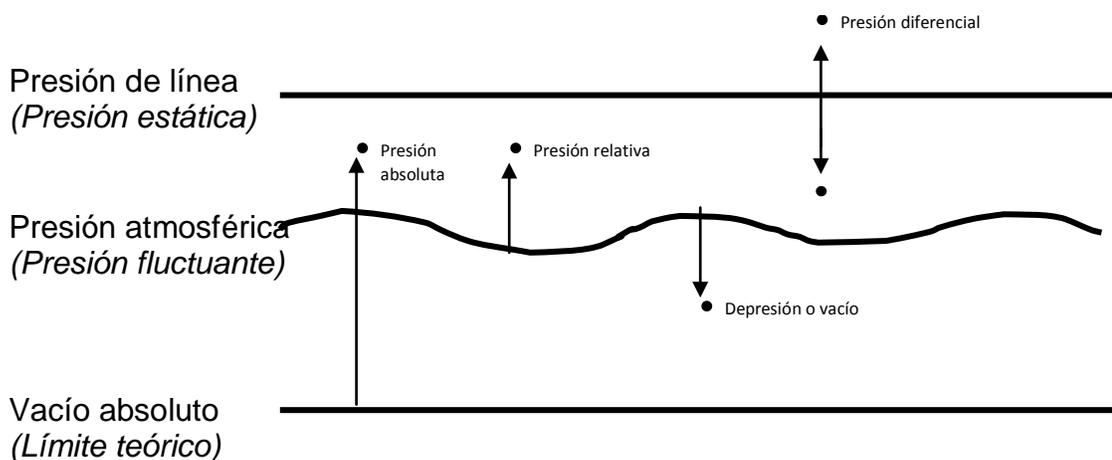
Medida de la presión de vacío: Tiene como referencia la presión circundante, generalmente la presión atmosférica, y es una presión inferior a ella.

También es posible diferenciar la medida de presiones en función de su evolución con el tiempo:

Las presiones estáticas o cuasi estáticas son de variación lenta como la presión atmosférica, medida de niveles y ciertas presiones en los procesos industriales (petroquímica, alimenticia y papelera).

Las presiones dinámicas pueden ser aleatorias o cíclicas como la presión en una cureña de un cañón (balística), presión en un molde de inyección de plástico o en un cilindro de motor de combustión.

Figura 1. Tipos de presión



Fuente: El autor del proyecto.

2.1.4. Unidades

La presión puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el sistema internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las conferencias generales de pesas y medidas. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1N/m^2), siendo newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg le comunica una aceleración de 1 m/s^2 . Como pascal es una unidad muy pequeña se emplea también el kilopascal ($1\text{kPa}=10^3\text{ Pa}$), el megapascal ($1\text{MPa}=10^6\text{ Pa}$) y el gigapascal ($1\text{GPa}=10^9\text{ Pa}$).

Tabla 1. Cuadro Unidades de Presión

	Psi	Pulgada c. de agua	Pul- gada c. de Hg	Atmósfera	kg/cm ²	cm c. de a.	mm c. de Hg	Bar	Pa
Psi	1	27,68	2,036	0,0680	0,0703	70,31	51,72	0,0689	7142
Pulgada c. de a.	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,540	1,868	0,0024	256,4
Pulgada c. de Hg	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0333	3448
Atmósfera	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1033	760	1,0131	$1,01 \times 10^5$
kg/cm ²	14,22	393,7	28,96	0,9678	1	1000	735,6	0,98	98100
cm c. de a.	0,0142	0,3937	0,0289	0,00096	0,0010	1	0,7355	0,0009	100
mm c. de Hg	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	0,0013	1	0,00133	133
Bar	14,5	408	29,99	0,987	1,02	1024	750	1	10^5
Pa	0,00014	0,0039	0,00029	$0,987 \times 10^{-5}$	$0,102 \times 10^{-4}$	0,01	0,0075	10^{-5}	1

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 03/10/2008

2.1.5. Aplicaciones

El principio de pascal es una aplicación importante en los frenos hidráulicos de los automóviles. La presión que se ejerce sobre el pedal del freno se transmite a través de todo el líquido a los pistones los cuales actúan sobre los discos de frenado en cada rueda multiplicando la fuerza que ejercemos con los pies.

La refrigeración se basa en la aplicación alternativa de presión elevada y baja, haciendo circular un fluido en los momentos de presión por una tubería. Cuando el fluido pasa de presión elevada a baja en el evaporador, el fluido se enfría y retira el calor de dentro del refrigerador. Como el fluido se encuentra en un ciclo cerrado, al ser comprimido por un compresor para elevar su temperatura en el condensador, que también cambia de estado a líquido a alta presión, nuevamente está listo para volverse a expandir y a retirar calor.

Las llantas de los automóviles se inflan usualmente a 30 psi. Esto se hace para que las llantas tengan elasticidad ante fuertes golpes.

2.2. SENSOR

2.2.1. Introducción al sensor

Se puede decir que el sensor representa cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Existen desde siempre: el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de variados tipos.

El hombre experimenta sensaciones como el calor o frío, lo que es blando y duro, agradable o desagradable, fuerte o flojo, pesado o ligero, y poco a poco le ha ido añadiendo calificativos a esas sensaciones para cuantificarlas como fresco, tibio, frígido, templado o caliente. Es decir, que día tras día ha habido la necesidad de magnitudes medibles más exactas.

Los sensores electrónicos no solo han ayudado a medir con exactitud todas esas magnitudes sino también ayudan a controlar esas mediciones. Pero no se puede hablar solo del sensor sin hablar del acondicionador de señal debido a que la mayoría de los sensores presentan en sus salidas una variación de señal muy pequeña y es muy importante equilibrar esas características con el resto del circuito que le permite controlar, indicar, procesar y actuar con dichas medidas.

2.2.2. Definición

Un sensor es un dispositivo que tiene la capacidad de transformar magnitudes, ya sean físicas o químicas en magnitudes electrónicas. La variable de instrumentación que se maneje depende del sistema y puede ser por ejemplo: humedad, temperatura, nivel, presión, fuerza, flujo, desplazamiento, entre otras. La tensión, resistencia, corriente y capacitancia, pueden ser las magnitudes eléctricas obtenidas.

Un sensor se diferencia de un transductor debido a que el sensor no está directamente en contacto con la variable que se está midiendo. En el mercado actual existen sensores que no solo sirven para medir, sino también mediante circuitos electrónicos manejan una señal estándar de 4-20mA, con el fin de trabajar con una señal lineal con respecto a la variable que se está manejando dentro de su rango. Como áreas de aplicación de los sensores se tiene la Instrumentación industrial, industria automotriz, industria espacial, medicina, robótica, etc.

2.2.3. Características de un sensor.

De las características técnicas de un sensor se destaca las siguientes:

- Rango de Medida: Intervalo de la magnitud medida en donde el sensor se puede aplicar.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Offset: es el valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula.
- Linealidad
- Sensibilidad: Relación entre la variación de la variable de salida con respecto a la variación de la variable de entrada.
- Rapidez de respuesta: tiempo fijo de cuanto varíe la magnitud a medir.
- Repetitividad: es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Normalmente la señal de salida de los sensores no es la adecuada para ser leída directamente y a veces tampoco para ser procesada por dispositivos electrónicos, por lo cual se desarrolla un circuito de acondicionamiento de señal como por ejemplo un amplificador, puente de wheatstone y filtros electrónicos que adaptan la señal para ser usada en el resto del circuito.

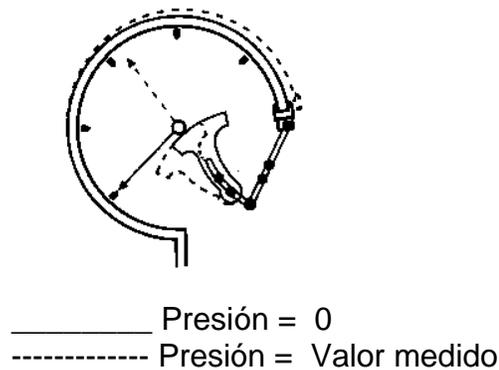
2.2.4. Tipos de Sensores

En el Anexo A se encuentran varios de los tipos de sensores que existen en el mundo industrial.

2.3. MANÓMETRO, MEDIDOR DE PRESIÓN

Es un instrumento que indica localmente el valor de la presión medida de líquidos o gases comprimidos.

Figura 2. Principio de funcionamiento de un manómetro



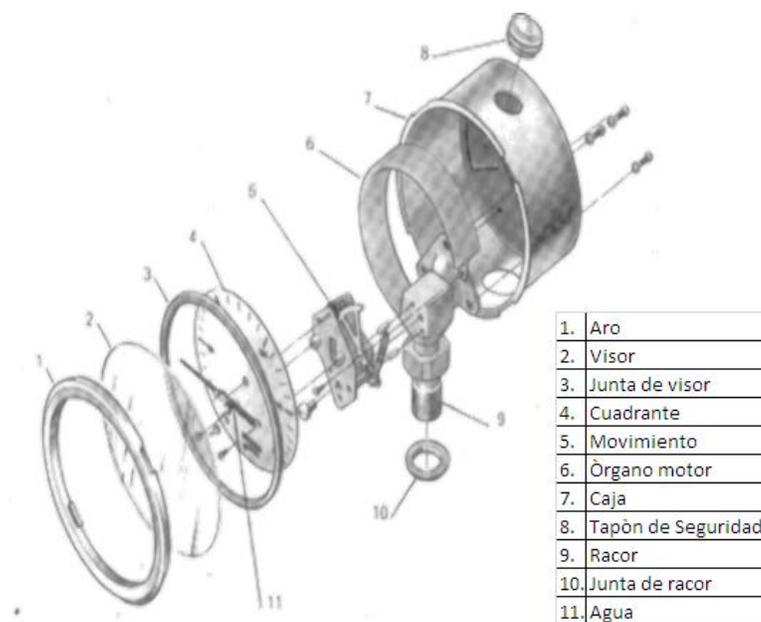
Fuente: Manual de manometría, Progen S.A.

Su principio de funcionamiento, ver figura 2, afirma que el tubo se deforma proporcionalmente a la presión del fluido contenido dentro del mismo. La presión que llega al interior del tubo de Bourdon hace que este tienda a inflarse. Dicha tendencia será mayor a medida que la presión aumente y que el tubo sea más delgado y plano. Al mismo tiempo que el tubo tiende a tomar la sección circular, también va enderezándose acercándose a su forma rectilínea original. Para que el tubo quede dentro de los límites elásticos del metal, estas deformaciones deben ser pequeñas, por lo tanto el desplazamiento del extremo del tapón es de algunos milímetros.

2.3.1. COMPONENTES DE UN MANÓMETRO

Las partes principales de las que se compone un manómetro son las que se muestran en el siguiente esquema:

Figura 3. Partes de un manómetro



Fuente: Manual de manometría, Progen S.A.

2.3.1.1. Conexión

La conexión de un manómetro tiene tres funciones principales:

- Permite la fijación del manómetro sobre la tubería o recipiente donde se quiera medir la presión.
- Comunicar la presión de la tubería o recipiente con el tubo Bourdon.
- Sirve de soporte para todo el sistema.

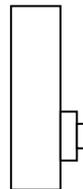
La conexión generalmente es roscada para poder fijar el manómetro, se utilizan principalmente en roscas de 1/8", 1/4" y 1/2 " NPT. En otros países, especialmente europeos y asiáticos se utilizan otros tipos de roscas y en aplicaciones especiales se utilizan bridas. La conexión puede ser lateral cuando esta sobresale del manómetro en forma vertical (figura 4) y cuando sobresale por la parte posterior del manómetro se dice que la conexión es trasera (figura 5); puede ser concéntrica si está en el centro de la caja o excéntrica si se encuentra fuera del centro de la caja.

Figura 4. Conexión Vertical



Fuente: Manual de manometría, Progen S.A.

Figura 5. Conexión Trasera



Fuente: Manual de manometría, Progen S.A.

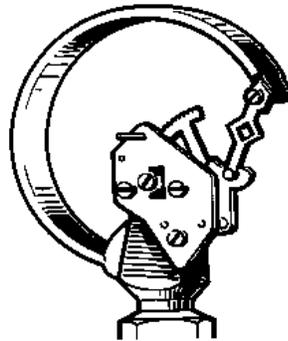
El material de fabricación de la conexión es por lo general el mismo del tubo bourdon, no solamente para facilitar el ensamble, sino para garantizar una adecuada resistencia a la corrosión que pueda producir el fluido a presión.

2.3.1.2. Elementos Sensores

Algunos de los elementos sensores que componen un manómetro metálico son los siguientes:

2.3.1.2.1. Tubo Bourdon

Figura 6. Tubo Bourdon



Fuente : Manual de manometría, Progen S.A.

El tubo Bourdon (figura 6) es un tubo metálico de sección elíptica generalmente curvado según un arco de círculo. Para altas presiones se reemplaza el tubo usual, por uno enrollado en forma de serpentín. El espesor de la pared del tubo aumenta en la medida que aumenta la presión.

El tubo Bourdon va soldado a la conexión. Esta soldadura puede ser de estaño o con plata dependiendo de los materiales a soldar y de la temperatura de trabajo del manómetro. Cuando se utilizan fluidos con temperaturas inferiores a 70°C . se puede utilizar bourdones soldados con estaño, si las temperaturas son superiores es necesario utilizar soldadura de plata. Cuando las temperaturas de operación superan los 500°C se requiere de sistemas soldados utilizando procesos TIG (Tungsten Inert Gas), como es el caso de las soldaduras de acero inoxidable.

El tubo Bourdon como elemento sensor se utiliza siempre que el fluido no sea de alta viscosidad ni de naturaleza cristalizadora o susceptible de fraguado térmico. Los materiales de fabricación de los tubos Bourdon son muy variados:

- Latón
- Bronce Fosforado
- Hierro
- Acero Inoxidable

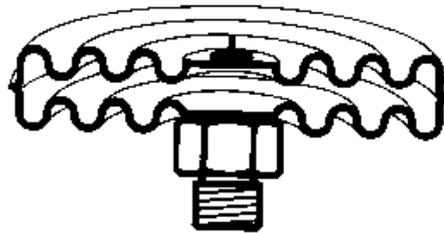
- Monel

El rango de presión donde se utiliza un manómetro con este tipo de sensor, está entre los 400 milibares y 100 bares.

Además del tubo Bourdon se pueden encontrar otros tipos de elementos sensores que son seleccionados de acuerdo a sus aplicaciones. A continuación se describen los más usados.

2.3.1.2.2. Elemento tipo cápsula

Figura 7 Elemento tipo cápsula

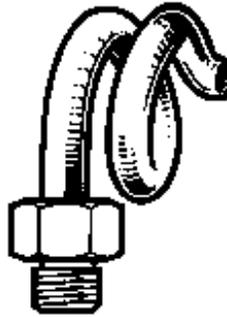


Fuente : Manual de manometría, Progen S.A.

Elemento sensible que está constituido por dos paredes finas onduladas, fijadas una a la otra por soldadura láser, ver figura 7. La cápsula formada constituye una cavidad deformable según las variaciones de la presión. El manómetro de cápsula es adecuado para la medición de presiones muy bajas (de 0 a 600 mbar aproximadamente).

2.3.1.2.3. Elemento tipo Hélice

Figura 8. Elemento tipo hélice



Fuente : Manual de manómetr

El enrollamiento de las espiras es cilíndrico, ver figura 8. Presenta las mismas características resultantes de la deformación de un tubo en espiral y ofrece una buena resistencia gracias a la distribución de las tensiones. El rango de presión en el cual el manómetro lleva este tipo de elemento sensor se encuentra entre 100 y 3000 bares aproximadamente.

2.3.1.2.4. Elemento en Espiral

Figura 9. Elemento en espiral



Fuente : Manual de manometría, Progen S.A.

Utiliza el mismo principio que el tubo Bourdon pero con una deformación cuya amplitud en el extremo libre está acentuada por enrollamiento en espiral. Este principio se utiliza en los termómetros de dilatación a gas al igual que en los manómetros para extintor y algunos manómetros patrón. Su uso en manometría se ha limitado mucho a nivel industrial por su tendencia a la descalibración ante pequeñas fluctuaciones de presión.

Existen otros elementos de medida además de los reportados en este manual, su uso es menos frecuente con aplicaciones muy específicas.

La escogencia del material del elemento sensor depende de la capacidad para resistir a la corrosión del fluido sensor.

2.3.1.3. Mecanismo Amplificador o Movimiento.

Por la influencia de la presión sobre el bourdon este se desplaza un poco y el desplazamiento es proporcional a la presión, pero es tan mínimo el cambio de la posición original que pretender obtener alguna medida es prácticamente imposible, por eso se utilizan mecanismos amplificadores que permiten convertir un desplazamiento lineal muy pequeño en un movimiento circular de la aguja, lográndose así una lectura más sencilla y confiable.

Las características fundamentales del movimiento son:

- Máxima amplificación
- Gran robustez
- Poca inercia
- Ausencia de juego
- Mínimo roce y linealidad de la curva de amplificación.

Es muy importante que exista un adecuado equilibrio de las partes del movimiento a fin de obtener el máximo de precisión.

Los materiales de fabricación más comunes de los movimientos son:

- Bronce
- Acero Inoxidable 316L
- Acetal

La utilización de cada uno de los materiales depende exclusivamente del ambiente donde trabajará el manómetro. Sin embargo, muchos fabricantes de manómetros acostumbran a utilizar el movimiento del mismo material que el tubo Bourdon, pero

otros prefieren utilizar un solo movimiento en todos sus manómetros y los fabrican de acero inoxidable.

La calibración de un manómetro se efectúa desde el movimiento ya que en él están situados los diferentes puntos posibles de calibración, tanto desde el punto de vista de la linealidad como de angularidad. Este elemento es tan importante que casi podría decirse que la precisión del manómetro reside en este conjunto de piezas.

En general se puede considerar que todos los manómetros son calibrables, pero desde el punto de vista del usuario los instrumentos que vienen dentro de una caja del tipo grafado no lo son, porque esta normalmente no se puede abrir, lo cual no permite acceder al mecanismo amplificador y así realizar los ajustes que sean necesarios.

2.3.1.4. Dial o Carátula

Es la pieza en donde va impresa la escala de lectura del manómetro, la marca del instrumento, en algunos ocasiones se coloca la clase de precisión (si se utiliza la norma europea, esto es obligatorio) y forma de instalación. Cuando se trata de un instrumento de muy buena precisión y es factible que con la temperatura se varíe la lectura, también lleva impresa la temperatura a la cual fue calibrado el manómetro.

En un dial se puede imprimir una sola escala, dos escalas de diferentes sistemas de medida, en otras se utilizan escala con corrección de temperatura. Ej: bar, PSI.

Esta parte del manómetro es una de las más visibles y por lo tanto siempre debe tener la mejor presentación y claridad posible, tanto desde el punto de vista práctico como estético.

Los diales por lo general se fabrican con lámina de aluminio para evitar, en lo posible el deterioro del mismo, su dimensión es equivalente al diámetro del manómetro y los números también son proporcionales al tamaño del dial. Por esto al aumentar el diámetro del dial aumenta el tamaño de los números, lo que conlleva a una mejor apreciación de la lectura desde un punto más lejano de referencia.

Entre más distancia exista entre el lector y el instrumento debe aconsejarse mayor tamaño del mismo. Los instrumentos patrón son generalmente de tamaños grandes, de 6" en adelante, lo cual facilita mejores divisiones de escala, permitiendo mejor la apreciación de la lectura.

2.3.1.5. Visor

Es el elemento transparente que va en la parte frontal del manómetro y permite la lectura de la presión, además protege las partes internas contra los agentes externos.

El visor se fabrica de vidrio normal, de vidrio templado y de policarbonato. En la actualidad la fabricación en vidrio normal casi no se utiliza dada su poca resistencia a golpes, los que podrían causar peligrosos accidentes.

El visor en policarbonato se usa mas en manómetros de uso general, y los de vidrio templado en los de procesos o trabajo pesado.

2.3.1.6. Cajas

Todas las partes descritas anteriormente, una vez se han ensamblado, se introducen en una caja que las protege, las cuales se fabrican de materiales como:

- Acero negro laminado al frío
- Latón
- Acero Inoxidable
- Resina de polietileno o polipropileno
- Resina fenólica
- Resina de poliéster reforzada en fibra de vidrio

Las cajas pueden tener diferentes características en su fabricación:

- Herméticas; cuando se van a utilizar para llenarse con algún fluido amortiguante.
- Con frente sólido; cuando el manómetro se utiliza en procesos donde existen riesgos de explosión y se requiera mayor seguridad como en los procesos químicos y petroleros.
- Con adición de accesorios, como circuitos eléctricos de alarma o aguja testigo.

Cada manómetro requiere además un tipo de caja de acuerdo con la posición de la conexión y si va a llenarse con fluido amortiguante.

2.3.2. RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR UN MANÓMETRO

En general se considera que no hay manómetros “malos”, sino mal seleccionados. Por esto es importante tener un listado de criterios o especificaciones básicas que permiten escoger (al usuario final, comprador o vendedor), el instrumento adecuado de acuerdo al proceso particular donde va a ser utilizado.

2.3.2.1. Instalación de un manómetro

Se puede asegurar que los manómetros que se deterioran antes del tiempo normalmente aceptado, sufren dicho deterioro debido a:

- Instalación Inadecuada
- Equivocada selección del manómetro.

Al instalar los manómetros, se debe tener en cuenta las condiciones del proceso ya que podrían requerir en determinado momento, la adición de algunos accesorios suplementarios que les permita operar normalmente, dando una medida confiable y evitando el deterioro acelerado del instrumento. Algunas pautas para la instalación son las siguientes:

2.3.2.2. Posición:

Los manómetros se deben colocar siempre en un lugar de fácil acceso, y la carátula debe ir siempre en posición vertical, de manera que se puedan observar desde el punto de control.

2.3.2.3. Vibración:

Todos los instrumentos de control se deterioran con la vibración, ocurriendo un desgaste normal en las partes con movimiento, lo que conlleva a que se descalibren fácilmente y por lo tanto generen lecturas erróneas. Por esto deben instalarse en sitios libres de vibración o con un soporte intermedio que evite esta posibilidad, como

los tubos capilares, que conectan al punto de medición al manómetro, evitando que este reciba la vibración.

2.3.2.4. Presiones Pulsantes:

Los manómetros que se instalen para medir presión pulsante deben estar equipados con sistemas amortiguadores que eviten el deterioro prematuro de los elementos del medidor de presión. Estos elementos amortiguadores pueden ser válvulas de aguja, cilindros, pines flotantes o piezas de material poroso.

Se pueden llenar con un fluido amortiguante, como por ejemplo la glicerina, siempre y cuando la amplitud de la pulsación no sea demasiado grande.

2.3.2.5. Fluidos Especiales

Cuando se mida la presión de fluidos viscosos, alimenticios o muy corrosivos, y exista la posibilidad que el manómetro se cubra, contamine el proceso o se deteriore con la característica corrosiva del fluido, es necesario colocar un sello de diafragma que facilite su limpieza y cuyos materiales de fabricación sean compatibles con el fluido cuya presión se está midiendo. Las partes del separador en contacto con el fluido (flanche interior, membrana, anillo intermedio) serán utilizados con un material resistente a la corrosión (acero inoxidable, níquel, tantalio) o se recubrirán con materiales resistentes a ella (teflón, Halar, Kel F.) El flanche interior puede ser hecho en acero, acero inoxidable, hastelloy ó tantalio. Después de colocado el separador es necesario volver a verificar y revisar la calibración del manómetro.

2.3.2.6. Conexiones

La tubería que se utiliza para conectar los manómetros a los puntos de medición debe ser del mismo material y resistencia que el tubo por donde circula el fluido, y su diámetro no debe ser mayor a 1/2".

2.3.2.7. Montaje

El manómetro no debe montarse directamente sobre la tubería, y se debe utilizar una válvula a la salida del punto de presión, permitiendo cambiar los manómetros sin tener que detener el proceso. Es posible utilizar otra válvula adicional para despresurizar el sistema cuando se cambie el manómetro y evitar accidentes a los operadores.

2.3.2.8. Tipo de tubería

La tubería de conexión de los manómetros debe instalarse y soportarse de manera tal que las fuerzas que se desarrollan al expandirse los materiales por su calentamiento no se transmitan a los manómetros.

2.3.2.9. Riesgos de explosión

Cuando se utilicen manómetros para medir alta presión o cuando pueda existir un alto riesgo de accidentes debido a la rotura del bourdon, es necesario utilizar manómetros con frente sólido. No debe obstruirse la placa de desfogue (blow-out) y debe tenerse en cuenta su orientación para evitar que al dispararse pueda ocasionar un accidente.

2.3.2.10. Altas Temperaturas

En los casos de un manómetro que se utilice para medir la presión de vapor de agua o de gases calientes debe utilizarse un sifón. El sifón conocido también como colas de marrano, es una tubería de pequeña longitud y sección que se instala entre el manómetro y el fluido caliente para hacer descender lo suficiente la temperatura. También se puede interponer un sifón previamente llenado con fluido condensado frío. En este caso, nunca se debe purgar el sifón. El uso de sifón es fundamental cuando existen procesos que utilizan altas temperaturas ya que siempre se deben evitar excesos de temperatura dentro del órgano motor del manómetro, puesto que estas causan deterioro en la soldadura lo que ocasiona mal funcionamiento y daños irreparables en el manómetro.

Los manómetros de acuerdo al tipo de material de construcción, usan diferentes tipos de soldadura, causando así una limitante con respecto a la temperatura a la cual ellos se pueden utilizar. Para los manómetros que tienen interiores en bronce, la temperatura máxima de utilización es de 70 grados centígrados, y los de acero inoxidable hasta 250 grados centígrados. Estas especificaciones pueden variar de un fabricante a otro.

2.3.3. CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS

2.3.3.1. Conceptos de calibración

Cuando un manómetro no ha sido calibrado, o se ha desajustado en su operación, pueden encontrarse los siguientes errores, cuando se evalúan contra un sistema de patronamiento debidamente certificado (Ver Anexo B).

- Error de cero: Sucede cuando la aguja no regresa al cero ("0") y la diferencia faltante se mantiene a todo lo largo de la escala, esta descalibración se resuelve retirando la aguja al cero ("0").
- Error de multiplicación: Se produce cuando a medida que se aumenta la presión, se aumenta la diferencia entre dos lecturas consecutivas. Este tipo de error se corrige ajustando la posición de las palancas en el movimiento.
- Error de angularidad Se presenta cuando las lecturas iniciales y finales del manómetro son correctas, pero las intermedias no son, es posible corregir como el anterior, aunque algunos movimientos pueden corregirse rotándolos ligeramente.

Con respecto a manómetros que haya cumplido su vida útil, se debe considerar la posibilidad de reemplazarlos en lugar de repararlos. Los manómetros incluidos a esta categoría son los siguientes:

- Los manómetros que presenten un desvío de span mayor al 10%. Es posible que el tubo de Bourdon presente corrosión en sus paredes.
- Los manómetros que presenten un desvío mayor al 25%. Es probable que el tubo de Bourdon presente significativa sobrepresión dejando esfuerzos residuales que puedan ser perjudiciales para la aplicación.
- Los manómetros que han acumulado más de 1.000.000 de ciclos de presión, con significativa desviación de la aguja.

- Los manómetros que muestran cualquier señal de corrosión y/o fuga en el sistema de presión.
- Los manómetros que hayan sido expuestos a altas temperaturas o que posiblemente muestren signos de haberlo estado, específicamente a 120°C o más para sistemas de soldadura suave; 230°C o más sistemas en bronce; y 400 °C o más para sistemas soldados a presión.
- Los manómetros que muestren error por fricción y/o descargas del movimiento y sus uniones (asumiendo, que el movimiento no puede reemplazarse).
- Los manómetros llenos de líquido, que muestren pérdidas del mismo.

El código ASME B40.1 no recomienda el movimiento de manómetros de una aplicación a otra. Esta política es prudente ya que incita al usuario a conseguir un nuevo manómetro, diseñado adecuadamente a las especificaciones de cada nueva aplicación.

2.3.3.2. Inspección de Precisión

Deben hacerse lecturas en aproximadamente cinco puntos igualmente especificados, sobre la escala tanto en ascenso como en descenso, antes y después de golpear ligeramente el manómetro para eliminar la fricción.

Se recomienda un patrón de precisión de al menos cuatro veces mayor que la precisión del manómetro que se viene probando.

Equipo- Se requiere un suministro de presión finalmente regulada. Es importante que el sistema de tubería asociada con la configuración de la prueba esté libre de fugas. El manómetro bajo prueba deberá ser colocado como si estuviera en servicio para eliminar los errores de posición debido a la gravedad.

2.3.3.3. Método

Existen dos técnicas, directa y de lectura invertida. El código ASME B40.1 recomienda el método directo donde las presiones conocidas son aplicadas y las lecturas son tomadas del manómetro bajo prueba. Cuando el manómetro bajo prueba tiene una graduación relativa, es conveniente utilizar el método invertido donde la presión aplicada es ajustable alineando la aguja con el dial y luego tomar lecturas en el patrón de presión. La técnica de lectura invertida frecuentemente es inexacta y no debería usarse.

2.3.3.4. Carta de Calibración

Después de registrar todas las lecturas es necesario calcular los errores asociados con cada punto de prueba utilizando la siguiente fórmula:

$$Error \% = \frac{100 \text{ veces } (valor \text{ verdadero} - lectura)}{Rango}$$

Trazando una gráfica de errores individuales es posible visualizar todas las características del manómetro. La gráfica debe tener todas las cuatro curvas: escala ascenso ante golpes, ascenso después del golpe, descenso antes del golpe, descenso después del golpe. Golpee ligeramente el manómetro antes de leer, para eliminar la fricción como se describe en el código ASME B40.1

2.3.3.5. Cero

Es un error aproximadamente igual sobre toda la escala. Este error puede manifestarse cuando el manómetro esta sin o con presión, y el tubo Bourdon conserve la misma cantidad. Dicho error puede ser corregido simplemente re-posicionando la aguja. Exceptuando los manómetros patrón, se recomienda que la aguja sea calibrada a mitad de escala de presión para disminuir errores.

2.3.3.6. Span

Un error de span se presenta cuando el error final de la escala completa de presión es diferente del error a cero presión. Este error es frecuentemente proporcional a la presión aplicada. La mayoría de los manómetros están equipados con un mecanismo de ajuste interno con el cual el usuario puede corregir cualquier error de span que haya desarrollado en servicio.

2.3.3.7. Linealidad

Un manómetro que ha sido calibrado adecuadamente puede aun estar fuera de especificación en los puntos intermedios sin la respuesta del manómetro. Algunos están equipados con una característica de movimiento rotativo la cual permite al usuario minimizar esta clase de error.

2.3.3.8. Histéresis

Algunos tubos Bourdon tienen una propiedad del material conocida como histéresis. Esta característica da como resultado diferencia entre la curva de escala de ascenso y escala de descenso. Esta clase de error no puede ser eliminado por ajuste del movimiento del manómetro o por la posición de la caratula.

Muchas veces los manómetros están simplemente fuera de cero y un simple ajuste del puntero utilizando la aguja micrométrica es lo correcto. Si las inspecciones muestran que el manómetro requiere ser recalibrado para corregir errores de span y/o linealidad, proceda como sigue:

Retire el anillo, la ventana y si es caja de frente solido, la tapa de parte trasera.

Presurice el manómetro una vez a escala completa y devuelva a cero.

Para manómetros de frente solido, ajuste la aguja micrométrica de modo que descansa en la posición de cero verdadero. Para manómetros de frente abierto la aguja y la carátula deben ser desarmadas, y la aguja deberá ser presionada ligeramente hacia la posición de las 9:00 en punto.

Aplique la presión total de la escala y vea la magnitud de desfase que tiene el recorrido de la aguja con la carátula. Con los manómetros de frente abierta el recorrido ideal es de 270°, cuando exista una presión a escala completa la aguja debe marcar exactamente las 6 en punto.

Si el recorrido ha cambiado significativamente (un desfase mayor a un 10%), el manómetro deberá ser reemplazado porque allí puede haber corrosión parcial dentro del tubo Bourdon lo cual puede generar una falla definitiva. Si el error de recorrido excede el 0.25%, afloje el tornillo más bajo del eslabón y mueva el extremo del mismo hasta el mecanismo para incrementar el recorrido o hacia afuera para disminuirlo. Un ajuste de 0.004 de pulgada puede cambiar el recorrido aproximadamente 1%. Este es un procedimiento repetitivo el cual frecuentemente

requiere más de un ajuste de la posición del eslabón y el posterior chequeo del error cero y presión a escala completa.

Aplique presión a la mitad de la escala y note el error en la lectura. Aún cuando el manómetro sea exacto a cero y a escala completa, puede ser inexacto a un punto medio. Esto es llamado error de alineación, y es minimizado rotando el mecanismo. Si el error es positivo, el mecanismo deberá rotarse en dirección contraria al de las manecillas del reloj, rotando el mecanismo un grado cambiara el error en aproximadamente 0.25%. La rotación del movimiento frecuentemente afecta el span y deberá ser seguida de chequeos y reajuste.

2.4. TRANSDUCTOR

Es un dispositivo que se encarga de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada en uno diferente a la salida. Es usado principalmente en la industria, en la medicina, en la robótica, entre otros.

2.4.1. Elementos electromecánicos de presión.

Los elementos electromecánicos de presión resultan de la composición de un elemento mecánico elástico con un transductor eléctrico que genera una señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico puede ser un tubo de Bourdon, una espiral, un diafragma, fuelle o una combinación de los mismos, que por medio de palancas transforman la presión en una fuerza o en desplazamiento mecánico.

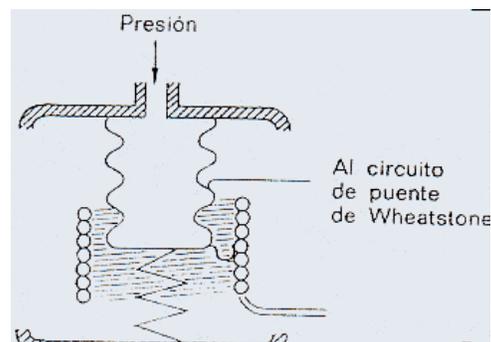
2.4.2. Transductores Resistivos

Considerado como unos de los transmisores eléctricos más sencillos. Trata de un elemento elástico ya sea un tubo Bourdon o cápsula, que varía la resistencia óhmica de acuerdo a la presión que se esté ejerciendo. Existen varios tipos de potenciómetros según sea el elemento de resistencia: Potenciómetros de resistencia bobinada, de grafito, de película metálica y de plástico moldeado. En la siguiente figura puede verse un transductor resistivo que consta de un muelle de referencia, elemento de presión y un potenciómetro de precisión. El muelle de referencia es de

gran importancia debido a que su desplazamiento al comprimirse, debe ser en función de la presión y no de otros factores externos como la temperatura, aceleración, entre otras.

El movimiento del elemento de presión se transmite a un brazo móvil aislado que se apoya sobre el potenciómetro. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.

Figura 10. Transductor Resistivo



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

Los transductores resistivos utilizan una fuerte señal de salida lo cual ahorran para el resto de circuito del instrumento indicador, la utilización de un amplificador. Son sensibles a vibraciones y presentan una estabilidad pobre con el tiempo.

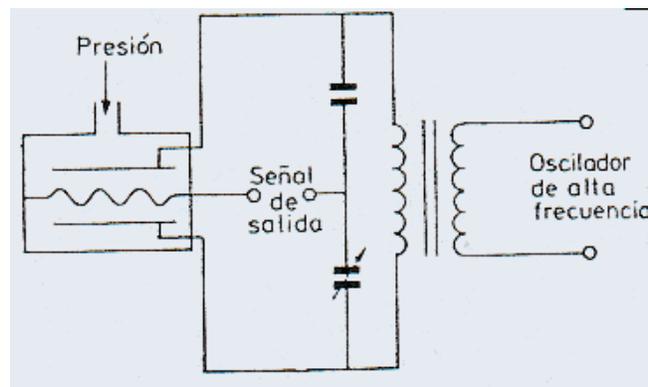
2.4.3. Transductores Capacitivos

Se basa en una variación de la capacitancia al aplicar una presión en una de las placas de un condensador (figura 10). La placa que se desplaza tiene forma de diafragma y se encuentra situada dentro de dos placa fijas. Así mismo, se tienen dos condensadores uno con placa fija y el otro con placa variable, que pueden compararse en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

Estos transductores se caracterizan por su construcción robusta, pequeños desplazamientos volumétricos y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas.

Su señal de salida es débil por lo cual es necesario acoplarlo con una etapa de amplificación con el riesgo de introducir errores a la medición.

Figura 11. Transductor Capacitivo



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

2.4.4. Galgas Extensométricas

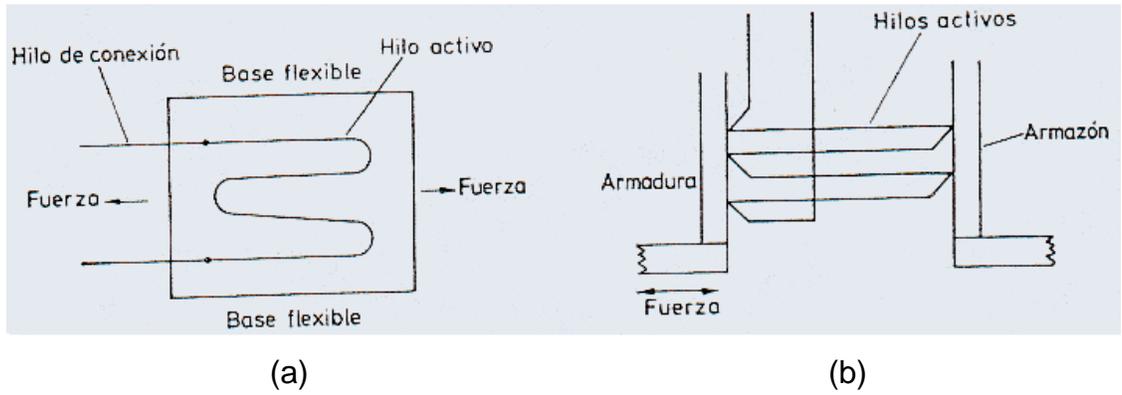
Consiste en una variación de longitud y por lo mismo de resistencia, cuando una tensión mecánica por efecto de la presión es aplicada sobre un hilo de resistencia.

Existen de dos tipos, galgas cementadas (a) formadas por varios bucles de hilos muy finos que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar (b) en las que los hilos de resistencia descansan entre el armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

Para los dos tipos de galgas el efecto de la presión estira o comprime los hilos según sea la disposición del fabricante, modificando la resistencia de los mismos.

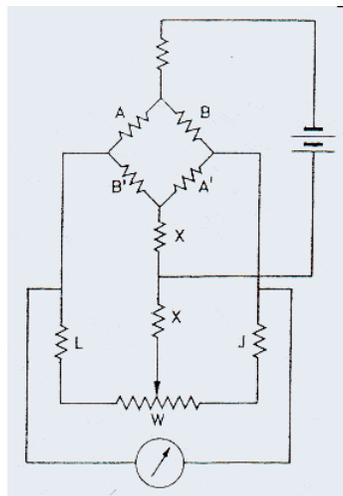
Las galgas son parte de un puente de Wheatstone (figura 13), el cual cuando no existe ninguna tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Al aplicarse una tensión, la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma, logrando que el puente se equilibre para estas condiciones.

Figura 12. Galga cementada y galga sin cementar



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

Figura 13. Puente de Wheatstone para galgas extensométricas



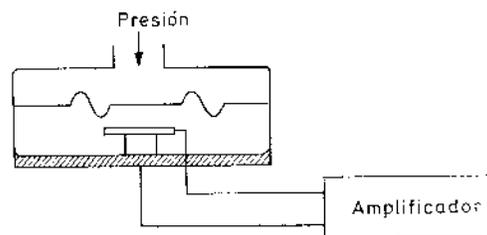
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

2.4.5. Transductores piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que al estar bajo una presión aplicada tienden a deformarse, generando una señal eléctrica. Normalmente están hechos de cuarzo o titanio de bario, capaces de soportar temperaturas de 150° C en servicio continuo.

Su señal de respuesta ante variaciones de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas. También su señal de salida normalmente es débil por lo que necesita de un sistema de amplificación, ver figura 14.

Figura 14. Transductor Piezoeléctrico



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

2.4.6. Puente de wheatstone

Normalmente se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Está conformado por cuatro resistencias que se encuentran en un circuito cerrado, siendo una de ellas la que se medir.

Descripción del puente de Wheatstone

En la figura 15 se observa que la resistencia R_x es desconocida y cuyo valor queremos determinar. R_1 , R_2 , R_3 son de valores conocidos, además R_2 es una resistencia variable. Si la relación de las dos resistencias del lado conocido (R_1/R_2)

es igual a la relación del lado desconocido (R_x/R_3), el voltaje entre el punto C y el punto B será nulo, por lo tanto no habrá corriente. Para efectuar la medida lo que se hace es variar la resistencia R_3 hasta alcanzar un punto de equilibrio. La dirección de la corriente en caso de desequilibrio; establece si R_2 es más alta o más baja. La letra V indica la presencia de un Galvanómetro para indicar el paso de corriente eléctrica.

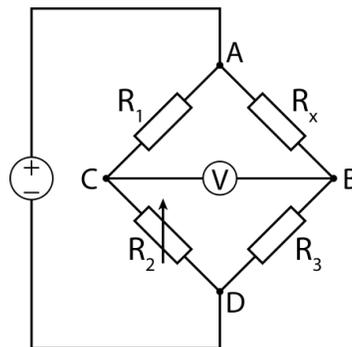
Cuando el puente está constituido es decir que R_2 y R_3 son iguales, y R_x y R_1 también lo son, en condición de equilibrio se cumple que:

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_2}$$

Si los valores de R_1 , R_2 , y R_3 son conocidos con exactitud, el valor de la resistencia desconocida R_x también será conocido y cualquier cambio en el valor de R_x será detectado por el Galvanómetro.

Otra forma para determinar R_x es si R_1 , R_2 , R_3 son conocidos y R_2 no es ajustable. La corriente que corre por el Galvanómetro se utilizará para hallar el valor de la misma resistencia.

Figura 15. Disposición del Puente de Wheatstone



Fuente: El autor del proyecto.

2.5. TRANSMISORES

Los transmisores son instrumentos que captan una variable de proceso evaluada y la transmiten a ciertas distancias a un instrumento receptor, indicador, registrador, controlador o una combinación de todos los anteriores.

Dentro de las señales de transmisión existen varios tipos: neumáticos, electrónicos, digitales, hidráulicos y telemétricos, donde los más utilizados son los tres primeros. Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable lineal de 3 a 15 psi (libra por pulgada cuadrada), para el campo de medida de 0-100% de la variable. Los transmisores electrónicos generan la señal estándar de 4-20mA c.c., a distancias de 200m a 1km. Este tipo de señal maneja un alto nivel de compromiso entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo, ya que al ser continua y no alterna, elimina la posibilidad de adquirir perturbaciones y está libre de corrientes parásitas.

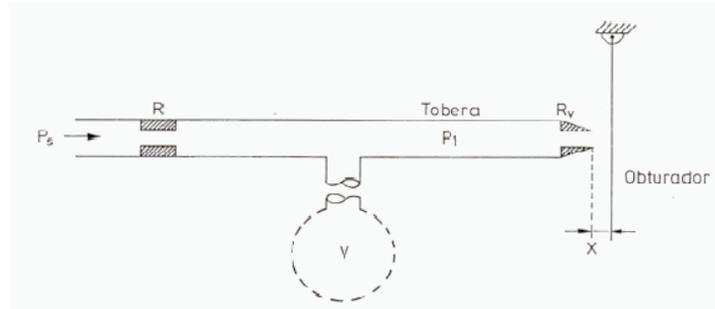
El nivel mínimo seleccionado de 4mA elimina el problema de corriente residual que se presenta al desconectar el circuito a transistores. También este “cero vivo” permite la detección de averías por el corte de un hilo y diferenciar el ruido de la transmisión en el nivel más bajo de la variable.

2.5.1. TRANSMISORES NEUMÁTICOS

Los transmisores neumáticos generalmente consisten en un sistema tobera-obturador (figura 16), que se encarga de convertir el movimiento en una señal neumática. Este sistema comprende un tubo neumático por donde pasa una presión constante con una reducción a la salida en forma de tobera, la cual es obstruida por una lámina conocida como obturador que depende de la posición del elemento de medida.

De la figura 16, se puede observar que por la entrada P_s ingresa un aire de alimentación de presión 20 psi, pasa por una restricción R y llena el volumen cerrado V hasta escaparse a la atmosfera por la tobera R_v . Dependiendo de la posición del obturador X existirá una P_1 intermedia entre la P_s y la presión atmosférica. Cuando $X=0$, es decir cuando no hay escape de aire a la atmosfera, los valores de presión de P_s y P_1 son casi iguales. Si X tiende a ser demasiado grande entonces el aire escapará con facilidad y la P_1 tiende a ser la misma presión atmosférica.

Figura 16. Sistema Tobera-Obturador



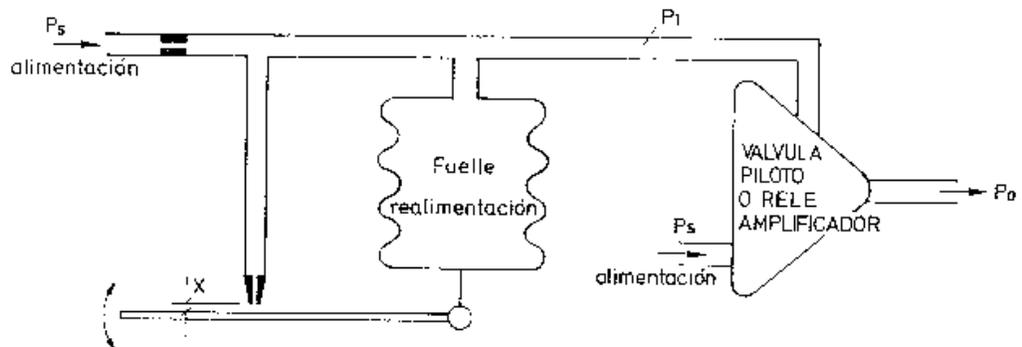
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

2.5.1.1. Transmisor de equilibrio de movimientos

Este transmisor compara el movimiento proveniente del elemento de medición asociado al obturador con un fuelle de alimentación de presión que se encuentra posterior a la tobera. El sistema tiende a estabilizarse siempre y cuando la diferencia de movimientos alcance una posición de equilibrio tal que existe una linealidad entre la variable y la señal de salida, ver figura 17.

Este instrumento se utiliza para la transmisión de presión y temperatura donde los elementos de medida son capaces de generar un movimiento amplio, sea con palancas con la suficiente fuerza para eliminar errores de histéresis que pudiera producirse.

Figura 17. Transmisor de equilibrio de movimientos.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>, 09/10/2008

2.5.2. Transmisores electrónicos

2.5.2.1. Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas

Consiste en una barra rígida apoyada en un punto sobre la cual actúan dos fuerzas en equilibrio, la fuerza ejercida por un elemento mecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle) y la fuerza electromagnética de una unidad magnética. Cuando estas dos fuerzas entran en desequilibrio se crea una variación de posición relativa de la barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia. Un circuito oscilador asociado con cualquier detector, una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. De esta forma se obtiene un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de la variable del proceso. Estos instrumentos presentan un ajuste de cero y span complicado y una alta sensibilidad a vibraciones.

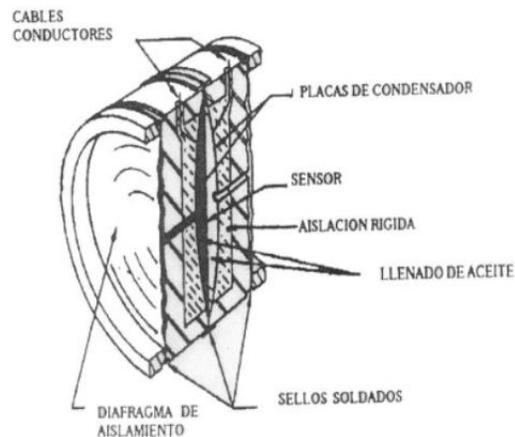
2.5.2.2. Transmisores Digitales

En la década de los ochenta fue presentado el primer transmisor de presión denominado "inteligente" (*smart transmitter*) por la firma Honeywell. Existen dos modelos básicos el capacitivo y el semiconductor.

El capacitivo (figura 18) está compuesto por un condensador formado por dos placas fijas y un diafragma interno unido a las mismas, el cual produce una capacitancia cuando se les aplica una presión o presión diferencial a través de dos diafragmas externos. La transmisión de la presión del proceso se realiza a través de un fluido (sea aceite), que rellena el interior del condensador. Un circuito formado por un demodulador y un oscilador cambia la variación de la capacitancia en una señal analógica, este a su vez se convierte a digital por medio de un microprocesador que transforma la señal analógica en una señal de 4-20mA c.c.

El semiconductor saca provecho de las propiedades eléctricas de los semiconductores al estar bajo tensiones. Se comporta como un circuito de puente de Wheatstone aplicable a la medida de presión formado por una pastilla de silicio difundido en el que se hallan las resistencias R1, R2, R3 y R4 de un puente de Wheatstone. El desequilibrio en el puente por cambios en la variable da lugar a una señal de salida de 4-20mA.

Figura 18. Elementos de un transmisor electrónico



Fuente: Manual de presión, Endress+Hauser.

El término inteligente indica que el instrumento puede desarrollar otras tareas adicionales a la transmisión de la señal de proceso gracias a un microprocesador. El microprocesador condensa las no linealidades de los elementos sensores, convierte las tres señales análogas en impulsos y calcula, mediante datos fijados en fábrica y almacenados en su memoria, un valor digital de salida que es transformado a la señal de salida análoga de 4 a 20 mA. Por medio de un elemento portátil de teclado conectado a los hilos entre transmisor y receptor permite leer los valores del proceso, configurar el transmisor, cambiar su campo de medida y detectar averías.

Considerado como uno de los más versátiles y precisos que existen en el mercado, se conectan directamente a los controladores de sistemas distribuidos. Sus diagnósticos pueden verse en la estación de consola y se les puede modificar el rango desde la misma sin necesidad de ir al sitio donde está instalado.

Los transmisores inteligentes (figura 19) disponen de auto calibración, es decir ajuste de cero y span, lo que evita el trabajo desarrollado clásicamente por los instrumentistas. También se prestan para el auto diagnóstico de sus partes internas, función que proporciona al área de mantenimiento conocimiento de la existencia de un problema en el circuito.

Figura 19. Transmisores Inteligentes



Fuente:

http://www.endress.com/es/medidores_transmisores_medicion_presion_absoluta_relativa_diferencial.html, 10/01/ 2009.

Beneficios de los dispositivos inteligentes:

- Reducción del tiempo de instalación y de puesta en marcha
- Reducción de costos de mantenimiento
- Reducción de costos de producción
- Mejora del rendimiento del producto
- Incremento de la eficiencia de todo el proceso

Las características más comunes de los transmisores digitales son las siguientes.

- Amplios costos del equipo
- Ideales para industrias de aceite/gas, químicas, potencia, agua/ agua residual, alimentos/bebidas.
- Capaces de realizar mediciones de flujo y presión diferencial, presión de vacío, presión absoluta y nivel de líquidos.
- Límite de temperatura del sensor de -40 °C a 120°C.
- Límite de temperatura de la electrónica de -40 °C a 85°C.
- Voltaje de alimentación 11 a 45 VDC.
- Señal de salida del transmisor 4-20 mA.

- Protocolos de comunicación: protocolo fcs o hart, iec foundation fieldbus y profibus.
- Partes metálicas en contacto: 316 acero inoxidable, hastelloy c276, monel 400, tantalum.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. VISITAS TÉCNICAS

Con el objetivo de conocer y recolectar información acerca de sensores, medidores y transmisores de presión presentes en la industria de nuestro país, se hizo contacto con cuatro empresas de gran trayectoria y representantes de importantes marcas de instrumentos industriales a nivel mundial. Estas empresas tienen su sede principal en la ciudad de Bogotá y manejan la distribución de los elementos para toda Colombia y algunos países vecinos. Las empresas son las siguientes:

- Progen
- Equipos y Controles
- Colsein
- Electra

A continuación se mostraran los respectivos informes técnicos para cada una de las visitas realizadas.

3.1.1. INFORME TÉCNICO #1

Nombre de la actividad: Visita técnica a Progen, Producciones Generales S.A.

Producto: Bourdon Haenni

Participante: Freddy A. Vega Reyes

Coordinador Local: Ing. Juan Jairo Martín

Fecha: 15-06-08 Hora 7:00 am

Ciudad: Bogotá

Lugar: Transversal 6 # 12-21 Entrada 2 – Centro industrial Cazucá Km 8

Programa:

- Charla sobre principios, características, medidores y transmisores de presión. Hora: 7:00 am a 12:00 pm
- Almuerzo, Hora: 12:30 pm
- Visita a los laboratorios, Hora: 2:00 pm
- Calibración de Manómetros y transmisores de presión, Hora: 4:00 pm

Objetivos principales de la visita

Objetivo 1: Obtener información sobre sensores, medidores y transmisores de presión de la línea Bourdon Haenni.

Objetivo 2: Conocer los diferentes laboratorios y elementos que componen el departamento de metrología.

Objetivo 3: Conocer las condiciones y los requisitos para la calibración de manómetros y transmisores de presión.

Objetivo 4: Calibrar un manómetro con los métodos utilizados por la empresa

Hora y descripción detallada de las actividades.

- **7:00 am a 12:00 pm**

En este tiempo se repasaron los conceptos básicos de presión, los tipos de presión que existen y terminología. Mediante una exposición se mostraron los elementos sensores, sus partes y características. Al tener acceso a los manómetros Bourdon Haenni se conocieron los componentes, las conexiones dependiendo de la tubería donde se vaya a conectar, recomendaciones de selección, instalación, accesorios requeridos y conceptos de calibración.

- **2:00 pm**

Se ingresó al área de laboratorios en donde hacen pruebas a los instrumentos para la certificación y garantía del producto. Se tuvo la oportunidad de observar la circuitería interna de un transmisor de presión los cuales estaba compuesto con elementos electrónicos de tamaño muy reducido y complejo diseño.

- **4:00 pm**

Primero era importante conocer la manera para detectar si un instrumento está desajustado o no. Estas pruebas se realizan con referencia a un elemento patrón y mediante una gráfica de donde se analiza el tipo de calibración que se le debe realizar. En la mayoría de los casos se presentaba por estar expuesto a fuertes vibraciones. El método más utilizado para la calibración era con un peso muerto.

Resultados

- **Resultados Esperados**

Poder conocer los componentes internos de los manómetros y transmisores de presión, así como sus métodos de calibración.

- **Resultados obtenidos**

Se logró recoger información útil sobre conceptos, catálogos, recomendaciones, tecnologías, experiencia y métodos de calibración de sensores y transmisores de presión.

Detalle de aspectos relevantes de la visita

Se estableció contacto con ingenieros e investigadores que trabajan en el departamento de metrología.

Los laboratorios cuentan con un programa de certificación actualizado y muy completo en donde se le garantiza al cliente el producto que desea comprar o calibrar.

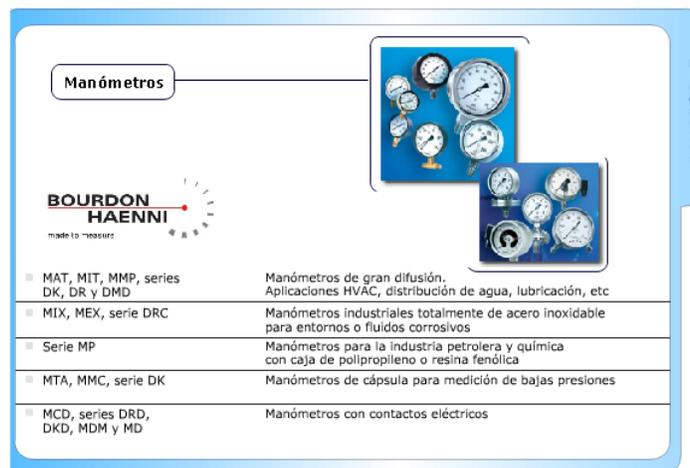
Lista de contactos

- Juan Jairo Martín, Coordinador de la visita.
- Mario Pineda, Gerente de la División de instrumentación.
- Trino Rodrigo Meléndez, Instrumentista Industrial.

Imágenes

Las siguientes imágenes son los catálogos que presentan la marca Bourdon Haenni a sus clientes.

Figura 20. Manómetros Bourdon Haenni



Fuente: <http://www.bourdon-haenni.com/en/>, 08/07/2008

Figura 21. Sensores y transmisores de presión Bourdon Haenni

Sensores y Transmisores de presión

BOURDON HAENNI
made to measure

Escalas de medición fijas
Compactas, bajo costo y específicas para aplicaciones OEM de series grandes y medianas

Escalas de medición ajustables

- Serie FlexBar HRT
Para procesos industriales, aplicaciones higiénicas (conexiones intercambiables certificadas 3A). Totalmente de acero inoxidable, configurable, salida 4-20 mA y protocolo HART®. Y PROFIBUS Versión estándar y «EEEx ia»
- FlexBar 3501
Transmisor digital de proceso para aplicaciones severas. Exactitud mayor del 0,1% E. M. Totalmente de acero inoxidable, configurable, salida 4-20 mA y protocolo HART®. Versiones estándar, «EEEx ia» y «EEEx d»

Productos
Ficha técnica

Fuente: <http://www.bourdon-haenni.com/en/>, 08/07/2008

Figura 22. Características Técnicas Sensores y transmisores de presión Bourdon Haenni.

BOURDON HAENNI
made to measure

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Sensores y transmisores de presión

■ Medición de vacío, vacío y presión	de -1 ... 0 bar (-30"Hg ... 0 psi) a -1 ... +400 bar (-30"Hg ... +6.000 psi)
■ Medición de presión (relativa o absoluta)	de 0 ... a + 4 mbar (0 ... +2"WC) a 0 ... +6000 bar (0 ... +90.000 psi)
■ Presión diferencial	+3,75 mbar ... +20 bar (1,5"WC ... +300 psi)
■ Tecnologías	capa gruesa cerámica Transbar®, cerámica capacitiva, capa fina, calibradores encolados, silicio piezorresistivo y capacitivo
■ Exactitud	mayor del 0,1% hasta el 1%
■ Escalas de medida fijas y ajustables	(relación 1:25)
■ Señales eléctricas de salida	0-10 V, 0-5 V, 1-5 V, 0-20 y 4-20 mA
■ Versiones «EE ia» y «EEEx d»	homologadas CENELEC, CSA, CSA US y FM
■ Aplicaciones higiénicas	certificación 3A, directivas FDA, EHEDG, EN 1672-2
■ Excelente estabilidad a largo plazo	
■ Protocolo de comunicación HART®	
■ Conforme a las normas CE	

Productos
Ficha técnica

Fuente: <http://www.bourdon-haenni.com/en/>, 08/07/2008

Figura 23. Ensayo y calibración Bourdon Haenni



Ensayo y Calibración

Presión	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Serie MV ■ PM ■ Barflex@4, ManocalP, PC6-Pro 	<p>Manómetros de verificación, Clase 0,5 y 0,25</p> <p>Bombas de generación de presión neumáticas e hidráulicas, de -0,8 a +1.000 bar (de -24" Hg a + 15.000 psi)</p> <p>Patrones electroneumáticos portátiles, de -1 a +1.000 bar (de -30" Hg a +15.000 psi). Exactitud: del 0,25 al 0,025% de la E.M</p>
Temperatura	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Quartz, Joker+, Pulsar, Solar ■ FLUID200 	<p>Hornos de calibración de -45 a +1.100°C (de -49 a +2.012°F)</p> <p>Baño de calibración portátil. Temperatura ambiente a +200°C (+392°F)</p>
Separadores	
<ul style="list-style-type: none"> ■ BK40 - TB300 	<p>Baños de calibración de laboratorio de -40 a +300°C (de -40 a +572°F)</p>

P r o d u c t o s
E n s a y o y C a l i b r a c i ó n

Fuente: <http://www.bourdon-haenni.com/en/>, 08/07/2008

3.1.2. INFORME TÉCNICO #2

Nombre de la actividad: Visita técnica a ECI, Equipos y Controles Industriales.

Producto: Honeywell

Participante: Freddy A. Vega Reyes

Coordinador Local: Ingeniera Magdalena Castro

Fecha: 16-06-08 Hora 8:00 am

Ciudad: Bogotá

Lugar: Teusaquillo Cr18 #38-41

Programa:

- Charla sobre principios de presión, sensores y transmisores Honeywell. Hora: 8:00 am a 10:00 pm
- Visita a los laboratorios, Hora: 10:00 am a 12:00 pm

Objetivos principales de la visita

Objetivo 1: Obtener información sobre sensores y transmisores Honeywell

Objetivo 2: Conocer y experimentar con los transmisores Honeywell sus circuitos internos en los laboratorios de la empresa.

Objetivo 3: Visitar los laboratorios de calibración y analizar los métodos que se utilizan.

Hora y descripción detallada de las actividades.

- **8:00 am a 10:00 pm**

Durante este tiempo se realizó una pequeña charla de conceptos de presión, medición y transmisión. Se observó un sensor con principio de diafragma en donde se logró analizar el funcionamiento del mismo. La presentación de los elementos Honeywell estuvo acompañada con la muestra de diferentes clases de transmisores de presión diferencial.

- **10:00 am a 12:00 pm**

Aunque no se pudo tener acceso al laboratorio de calibración, se observó que contaba con unos buenos instrumentos patrones y un sistema de calibración basado en peso muerto. Estos métodos fueron explicados detalladamente conociendo más a fondo su funcionamiento. Luego, en compañía de unos ingenieros electrónicos se desarmó un transmisor de presión diferencial digital. Dentro de sus partes se observaron los circuitos de amplificación, conversión, transmisión e indicación, estos normalmente eran calibrados con circuitos lógicos programables en donde se ajustaba los rangos de medida, ajuste de cero y ajuste de span.

Resultados

- **Resultados Esperados**

Tener contacto con transmisores de presión básicos y digitales, en donde se muestre su sistema interno y proceso de calibración.

- **Resultados obtenidos**

Al tener acceso a un transmisor de presión digital se analizaron sus procesos internos determinando las etapas necesarias para desarrollar un sistema de transmisión. Este caso comprendía etapas desde el sensado hasta la indicación, pasando por procedimientos de acondicionamiento de la señal y conversión de voltaje a corriente de 4 a 20 mA.

Detalle de aspectos relevantes de la visita

Como instrumentos de última tecnología, Honeywell produce transmisores de presión digitales inalámbricos. Estos envían la señal desde el transmisor que se encuentra en el campo hasta el receptor el cual mediante un computador indica los datos de corriente.

Lista de contactos

- Magdalena Castro, Coordinadora de la visita.
- Isnardo Díaz, Gerente de la División de Metrología

Imágenes

A continuación se muestran una serie de imágenes que fueron tomadas a un transmisor digital en el momento donde se estaba desarmando para conocer sus partes.

Figura 24. Transmisor Digital de Presión Diferencial XYR 5000 Diferencial



Fuente: El autor del proyecto

Figura 25. Tarjeta del XYR 5000 Diferencial



Fuente: El autor del proyecto

Figura 26. Tarjeta de alimentación del XYR 5000 Diferencial



Fuente: El autor del proyecto

Figura 27. Sensor y Tarjeta de Acondicionamiento de señal del XYR 5000 Diferencial



Fuente: El autor del proyecto

Figura 28. Diafragma del XYR 5000 Diferencial



Fuente: El autor del proyecto

Figura 29. Desarmando el XYR 5000 Diferencial



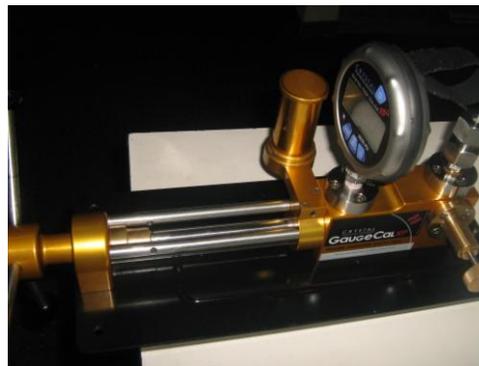
Fuente: El autor del proyecto

Figura 30. Principio Tubo de Bourdon en un Manómetro



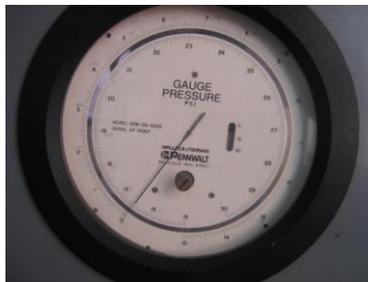
Fuente: El autor del proyecto

Figura 31. Peso Muerto



Fuente: El autor del proyecto

Figura 32. Manómetro de Patronamiento



Fuente: El autor del proyecto

3.1.3. INFORME TÉCNICO #3

Nombre de la actividad: Visita técnica a Colsein LTDA, Medición y Automatización.

Producto: Endress+Hauser

Participante: Freddy A. Vega Reyes

Coordinador Local: Ingeniero Oscar Serrano

Fecha: 19-06-08 Hora 2:00 pm

Ciudad: Bogotá

Lugar: Calle 82 # 05- 48 Barrio Los Rosales

Programa:

- Charla sobre sensores capacitivos y transmisores digitales de presión Endress+Hauser. Hora: 2:00 pm a 5:00 pm

Objetivos principales de la visita

Objetivo 1: Obtener información sobre sensores de última tecnología y transmisores digitales de presión Endress+Hauser.

Objetivo 2: Conocer el funcionamiento y las principales características de los sensores y transmisores Endress+Hauser.

Hora y descripción detallada de las actividades.

- **2:00 pm a 5:00 pm**

Luego de una presentación de los instrumentos de presión Endress+Hauser se conoció un tipo de sensor capacitivo que en la actualidad es utilizado en la mayoría de los transmisores de presión. Este consiste en unas placas que son afectadas por una presión de entrada que es proporcional a una capacitancia en la salida. Al desarmar un transmisor digital se observó que presentaba un sistema de seguridad muy interesante para casos de sobrepresión. También trae en su cara superior ajuste de cero y span sin necesidad de conectarlo a un PLC.

Resultados

- **Resultados Esperados**

Conocer otros tipos de sensores y transmisores de presión utilizados en industrias petroleras para poder tener una idea más amplia de las tecnologías existentes en la actualidad.

- **Resultados obtenidos**

Se logró identificar y analizar otro tipo de sensor de presión, conociendo sus características básicas y las diferentes aplicaciones que se le puede dar. Los transmisores aunque internamente eran parecidos a los ya conocidos, mostraban un excelente diseño y garantizaban un fácil manejo del mismo.

Detalle de aspectos relevantes de la visita

Los transmisores digitales Endress+Hauser cuentan con un diseño muy completo con respecto a las normas de seguridad y calibración. Basados en tecnología alemana tienen la opción de ajustes de cero y span en el exterior del transmisor.

Lista de contactos

- Oscar Serrano Rodríguez, Coordinadora de la visita.
- Christian José Morales, Director regional

Imágenes

Las imágenes que se observan a continuación son de sensores capacitivos y transmisores de presión.

Figura 33. Sensor Galga Extensométricas



Fuente: El autor del proyecto

Figura 34. Sensor de Presión Diferencial



Fuente: El autor del proyecto

Figura 35. Transmisor Deltabar S PMD70



Fuente: El autor del proyecto

Figura 36. Sensor Capacitivo Parte Interna



Fuente: El autor del proyecto

Figura 37. Transmisor de Presión PMC131



Fuente: El autor del proyecto

3.1.4. INFORME TÉCNICO #4

Nombre de la actividad: Visita técnica a Electra S.A., Distribuidores Industriales.

Producto: Ashcroft

Participante: Freddy A. Vega Reyes

Coordinador Local: Ingeniero Alexander Molina

Fecha: 20-06-08 Hora 8:00 am

Ciudad: Bogotá

Lugar: Calle 17 #23-66 Barrio Paloquemao.

Programa:

- Charla sobre manómetros y transmisores de presión Ashcroft. Hora: 8:00 am a 12:00 pm

Objetivos principales de la visita

Objetivo 1: Obtener información sobre manómetros y transmisores de presión de la línea Ashcroft.

Objetivo 2: Conocer los manómetros de patronamiento para identificar su diferencia con otros.

Hora y descripción detallada de las actividades.

- **8:00 am a 12:00 pm**

Esta charla estuvo acompañada de muchas muestras de manómetros en donde se tuvo la posibilidad de desarmar uno de ellos y observar las partes internas. El tubo de Bourdon como elemento principal de sensado fue claramente descrito en todos los elementos que lo componen. Los manómetros de patronamiento poseen una configuración más exacta para asegurar la precisión del mismo.

Resultados

- **Resultados Esperados**

Tener más conocimiento sobre manómetros tanto en sus partes internas como externas. De esta manera encontrar la diferencia con manómetros patrones los cuales se utilizan para la calibración.

- **Resultados obtenidos**

Gracias a la exposición y al tener contacto con los manómetros, se profundizó acerca del funcionamiento, características y tipos que existen en el mercado nacional. Los transmisores son por lo general con aspectos similares al resto ya antes conocidos.

Detalle de aspectos relevantes de la visita

Se conoció un manómetro que tenía incorporado un circuito transmisor en su parte interna. Este producto es nuevo en el mercado y pretende dar una aplicación más sencilla de un transmisor. Lo interesante radica en la forma como estaba diseñado su circuito electrónico el cuál no se pudo tener información sobre ello.

Lista de contactos

- Alexander Molina, Gerente Sucursal, Coordinadora de la visita.

Imágenes

Estos manómetros son los más utilizados en el mundo para patronamiento y calibración.

Figura 38. Manómetro 1220



Fuente: <http://www.ashcroft-usa.com/gauges/industrialgauges.htm>, 08/07/2008.

Figura 39. Manómetro Diferencial F5503



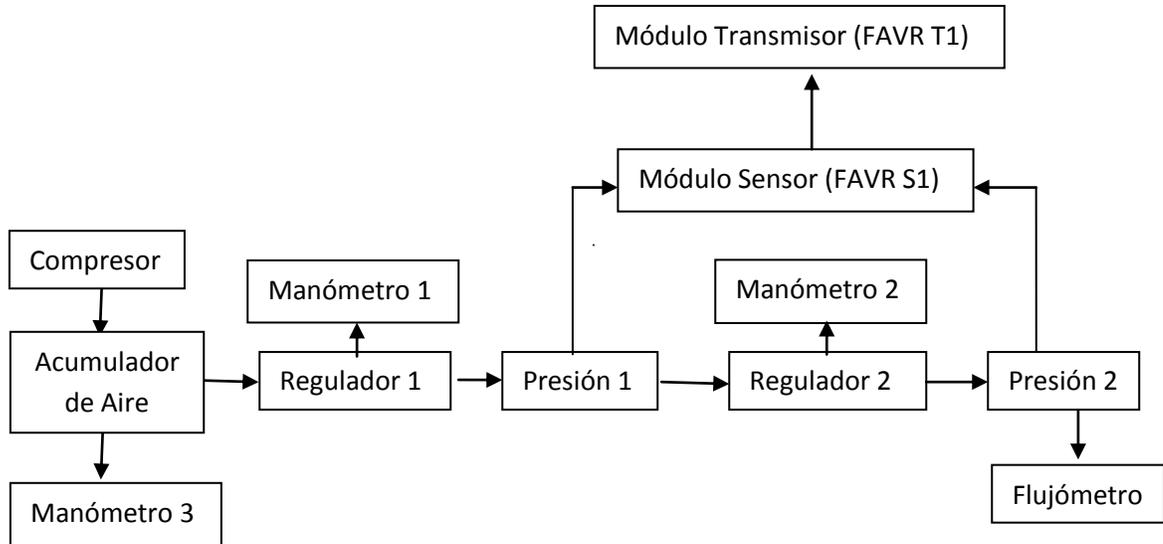
Fuente: <http://www.ashcroft-usa.com/gauges/industrialgauges.htm>, 08/07/2008.

3.2. DISEÑO MÓDULO DE PRESIÓN FAVR M1

El módulo de presión diferencial FAVR M1 se diseñó con el fin de aplicar y probar un transmisor de presión diferencial, objetivo principal de este proyecto. También que los estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga conozcan como se realiza un proceso desde que se genera una señal de presión hasta lograr transmitirla en un estándar de 4 a 20 mA. Consta de una serie de elementos industriales de alta calidad y buen desempeño.

El módulo está compuesto de un compresor, un acumulador de aire, dos reguladores, tres manómetros, un flujometro, fuente de alimentación, módulo sensor, módulo transmisor, conectores, tubos y racores. Con la distribución de estos instrumentos se logra generar en dos puntos una presión diferencial de 14.5 psi. Estos puntos son las señales de presión necesarias para el funcionamiento del sensor. Inicialmente se pensó en utilizar un sensor que manejara un rango de 0-30psi pero no es un dispositivo comercial en el país y además obligaba a trabajar con presiones más altas. De igual forma en el módulo se puede producir una señal de presión diferencial hasta de 40 psi. A continuación se muestra un esquema del módulo, se explicara cada una de sus partes y los montajes que se realizaron.

Figura 40. Esquema del módulo FAVR M1



Fuente: El autor del proyecto

3.2.1. COMPRESOR

Luego de analizar opciones se escogió el compresor portátil de diafragma sin aceite de 1/3 HP marca EVANS (figura 41); es un equipo único con recubrimiento de pintura profesional, solución para operaciones de spray, aerografía e inflado de neumáticos automotrices, de motocicleta, bicicleta y globos. Opera generando muy bajos decibeles. Se puede trasladar fácilmente debido a su bajo peso y tiene un consumo de energía eléctrica mínimo. Incluye un interruptor de encendido – apagado para controlar el compresor donde quiera y en cualquier momento. En la tabla 2 se muestra la ficha técnica del compresor.

Figura 41. Compresor Evans



Fuente: El autor del proyecto

Tabla 2. Ficha Técnica del Compresor

FICHA TÉCNICA	
Frecuencia:	60 Hz
Voltaje:	120 v
Fases:	1~
Potencia:	250 W
HP:	1/3 hp
Corriente Eléctrica:	4 A
r/min:	1740 r/min
Presión Máxima:	4 bar (58 psi)
Entrada de Aire:	150 l/min
Peso Neto:	9.5 kg
Medidas:	360x165x230 cms

El compresor incluye un extractor de Aire, manguera neumática especial (figura 42) y cable eléctrico.

Figura 42. Cable Conector



Fuente: El autor del proyecto

3.2.1.1. Instrucciones de seguridad

El uso no calificado o mantenimiento impropio de este compresor puede resultar en serio daño personal. Las siguientes instrucciones de seguridad deben ser tenidas en cuenta para evitar estos riesgos.

- a) Nunca apunte el flujo de aire comprimido directamente sobre ninguna parte de su cuerpo o de otra persona
- b) Protéjase siempre de una descarga eléctrica. No use este compresor en sitios húmedos o próximos al agua.
- c) Apague el compresor cuando no esté en uso; desconéctelo de la fuente de energía antes de hacer cualquier revisión, reparación, mantenimiento, limpieza o reemplazo de cualquier parte.
- d) Nunca mueva el compresor si está conectado a la fuente de alimentación.
- e) Cuando no esté en uso debe estar guardado en un lugar seco lejos de humedad. No lo deje al alcance de los niños.
- f) Nunca opere el compresor en presencia de líquidos inflamables o gases; puede producir chispa durante su operación. No utilice el compresor en áreas donde haya químicos, petróleo, adhesivos, pintura o demás sustancias inflamables o explosivas.
- g) No permita que niños u otras personas estén en contacto con el cable de corriente del compresor.

- h) Nunca tensione el cable de corriente para desconectarlo de la fuente de poder. Mantenga el cable lejos del calor, aceite o superficies cortantes. No pise el cable y cuide que no se desgarre, rompa o fracture.
- i) Sea precavido cuando el compresor este trabajando. Proceda cuidadosamente. Está prohibido que utilicen el compresor personas bajo la influencia de alcohol, drogas o medicamentos que causen somnolencia.
- j) Verifique, regularmente que los tornillos no estén flojos.
- k) Asegúrese que el voltaje de la fuente de energía sea el mismo que el mostrado en la placa del compresor; un sobrecalentamiento del motor puede ocurrir si el voltaje es mayor que el clasificado en la placa.
- l) No use el compresor si está dañado. Si el compresor produce ruidos inusuales o fuertes vibraciones cuando este en operación, o muestren síntomas inusuales que demuestren un daño potencial, el compresor debe ser detenido y apagado inmediatamente. Comuníquese con el centro de servicio más cercano para que determine la causa de esos síntomas.
- m) Utilice solo refacciones y partes genuinas de la misma marca.
- n) No haga modificaciones al compresor.

3.2.1.2. Problemas, causas y soluciones

En la siguiente tabla se especifican los posibles problemas, causas y soluciones que puede generar el compresor en su vida útil.

Tabla 3. Problemas, causas y soluciones.

PROBLEMA	CAUSAS	SOLUCIONES
El motor no trabaja	<ul style="list-style-type: none"> • El cable eléctrico esta averiado. • El switch de encendido está dañado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee el cable eléctrico y reemplace, si es el caso, por uno nuevo. • Verificar el switch de encendido y, si es el caso, reemplazarlo

<p>El motor hace ruido pero no arranca.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El extractor o el casquillo está totalmente bloqueado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desbloquee el extractor o el casquillo en un lugar autorizado.
<p>El motor corre pero hace ruido irregular o ruido de golpeteo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los baleros se soltaron o están dañados. • Los tornillos de la biela se soltaron o aflojaron. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplace los valeros. • Apriete los tornillos o reemplácelos por unos nuevos.
<p>No es suficiente la presión al inflar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La conexión neumática tiene fuga. • La manguera está rota • Están flojos o sueltos los tornillos de la cubierta del cilindro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Haga una conexión firme con cinta de sellado. • Reemplace la manguera • Apriete los tornillos
<p>El motor funciona bien pero no hay buena presión de aire o flujo de aire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los tornillos de la válvula o del diafragma están sueltos o mal colocados. • La lámina de entrada está destruida después de largo tiempo de uso bajo alta presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abra la cubierta del frente. Apriete los tornillos y coloque el diafragma en posición. • Reemplace la lámina de entrada.

3.2.1.3. Lista de partes

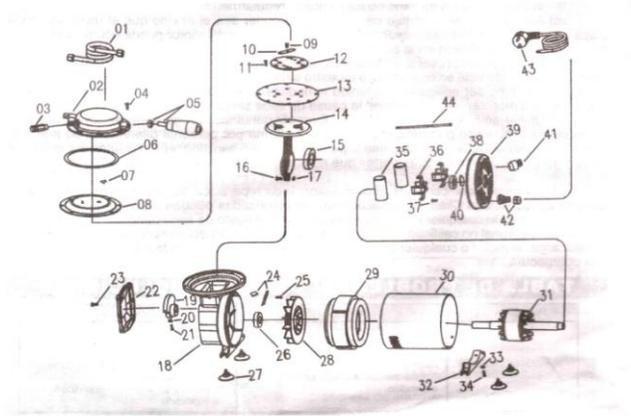
Tabla 4. Lista de partes del compresor

No de parte	Lista	No de Parte	Lista
01	Manguera	22	Cubierta frontal
02	Cubierta del cilindro	23	Tornillo estándar
03	Válvula de ajuste	24	Cartucho del filtro
04	Tornillo Estándar	25	Tornillo estándar
05	Mango	26	Balero
06	Empaque	27	Base de soporte
07	Válvula	28	Lámina del rotor
08	Placa de separación	29	Cojinete
09	Tornillo Estándar	30	Carcasa
10	Resorte de la válvula	31	Ensamble del rotor
11	Tornillo	32	Soporte
12	Placa de fijación del diafragma	33	Tuerca
13	Diafragma	34	Tornillo
14	Biela	35	Condensador
15	Balero	36	Soporte del condensador
16	Tornillo hexagonal	37	Tornillo
17	Tuerca hexagonal	38	Balero
18	Cabeza del cilindro	39	Cubierta trasera
19	Contrapeso de la biela	40	Cojinete
20	Tuerca hexagonal	41	Switch
21	Tornillo hexagonal	42	Manguera de ensamble del cable

3.2.1.4. Dibujo de partes

En la figura 43 se identifica cada una de las partes del compresor numeradas en la tabla 4.

Figura 43. Dibujo de partes del compresor.



Fuente: El autor del proyecto

3.2.2. ACUMULADOR DE AIRE

El acumulador de aire (figura 44) se utiliza principalmente para suministrar de aire comprimido; compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume. Debido a la gran superficie interna del acumulador adicionalmente el aire se refrigera. Por esto en el acumulador se desprende directamente una parte de la humedad del aire en forma de agua.

Figura 44. Acumulador de Aire



Fuente: El autor del proyecto

El tamaño del acumulador de aire comprimido depende de:

- Del caudal de suministro del compresor
- Del consumo de aire
- De la red de tuberías
- Del tipo de regulación
- De la diferencia de presión admisible en el interior de la red

Con el acumulador de aire se logra eliminar impurezas, estabilizar las fluctuaciones de presión (ayuda al compresor) y ayuda a enfriar el aire.

Para el módulo se construyó un acumulador de aire que maneja una presión de no más de 50 psi (Presión máxima de salida del compresor) pero fue diseñado para soportar una carga máxima de 500 psi. Tiene un punto de entrada de aire de 1/2 “, un punto de salida con una manguera que va al regulador 1 también de 1/2” y una válvula en la parte inferior del tanque para el desagüe de residuos. Se encuentra de forma vertical y tiene un peso de más o menos 28 kilogramos.

3.2.3. MANÓMETRO G3

Este dispositivo se encuentra situado a la entrada del acumulador de aire con el fin de indicar la presión presente en el tanque. Como se sabe que la presión máxima del compresor es de 50 psi es recomendable un manómetro que trabaje al doble de esta presión, es decir, 100 psi. Se adquirió un instrumento de marca alemana Royal Guage, recomendado para el manejo de bajas presiones. Viene de doble caratula manejando un rango de presión en pis y kg/cm^2 , ver figura 45.

Figura 45. Manómetro (G3) Royal Gauge de 100 psi



Fuente: El autor del proyecto

3.2.3.1. Especificaciones del manómetro G3

En la siguiente tabla se indican las especificaciones del manómetro G3 para una temperatura ambiente de 20°C.

Tabla 5. Especificaciones del Manómetro 3

Rango de medida	0...100 psi (7 Bar)
Presión de Trabajo (-1...100 Psi)	Constante 100% Full escala Fluctuante 90% Full escala Tiempo Corteo 130% Full escala
Temperatura de trabajo	-10 a 60 °C
Error por Temperatura	±0.4 por variación de ±10°C en relación a la temperatura de referencia 20°C
Precisión	Clase 2.5
Conexión	Materia: Latón CW612N, 2 pisos 11 mm, G1/4 (estándar), Hexagonal 22 mm, hilo G1/2, Vertical.
Elemento Sensor	Material: Bronce, Tubo Bourdon-C
Ventana	Vidrio
Dial	Aleación de aluminio, Figura Negra
Puntero	Aleación de aluminio, Pintado de color negro

3.2.4. REGULADOR R1

El objetivo de este elemento es fijar una presión de entrada mayor o igual a 15 psi. Por ser un regulador primario para el módulo de presión es necesario adquirir un instrumento con buena precisión. Para esto se escogió el regulador serie 67CFR de Fisher (figura 46). Este producto puede usarse como accesorio de seguridad para equipos de baja presión según la categoría siguiente de la Directriz de Equipos bajo Presión 97/23/EC.

Figura 46. Regulador (R1) 97CFR Fisher



Fuente: El autor del proyecto

3.2.4.1. Especificaciones del regulador R1

La siguiente tabla contiene las especificaciones de operación del regulador R1

Tabla 6. Especificaciones del regulador 1

Tamaño del cuerpo y estilo de conexión	DN 6 (1/4 in) NPT roscada
Presión máxima de entrada (Capacidad de cuerpo) ¹	17,2 bar (250 psi)
Presión máxima de salida ¹	3,4 bar (50 psi) sobre el valor de presión de salida.
Presión de prueba	Todos los elementos encargados de retener presión han sido sometidos a ensayos según de directiva 97/23/EC- Anexo 1, sección 7.4
Rangos de presiones de salida ¹	0 a 1,4 bar (20 psi) 0 a 2.4 bar (35 psi)

¹ No se puede exceder los límites de presión y temperatura indicados en estas especificaciones y en toda norma o código aplicable.

	0 a 4.1 bar (60 psi) 0 a 8.6 bar (125 psi)
Capacidades de temperaturas ¹	Nitrilo (NBR): -40 a 82°C (-40 a 180°F)

3.2.4.2. Instalación

El regulador debe ser utilizado sólo por personal calificado. Los reguladores deben instalarse, utilizarse y mantenerse según los códigos y reglamentos internacionales y locales.

Si el regulador tiene escape de fluido o si se producen fugas en el sistema se requiere mantenimiento. Si el regulador no se inhabilita inmediatamente se puede crear una condición peligrosa.

Se pueden causar lesiones personales, daños al equipo o fugas debido al escape del fluido o rotura de piezas que llevan al fluido a presión si este regulador se somete a presiones excesivas o si se instala en condiciones de trabajo que exceden los límites nominales de la tubería. La válvula de alivio interna de los reguladores serie 67CFR no ofrece protección completa para sobrepresiones.

Limpie todas las tuberías antes de instalar el regulador y compruebe que el regulador no haya sufrido daños ni ha acumulado material extraño durante el transporte.

3.2.4.3. Protección contra sobrepresión

Los límites recomendados de presión se encuentran estampados en la placa de identificación del regulador. Se requiere algún tipo de protección para sobrepresión si la presión real de entrada excede el valor nominal máximo de salida de presión de trabajo. El hecho que el regulador funcione a niveles de presión por debajo de los límites máximos no excluye la posibilidad de daños causados por fuentes externas. Revisé el regulador después de haber estado expuesto a sobrepresión.

3.2.4.4. Arranque

El regulador se ha ajustado de fábrica aproximadamente al punto medio del recorrido del resorte o al valor de presión solicitado, por lo que puede ser necesario un ajuste inicial para obtener los resultados deseados. Luego de ajustar la válvula de alivio, una vez que se haya complementado la instalación, abra lentamente las válvulas de corte colocadas aguas arriba y aguas abajo.

3.2.4.5. Ajuste

Para cambiar la presión de salida quite la tapa de cierre, suelte la contratuerca y gire el tornillo de ajuste en sentido horario para aumentar la presión de salida o en sentido contra horario para reducirla. Compruebe la presión de salida utilizando un manómetro de prueba durante el ajuste. Vuelva a colocar la tapa de cierre y asegure la contratuerca para mantener el ajuste del nivel deseado.

3.2.4.6. Lista de piezas

Esta tabla comprende una lista de piezas del regulador R1 con un número de parte que se encuentra indicado en la figura 47.

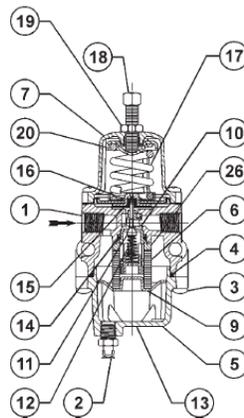
Tabla 7. Lista de piezas del regulador 67CFR

No Parte	Pieza
1	Cuerpo
2	Válvula de Vacío
3	Tornillo Embridado
4	Anillo "O"
5	Cavidad de goteo
6	Elemento del filtro
7	Caja de Resorte
9	Retenedor de filtro
10	Cartucho de Válvula
11	Tapón de válvula

12	Resorte de válvula
13	Retenedor de válvula
14	Anillo "O"
15	Asiento blando
16	Conjunto de Diafragma
17	Resorte
18	Tornillo de ajuste
19	Contratuerca
20	Asiendo de resorte superior
26	Empaquetadura del filtro
34	Espaciador

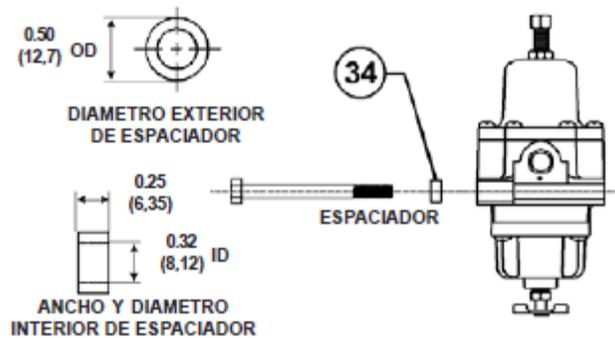
3.2.4.7. Dibujo de partes

Figura 47. Dibujo de partes del 97CFR



Fuente: Guía de instalación del regulador serie 67C, Emerson, 2003.

Figura 48. Dimensiones e instalación del separador



Fuente: Guía de instalación del regulador serie 67C, Emerson, 2003.

3.2.5. MANÓMETRO G1

El manómetro 1 es un instrumento que va conectado al regulador 1 para indicar la presión de salida, es decir, presión 1. Es de marca Royal Gauge, ver figura 49. Se utiliza normalmente para medir bajas presiones y su costo es económico. El rango de presión es de 60 psi pero para este caso maneja una presión fija de 20 o 14.5 psi. Trabaja con fluidos no corrosivos y es resistente a sobre presiones transitorias.

Figura 49. Manómetro (G1) Royal Gauge de 100 psi



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.5.1. Especificaciones del manómetro (G1)

En la siguiente tabla se indican las especificaciones del manómetro G1 para una temperatura ambiente de 20°C.

Tabla 8. Especificaciones del manómetro G1

Rango de medida	0...100 psi (7 Bar)
Presión de Trabajo (-1...60 Psi)	Constante 100% Full escala Fluctuante 90% Full escala Tiempo Corteo 130% Full escala
Temperatura de trabajo	-10 a 60 °C
Error por Temperatura	±0.4 por variación de ±10°C en relación a la temperatura de referencia 20°C
Precisión	Clase 1.6
Conexión	Materia: Latón CW612N, 2 pisos 11 mm, G1/4 (estándar), Hexagonal 22 mm, hilo G1/2, Vertical.
Elemento Sensor	Material: Bronce, Tubo Bourdon-C
Ventana	Plástico
Dial	Aleación de aluminio, Figura Negra
Puntero	Aleación de aluminio, Pintado de color negro

3.2.6. REGULADOR R2

El objetivo en el módulo es manipular una presión diferencial de 14.5 psi en el punto 2 (P2). Este dispositivo es un regulador de aire sencillo de marca XMC de la serie

XR4 (figura 50). Está diseñado para aplicaciones que requieren una rápida respuesta y altas capacidades de flujo asociadas a su gran capacidad de alivio. El ajuste de presión por perilla, le permite una suave manipulación independiente de las presiones de servicio. Las salidas para el manómetro (1/8") pueden utilizarse también como salidas adicionales de presión regulada.

Figura 50. Regulador de aire XR4



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.6.1. Especificaciones del regulador R2

Las especificaciones del regulador R2 se muestran a continuación.

Tabla 9. Especificaciones del regulador 1

Estilo de conexión	(1/4 in) NPT roscada
Presión máxima de entrada (Capacidad de cuerpo).	10.3 bar (150 pis)
Presión máxima de salida	3,4 bar (50 psig) sobre el valor de presión de salida.

Capacidades de temperaturas	-10 a 60°C
Tamaño del puerto del manómetro	(1/8") NPT roscada
Fluido	Aire comprimido

3.2.7. MANÓMETRO G2

Con el fin de conseguir una variación en la medida para lograr un diferencial de 14.5 psi en el punto de presión 2 se adquirió un manómetro de mayor precisión. Es de marca Bourdon Haenni (figura 51), muy conocida en el mundo de la instrumentación industrial por su alta fiabilidad en los productos de patronamiento. Estos aparatos son conformes a la directiva PED 97/23/CE.

Figura 51. Manómetro G2 de Bourdon Haenni 60 psi



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.7.1. Especificaciones del manómetro G2

En la siguiente tabla se indican las especificaciones del manómetro G2 para una temperatura ambiente de 20°C.

Tabla 10. Especificaciones del manómetro G2

Rango de medida	0...60 psi (4.13 Bar)
Presión de Trabajo (-1...60 Psi)	Constante 100% Full escala Fluctuante 90% Full escala Tiempo Corteo 130% Full escala
Temperatura de trabajo	-20 a 70 °C
Error por Temperatura	±0.4 por variación de ±10°C en relación a la temperatura de referencia 20°C
Precisión	Clase 1.6
Conexión	Materia: Latón CW612N, 2 pisos 11 mm, G1/4 (estándar), Hexagonal 22 mm, hilo G1/2, Trasera.
Elemento Sensor	Material: Bronce, Tubo Bourdon-C
Ventana	Vidrio, espesor 4 mm
Dial	Aleación de aluminio, Figura Plateada
Puntero	Aleación de aluminio, Pintado de color negro

3.2.7.2. Recomendaciones

Una utilización incorrecta de los manómetros puede causar daños y heridas. Así pues, en aplicación de esta directiva, el usuario debe cerciorarse de los manómetros se utilicen y estén instalados de forma adecuada para limitar al máximo los riesgos debidos a la presión.

El manómetro no debe ser sometido a las condiciones de la siguiente tabla:

Tabla 11. Precauciones al uso de un manómetro

Problema	Solución
Golpes mecánicos	Alejarlo y conectarlo a un tubo flexible.
Vibraciones	Alejarlo y conectarlo a un tubo flexible o usar un manómetro equipado con un dispositivo antivibratorio.
Pulsaciones de presión	Usar un montaje con tornillo freno o amortiguador.
Presiones superiores a las de servicio PS	Usar un limitador de presión.
Temperaturas superiores e inferiores a las de servicio TS	Usar un montaje sobre un sifón o con tubo flexible para respetar las temperaturas admisibles del manómetro.

El manómetro se debe montar de conformidad con las normas de buena ejecución.

- En atmosferas explosivas es preferible utilizar herramientas antichispeantes, en presencia de gas del grupo IIC el uso de herramientas en acero está totalmente prohibida.
- El usuario debe asegurarse de la hermeticidad de las conexiones usando juntas adecuadas y compatibles con el fluido que se va a medir.

- Usar una llave de apriete adaptada a las dimensiones de las conexiones. No usar nunca la caja como medio de apriete.
- Los manómetros solo se pueden instalar en aquel fluido correspondiente a su primer uso.

Al desmontarse se debe asegurar de que el manómetro no esté sometido a presión. Como medida de precaución desmontarlo lentamente. Comprobar que la temperatura del cuerpo del manómetro no presenta riesgos de quemadura.

3.2.7.3. Mantenimiento

- Frecuentemente la seguridad general de una instalación depende de la fiabilidad de las indicaciones de los manómetros instalados.
- Es necesario desmontar inmediatamente cualquier manómetro cuyas indicaciones parezcan incorrectas y someterlo a prueba. Si no está conforme debe cambiarse por un aparato nuevo.
- Los manómetros que hayan podido estar sometidos a condiciones anormales de uso (por ejemplo incendio, fluido incorrecto, golpes, etc.) no deben seguir siendo usados.

3.2.8. FLUJÓMETRO

Controla el flujo de aire que circula sobre el módulo. Maneja una escala de 0 a 4.7 litros por minuto, ver figura 52. Pertenece a la serie RM de Dwyer (RMB) quien ofrece tres modelos para diferentes tipos de lecturas: agua, aire y gas. Es de fácil uso, instalación y mantenimiento; viene diseñado para una larga durabilidad, presiones mayores a 100 psi (7 bar) y temperatura superiores a los 54°C.

Figura 52. Flujometro RMB



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.8.1. Especificaciones del flujometro

En la tabla 12 se muestran las especificaciones del medidor de flujo RMB.

Tabla 12. Especificaciones del flujómetro RMB

Servicio	Compatible con gases y líquidos
Material	Cuerpo: policarbonato; O-ring: Neopreno y Buna-N; Piezas metálicas: acero inoxidable; Flotador: Acero inoxidable, cristal negro, aluminio, monel K.
Límite de temperatura	54°C (130°F)
Límite de presión	100 psi (7 bares)
Precisión	3% del fondo de escala
Proceso de conexión	1/4" NPT hembra
Peso	368.5 gramos

Posición de montaje	Vertical
---------------------	----------

3.2.8.2. Calibración

Estos elementos vienen con un calibrado de fábrica de alta precisión. Si en algún momento de la vida útil necesita de calibración debe ser contrastado con un instrumento certificado para estos casos. Si se observa alguna irregularidad con el flujómetro es recomendable comunicarse con los distribuidores autorizados. Antes de proceder con la instalación se debe verificar el estado del producto, el rango que maneja y el flujo utilizado. El panel de montaje no debe estar expuesto a vibraciones que puedan alterar las propiedades del dispositivo.

3.2.9. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para el funcionamiento del transmisor es necesario tener una fuente que trabaje con varios voltajes y suministre una corriente mayor a 500 mA. Se adquirió en el mercado tal dispositivo que cumple con las especificaciones dadas, ver figura 53.

Figura 53. Fuente de alimentación



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.9.1. Especificaciones de la fuente

La fuente de alimentación del módulo para el sistema electrónico tiene las siguientes especificaciones.

Tabla 13. Especificaciones Fuente de alimentación.

Salida (DC)	24v, +11v, -11v
Corriente de salida	0 a 1 A
Precisión de medida	+(0.5%+ 1 dígito)
Ondulación y Ruido	1 mV
Regulación lineal	0.02% + 5 mV
Regulación de carga	0.02% + 5 mV
Voltaje de operación	120v, 60 Hz
Dimensiones	"16x9x5.5 cm"
Peso	2 Kg

3.2.9.2. Cables de conexión de la fuente

La fuente de poder utiliza cuatro cables calibre 18 con su respectivo voltaje que se acoplan al conector hembra de 5 pines instalado en el módulo FAVR M1. En siguiente tabla se identifican los colores y valores para cada cable.

Tabla 14. Identificación cables de la fuente de alimentación

Color	Valor
Verde	Tierra (GND)

Amarillo	+11Vdc
Azul	-11Vdc
Rojo	+24Vdc

3.2.10. MONTAJE DEL MÓDULO FAVR M1

3.2.10.1. Alimentación de aire comprimido

Después de tener el compresor con las especificaciones necesarias para el funcionamiento del módulo, se realizaron pruebas para determinar el buen funcionamiento. La salida de aire debe ser constante y la presión debe ser igual a la nominal que en este caso es de más o menos 50 psi. El compresor trae una válvula (figura 54) de ajuste como salida de aire auxiliar para evitar la sobrepresión y el calentamiento del motor. Este dispositivo se encuentra situado al lado derecho de la salida de aire principal y se puede graduar girando el tornillo según la cantidad de aire de escape que el compresor requiera. La sobrepresión o el calentamiento del motor del compresor se manifiestan mediante fuertes vibraciones; por esto es recomendable utilizar la salida externa del compresor o un acumulador de aire y no dejarlo encendido mientras no se está utilizando.

Figura 54. Válvula de ajuste externa de aire del compresor



Fuente: El autor del proyecto.

A la salida de aire principal del compresor fue adaptado un conector de $\frac{1}{4}$ " hembra-macho de cobre para evitar que al colocar la manguera se pudiese dañar la rosca fija del compresor. A estas conexiones se les instaló cinta de teflón para evitar fugas de aire, ver figura 55.

Figura 55. Conector de $\frac{1}{4}$ " Hembra-Macho



Fuente: El autor del proyecto.

La manguera está hecha con un material apropiado para este tipo de presiones y realiza la conexión entre el compresor y el acumulador de aire. Los conectores de la manguera son de $\frac{1}{4}$ " NPT. Para la entrada del acumulador de aire se realizó un montaje de tal forma que se pueda indicar la presión en el tanque. Por medio de una T en acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " se acopló la manguera del compresor, el manómetro 1 y la entrada del acumulador; se utilizó un conector macho-macho de $\frac{1}{4}$ " para unir la manguera con la T y un convertidor de $\frac{1}{2}$ " macho a $\frac{1}{4}$ " hembra para el acople entre la T y el acumulador. El manómetro 1 se encajó en la parte vertical de la T en su conexión de $\frac{1}{4}$ ", ver figura 56. A todos los acoples se les aplicó cinta de teflón.

En la parte inferior del tanque se instaló una válvula (figura 57) de bola de $\frac{1}{2}$ " para eliminar los residuos sólidos y líquidos que puedan estar dentro del acumulador. Para realizar esta acción solo se debe girar el mango 90° . Si el acumulador se encuentra sometido a alguna presión es recomendable abrir la válvula (V1) suavemente y así evitar descargas de aire bruscas. El mango normalmente debe estar en posición perpendicular (cerrado) a la tubería para que pueda mantener la presión en el tanque.

Figura 56. Montaje conexión compresor - acumulador de aire



Fuente: El autor del proyecto.

En la base superior del cilindro acumulador se encuentra la salida de aire. Para conectar la manguera que va hacia el sistema de presión (al regulador 1) se instaló un convertidor de $\frac{1}{2}$ " macho a un $\frac{1}{4}$ " hembra (figura 58). Como la manguera viene con terminales tipo hembra de $\frac{1}{4}$ " se uso conector macho-macho de $\frac{1}{4}$ ". Todas estas conexiones fueron reforzadas con cinta de teflón para evitar fugas.

Figura 57. Válvula de escape de residuos



Fuente: El autor del proyecto.

Figura 58. Conexión acumulador - sistema de presión



Fuente: El autor del proyecto.

El acumulador de aire se encuentra situado en la parte trasera del módulo FAVR M1, ver figura 59. Debido a que es un cilindro de área igual a 4.6 m^2 y de un peso de 25 kg, se recomienda trasladarlo independiente del módulo y colocarlo en su posición cuando se mantenga en un lugar fijo.

Figura 59. Acumulador de aire en el módulo FAVR M1



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.2. Sistema de presión

Luego de tener todo el sistema de alimentación listo con una carga de presión de aproximadamente 50 psi a la salida del acumulador, se realiza el acople de la manguera con el regulador 1. Este regulador presenta una conexión de entrada de $\frac{1}{4}$ " NPT, por lo que se instaló un conector macho-macho de $\frac{1}{4}$ ". Para indicar la presión presente a la salida del regulador 1 se ubicó el manómetro 1 en sus respectivas conexiones de $\frac{1}{4}$ ". Luego de tener listo los acoples se ajustó el regulador girando el tornillo en sentido horario para aumentar la salida de presión y así obtener una señal 15 psi, ver figura 60.

Figura 60. Montaje Regulador 1



Fuente: El autor del proyecto.

Con el fin de establecer un punto de presión (Presión 1) a la salida del regulador 1 se conectó un tubo de $\frac{1}{4}$ " de unos 7 cm de largo que va hacia una T (figura 61). En este punto se conectó un convertidor de $\frac{1}{4}$ " macho a $\frac{1}{8}$ " con acople para manguera de plástico el cual se enlaza a uno de los puntos del sensor de presión MPX2100.

El regulador 2 maneja en su entrada y salida conexiones de $\frac{1}{4}$ " NPT, y $\frac{1}{8}$ " para el acople con el manómetro (figura 62). Está conectado mediante un tubo de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ " de unos 8 cm desde la salida de la T. Como el manómetro 2 viene con conector de $\frac{1}{4}$ ", se incorporó un convertidor $\frac{1}{8}$ " a $\frac{1}{4}$ ". Luego de hacer estos arreglos, se puede manipular la perilla del regulador para variar la presión de salida en un rango de 15 psi hasta 0 psi o viceversa. Con esto se logra una presión diferencial entre los puntos 1 y 2 del módulo. Para establecer el punto 2 (presión 2) se utilizó una T como en el punto 1, realizando los mismos acoples pero conectando el otro pin del sensor.

Figura 61. Montaje punto de Presion1



Fuente: El autor del proyecto.

De la salida de la T correspondiente al punto de presión 2 (ver figura 63) sigue una tubería que conecta por medio de un codo de $\frac{1}{4}$ " a un flujometro. Este instrumento presenta dos sitios de conexión: una para la entrada del flujo de aire y otro para la salida; variando la perilla se logra controlar la salida del aire del sistema de presión.

Figura 62. Montaje regulador 2



Fuente: El autor del proyecto.

Figura 63. Montaje Punto de Presión 2



Fuente: El autor del proyecto.

Figura 64. Montaje Flujometro



Fuente: El autor del proyecto.

Todo el sistema de presión se encuentra situado en la parte frontal del módulo FAVR M1 a unos 20 cm de la base. Se sostiene por medio de dos soportes (figura 65) en forma de U soldados a la tubería, diseñados para resistir el peso y la fuerza aplicada ante cualquier manipulación.

Figura 65. Soportes



Fuente: El autor del proyecto.

Figura 66. Sistema de presión



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.3. Módulo FAVR S1

El módulo del sensor MPX2100 está ubicado en parte superior del panel frontal a unos 60 cm de la base. Las dimensiones son 9.5 cm alto, 10.5 cm de ancho, 4 cm de fondo y viene adherido mediante un sistema de carriel hecho en acrílico que se encuentra en la parte trasera del mismo. De esta forma práctica se puede manipular o reemplazar el sensor sin necesidad de dañar el módulo principal. Dos mangueras de 1/8" son las que conectan al módulo FAVR S1 al sistema de presión, el cual

entrega dos señales neumáticas que son necesarias por el sensor para el funcionamiento del transmisor. La alimentación se realiza por medio de un cable que enlaza el módulo con la fuente principal. La señal de salida va por otro punto hasta el módulo FAVR T1 (figura 67) también por medio de un cable de varios hilos.

Figura 67. Módulo FAVR S1



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.4. Módulo FAVR T1

Este dispositivo está compuesto por un circuito transmisor, un indicador de corriente, elementos para calibración y un conector de alimentación, ver figura 68. Sus dimensiones son 13.5 cm alto, 15.5 cm de ancho, 3.5 cm de fondo; también se adhiere al módulo principal mediante un sistema de carriel. El usuario puede ver el circuito de transmisión y la indicación de la corriente de 4 a 20 mA a través de un multímetro marca Unit que se encuentra instalado internamente en el módulo. Una batería de 12V que lo alimenta, está situada a la derecha del indicador con fácil acceso para hacer un cambio en caso de agotarse. Un interruptor controla el encendido y apagado. La alimentación del circuito se conecta por medio de un cable al módulo FAVR S1 y allí mismo recibe la señal proveniente del sensor.

Figura 68. Módulo FAVR T1 internamente



Fuente: El autor del proyecto.

Figura 69. Módulo FAVR T1

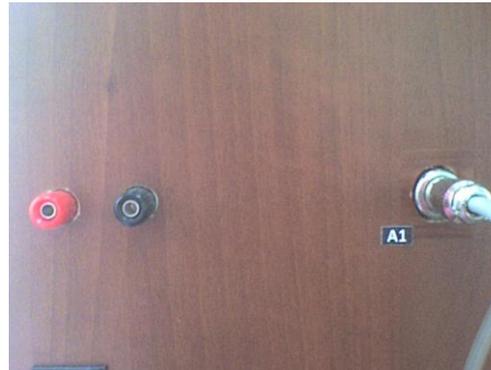


Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.5. Puntos de voltaje

En el diseño del módulo se dejó en la oportunidad en el futuro de conectar otro transmisor para realizar pruebas con el sistema de calibración de presión, por ello se dejó a disposición dos terminales (24 Vdc y Tierra). Estos se encuentran situados en una esquina de la parte superior del módulo, ver figura 70. A su lado está el conector tipo hembra para el cable de alimentación del módulo FAVR S1.

Figura 70. Puntos de voltaje

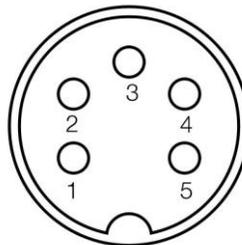


Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.6. Cables para conexión para los módulos

La conexión entre la alimentación del módulo FAVR M1, el módulo del sensor y el módulo de transmisión se hace por medio de dos cables utp unidos cada uno a dos conectores DIN tipo macho de 5 pines (figura 71). De los ocho hilos que trae el cable, se utilizaron cuatro para alimentación y uno para la señal del sensor. En la siguiente tabla se especifica el color y el número de pin.

Figura 71. Conector Din 5-pines



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Conector_DIN, 02/02/2009.

Tabla 15. Identificación de conexiones entre cable utp y conectores Din 5-pines

Color Cable utp	Pin Conector Din	Valor
Azul	1	-11Vdc
Café	2	+11Vdc
Verde-Blanco	3	+24Vdc
Verde	4	Tierra (GND)
Naranja	5	Señal Sensor

Figura 72. Cable utp con conectores Din 5-pines



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.7. Montaje de la Fuente

La fuente de alimentación (figura 73) para los circuitos electrónicos se instaló en la parte de atrás del módulo FAVR M1. Contiene un interruptor para que el usuario pueda habilitar o deshabilitar la energía y también un fusible como sistema de seguridad para sobrecargas.

Figura 73. Montaje fuente de alimentación



Fuente: El autor del proyecto.

3.2.10.8. Etiquetas

Todos los instrumentos, dispositivos y módulos utilizados se etiquetaron con el fin que el usuario identificare los elementos. Se hicieron en acrílico de color negro con letras blancas y de tamaño visible desde mediana distancia. A continuación se mostrará una tabla con las letras de identificación.

Tabla 16. Letras de Identificación del Módulo FAVR M1

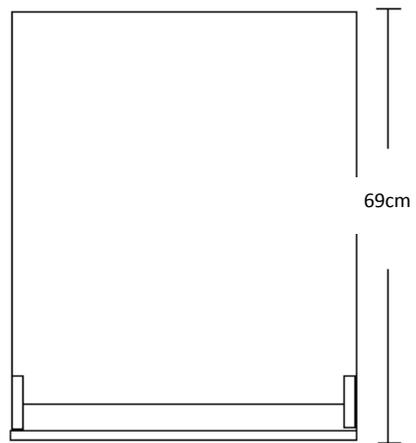
DISPOSITIVO	LETRA	NUMERO
Manómetro	G	1,2,3
Regulador	R	1,2
Punto de presión	P	1,2
Válvula	V	1
Módulo Principal	FAVR M	1
Módulo Sensor	FAVR S	1
Módulo Transmisor	FAVR T	1
Puntos de Alimentación	Volt	24V, 0V

Externos		
Fuente	Fuente	
Compresor	Compresor	1
Acumulador de Aire	Acumulador	1
Indicador de Corriente	Indicador	
Punto de alimentación	A	1,2,3,4
Diagrama esquemático		
Ajuste de span	Span	
Ajuste de cero	Cero	

3.2.10.9. Montaje panel principal

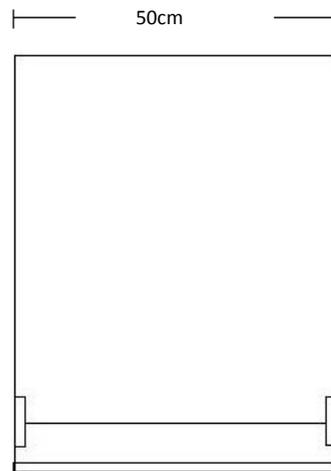
El panel principal del módulo FAVR M1 se hizo en madera tipo MDS, utilizado normalmente en muebles de escritorio para el hogar. Sus dimensiones son: 69 cm de altura, 50 de ancho, una base de 1400 cm² y grosor de 1.5 cm. Posee soportes triangulares para mantener estabilidad en la tabla y tolerar el peso de los instrumentos que en ella se instalen. En las figuras 74, 75 y 76 se muestran las medidas para cada una de las caras del módulo.

Figura 74 Parte frontal del panel.



Fuente: El autor del proyecto

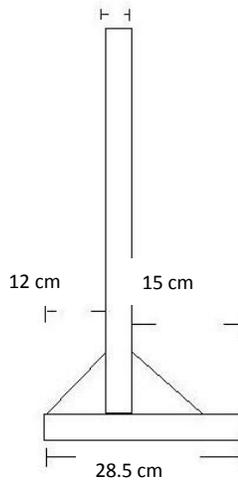
Figura 75. Parte Trasera del panel.



Fuente: El autor del proyecto

Figura 76. Parte Lateral del panel.

1.5 cm



Fuente: El autor del proyecto

3.3. DISEÑO DEL TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL

Los transmisores de presión que existen hoy en día son instrumentos que están compuestos por elementos y circuitos muy costosos. El diseño que se desarrolló comprende dispositivos comerciales en el mercado local y de bajo valor económico. También cuenta con la información suficiente para que sea interpretada y analizada por un ingeniero o técnico en electrónica, buscando diseñar otros dispositivos en el futuro que pueden complementar la aplicación de este diseño en otros campos de la instrumentación industrial.

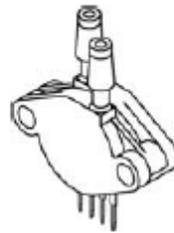
El diseño consta de tres etapas básicas: sensado, acondicionamiento de señal, y transmisión; cada etapa cumple con las especificaciones del módulo FAVR M1. A continuación se describen las etapas y la forma como se desarrolló el montaje de los circuitos electrónicos.

3.3.1. SENSOR DE PRESIÓN

3.3.1.1. Descripción

El sensor es el elemento encargado de medir el diferencial de presión y convertirlo a una señal de voltaje. Como el módulo FAVR M1 fue diseñado para trabajar una presión menor a la capacidad máxima del compresor, es decir, 50 psi, se seleccionó sensor que trabaja en estas condiciones. El MPX2100D de Motorola (Ver figura 77) es un dispositivo electrónico que maneja una presión diferencial de 14.5 psi (100 kPa); se compone de piezoresistencias de silicio sensibles a la presión que proporciona una variación de tensión precisa, lineal y directamente proporcional a la presión aplicada; consta de un diafragma monolito de silicio y una fina película en una red de resistencias integradas a un chip. El chip se ajusta, compensa y calibra mediante una temperatura producida por un laser.

Figura 77. Sensor de presión diferencial MPX2100DP



MPX2100DP
CASE 344C-01

Fuente: Hoja de datos del MPX2100DP, pag 1.

3.3.1.2. Características del MPX2100DP.

- Compensación de temperatura por encima de 0°C a 85°C
- Diferentes encapsulados dependiendo del uso
- Disponible para configuraciones de medida en modo absoluto y diferencial.

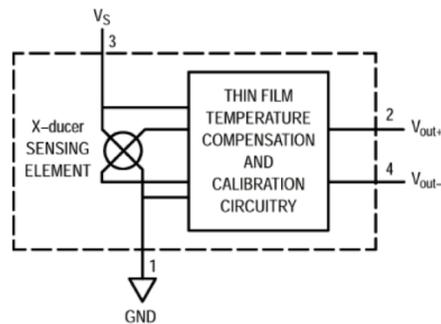
- Linealidad $\pm 0.25\%$
- Peso de 2 gramos

3.3.1.3. Aplicaciones del MPX2100DP

- Control de motobombas
- Robótica
- Indicaciones de niveles
- Diagnósticos médicos
- Cambios de presión
- Barómetros
- Altímetros

En la siguiente figura se muestra un diagrama interno del sensor y los pines de conexión.

Figura 78. Diagrama de pines del MPX2100DP



Fuente: Hoja de datos del MPX2100DP, pag 2.

La entrada de presión absoluta viene con referencia al vacío (Ver figura 80). El voltaje de salida diferencial o del sensor de medida aumenta al aumentar la presión que se aplica por el lado de la presión (P1) respecto al lado del vacío (P2). De igual manera, la tensión de salida aumenta según se aplica el vacío por el lado del vacío (P2) respecto al lado de presión (P1).

3.3.1.4. Rangos máximos de operación del MPX2100DP

En la siguiente tabla se encuentran los rangos del sensor a un máximo de operación.

Tabla 17. Rangos máximos del MPX2100D

RANGO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Sobrepresión ⁸ (P1>P2)	P _{max}	30	psi
Presión de ruptura ⁸	P _{burst}	145	psi
Temperatura de almacenamiento	T _{stg}	-40 a +125	°C
Temperatura de trabajo	T _A	-40 a +125	°C

3.3.1.5. Características de trabajo del sensor

La tabla 18 muestra las características de trabajo para un voltaje de alimentación igual a 10 Vdc, una temperatura ambiente de 25°C y la presión 1 (punto 1) mayor que la presión 2 (punto 2).

Tabla 18. Características de trabajo del MPX2100D

Característica	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Rango de presión ^{1,2}	P _{OP}	0	-	14.5	psi
Tensión de Alimentación	V _s	-	10	16	Vdc
Corriente de Alimentación	I _s	-	6	-	mAdc

Fondo de Escala ³	V_{FSS}	38.5	40	41.5	mV
Offset ⁴	V_{off}	-1.0	-	1.0	mV
Linealidad ⁵	-	-0.25	-	0.25	% V_{FSS}
Histéresis de presión ⁵ (0 a 14.5 psi)	-	-	± 0.1	-	% V_{FSS}
Histéresis de Temperatura ⁵ (-40 a 125°C)	-	-	± 0.5	-	% V_{FSS}
Efecto de temperatura al fondo de escala ⁵	TCV_{FSS}	-1.0	-	1.0	% V_{FSS}
Efecto de temperatura en el offset ⁵	TCV_{off}	-1.0	-	1.0	mV
Impedancia de entrada	Z_{in}	1000	-	2500	Ω
Impedancia de salida	Z_{out}	1400	-	3000	Ω
Tiempo de respuesta ⁶ (10% al 90%)	T_r	-	1.0	-	ms
Pre calentamiento	-	-	20	-	ms
Estabilidad de offset ⁷	-	-	± 0.5	-	% V_{FSS}

Notas:

1. 1 psi equivale a 6.89 Kpa (kilopascales)
2. Rango de trabajo del dispositivo. Si el dispositivo trabaja dentro del rango de especificación puede aparecer un error debido al pre calentamiento del elemento.
3. El Fondo de escala (V_{FSS}) se define como la diferencia algebraica entre los voltajes de salida a máxima y mínima presión.
4. Offset (V_{off}) se define como la tensión de salida con la mínima presión.
5. Exactitud (error budget) consiste en lo siguiente:
 - Linealidad: desviación de la salida respecto a la línea recta de la presión, usando el método de puntos extremos, sobre un rango específico.

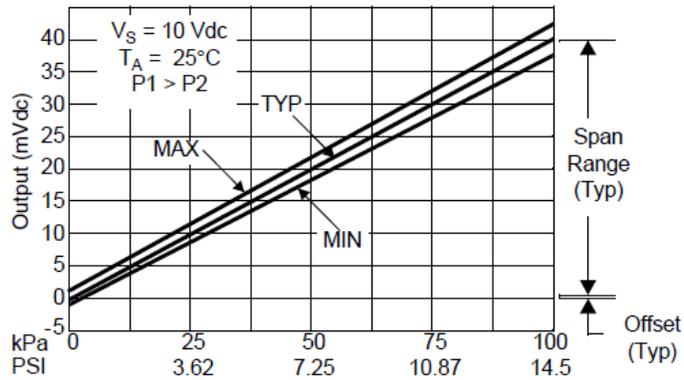
- Histéresis de temperatura: desviación de la salida a una temperatura dentro de un rango de operación, después de un ciclo de trabajo y de los puntos mínimo y máximo, con un diferencial de presión aplicado nula.
 - Histéresis de presión: desviación de la salida a una presión dentro de un rango especificado, cuando esta presión cumple un ciclo de trabajo del valor mínimo al máximo a 25°C.
 - Efecto de temperatura al fondo de escala: desviación de la salida al máximo de presión, sobre un rango de temperatura de 0 a 85°C, relativo a 25°C.
 - Efecto de temperatura en el offset: desviación de la salida con la mínima presión aplicada, sobre un rango de temperatura de 0 a 85°C, relativo a 25°C.
6. El tiempo de respuesta se define como el tiempo necesario para incrementar el valor final de la salida del 10 al 90% de la presión máxima.
 7. Estabilidad del offset es la desviación de la salida del sensor cuando está sujeto a 1000 horas de pulsaciones de presión bajo pruebas de temperatura.

3.3.1.6. Calibración y compensado de temperatura del chip

La figura 79 muestra las características de salida a temperatura ambiente de 25°C del sensor MPX2100DP. La salida es directamente proporcional a la diferencia de presión y se manifiesta mediante una línea recta. Los efectos de la temperatura a fondo de escala y offset son mínimos como se puede ver en la gráfica.

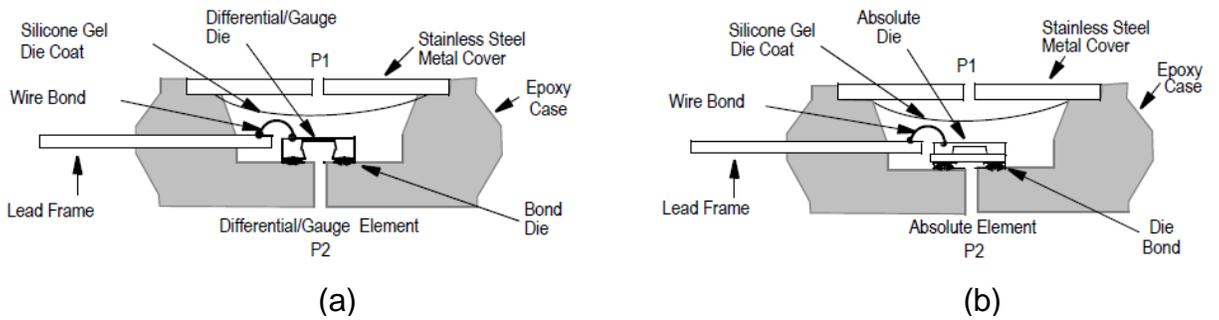
En la figura 80 se observa la configuración del sensor para modo absoluto (b) y modo diferencial (a). Un gel de silicona aísla el molde de la superficie de las conexiones ambientes, permitiendo transmitir la señal de presión al diafragma de silicio.

Figura 79. Salida vs diferencial de presión



Fuente: Hoja de datos del MPX2100DP, pag 5.

Figura 80. Diagrama de la sección de cruce



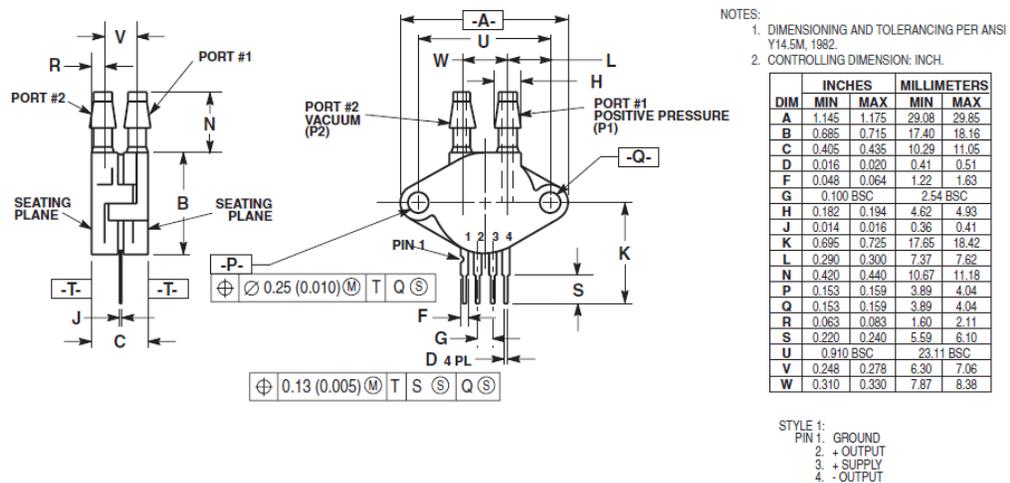
Fuente: Hoja de datos del MPX2100DP, pag 5.

3.3.1.7. Presión P1 y P2

Para este dispositivo están designados los lados del sensor como lado de presión (P1) y lado de la presión (P2) o vacío. El lado de presión P1 se encuentra aislado del otro por medio de un gel de silicona. Si se trabaja con un diferencial de presión positivo es muy importante que la presión P1 sea mayor a P2 ($P1 > P2$).

El punto de presión P1 se encuentra identificado como lo indica en la figura 81.

Figura 81. Dimensiones de Empaquetado



Fuente: Hoja de datos del MPX2100DP, pag 7.

3.3.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

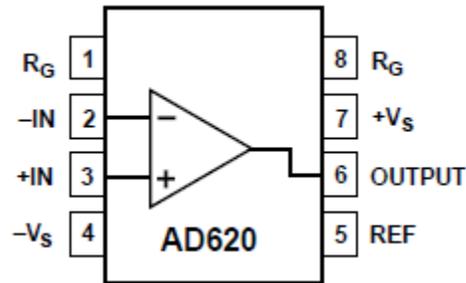
Dado que el sensor MPX2100D entrega un voltaje de 0 a 40 mV, se debió implementar una etapa de amplificación que me incrementara el fondo de escala de 40 mV a 10 Vdc; para esto se adquirió el amplificador de instrumentación AD620 de Analog devices (figura 82); es de bajo costo y amplia exactitud que requiere sólo de una resistencia externa para ajustar la ganancia entre 1 y 1000. Evita la utilización de amplificadores operacionales para el diseño de un amplificador de instrumentación que puede generar altos costos en los circuitos impresos.

3.3.2.1. Características del AD620

- Fácil de usar
- De bajo costo
- Alto rendimiento frente al diseño de 2 o 3 amplificadores operacionales
- Voltaje de alimentación entre ± 2.3 V a ± 18 V

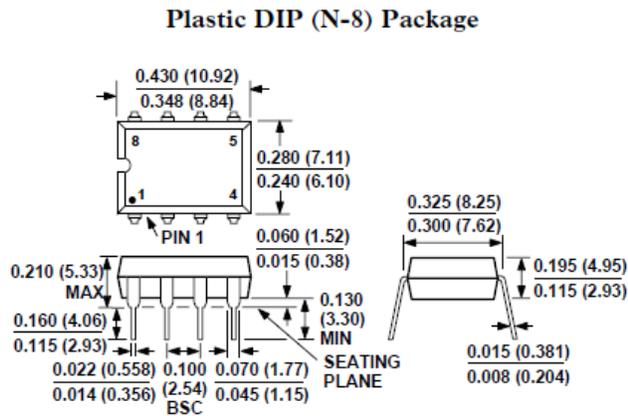
- Encapsulado 8-Lead DIP y SOIC
- Baja corriente, 1.3 mA de corriente de alimentación

Figura 82. Diagrama de conexiones del AD620



Fuente: Hoja de datos del AD620, pag 2.

Figura 83. Dimensiones del AD620



Fuente: Hoja de datos del AD620, pag 4.

3.3.2.2. Aplicaciones del AD620

- ECG e instrumentación medica
- Transductores de interface
- Sistema de adquisición de datos
- Control en procesos industriales

3.3.2.3. Especificaciones máximas de operación del AD620

En la siguiente tabla se muestra los datos de máxima operación del amplificador de instrumentación.

Tabla 19. Especificaciones máximas de operación del AD620

Voltaje de Alimentación	$\pm 18V$
Disipación interna de poder	650 mW
Entrada de voltaje (modo común)	$\pm V_s$
Diferencial de voltaje de entrada	$\pm 25V$
Temperatura de almacenamiento	-65°C a 150°C
Temperatura de operación	-40°C a 85°C

3.3.2.4. Voltaje de alimentación del AD620

Los amplificares de instrumentación son dispositivos que presentan una pérdida de voltaje entre la salida con referencia al voltaje de polarización; esto se encuentra especificado en las características del dispositivo (Ver Anexo C) para un rango de

valores de voltaje de alimentación. Para el diseño se aplicó un voltaje de $\pm 11\text{Vdc}$ garantizando a la salida del AD620 un rango de voltajes de 0 a 10Vdc .

3.3.2.5. Cálculo de la Ganancia

La ganancia del AD620 se encuentra programada por el valor de la resistencia R_g , o más precisamente, por la impedancia que aparece entre los pines 1 y 8. Para calcular el valor exacto se usa la siguiente fórmula.

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{(G - 1)}$$

Entonces si el voltaje máximo de salida del sensor es de 40mV y se necesita amplificarlo a 10V , la ganancia es igual a:

$$G = \frac{10\text{V}}{40\text{mV}} = 250$$

Reemplazando el valor de G en la fórmula de R_g se obtiene

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{(250-1)} = 199\Omega$$

Aunque comercialmente se consiguen resistencias de 200Ω , es recomendable un trimer de un $1 \text{ k}\Omega$ y para obtener mayor exactitud al determinar la ganancia que más le sirve a su diseño.

3.3.2.6. Error de offset

Los pequeños errores del AD620 son atribuidos a las dos fuentes, entrada y salida. El error de salida es dividido por una ganancia cuando es referido a la entrada. En la práctica, los errores de entrada son dominados por las altas ganancias y los errores de salida por las bajas. El Voltaje total del offset para una ganancia dada es calculado de la siguiente forma.

Total Error RTI= Error de entrada + (Error de salida / Ganancia)

Total Error RTO= (Error de Entrada / Ganancia) + Error de salida

Según la tabla de especificaciones el Error de entrada es de 15 uV y el Error de salida de 200uV para un rango de alimentación entre $\pm 5V$ a $\pm 15V$.

Total Error RTI= $15 \text{ uV} + (200\text{uV} / 250)= 15.8 \text{ uV}$

Total Error RTO= $(15\text{uV} / 250) + 200\text{uV}= 20 \text{ mV}$

3.3.2.7. Ruido

El AD620 trabaja como un preamplificador debido al bajo ruido en el voltaje de entrada de $9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ a 1 KHz, 0.28 uVp-p en la banda de 0.1 Hz a 10 Hz, $0.1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ de ruido en la corriente de entrada.

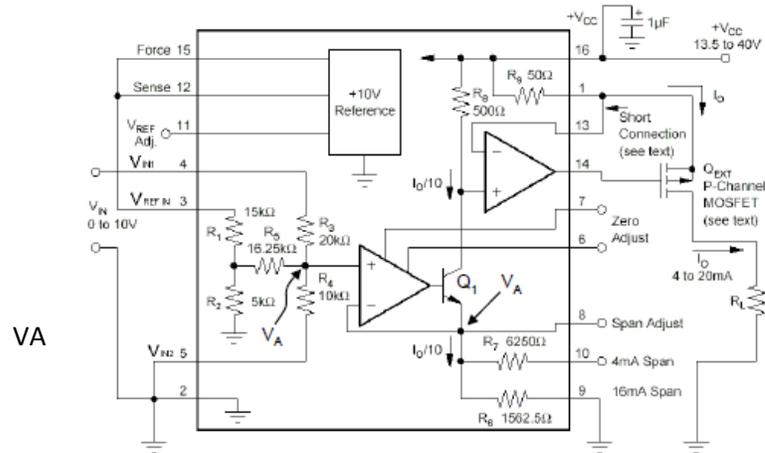
3.3.3. TRANSMISIÓN

3.3.3.1. Descripción

En esta etapa se convierte un voltaje variable de 0 a 10Vdc, a una corriente de salida de 4 a 20 mA. Debe existir linealidad entre las dos señales y se debe tener alta precisión. El XTR110KP de Texas Instrument es un convertidor de tensión – corriente diseñado para la transmisión de señales análogas. Se puede configurar para aceptar tensiones y generar corrientes en cualquier rango.

La parte de la entrada está formada por las resistencias de precisión R1, R2, R3, R4 y R5 que permiten obtener una tensión interna $V_A = \frac{V_{ref \text{ in}}}{16} + \frac{V_{in1}}{4} + \frac{V_{in2}}{2}$. La corriente del emisor de Q₁ (I_{EQ1}) es igual a V_A/R_{span} , y, al ser $R_8=10R_9$, la corriente de salida es 10 veces mayor que I_{EQ1} , ya que la caída de tensión en R₈ y en R₉ deben ser iguales.

Figura 84. Estructura interna del circuito



Fuente: Circuitos integrados frecuentemente utilizados en la instrumentación, Juan García Sánchez, Marzo 2003.

Según se muestra en la figura 84 es necesario un transistor externo para conducir la corriente de salida, el fabricante recomienda una lista de posibles transistores, todos ellos mosfet de canal p.

3.3.3.2. Características del XTR110KP

- Transmisor de 4 a 20 mA
- Selección de Rangos para Entrada/salida: Entrada 0V a +5V, 0V a 10V Salida 0 mA a 20 mA, 5 mA a 25 mA.
- Nolinealidad Max 0.005%
- Referencia de +10V
- Rango de alimentación de 13.5 V a 40 V

3.3.3.3. Aplicaciones del XTR110KP

- Control de procesos industriales
- Transmisor de presión y temperatura
- Fuente de corriente referenciada para adquisición de datos

- Fuente de corriente programable para test de equipos
- Plantas de poder y sistemas de energía monitoreadas

3.3.3.4. Especificaciones máximas de operación

La tabla 20 indica las especificaciones máximas de operación del transmisor de precisión XTR110KP.

Tabla 20. Especificaciones máximas de operación

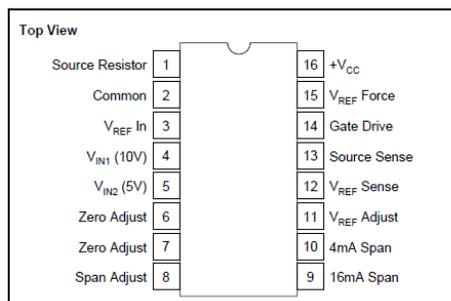
Fuente de alimentación, +Vcc	40V
Entrada de voltaje, V_{IN1} , V_{IN2} , V_{REFIN}	+Vcc
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +85°C
Corriente de salida usando resistencia interna 50Ω	40 mA

Las especificaciones eléctricas para condiciones normales se encuentran en el Anexo D.

3.3.3.5. Configuración de pines

La configuración de los pines del XTR110KP se encuentran ilustradas en la figura 85.

Figura 85. Configuración de pines XTR110KP



Fuente: Hoja de datos del XTR110KP, pag 1.

3.3.3.6. Transistor Externo

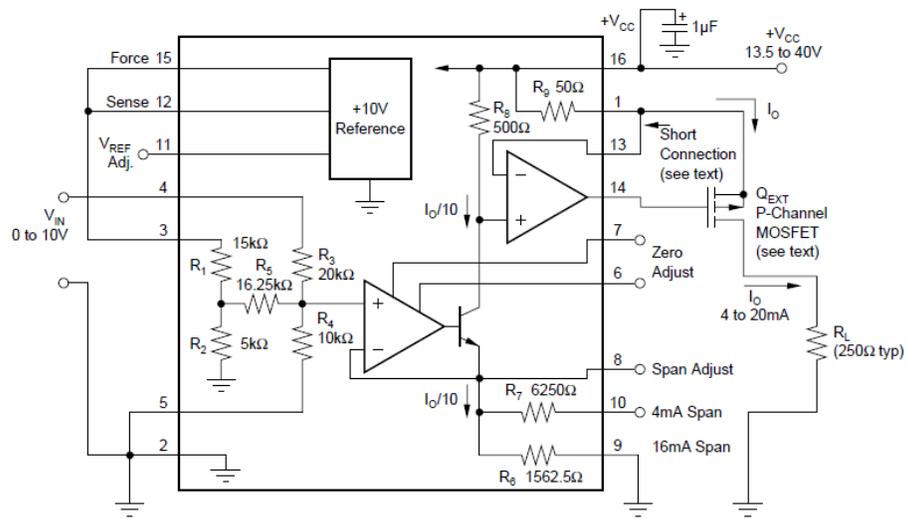
El Q_{EXT} es un transistor Mosfet de canal P encargado de conducir la señal de salida. Debe manejar un voltaje igual o mayor que el voltaje de alimentación. Si este voltaje excede el voltaje de ruptura de compuerta-fuente de Q_{EXT} , y el drenador está abierto, el Q_{EXT} podría fallar. El voltaje de ruptura debe ser menor al V_{CC} para que el transistor sea protegido por el diodo zener de 12V conectado de la compuerta a fuente.

Teniendo en cuenta unos tipos transistores recomendados por el fabricante del XTR110KP para este circuito, se adquirió el IRF9510. Para conocer información sobre este dispositivo ver el Anexo E.

3.3.3.7. Circuito Básico de conexión 4 a 20mA

El circuito de conexiones para lograr una corriente de 4 a 20mA esta descrito en la figura 86.

Figura 86. Circuito Básico 4 a 20 mA

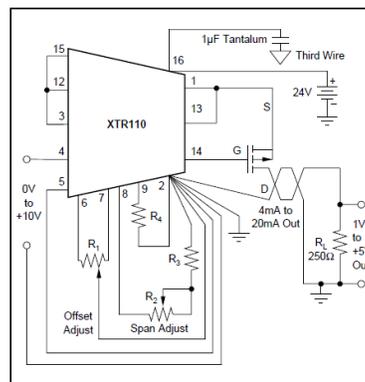


Fuente: Hoja de datos del XTR110KP, pag 3.

3.3.3.8. Ajuste de Offset (Cero)

La corriente de offset se ajusta usando el potenciómetro R1 mostrado en la figura 87. El voltaje de entrada debe ser cero para ajustar R1 a una salida de 4 mA. Se recomienda el valor de R1 igual a 100 kΩ.

Figura 87. Ajuste de Offset y Span para una entrada 0v a +10V, salida 4mA a 20mA.



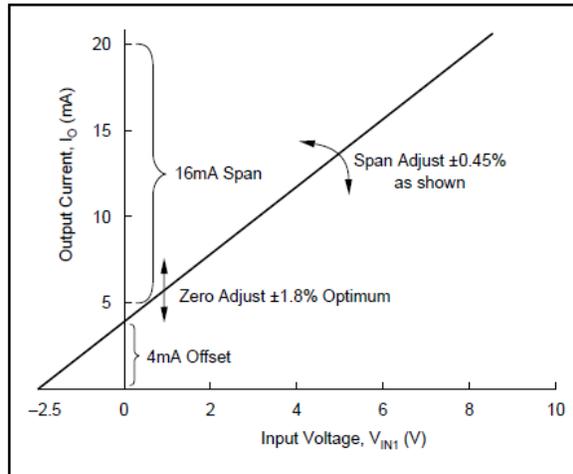
Fuente: Hoja de datos del XTR110KP, pag 6.

3.3.3.9. Ajuste de Span

El span es ajustado a fondo de escala de la corriente de salida usando el potenciómetro R_2 mostrado en la figura 87, se debe fijar en la entrada un voltaje de 10V y ajustar R_2 para obtener a la salida 20 mA. R_4 se utiliza para disminuir ligeramente el span y R_2 y R_3 para incrementarlo cerca del valor central.

Los valores de las resistencias son $R_2=100\text{ k}\Omega$, $R_3=49.9\text{ k}\Omega$, $R_4=31.6\Omega$

Figura 88. Gráfica para el ajuste del cero y span

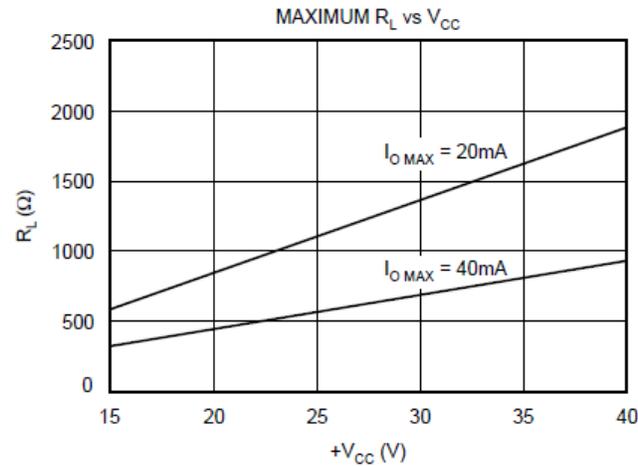


Fuente: Hoja de datos del XTR110KP, pag 6.

3.3.3.10. Voltaje de Alimentación (+Vcc)

En el desarrollo del proyecto se determinó que el módulo transmisor FAVR T1 debe ser diseñado para trabajar con cargas menores que $1\text{ k}\Omega$. Por este motivo y teniendo en cuenta la gráfica de la figura 89 que muestra una relación entre la carga máxima y V_{cc} se decidió utilizar un voltaje de alimentación de 24 Vdc .

Figura 89. Gráfica de Carga vs Vcc



Fuente: Hoja de datos del XTR110KP, pag 4.

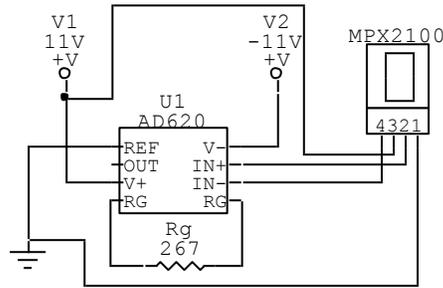
3.3.4. DISEÑO Y MONTAJE DE CIRCUITOS

3.3.4.1. Circuito Sensor-Acondicionador de señal

Este circuito se encarga de recibir una señal de presión diferencial de 0-14.5 psi al sensor y amplificarla para obtener a la salida una señal variable de 0 a 10V. Para ello se tiene que hacer las conexiones entre el sensor MPX2100DP y el amplificador AD620 como lo muestra la figura 90.

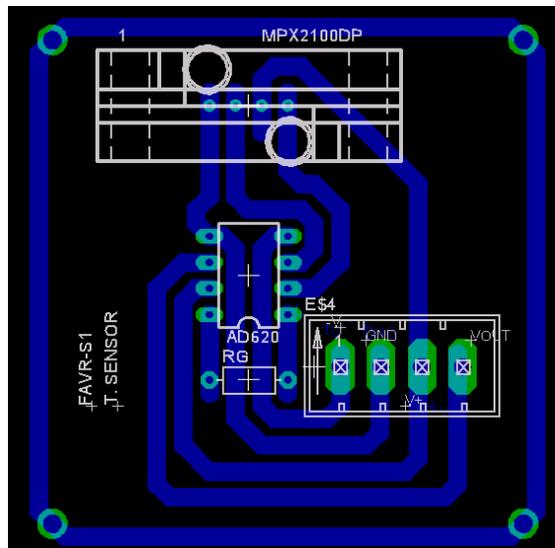
El diseño del PCB (Printed Circuit Board) se realizó en el programa Eagle 4.11 donde se desarrolla el circuito. En la figura 91 se muestra las conexiones y los dispositivos que hacen parte de la tarjeta.

Figura 90. Conexiones entre AD620 y MPX2100D



Fuente: El autor del proyecto.

Figura 91. Circuito en Eagle del módulo FAVR S1



Fuente: El autor del proyecto.

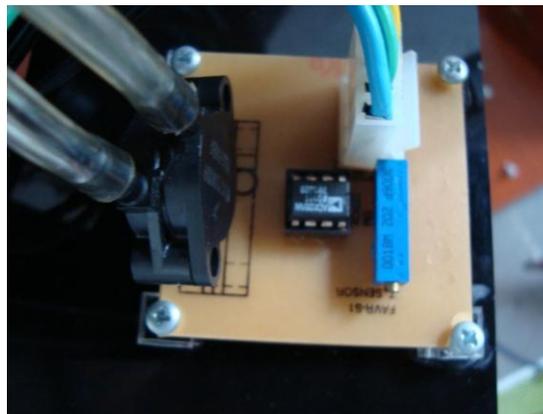
El sensor fue soldado directamente a la tarjeta debido a que al tener un acople se generaba ruido a la salida de la señal de voltaje. El amplificador de instrumentación se conectó por medio de una base de 8 pines soldada a la tarjeta. Para la alimentación se instaló un mol de 4 pines conectado a una serie de cables calibre 18. En la tabla 21 se identifican los colores de los cables y su valor de tensión.

Tabla 21. Identificación de los cables en el circuito del módulo FAVR S1

Color	Valor
Verde	Tierra (GND)
Amarillo	+11Vdc
Azul	-11Vdc
Negro	Voltaje de salida del sensor (0V a 10V)

La resistencia R_g se reemplazó por un trimer de $1k\Omega$ para lograr una mayor exactitud en la ganancia del amplificador. Como el valor de la resistencia es de 200Ω a 257Ω es difícil encontrar esos valores comerciales. En la figura 92 se observa la tarjeta con todos los dispositivos y elementos instalados.

Figura 92. Tarjeta del módulo FAVR S1



Fuente: El autor del proyecto.

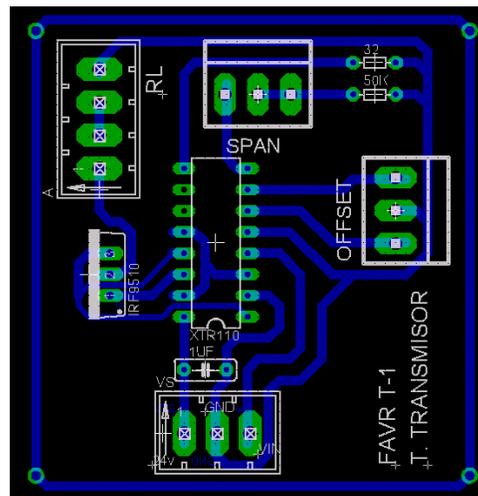
3.3.4.2. Circuito de transmisión

El circuito encargado de convertir la señal proveniente del sensor (0V a 10V) a una corriente lineal de 4 a 20mA está compuesto principalmente por el integrado XTR110. En la figura 86 y la figura 87 se observa los circuitos necesarios para

lograr la transmisión y calibración. El diseño del PCB se hizo también con el programa Eagle 4.11 como se observa en la siguiente figura.

El transmisor XTR110 se acopla a una base de 16 pines soldada a la tarjeta. Se utilizaron tres moles de 3 pines: una para la alimentación del circuito y las otras dos para el ajuste de cero y span del transmisor. Los cables calibre 18 de alimentación y señal del sensor se identifican en la tabla 22. Las conexiones de cero y span se conectan cada una a un trimer instalado en la parte frontal del módulo FAVR T1 por medio de cables calibre 22. Con un destornillador tipo pala se ajusta el dispositivo en caso de descalibración. En el lugar donde se toma la señal de salida (4 a 20mA) se instaló un mol de 2 pines donde se conecta un indicador de corriente digital. La carga interna RL del transmisor se representa por una resistencia de 250Ω. El transistor IRF9510 se soldó a la tarjeta y no necesitó de disipador debido a que maneja una potencia de miliwatts. En la tabla 23 se describen los puntos de conexión con el XTR110.

Figura 93. Circuito en Eagle de transmisión para el módulo FAVR T1



Fuente: El autor del proyecto.

Tabla 22. Identificación de cables para el módulo FAVR T1

Color	Valor
Verde	Tierra (GND)

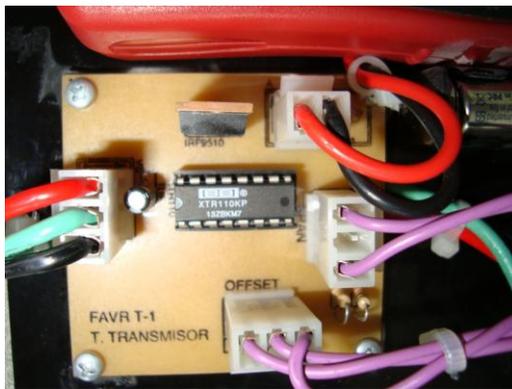
Rojo	+24Vdc
Negro	Señal del sensor (0V a 10V)

Tabla 23. Puntos de conexión entre transistor IRF9510 y el XTR110

Pin IRF9510	Identificación	Pin XTR110
1	Compuerta (G)	14
2	Drenador (D)	Salida de Corriente
3	Surtidor (S)	1-13

En la siguiente figura se encuentra la tarjeta con todos los elementos necesarios para la transmisión.

Figura 94. Tarjeta del circuito de transmisión



Fuente: El autor del proyecto.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el desarrollo de la metodología del proyecto surgieron unos eventos que lograron la construcción del módulo FAVR M1. Entre ellos se destacan unas visitas técnicas a empresas de instrumentación industrial en la ciudad de Bogotá con lo que se conoció sobre sensores y transmisores utilizados en los procesos industriales en empresas colombianas. La instrumentación industrial es una línea de la electrónica de alto crecimiento en el mundo por lo que se pretende traer para sus laboratorios de control a la Universidad, conocimiento y elementos de última tecnología presentes en este módulo.

Inicialmente se realizaron pruebas en protoboard del circuito transmisor de presión diferencial. Se experimentó con los dispositivos que hacen parte del diseño electrónico en donde se obtuvo un circuito. El sistema de alimentación y calibración de presión diferencial se desarrolló bajo unos requerimientos planteados que buscan hacer del proyecto un módulo práctico. A continuación se explicará cada uno de los aspectos, inconvenientes, pruebas y resultados que surgieron durante proceso de diseño y construcción.

4.1. PRUEBAS EN PROTOBOARD

4.1.1. Sensor y Amplificador de instrumentación

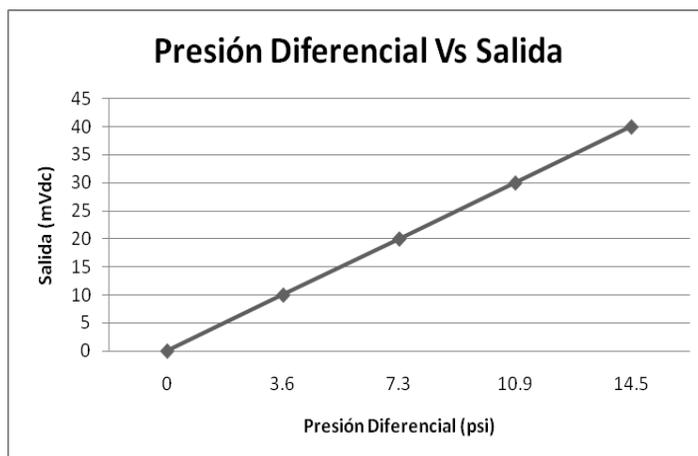
El sensor MPX2100DP se probó alimentándolo con una fuente variable de 0 a 30Vdc. El pin 1 se conectó a tierra (GND) y el pin 3 a 10Vdc. En las entradas de presión, punto 1 y 2 del sensor, se generó una señal diferencial variable de 0 a 14.5 psi. Los voltajes de salida se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 24. Señal de presión diferencial de entrada y Voltaje de salida del sensor

Señal Entrada Diferencial (psi)	Voltaje de salida (mV)	Porcentaje (%)
0	0	0
3.6	10	25
7.3	20	50
10.9	30	75
14.5	40	100

La figura 95 muestra la gráfica donde se indica que la presión diferencial de entrada del sensor es directamente proporcional al voltaje de salida por medio de una línea recta.

Figura 95. Gráfica Señal de Entrada (psi) Vs Voltaje de salida (mV)



Fuente: El autor del proyecto.

Para probar el amplificador AD620 se usó un divisor de voltaje variable con el que se simuló una tensión de 0 a 40mV. La ganancia se ajustó a un valor de 200Ω en Rg . Con un entrenador se alimentó el dispositivo a ±11Vdc. Ya en funcionamiento el valor de salida no era igual a los 10v por lo que se debió ajustar la resistencia de ganancia Rg a un valor de 267Ω. De esta forma se obtubó los siguientes resultados.

Tabla 25. Resultados a la salida del AD620 simulando con un divisor

Divisor de voltaje (mVdc)	Salida AD620 (Vdc)	Porcentaje (%)
0	0	0
10	2.5	25
20	5	50
30	7.5	75
40	10	100

Reemplazando el divisor de voltaje por el sensor MPX2100DP conectando +11V a la alimentación del sensor se obtuvo los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 26. Resultados finales entre MPX2100DP y AD620

Presion Diferencial (mVdc)	Salida AD620 (Vdc)	Porcentaje (%)
0	0	0
3.6	2.5	25
7.3	5	50
10.9	7.5	75
14.5	10	100

Con estos valores se concluye la prueba de esta etapa donde se amplificó la señal del sensor en una señal variable consistente con el voltaje de entrada de la etapa de transmisión.

4.1.2. Transmisión

Al analizar el diseño básico planteado por la hoja de datos del XTR110 se debió hacer unas pruebas con respecto al voltaje de alimentación (+Vcc). Se utilizó un Vcc= +20Vdc y el circuito funcionó correctamente pero la corriente no se mantuvo a valores superiores a 1kΩ, por lo que se debió que incrementar a un Vcc=+24Vdc. El voltaje se obtuvo de una fuente de laboratorio conectando los 24V al pin 16 (+Vcc) y la tierra al pin 2 (GND) del integrado.

Al poner en funcionamiento el circuito se debe asegurar que el pin 16 (+Vcc) tenga un voltaje de 24V, el voltaje de referencia (pin 15) sea igual a 10 V y el voltaje en la compuerta (G) del IRF9510 (pin 14) sea menor que Vcc. Con esto se garantiza que la corriente de salida (4 a 20mA) es lineal al voltaje de entrada (0 a 10Vdc). Para obtener el voltaje de entrada es necesario conectar una fuente variable en el pin 4 (V_{in}) y la tierra al pin 2 (GND). En la tabla 27 se encuentran los resultados al variar el V_{in} en un rango de 0V a 10V con respecto a la corriente de salida (I_{out}).

Tabla 27. Resultados prueba del circuito transmisor XTR110

V _{in} (Volt)	I _{out} (mA)	Porcentaje (%)
0	4	0
2.5	6	25
5	12	50
7.5	18	75
10	20	100

Es muy importante que todos los circuitos utilizados tengan la misma tierra (GND) inclusive la de la carga por donde circulan los 4 a 20 mA. En el momento de las pruebas se presentó un inconveniente al utilizar diferentes fuentes y aislar las tierras. Lo recomendable es primero tener un fuente fija que genere todos los voltajes necesarios y una tierra en común.

4.2. PRUEBAS DE MONTAJES

Luego de tener todos los circuitos montados en los PCB (Circuitos Impresos) se hizo pruebas de continuidad y de voltaje por medio de multímetros digitales. Se comprobó que los cables de alimentación manejaran los voltajes señalados y que se pueda conectar fácilmente a cada módulo.

En la parte neumática se probó cada punto de conexión utilizando agua con jabón para determinar fugas de presión en el sistema. En los puntos donde era difícil soltar las conexiones se disperso un líquido especial para sellamiento. Evitando las pérdidas por fugas se mantiene por más tiempo el aire comprimido dentro del acumulador, lo que permite realizar pruebas sin necesidad de liberar y recargar el tanque.

4.3. PRUEBAS NEUMÁTICAS

4.3.1. Compresor y Acumulador de aire

El compresor alimenta al acumulador con una señal de presión máxima de 40 psi indicada en el manómetro G3, ver figura 96. Al momento que se llega a esta presión lo indicado es apagar el compresor para evitar un sobrecalentamiento del motor. El acumulador se mantiene cargado por aproximadamente 20 minutos para un flujo de aire mínimo indicado en el flujometro, tiempo suficiente para realizar una práctica o las pruebas del módulo.

Figura 96. Indicación (G3) de presión en el acumulador de aire



Fuente: El autor del proyecto.

La válvula de escape V1 se debe abrir ligeramente para descargar el aire comprimido presente en el acumulador. También se puede regular el flujo de aire girando la perilla del flujometro hasta indicar un máximo de descarga de aire. Se recomienda que luego de utilizar el módulo, se libere todo el aire que se encuentre en el sistema. El compresor solo se debe prender cuando el manómetro 3 indique 0 psi. El tiempo aproximado de llenado del tanque a una presión de 40 psi es de 23.4 segundos.

4.3.2. Sistema de presión

En el regulador R1 se probó variando el tornillo y observando la presión de salida indicada en el manómetro G1. Al estar totalmente abierto se obtuvo una presión de 40 psi igual a la presión de entrada. Como este dispositivo es el encargado de fijar una presión en el punto P1 se debe ajustar el tornillo a un valor de 14.5 psi, ver figura 97. Este es el valor de span del sensor MPX2100DP.

Figura 97. Presión a la salida del regulador R1



Fuente: El autor del proyecto.

El regulador 2 (R2) trae una perilla para variar fácilmente la presión en el punto 2 (P2), de tal forma que cuando se tiene totalmente abierto, la presión de salida es igual a la presión en el punto 1, es decir, presión diferencial igual a cero. Si la presión es igual a 0, el diferencial será máximo (14.5 psi). En la siguiente tabla se muestra las presiones en los puntos 1 y 2, y la presión diferencia.

Tabla 28. Presión Diferencia con respecto a P1 y P2

Presión P1 (psi)	Presión P2 (psi)	Presión Diferencial (P1-P2) (psi)	Porcentaje (%)
14.5	14.5	0	0
14.5	10.9	3.6	25
14.5	7.3	7.3	50
14.5	3.6	10.9	75
14.5	0	14.5	100

Los flujos de aire son controlados por el flujometro quien se debe tener en una nivel de salida de aire bajo, aproximadamente 1 lit/min, para evitar que el acumulador se descargue más rápido. Si se quiere vaciar el sistema se gira la perilla hasta alcanzar los 4.7 lit/min con una presión máxima en el punto 2. El flujometro como maneja un rango de regulación de flujo muy bajo no afecta las presiones presentes en los puntos 1 y 2.

4.4. PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

El transmisor se diseñó para manejar un sensor con una presión diferencial de 0psi a 14.5psi. Si se utiliza presiones diferenciales mayores a 14.5psi el voltaje de salida del sensor será el mismo (40mV). Conectando los módulos FAVR S1 y FAVR T1 se obtiene una transmisión de 4 a 20mA lineal con la presión diferencial existente en el sistema. Los resultados de prueba del transmisor se muestran en la siguiente tabla.

Si la presión diferencial es mayor que 14.5psi o menor que 0 (Vacío) la corriente no supera los valores de cero y span del transmisor. En caso de descalibración se puede ajustar por medio de los trimers utilizados en el módulo.

Las presiones indicadas por los manómetros no son precisas debido a que se está trabajando con instrumentos comerciales y no patrones. El sistema no es recomendado para realizar ajustes de calibración a otros instrumentos industriales o dispositivos electrónicos.

Tabla 29. Pruebas del Transmisor de presión diferencial

Presión Diferencial (psi)	I _{out} (mA)	Porcentaje (%)
0	4	0
3.6	6	25
7.3	12	50
10.9	18	75
14.5	20	100

En caso que se desee trabajar con otro transmisor de presión, se habilito un punto de voltaje de 24 Vdc.

5. EXPERIENCIA 1

CONTROL DE PROCESOS MÓDULO DE PRESIÓN FAVR M1

5.1. Objetivos:

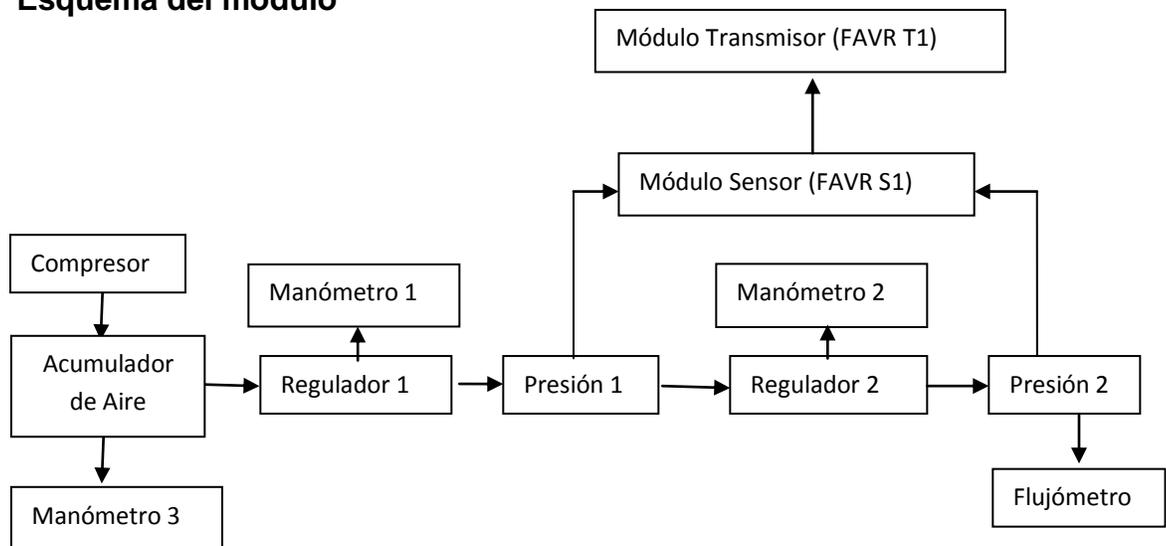
- Conocer y familiarizarse con el módulo de pruebas con transmisor de presión diferencial (FAVR M1).
- Leer y comprender las recomendaciones iniciales con el fin de hacer un buen uso del módulo.
- Calibrar el sensor - transmisor de presión diferencial realizando los ajustes de cero y span.
- Estudiar y analizar la histéresis del sensor – transmisor de presión diferencial.
- Obtener la constante de tiempo (τ) del acumulador de aire para las condiciones que presenta el sistema de presión.

Conceptos:

- **Presión:** Se define como la fuerza perpendicular que actúa sobre una determinada área.
- **Presión Diferencial:** Diferencia entre dos presiones

- **Manómetro:** Es un instrumento que indica localmente el valor de la presión medida de líquidos o gases comprimidos. El elemento sensor es el tubo de Bourdon.
- **Calibración:** Conjunto de operaciones que establecen la relación entre valores indicados por un instrumento patrón y un instrumento de ajuste.
- **Exactitud de medición:** Concordancia entre el resultado de una medición y el valor convencionalmente verdadero.
- **Ajuste cero:** Se define como los pasos para definir las condiciones iniciales o cero de un sistema de medición.
- **Span:** Es la diferencia entre el valor superior e inferior del campo de medida
- **Transductor:** Es un dispositivo que se encarga de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada en uno diferente a la salida.
- **Histéresis:** El término histéresis se emplea genéricamente para describir ciertos comportamientos de materiales o aparatos de muy variada índole, pero que en todo caso responden a un retraso entre una causa externa y un efecto en sus propiedades.
- **Transmisores:** Estos elementos reciben la variable de proceso a través del elemento primario, y la transmiten a algún lugar remoto. Estos transmiten las variables de proceso en forma de señales proporcionales a esas variables.
- **Piezoeléctrico:** Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que al estar bajo una presión aplicada tienden a deformarse, generando una señal eléctrica.
- **MPX2100DP:** Sensor de presión diferencial piezoeléctrico de 0 a 14.5psi.

Esquema del módulo



5.2. Práctica 1: Familiarización del módulo FAVR M1

Identifique y observe todos los instrumentos que son descritos a continuación:

El módulo FAVR M1 está montado en una estructura de madera diseñada para ubicarse en una mesa. Incluye un módulo para el sensor (FAVR S1) y un módulo de transmisión (FAVR T) situado en la parte superior frontal del panel.

Un compresor situado a un lado de la mesa genera aire comprimido a un acumulador que se encuentra en la parte trasera del módulo. Del acumulador va una manguera que conecta al módulo de presión. El aire para el control es regulado por el regulador R1 y la presión de operación es indicada por el manómetro G1. El aire para el proceso es regulado por el regulador R2 y la presión de operación es indicada en el manómetro G2.

La válvula V1 se utiliza para eliminar los residuos que se encuentren dentro del acumulador de aire. Para vaciar el acumulador se recomienda abrir la válvula ligeramente para evitar salidas fuertes de aire.

Si se desea llenar nuevamente el acumulador se debe retirar el aire hasta que el manómetro G3 indique cero y prender el compresor hasta cargarlo con un valor de 40 psi.

El sistema de control comprende un transmisor de presión diferencial. El sensor recibe una señal diferencial neumática de 0-14.5 psi y el transmisor la convierte a una señal eléctrica de 4 a 20 mA. La corriente es indicada en el módulo FAVR T1. El sensor de presión diferencial está conectado a dos puntos de la tubería de proceso por medio de una combinación de tubos regidos y flexibles. Mide la presión diferencial producida por el regulador R2. El transmisor de presión diferencial está configurado para trabajar un rango de operación de 0 – 14.5 psi. La salida de 4-20 mA del transmisor debe ser calibrada antes de usarse.

El sensor y el transmisor están situados dentro de unas cajas que tienen las conexiones eléctricas en el panel frontal. Está diseñado para ser montado mediante unas bases con rieles adheridos al módulo.

La fuente de alimentación del módulo debe ser encendida con el switch situado en la parte de atrás del panel principal.

El sistema usa conectores DIN de 5 pines.

El indicador de corriente se debe encender con el switch que se encuentra en la parte frontal del módulo FAVR T1.

El flujómetro indica la cantidad de flujo de aire que circula sobre el sistema. Puede ser regulado con la perilla para aumentar o disminuir el caudal de aire.

En la parte inferior derecha del Módulo hay un esquema que identifica la mayoría de componentes y conexiones del equipo en notación neumática estandarizada

5.3. Práctica 2: Familiarización y recomendaciones iniciales

1. Abra la válvula V1 ligeramente hasta que el manómetro G3 indique cero.
2. Cierra la Válvula V1
3. Active el switch del compresor hasta que el manómetro G3 situado en el acumulador de aire marque una presión de 40 psi. **Apague el compresor.**

Precaución: La máxima presión en el acumulador no debe exceder los 40 psi.

1. Observe que en el manómetro G1 del regulador R1 debe indicar una presión de 14.5 psi aproximadamente. De no ser así, ajuste el regulador R1 hasta obtener 14.5 psi en G1:
 - Afloje la tuerca
 - Gire el tornillo en sentido horario para incrementar el flujo de presión y en sentido contrario para reducirlo.
 - Asegure la tuerca
2. La presión indicada en el G1 es la misma presión en el punto P1.
3. Para realizar una caída de presión o diferencial de presión se debe girar la perilla del regulador R2:
 - Hale la perilla de fijación de ajuste del regulador
 - Gire el regulador en el sentido de las agujas del reloj para incrementar el flujo de presión y en sentido contrario para reducirlo
 - Oprima la perilla de fijación para asegurar el regulador después del ajuste.
4. Tenga en cuenta la siguiente tabla para lograr en P1 y P2 un diferencial de 14.5 psi.

Tabla 30. Presión Diferencia con respecto a P1 y P2

Presión P1 (psi) en G1	Presión P2 (psi) En G2	Presión Diferencial (P1- P2) (psi)	Porcentaje (%)
14.5	14.5	0	0
14.5	10.9	3.6	25
14.5	7.3	7.3	50
14.5	3.6	10.9	75
14.5	0	14.5	100

- 1) El flujómetro debe indicar aproximadamente cero (0 Lit/Min) para lograr una salida mínima de aire del sistema de presión y evitar que se descargue rápidamente el acumulador.

5.4. Práctica 3: Calibración del sensor – transmisor de presión diferencial

1. Conecte el sensor y el transmisor de presión diferencial:
 - Conecte el punto A1 (Alimentación Módulo) al punto A2 (Sensor)
 - Conecte el punto A3 (Sensor) al punto A4 (Transmisor)
2. Encienda el switch de la fuente de alimentación del módulo FAVR M1
3. Encienda el switch del indicador de corriente del módulo FAVR T1

4. Ajuste R2 hasta indicar en G2 una presión de 14.5 psi (cero presión diferencial). El indicador del transmisor de presión diferencial debe indicar 4mA. De lo contrario ajuste el Cero del transmisor hasta obtener la lectura indicada.
5. Cree la condición de flujo total ajustando R2 hasta indicar en G2 una presión de cero (0) psi (14.5 psi de presión diferencial). El indicador del transmisor debe indicar 20mA. De lo contrario ajuste el Span del transmisor hasta obtener la lectura indicada.

5.5. Práctica 4: Estudio de histéresis del sensor – transmisor de presión diferencial

1. Repita los pasos 1,2,3 de la práctica 3.
2. Ajuste la presión del transmisor para obtener pasos de presión de 3 psi, desde 14.5 psi hasta 0 psi, indicada en el manómetro G2 (Presión diferencial de 0 a 14.5 psi).
3. Registre la presión y la corriente correspondiente en el transmisor para cada paso
4. Repita para presión descendente en el sistema para determinar la histéresis en el sensor.
5. Grafique la presión Vs la corriente para determinar la histéresis
6. Apague la fuente alimentación y el indicador del transmisor
7. Que se puede concluir al respecto? Escriba una conclusión para cada caso.

5.6. Práctica 5. Obtención de la constante de tiempo (τ) para el acumulador con respecto a las condiciones del sistema.

1. Abra lentamente la válvula V1 hasta que la presión en G3 sea igual a cero (0), de esta forma se libera el aire acumulado en el sistema de presión.
2. Registre la presión y el tiempo correspondiente a la carga del acumulador luego de encender el compresor en pasos de presión de 5 psi, desde 0 a 40 psi, indicado en el manómetro G3.
3. Grafique la presión vs el tiempo para determinar la constante de tiempo (τ).
4. Determine el valor de la constante de tiempo (τ) por medio de la grafica teniendo en cuenta que es el 63.2% del valor máximo de presión en el tanque (40 psi).
5. Concluya al respecto.

SOLUCIÓN DE PRÁCTICAS

Práctica 4

Datos de presión diferencial vs corriente en sentido ascendente

Tabla 31. Presión Vs Corriente ascendente

P1 (psi)	P2 (psi)	ΔP (psi)	Iout (mA)
14.5	14.5	0	4
14.5	11.5	3	6.1

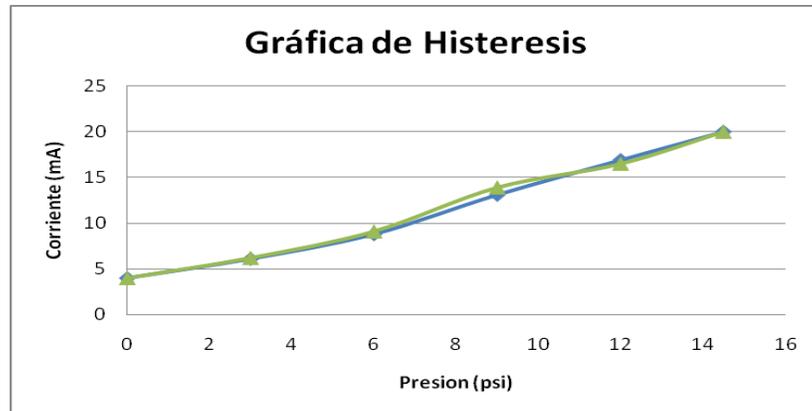
14.5	8.5	6	8.8
14.5	5.5	9	13.1
14.5	2.5	12	16.9
14.5	0	14.5	20

Datos de presión diferencial vs corriente en sentido descendente

Tabla 32. Presión Vs Corriente descendente

P1 (psi)	P2 (psi)	ΔP (psi)	I_{out} (mA)
14.5	0	14.5	20
14.5	2.5	12	16.5
14.5	5.5	9	13.9
14.5	8.5	6	9.1
14.5	11.5	3	6.2
14.5	14.5	0	4

Gráfica de presión vs corriente para determinar la histéresis



Práctica 5

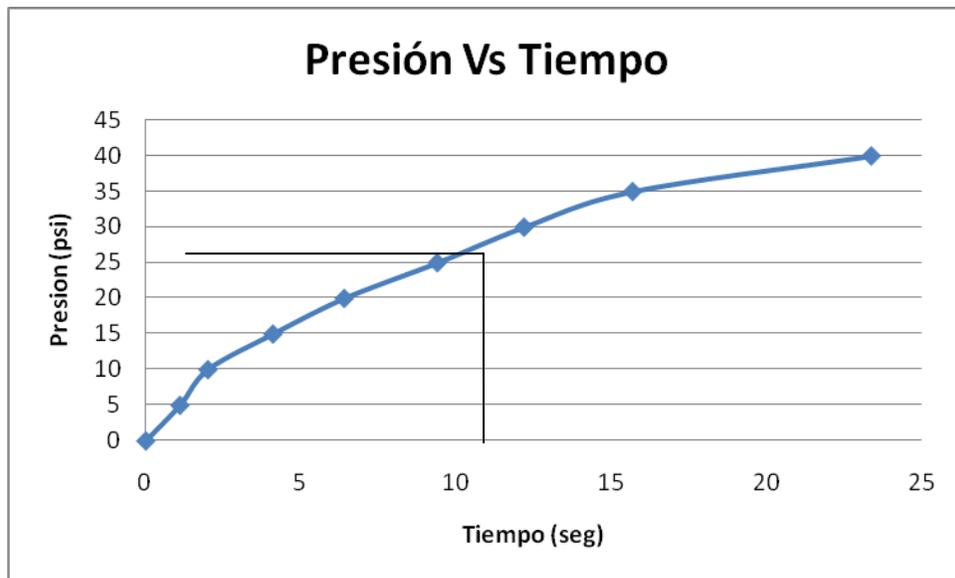
Datos de presión vs tiempo de carga del acumulador de aire

Tabla 33. Presión Vs Tiempo de carga

Presión (psi)	Tiempo (seg)
0	0
5	1.1
10	2
15	4.1
20	6.4
25	9.4
30	12.2
35	15.7

40	23.4
----	------

La grafica de presión vs tiempo es la siguiente



El 63.2% de la presión máxima (40 psi) es igual

$$P_2 = \frac{(40 * 63.2)}{100} = 25.28 \text{ psi}$$

Observando la grafica se determina que el valor de la constante de tiempo (τ) es igual a 9.6 seg.

Conclusión:

Se determino que el tiempo necesario para que el acumulador se cargue con una carga equivalente al 0.63 de la carga final.

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló el diseño y construcción del transmisor de presión diferencial con el acople del sensor (MPX2100DP) mediante un amplificador de instrumentación (AD620) a un conversor de voltaje a corriente (XTR110KP) que entrega una señal de 4 a 20mA. De esta forma se obtuvo un sistema neumático que maneja una señal de presión hasta de 40psi basado en instrumentos industriales como un generador de aire, un acumulador, reguladores, indicadores, conectores y tuberías; y un sistema electrónico de transmisión de una señal de presión diferencial.

Durante el desarrollo de este proyecto se dio un paso importante al iniciar el estudio a una de las áreas de la electrónica con mayor aplicación en el territorio colombiano, como lo es la instrumentación industrial.

Trabajando con sistemas de presión se logra conocer y analizar muchas de las aplicaciones que están presentes en los procesos industriales de cualquier empresa.

Con la realización de visitas técnicas realizadas en la ciudad de Bogotá se adquirió conocimiento sobre medidores, sensores y transmisores de presión industriales de diferentes marcas.

Se observó durante las visitas técnicas que la calibración de los dispositivos de instrumentación es un proceso de gran importancia para el buen funcionamiento de todo sistema controlado.

Por otra parte estar a la vanguardia de la tecnología en productos industriales permite discutir sobre la mejor opción frente al reemplazo de un dispositivo que tenga mayores ventajas.

Con la construcción del módulo FAVR M1 se ganó la experiencia en el proceso de investigación, diseño y construcción de dispositivos electrónicos de instrumentación.

Todo los materiales de los que está compuesto el módulo son comerciales y económicos, garantizando de esta forma fácil acceso al mantenimiento o cambio luego de cumplida la vida útil del producto.

La construcción del módulo de pruebas para el transmisor de presión diferencial (FAVR M1) se realizó con instrumentos comerciales de gama media por lo que no se

garantiza que sea útil para la calibración de otros elementos. Se tiene entendido que un módulo de calibración son de un costo consideradamente alto y difícil de conseguir en el país.

El proyecto se complementó con guías para la realización de prácticas de laboratorio en el módulo desarrollado. Las prácticas dan al ejecutante un conocimiento en alimentación de presión, reguladores, conectores, manómetros, medidores de flujo, conceptos de metrología y transmisores de presión diferencial con sensores piezoeléctricos.

7. RECOMENDACIONES

Con respecto a la seguridad todo el sistema neumático se encuentra sellado y esta soportado para trabajar bajo condiciones anteriormente planteadas. Los dispositivos utilizados están aprobados por las respectivas normas para el uso en procesos industriales.

El panel principal debe ser construido en un material resistente a incendios por lo que se sugiere utilizar metal u otro material resistente al fuego.

No se debe conectar al acumulador de aire otro compresor que no cumpla con las condiciones del sistema.

Conectar un switch de presión en la entrada de aire del acumulador para evitar sobrepresiones.

Si se piensa mover el módulo de sitio hacerlo independientemente del acumulador. Debido al peso del mismo es peligroso trasladarlos simultáneamente.

El proyecto deja las puertas abiertas para la aplicación de microprocesadores en el control del transmisor de presión diferencial y el desarrollo de un software donde se pueda visualizar el módulo e interpretar las señales de corriente de 4 a 20mA.

8. BIBLIOGRAFIA

ENDRESS AND HAUSER, Colsein, Folleto Medición de Presión, Bogotá, 2003.

CREUS, Antonio, Instrumentación Industrial, Sexta edición, Alfaomega, 1998.
Capitulo 3, Paginas 63-79.

ELECTRA S.A, Manual de Instalación: Operación y Mantenimiento de Medidores de Presión, Bogotá, 2001

PROGEN S.A, Manual de Manometría: Productos Bourdon Haenni, Bogotá, 2000

<http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n>. Julio 2008

<http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>. Agosto 2008

9. ANEXOS

- ANEXO A. Tabla sobre tipos de sensores
- ANEXO B. Gráfica de comportamiento de errores de lectura
- ANEXO C. Especificaciones del amplificador de instrumentación AD620
- ANEXO D. Especificaciones del Convertidor XTR110KP
- ANEXO E. Hoja de datos del transistor IRF9510

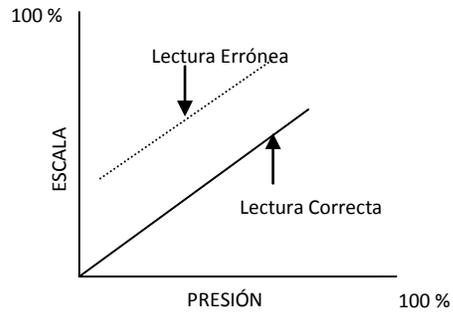
ANEXO A.

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica

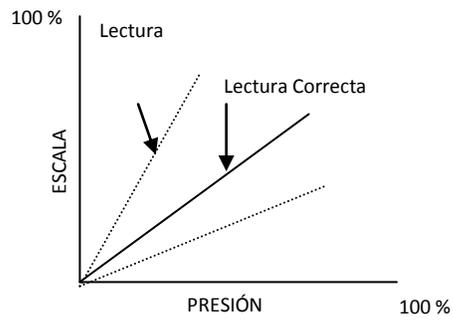
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o CMOS	Procesamiento digital
Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	
	Sensor capacitivo	
	Sensor inductivo	
	Sensor fotoeléctrico	
Sensor acústico (presión sonora)	micrófono	
Sensores de acidez	IsFET	
Sensor de luz	fotodiodo	
	Fotorresistencia	
	Fototransistor	
Sensores captura de movimiento	Sensores inerciales	

ANEXO B

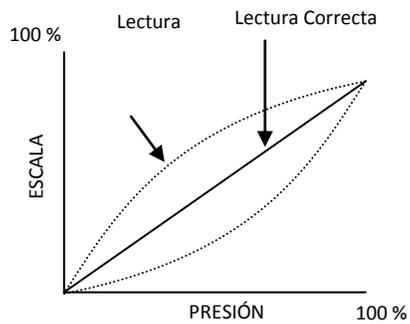
Errores de cero



Errores de multiplicación



Errores de angularidad



ANEXO C

AD620—SPECIFICATIONS

(Typical @ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN											
Gain Range	$G = 1 + (49.4 \text{ k}/R_G)$	1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity,	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V, $R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–1000	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature	G = 1			10			10			10	ppm/°C
	Gain > 1 ²			-50			-50			-50	ppm/°C
VOLTAGE OFFSET											
Input Offset, V_{OSI}	(Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$) $V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{OSO}	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Over Temperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Over Temperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		G Ω /pF
Common-Mode			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		G Ω /pF
Input Voltage Range ³	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V		- $V_S + 1.9$	+ $V_S - 1.2$		- $V_S + 1.9$	+ $V_S - 1.2$		- $V_S + 1.9$	+ $V_S - 1.2$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V		- $V_S + 2.1$	+ $V_S - 1.3$		- $V_S + 2.1$	+ $V_S - 1.3$		- $V_S + 2.1$	+ $V_S - 1.3$	V
Over Temperature			- $V_S + 1.9$	+ $V_S - 1.4$		- $V_S + 1.9$	+ $V_S - 1.4$		- $V_S + 1.9$	+ $V_S - 1.4$	V
Common-Mode Rejection Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = 0$ V to ± 10 V										
G = 1		73	90		80	90		73	90		dB
G = 10		93	110		100	110		93	110		dB
G = 100		110	130		120	130		110	130		dB
G = 1000		110	130		120	130		110	130		dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10$ k Ω , $V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V		- $V_S + 1.1$	+ $V_S - 1.2$		- $V_S + 1.1$	+ $V_S - 1.2$		- $V_S + 1.1$	+ $V_S - 1.2$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V		- $V_S + 1.4$	+ $V_S - 1.3$		- $V_S + 1.4$	+ $V_S - 1.3$		- $V_S + 1.6$	+ $V_S - 1.3$	V
Over Temperature			- $V_S + 1.2$	+ $V_S - 1.4$		- $V_S + 1.2$	+ $V_S - 1.4$		- $V_S + 1.2$	+ $V_S - 1.4$	V
Over Temperature			- $V_S + 1.6$	+ $V_S - 1.5$		- $V_S + 1.6$	+ $V_S - 1.5$		- $V_S + 2.3$	+ $V_S - 1.5$	V
Short Current Circuit			± 18			± 18			± 18		mA

CONTINUACIÓN ANEXO C

AD620

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max			
DYNAMIC RESPONSE													
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step												
G = 1			1000			1000			1000		kHz		
G = 10			800			800			800		kHz		
G = 100			120			120			120		kHz		
G = 1000			12			12			12		kHz		
Slew Rate			0.75	1.2		0.75	1.2		0.75	1.2	V/μs		
Settling Time to 0.01%													
G = 1-100			15			15			15		μs		
G = 1000			150			150			150		μs		
NOISE													
Voltage Noise, 1 kHz	f = 1 kHz	$Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e^2_{ni}) + (e_{no} / G)^2}$											
Input, Voltage Noise, e_{ni}			9	13		9	13		9	13	nV/√Hz		
Output, Voltage Noise, e_{no}			72	100		72	100		72	100	nV/√Hz		
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz													
G = 1				3.0			3.0	6.0		3.0	6.0	μV p-p	
G = 10				0.55			0.55	0.8		0.55	0.8	μV p-p	
G = 100-1000			0.28			0.28	0.4		0.28	0.4	μV p-p		
Current Noise			100			100			100		fA/√Hz		
0.1 Hz to 10 Hz			10			10			10		pA p-p		
REFERENCE INPUT													
R_{IN}	$V_{IN+}, V_{REF} = 0$		20			20			20		kΩ		
I_{IN}			+50	+60		+50	+60		+50	+60	μA		
Voltage Range			-V _S + 1.6	+V _S - 1.6		-V _S + 1.6	+V _S - 1.6		-V _S + 1.6	+V _S - 1.6	V		
Gain to Output				1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			
POWER SUPPLY													
Operating Range ⁴	$V_S = \pm 2.3\text{ V to } \pm 18\text{ V}$		±2.3	±18		±2.3	±18		±2.3	±18	V		
Quiescent Current				0.9	1.3			0.9	1.3		0.9	1.3	mA
Over Temperature				1.1	1.6			1.1	1.6		1.1	1.6	mA
TEMPERATURE RANGE													
For Specified Performance			-40 to +85			-40 to +85			-55 to +125		°C		

NOTES

¹See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.

²Does not include effects of external resistor R_G .

³One input grounded. $G = 1$.

⁴This is defined as the same supply range which is used to specify PSR.

Specifications subject to change without notice.

ANEXO D

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

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	
TRANSMITTER								
Transfer Function	Specified Performance	0		+10	*		*	V
Input Range: $V_{IN}^{(2)}$	Specified Performance	0		+5	*		*	V
Current, I_O	Specified Performance ⁽¹⁾	4		20	*		*	mA
	Degraded Performance ⁽¹⁾	0		40	*		*	mA
Nonlinearity	15mA/20mA Span ⁽³⁾		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/°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/°C
vs Supply, V_{CC}	(1)		0.003	0.005		*	*	% of Span/V
Output Resistance	From Drain of FET ($Q_{OUT}^{(4)}$)		10×10^9			*	*	Ω
Input Resistance	V_{IN}		27			*	*	k Ω
	V_{SD}		22			*	*	k Ω
	V_{REF} In		19			*	*	k Ω
Dynamic Response								
Settling Time	To 0.1% of Span		15			*	*	μs
	To 0.01% of Span		20			*	*	μs
Slew Rate			1.3			*	*	mA/ μs
VOLTAGE REFERENCE								
Output Voltage		+9.95	+10	+10.05	+9.98	*	+10.02	V
vs Temperature			35	50		15	30	ppm/°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
POWER SUPPLY								
Input Voltage, V_{CC}		+13.5		+40	*		*	V
Quiescent Current	Excluding I_O		3	4.5		*	*	mA
TEMPERATURE RANGE								
Specification: AG, BG		-40		+85	*		*	°C
KP, KU		0		+70	*		*	°C
Operating: AG, BG		-55		+125	*		*	°C
KP, KU		-25		+85	*		*	°C

* Specifications same as AGKP 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 section, "Input Voltage Range".

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply, $+V_{CC}$	40V
Input Voltage, V_{IN} , V_{SD} , V_{REF} In	$+V_{CC}$
See text regarding safe negative input voltage range.	
Storage Temperature Range: A, B	-55°C to +125°C
K, U	-40°C to +85°C
Lead Temperature	
(soldering, 10s) G, P	300°C
(wave soldering, 3s) U	260°C
Output Short-Circuit Duration, Gate Drive	
and V_{REF} Force	Continuous to common and $+V_{CC}$
Output Current Using Internal 50 Ω Resistor	40mA



ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

Any integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown 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 published specifications.

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

Rugged Power MOSFETs

File Number **2214**

**IRF9510, IRF9511
IRF9512, IRF9513**

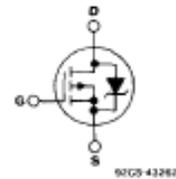
**Avalanche-Energy-Rated
P-Channel Power MOSFETs**

-2.5A, and -3.0A, -60V and -100V
 $r_{DS(on)}$ = 1.2Ω and 1.6Ω

Features:

- Single pulse avalanche energy rated
- SOA is power-dissipation limited
- Nanosecond switching speeds
- Linear transfer characteristics
- High input impedance

TERMINAL DIAGRAM

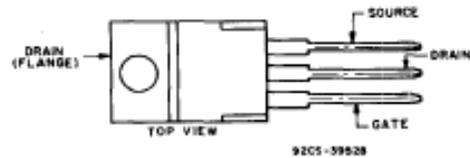


P-CHANNEL ENHANCEMENT MODE

The IRF9510, IRF9511, IRF9512 and IRF9513 are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. These are p-channel enhancement-mode silicon-gate power field-effect transistors designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high-power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate-drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

The IRF-types are supplied in the JEDEC TO-220AB plastic package.

TERMINAL DESIGNATION



JEDEC TO-220AB

6

Absolute Maximum Ratings

Parameter	IRF9510	IRF9511	IRF9512	IRF9513	Units
V_{GS} Drain - Source Voltage ①	-100	-60	-100	-60	V
V_{DGR} Drain - Gate Voltage ($I_{GS} = 20 \text{ k}\Omega$) ①	-100	-60	-100	-60	V
I_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Continuous Drain Current	-3.0	-3.0	-2.5	-2.5	A
I_D @ $T_C = 100^\circ\text{C}$ Continuous Drain Current	-2.0	-2.0	-1.5	-1.5	A
I_{DM} Pulsed Drain Current ②	-12	-12	-10	-10	A
V_{GS} Gate - Source Voltage	±20				V
P_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Max. Power Dissipation	20 (See Fig. 14)				W
Linear Derating Factor	0.16 (See Fig. 14)				W/°C
E_{AS} Single Pulse Avalanche Energy ③	190				mJ
T_J T_{stg} Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to 150				°C
Lead Temperature	300 (0.063 in. (1.6mm) from case for 10s)				°C