



Cuaderno del Instructor
Módulo 2: “Dispositivos de
Instrumentación De Campo”.
PFMEI-3-04/V.1[PE01-M02/v.1]

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente del Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Jefe de Proyecto Empresas
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. Está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE. © Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.

Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.



Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educativas:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.



Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Módulo II: Mantenición de dispositivos de instrumentación de campo	10
1. Análisis de circuitos eléctricos	11
1.1 Cálculos de circuitos utilizando la ley de ohm y ecuaciones de potencia	11
1.2 Características de un Circuito en Serie.	13
1.3 La Ley de los Voltaje de Kirchhoff	25
1.4 Características de los Circuitos en Paralelo	26
1.5 La Ley de Corriente de Kirchhoff	32
1.6 Características de un Circuito Combinado	45
Actividad N°2	67
2. Electrónica.....	71
2.1 Características fundamentales de los materiales semiconductores	71
2.2 Características del diodo de unión PN.....	72
2.3 Circuitos rectificadores de media onda.....	80
2.4 El diodo Zener	84
2.5 El transistor de empalme bipolar (BJT).....	91
2.6 El transistor de efecto de campo (FET)	98
2.7 Transistor Bipolar de Compuerta Aislada (IGBT).	101
3 Electrónica analógica	103
3.1 Características y aplicaciones de los amplificadores operacionales	103
3.2 Aplicaciones comunes de circuitos para el amplificador operacional	110
4. Electrónica digital	118
4.1 Operación de las compuertas lógicas comunes	130
4.2 Aplicaciones de las compuertas lógicas.	138
Actividad N°3	141

5. SENSORES, TRANSMISORES Y ACTUADORES.....	142
5.1 Principios de funcionamiento de sensores discretos	142
5.2 Sensores analógicos	163
5.3 Tipo de sensores	177
5.4 Medición de nivel bajo el principio de la capacitancia.....	180
5.5 Sensores ultrasónicos	188
5.6 Aparatos de medida de flujo	201
5.7 Transmisores	246
5.8 Transductores.....	277
5.9 Válvulas de control	283
5.10 Actuadores	303
5.11 Instrumentos inteligentes.....	317
Actividad N° 4	323
Actividad N° 5.....	325
6. Calibración y ajuste de instrumentación industrial.....	325
6.1 La calibración de la instrumentación industrial	325
6.2 Instrumentación, calibración y errores	331
6.3 Calibración de instrumentos de presión.....	343
6.4 Calibración de instrumentos de flujo y nivel.....	352
6.5 Calibración de instrumentos de temperatura	362
7. MANTENCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO.....	389
7.1 Pulsera antiestática	389
7.2 Instalación de la válvula de control	392
7.3 Mantenimiento de la válvula de control	395
7.4 Instalación, mantenimiento y cambio de un sensor discreto	398

7.5 Montaje y mantención de un controlador industrial	406
Actividad N° 6	412
8. Interpretación de planos eléctricos	414
8.1 Normas DIN (Instituto Alemán de Normalización)	414
8.2 Simbología.....	416
8.3 Esquemas básicos de conexión.	422
8.4 Tipos de planos eléctricos.	428
8.5 Método para la Localización de Fallas.....	434
Actividad N° 7.....	438
9 Interpretación de planos instrumentación	438
9.1 Norma I.S.A	438
9.2 Diagramas de lazos de instrumentos.....	461
Actividad N° 8.....	478

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de **Mantenedor Instrumentista**.

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento de evaluación de proceso”.

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10. La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo II: Mantenimiento de dispositivos de instrumentación de campo

1. Análisis de circuitos eléctricos

1.1 Cálculos de circuitos utilizando la ley de ohm y ecuaciones de potencia

Ya usted conoce la Ley de Ohm y la Ley de Watt. Sus expresiones verbales y matemáticas son:

Ley de Ohm: La corriente que atraviesa un circuito eléctrico es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito

$$I = \frac{E}{V}$$

Ley de Watt: La energía que se transforma en un circuito eléctrico es igual al producto del voltaje aplicado por la corriente del circuito.

$$P = \frac{E}{I}$$

Anteriormente usted aprendió que es posible generar 10 ecuaciones más a partir de las dos anteriores por medio de despejes y sustituciones. Con estas ecuaciones, si se conocen dos de las magnitudes eléctricas, usted puede calcular las otras dos. Es muy importante que usted sea capaz de realizar estas operaciones porque no siempre es práctico o posible medir todas estas cuatro magnitudes.

Por ejemplo, la resistencia de una bombilla de 120 V / 100 W es 144 ohm cuando está caliente y de sólo 10 ohm cuando está fría. Para que la bombilla se caliente, la energía debe estar activada, pero para utilizar el ohmímetro, la energía debe estar desactivada. Esto hace imposible la medición de la resistencia de la bombilla caliente. Sin embargo, es posible medir el voltaje y la corriente cuando la bombilla está caliente y utilizar la Ley de Ohm para calcular la resistencia de la bombilla caliente.

La disipación de la energía en un dispositivo resistivo.

Las cargas son dispositivos que convierten la energía eléctrica en otras formas de energía. Los dispositivos puramente resistivos convierten la energía principalmente en calor. Algunas pequeñas porciones de la energía se convertida en lumínica, en dependencia de la temperatura que tome el dispositivo.

A medida que los electrones viajan a través de una resistencia, ellos chocan con las moléculas del material. Esta energía aumenta con el movimiento de las moléculas lo que provoca el calentamiento del dispositivo resistivo.

La potencia es la capacidad para realizar un trabajo o el valor de la transferencia de energía. Por tal razón, si la corriente aumenta, provocando un aumento del valor de la energía transferida, entonces la potencia deberá aumentar. El voltaje es la medida de la

cantidad de energía poseída por un electrón. Se desprende que si el voltaje aumenta, cada electrón tendrá más energía para transferir y la potencia aumentará. Esto quiere decir que la potencia es directamente proporcional a los aumentos tanto de voltaje como de corriente. La potencia aumenta si una de estas magnitudes o ambas, aumentan.

Por la Ley de Ohm usted conoce que la corriente en un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado. Esto quiere decir que si se duplica el voltaje, la corriente también se duplica. Al duplicarse el voltaje, la potencia también se duplique, mientras que al duplicarse la corriente se provoca una segunda duplicación de la potencia. La potencia en este caso aumentará cuatro veces.

La expresión matemática y verbal de esta ley es la siguiente:

“La potencia es directamente proporcional al cuadrado del voltaje”

$$P = \frac{E^2}{R}$$

“La potencia es también directamente proporcional al cuadrado de la corriente”

$$P = I^2 \cdot R$$

Resolución de problemas sobre circuitos eléctricos

Los problemas de circuitos eléctricos se resuelven con la aplicación de la Ley de Ohm y la Ley de Watt y con la utilización de los requerimientos de un circuito completo. Esto incluye el uso de las 12 ecuaciones relacionadas que usted debe ser capaz de obtener de las dos leyes por medio de sustituciones o despejes. A continuación algunos ejemplos de soluciones a problemas de circuitos.

Ejemplo 1: ¿Cuál es el valor de voltaje requerido para forzar una corriente de 6.25 A. a través de un calefactor con una resistencia de 38.4 Ohm?

$$\begin{aligned} E &= I \cdot R \\ E &= 6,25 \text{ A} \cdot 38,4 \, \Omega \\ E &= 240 \text{ V} \end{aligned}$$

Ejemplo 2: Si un voltaje de 120 V aplicado a un calefactor produce calor a un valor de 1500 W ¿qué valor de corriente fluye a través del calefactor?

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{E} \\ I &= \frac{1500 \text{ W}}{120 \text{ V}} \\ I &= 12,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Ejemplo 3: ¿Cuál es el valor de la resistencia en el Ejemplo 2?

$$R = \frac{E}{I}$$
$$R = \frac{120 \text{ V}}{12,5 \text{ A}}$$
$$R = 9,6 \, \Omega$$

Ejemplo 4: ¿Qué potencia se disipa cuando 417 mA de corriente pasan por una bombilla de 576 ohm?

Primero, ajuste las unidades $417 \text{ mA} = 0.417 \text{ A}$

$$P = I^2 \cdot R$$
$$P = [0,417 \text{ A}]^2 \cdot 576 \, \Omega$$
$$P = 100 \text{ W}$$

Ejemplo 5: ¿Cuál es voltaje de la bombilla en el Ejemplo 4?

$$E = I \cdot R$$
$$E = 0,417 \text{ A} \cdot 576 \, \Omega$$
$$E = 240 \text{ V}$$

1.2 Características de un Circuito en Serie.

Los componentes eléctricos pueden conectarse utilizando diferentes configuraciones para formar los circuitos por donde circulará la corriente. La forma más simple para conectar estos circuitos es la **conexión en serie**.

Construcción de un Circuito en Serie

El circuito en serie se construye al conectar a todos los componentes del circuito en línea uno con respecto al otro. El diagrama esquemático de la figura 58 es una muestra de un circuito en serie simple. En este caso, una batería (la fuente) está conectada a través de un interruptor a tres resistencias (dispositivos de carga). Cada uno de ellos está en línea con respecto al otro.

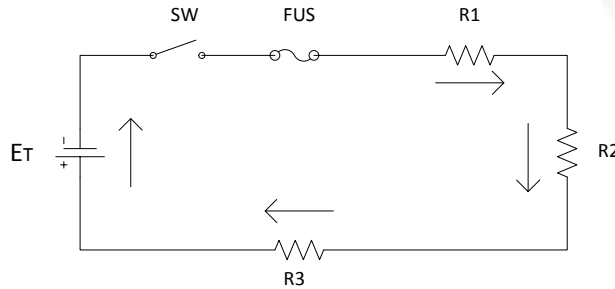


Figura 1

Circuito en serie simple

Usted debe percatarse que al cerrarse el circuito, sólo hay **un trayecto** para el flujo de corriente: desde la fuente, a través de los dispositivos de carga y de regreso a la fuente. Todo circuito que posea sólo un trayecto para el flujo de corriente se considera como un circuito en serie.

Si cualquier punto del circuito se abre, la corriente no pasará y ninguno de los componentes funcionará. El circuito se puede abrir al desconectarse el interruptor o al fallar uno de los componentes del circuito. Usted posiblemente conoce las luces de los árboles de Navidad que están conectadas en serie. Si una ampolleta está quemada (o se abre), el resto de las ampolletas no funciona. Usted tiene entonces el problema de revisar cada ampolleta individualmente hasta encontrar cuál es la defectuosa

Lazo de corriente.

Como resultado del flujo de la corriente por cada resistencia, se crea una diferencia de potencial (voltaje) en cada resistencia al oponerse al paso de la corriente. La polaridad del voltaje a través de cada resistencia es tal que el borne más cercano al lado negativo de la batería es también negativo, y el borne más cercano al lado positivo de la batería es también positivo. En otras palabras, el punto por el cual los electrones **entran** a cada resistencia se considera **negativo**, y el punto por donde los electrones **salen** de la resistencia se considera **positivo**. La polaridad de la fuente de voltaje es reflejada por cada resistencia.

Recuerde que, considerado como flujo electrónico, la corriente fluye "de negativo a positivo" a través de un dispositivo de carga.

Tres leyes de circuitos en serie

Existen tres igualdades fundamentales que se aplican a la resistencia, la corriente y el voltaje en **todos** los circuitos en serie. Es importante que usted aprenda estas tres leyes fundamentales de los circuitos en serie para que usted sea capaz de resolver problemas más complicados de circuitos.

La resistencia

Siempre que se conecten resistencias individuales en serie, su efecto combinado es igual al efecto producido por una resistencia mayor cuyo valor sea la suma de las resistencias individuales. Ya que en un circuito en serie el flujo de corriente tiene un solo trayecto, y debido a que cada una de la resistencia está en línea oponiéndose al flujo de corriente, la resistencia total es la oposición total de todas las resistencias en línea.

La resistencia total de un circuito en serie es igual a la suma de todas las resistencias individuales en el circuito.

La igualdad entre las resistencias en un circuito en serie se expresa de la siguiente manera:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Por medio de esa fórmula, calcularemos la resistencia del circuito en la Figura 2:

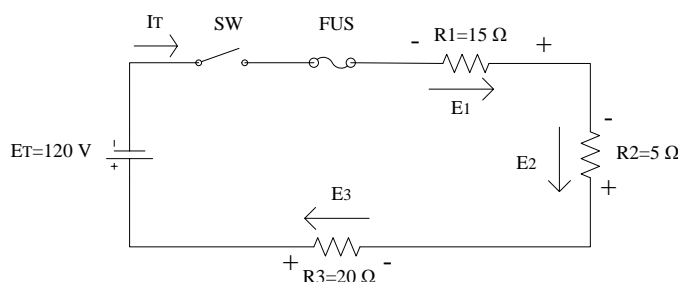


Figura 2

Circuito serie

$$R_T = 15 \, \Omega + 5 \, \Omega + 20 \, \Omega = 40 \, \Omega$$

La Corriente

Ya que sólo existe un trayecto para el flujo de electrones en un circuito en serie, la corriente es la misma en todos los puntos del circuito.

La corriente total en un circuito en serie es igual a la corriente que circula por cualquier resistencia del circuito.

La igualdad de la corriente en un circuito en serie se expresa por la siguiente fórmula:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

Conociendo que el voltaje total del circuito de la figura 2 es 120 V, y habiendo determinado la resistencia total del circuito de 40, usted puede aplicar la Ley de Ohm para determinar la corriente total del circuito:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{120V}{40\Omega} = 3A$$

La corriente total del circuito $I_T = 3$ amperes es igual a la corriente (llamada I_1) que pasa por R_1 ; que es la misma corriente (I_2) que pasa por R_2 ; que es la misma corriente (I_3) que pasa por R_3 . En otras palabras, la corriente medida en todas las secciones del circuito tiene el mismo valor.

El Voltaje

Usted recordará que según la Ley de Ohm, para que una corriente pase por una resistencia deberá existir una diferencia de potencial, o voltaje. Cuando las resistencias se conectan en serie, ellas deben "compartir" el voltaje total de la fuente.

El voltaje total de un circuito en serie es igual a la suma de todas las caídas individuales de voltaje en el circuito.

Al pasar la corriente por cada resistencia en un circuito en serie, se crea una diferencia de potencial a través de cada resistencia individual. Esta diferencia de potencial se conoce comúnmente como "caída de potencial" y su magnitud es directamente proporcional al valor de la resistencia. A mayor valor de una resistencia cualquiera en un circuito en serie, más alta será la caída de voltaje en esa resistencia. No obstante, la suma de todos los valores individuales de caídas de voltaje debe ser igual al valor del voltaje de la fuente (total aplicado).

La igualdad de los voltajes en un circuito en serie se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Usted puede aplicar la Ley de Ohm, $E = I \cdot R$ en el circuito anterior, para determinar la caída de voltaje en cada resistencia del circuito.

La caída de voltaje en la resistencia R_1 es:

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 = 3A \cdot 15\Omega = 45V$$

La caída de voltaje en la resistencia R_2 es:

$$E_2 = I_2 \cdot R_2 = 3 \text{ A} \cdot 5 \Omega = 15 \text{ V}$$

La caída de voltaje en la resistencia R_3 es:

$$E_3 = I_3 \cdot R_3 = 3 \text{ A} \cdot 20 \Omega = 60 \text{ V}$$

Considere que hemos empleado el término **caída de voltaje** debido a que no todo el voltaje suministrado por la fuente está presente en cada resistencia.

Para este circuito en serie, el voltaje total de la fuente es igual a la suma de las caídas individuales de voltajes según lo confirma lo siguiente:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 = 45 \text{ V} + 15 \text{ V} + 60 \text{ V} = 120 \text{ V}$$

Apertura de un circuito en serie

Refiérase a la Figura 3 Si se abre el circuito entre las resistencias R_1 y R_2 (al desconectar un cable), el flujo de corriente, naturalmente, se interrumpirá a través del circuito. Al no haber flujo de corriente, la caída de voltaje en todas los elementos resistivos es cero (ya que $E = I \cdot R$). Sin embargo, la diferencia de potencial de la fuente si se manifiesta en la parte abierta del circuito. Si se coloca un voltímetro en la parte abierta, la lectura obtenida será la misma que si se conectara directamente a los bornes de la fuente de suministro.

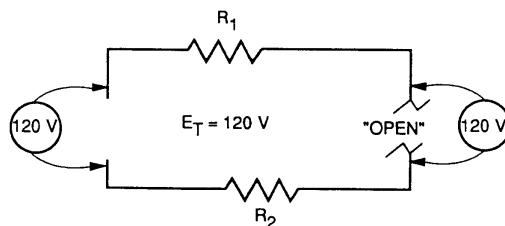


Figura 3

Voltaje a través de una abertura

En un circuito de iluminación en serie, usted puede fácilmente determinar qué lámpara está fundida midiendo sucesivamente el voltaje en cada uno de los bornes de los sockets de las ampolletas, hasta que haya medido el voltaje total de la fuente.

¡PRECAUCIÓN!



Dado que hay voltaje en la sección abierta del circuito en serie, esta situación representa UN PELIGRO POTENCIAL DE SHOCK ELÉCTRICO.

¡Tenga cuidado de no tocar las partes vivas del circuito!

De igual modo, si un interruptor está abierto, el voltaje completo aparecerá en los contactos del interruptor (abierto), aun cuando el voltaje a través de los dispositivos de carga sea cero.

Desventajas de los Circuitos en Serie

Si se abre cualquier dispositivo se interrumpirá el flujo de corriente en el resto de los dispositivos.

Un corto circuito en cualquiera de los dispositivos causará un aumento de la corriente a través de los dispositivos.

Al cambiar el valor de resistencia de un dispositivo cambiará los valores de corriente, voltaje y potencia del resto de los dispositivos.

Solución de problemas de circuitos en serie

Cuando trabaje con circuitos en serie, usted debe ser capaz de resolver problemas que contemplen cálculos complejos de resistencia, voltaje y corriente. Para esto debe utilizar distintas variantes de la Ley de Ohm:

$$I_T = \frac{E}{R}$$
$$E = I \cdot R$$
$$R = \frac{E}{I}$$

Así como las tres leyes fundamentales de los circuitos en serie:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$
$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$
$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Además, usted tendrá que ser capaz de aplicar conceptos fundamentales de potencia y energía.

Potencia de los circuitos en serie

Usted recordará que la potencia es el valor de la energía eléctrica usada y que la potencia puede calcularse por medio de una de las tres fórmulas siguientes:

$$P = \frac{E^2}{R}$$
$$P = E \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

En un circuito en serie, usted puede utilizar cualquiera de estas ecuaciones de potencia para calcular la energía disipada por cualquier componente resistivo, o para calcular la potencia total del circuito. Considere el siguiente ejemplo de la figura 4:

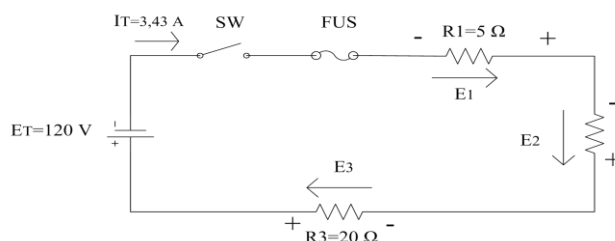


Figura 4

Circuito serie simple

Utilizando los valores dados en el diagrama, calcule la energía total del circuito multiplicando la corriente total del circuito por el voltaje de alimentación total:

$$P_T = E_T \cdot I_T = 120 \text{ V} \cdot 3,43 \text{ A} = 411,6 \text{ W}$$

De igual forma, resuelva el valor de la potencia para cada resistencia individual utilizando $P = I^2 \cdot R$. Recuerde, la corriente que pasa por una resistencia en un circuito en serie tiene el mismo valor que la corriente total del circuito.

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 = (3,43 \text{ A})^2 \cdot 5 \Omega = 58,77 \text{ W}$$

$$P_2 = I^2 \cdot R_2 = (3,43 \text{ A})^2 \cdot 10 \Omega = 58,77 \text{ W}$$

$$P_3 = I^2 \cdot R_3 = (3,43 \text{ A})^2 \cdot 20 \Omega = 58,77 \text{ W}$$

$$\sum P_i = 411,6 \text{ W}$$

Al sumar los valores individuales de potencia, usted puede ver que el valor resultante de potencia es igual a la potencia total que calculamos anteriormente cuando utilizamos los valores totales del circuito.

En un circuito en serie, la potencia total desarrollada es igual a la suma de los valores de potencia de las resistencias individuales.

Esta relación de potencia en un circuito en serie se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Problemas Tipos

Usted debe estar en condiciones de resolver los problemas relacionados con circuitos en serie. Estudie el desarrollo de los siguientes problemas.

Ejemplo 1: Para el circuito de la figura 5, calcule el valor incógnito de R_3 y la potencia que desarrolla.

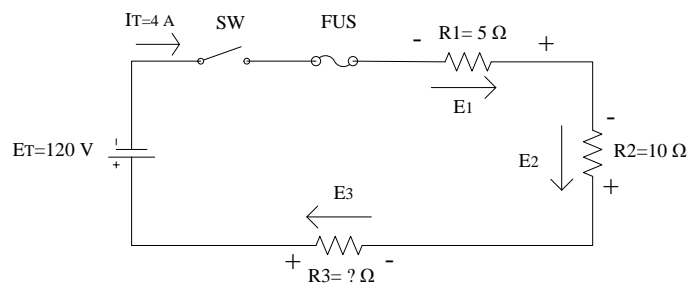


Figura 5

Circuito serie para Ejemplo 1.

A partir de los valores dados, usted puede calcular la resistencia total del circuito y después restar los valores conocidos de resistencia para determinar el valor de R_3 . Aplicando la ley de Ohm, usted puede calcular la resistencia total:

$$P_T = \frac{E_T}{I} = \frac{120 \text{ V}}{4 \text{ A}}$$

Para resolver en R_3 , sustituya los valores conocidos en la fórmula de resistencia para un circuito en serie utilizando:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_3 = R_T - R_1 - R_2$$

$$R_3 = 30 \Omega - 10 \Omega - 5 \Omega$$

$$R_3 = 30 \Omega - 15 \Omega = 15 \Omega$$

La forma más rápida de calcular la potencia en R_3 es:

$$P_3 = I^2 \cdot R_3$$

$$P_3 = (4 \text{ A})^2 \cdot 15 \Omega = 240 \text{ W}$$

Ejemplo 2: Determine los valores desconocido de voltaje en la fuente, la corriente, y la resistencia de R_3 para el circuito que se muestra en la figura 6.

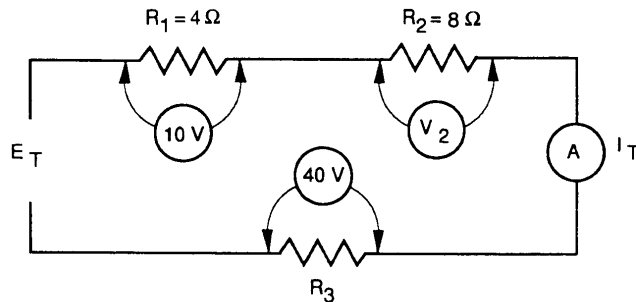


Figura 6

Circuito serie ejemplo 2.

Utilizando los valores asociados con R_1 , determine la corriente I_1 que tiene el mismo valor de I_T :

$$I_T = I_1 = \frac{10 \text{ V}}{4 \Omega} = 2,5 \text{ A}$$

El valor de R_3 puede determinarse ahora que se conoce que $I_T = I_1 = I_3$.

$$R_3 = \frac{E_3}{I_3} = \frac{40 \text{ V}}{2,5 \text{ A}} = 16 \Omega$$

El valor total del voltaje de la fuente puede calcularse utilizando la Ley de Ohm, utilizando los valores de la resistencia total y de la corriente total. Primero determine R_T y después E_T :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 4 \Omega + 8 \Omega + 16 \Omega = 28 \Omega$$

$$E_T = I_T \cdot R_T$$

$$E_T = 2,5 \text{ A} \cdot 28 \Omega = 70 \text{ V}$$

Otra forma de calcular el voltaje total es determinando la caída de voltaje E_2 y después determinar todas las caídas individuales de voltaje. Por este método tenemos que:

$$E_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$E_2 = 2,5 \text{ A} \cdot 8 \Omega = 20 \text{ V}$$

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3$$

$$E_T = 10 \text{ V} + 20 \text{ V} + 40 \text{ V} = 70 \text{ V}$$

Caídas Proporcionales de Voltaje

En los circuitos en serie, el voltaje total es la suma de las caídas de voltajes individuales en el circuito y la relación $E = I \times R$ se utiliza para calcular las caídas de voltaje en cada resistencia. Ya que el valor de la corriente es el mismo para cada resistencia, la caída de voltaje en cada resistencia es proporcional al valor de la resistencia. En otras palabras, a mayor valor de resistencia en un circuito en serie, más alta será la caída de voltaje. Considere el circuito en serie de la figura 7.

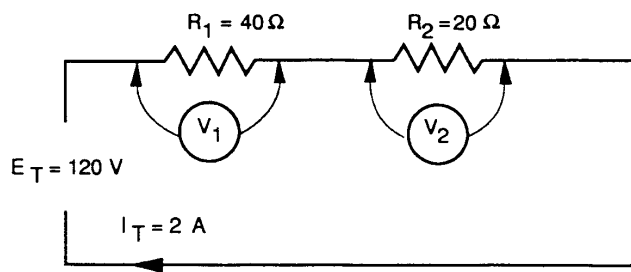


Figura 7

Circuito con caídas de voltaje proporcionales

Por los valores dados anteriormente, usted puede fácilmente calcular las caídas de voltajes en cada resistencia.

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 = 2 \text{ A} \cdot 40 \Omega = 80 \text{ V}$$

$$E_2 = I_2 \cdot R_2 = 2 \text{ A} \cdot 20 \Omega = 40 \text{ V}$$

La caída de voltaje de 80 V en la resistencia de 40Ω es dos veces la caída de voltaje en la resistencia de 20Ω . Como la corriente es la misma a través de ambas resistencias, las caídas de voltaje son directamente proporcional a la resistencia (2:1). Esta relación puede expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Esta relación proporcional (razón) es muy beneficiosa para calcular rápidamente las resistencias o caídas de voltaje.

Ejemplo 3: Cuatro resistencias están conectadas en serie a una fuente de 120 V, como se muestra en la figura 8. Si la caída de voltaje en R_2 es 24 V, determine la caída de voltaje en cada una de las restantes tres resistencias.

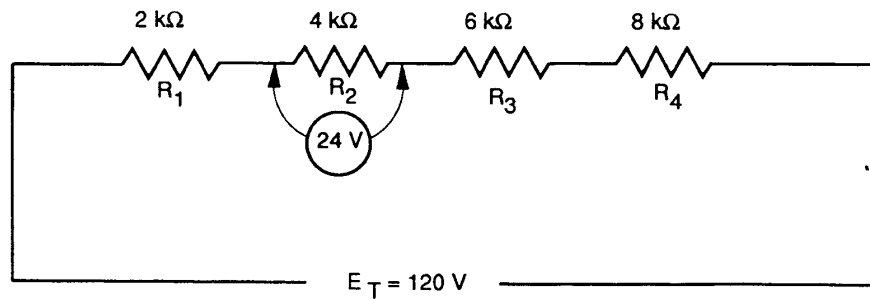


Figura 8

Circuito serie para Ejemplo 3

Primero, usted deberá determinar la resistencia total en este circuito en serie; después calcule la corriente utilizando la Ley de Ohm; y finalmente calcule la caída individual de voltaje. Pero el circuito puede resolverse rápidamente si se utiliza la técnica de la razón analizada.

La razón entre R_1 y R_2 es:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Sustituyendo los valores conocidos, se determina E_1

$$E_1 = E_2 \cdot \frac{R_1}{R_2} = 24\text{ V} \cdot \frac{2\text{ k}\Omega}{4\text{ k}\Omega} = 12\text{ V}$$

De igual forma podemos establecer otra razón para determinar E_3 utilizando:

$$\frac{E_3}{E_2} = \frac{R_3}{R_2}$$

$$E_3 = E_2 \cdot \frac{R_3}{R_2} = 24\text{ V} \cdot \frac{6\text{ k}\Omega}{4\text{ k}\Omega} = 36\text{ V}$$

Igual para E_4 , utilizando

$$\frac{E_4}{E_2} = \frac{R_4}{R_2}$$

$$E_4 = E_2 \cdot \frac{R_4}{R_2} = 24 \text{ V} \cdot \frac{8 \text{ k}\Omega}{4 \text{ k}\Omega} = 48 \text{ V}$$

Consejos para Resolver Circuitos en Series

A menudo a usted se le pedirá que resuelva problemas oralmente para determinar una cantidad (o cantidades) desconocida(s). En estos casos, siempre dibuje un **diagrama esquemático** del circuito donde muestre la información dada (igual que en los ejemplos anteriores).

A menudo, para resolver problemas de circuitos en serie, es más conveniente buscar la información que le ayude a calcular el valor de la corriente. Esta corriente puede entonces utilizarse en todo el circuito.

Ejemplo 4: A una batería de 12 V se conectan tres resistencias en serie. Una resistencia tiene un valor de 10Ω con una caída de voltaje de 2 V. Las otras dos resistencias tienen caídas de voltaje de 6 V y 4 V respectivamente. ¿Qué valores de resistencia y potencia tienen las resistencias desconocidas?

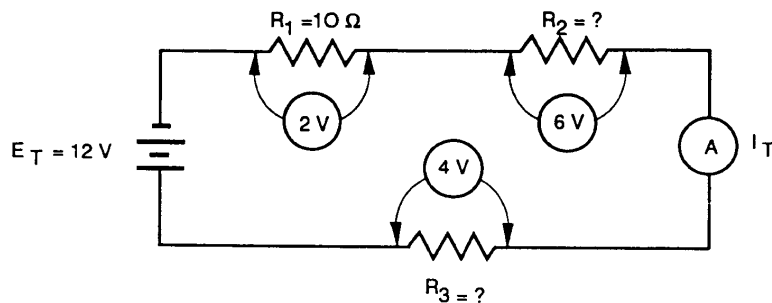


Figura 9

Esquemático para resolver Ejemplo 4

Primero dibuje un diagrama esquemático que contenga toda la información suministrada

Calcule la corriente total a partir de los valores de R_1 arriba.

$$I_T = I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{2 \text{ V}}{10 \Omega} = 0,2 \text{ A}$$

Como ya usted conoce, la corriente es la misma para las otras dos resistencias, entonces:

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{6\text{ V}}{0,2\text{ A}} = 30\ \Omega$$

$$R_3 = \frac{E_3}{I_3} = \frac{4\text{ V}}{0,2\text{ A}} = 20\ \Omega$$

Observe que usted también puede utilizar el método de la razón para resolver los valores de las resistencias. Ahora aplique una de las ecuaciones de potencias, como por ejemplo:

$$P_2 = E_2 \cdot I_2 = 6\text{ V} \cdot 0,2\text{ A} = 1,2\text{ W}$$

$$P_3 = E_3 \cdot I_3 = 4\text{ V} \cdot 0,2\text{ A} = 0,8\text{ W}$$

Algunos problemas de circuitos en serie requieren que usted resuelva muchos valores de voltaje, corriente, resistencia y potencia. En estos casos, le puede parecer oportuno llevar sistemáticamente a una tabla los valores conocidos y desconocidos. Utilice la Tabla 1 para registrar los valores individuales de las tres resistencias y los valores totales del circuito.

Tabla de valores del circuito

	R [Ω]	E [V]	I [A]	P [W]
1				
2				
3				
Total				

Tabla 1

Cuando utilice el método de la tabla, recuerde llenar toda la información dada primero. Esto le facilitará decidir cuáles valores pueden utilizarse en otros cálculos.

1.3 La Ley de los Voltaje de Kirchhoff

Existen dos leyes fundamentales relacionadas con los circuitos eléctricos que se conocen como la Ley de Kirchhoff. Una se relaciona con el voltaje y la otra con la corriente.

Simplemente aplique la ley de Voltaje de Kirchhoff que dice que:

Alrededor de cualquier circuito cerrado, la suma algebraica de todos los voltajes es cero.

Esta ley se usa conjuntamente con la **polaridad** basándose en el sentido del flujo de corriente en un circuito. Si las caídas de voltajes en las resistencias son consideradas cantidades negativas, entonces, por comparación, la fuente de voltaje se considera una cantidad positiva (aumento de voltaje)).

Al expresar la Ley de Kirchhoff en una fórmula se obtiene:

$$+E_T - E_1 - E_2 - E_3 - \dots = 0 \text{ V}$$

Al transponer los términos, tome en consideración que la ley está simplemente reescrita para circuitos en series como:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

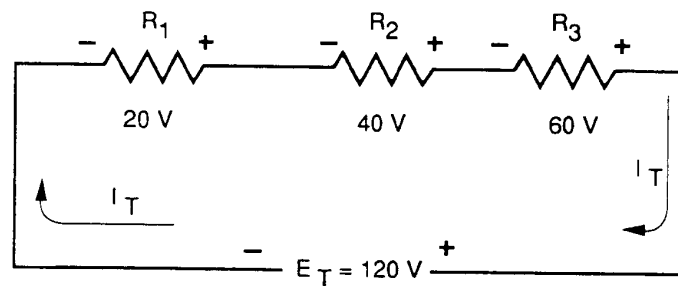


Figura 10

Ley de voltaje de Kirchhoff

Si usted busca el recorrido de la corriente en la figura 10, encontrará que al moverse del negativo al positivo a través de cada una de las resistencias de carga, usted también va de positivo a negativo en la fuente de voltaje. Es a **ese** sentido de la corriente o polaridad la que se le asigna los valores de voltaje cuando usted aplica la Ley de Kirchhoff.

Sustituyendo los valores en la figura 10, en la Ley de Voltaje de Kirchhoff se obtiene:

$$120 \text{ V} - 20 \text{ V} - 40 \text{ V} - 60 \text{ V} = 0$$

1.4 Características de los Circuitos en Paralelo

Los circuitos en paralelo son quizás los tipos más comunes de circuitos que usted encontrará. Las cargas de los sistemas de distribución de energía están mayoritariamente conectadas entre ellas en paralelo de una u otra forma.

Construcción de un Circuito en Paralelo

El circuito en paralelo se construye al conectar los bornes o terminales de todos los dispositivos individuales de carga para que todos los componentes reciban el mismo valor de voltaje. En la figura 11, usted puede ver que cada una de las tres resistencias recibe el mismo voltaje de la fuente.

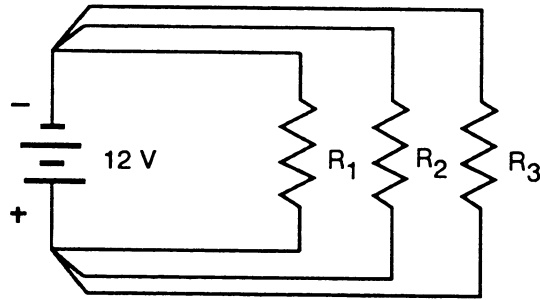


Figura 11

Un circuito en paralelo

La figura 12, muestra la representación más tradicional del mismo circuito. Notar que en esta estructura del circuito: el voltaje total suministrado aparece a través de cada uno de las tres resistencias; existen tres trayectos separados (o derivaciones). Para el flujo de corriente - cada uno sale del borne negativo de la fuente y regresa a través del borne positivo

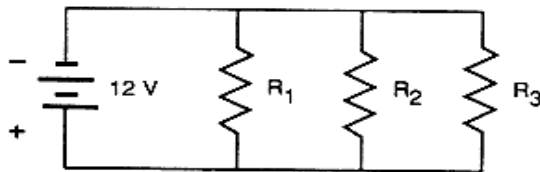


Figura 12

Representación común de un circuito paralelo.

Las dos características fundamentales de los circuitos en paralelo son:

El voltaje a través de cada derivación es el mismo, y

Existe más de un trayecto por donde la corriente circula.

A diferencia de los circuitos en serie, la corriente circula a través de las derivaciones restantes del circuito aún en el caso de que una derivación o componente del circuito paralelo esté abierto.

La Corriente y la Resistencia en un Circuito en Paralelo

Por la Ley de Ohm, usted conoce que la corriente en un circuito es inversamente proporcional a la resistencia. Además, la resistencia de un circuito es inversamente proporcional a la corriente, lo que significa que si la corriente aumenta, la resistencia deberá disminuir.

Al conectar un mayor número de resistencias en Paralelo a una fuente de alimentación, existen más trayectos para que circule la corriente y, como resultado, el circuito consume más corriente. Esto se traduce en una reducción de la resistencia neta (total) del circuito.

Considere el circuito simple en Paralelo de la figura 13

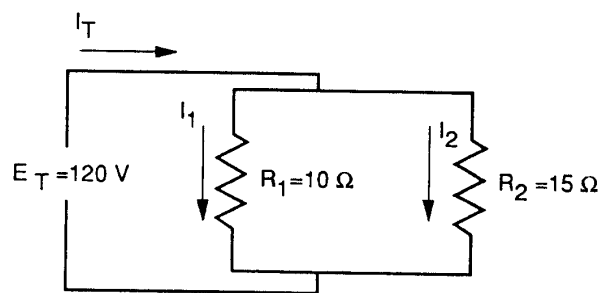


Figura 13

Dos resistencias en paralelo.

Aplicando la Ley de Ohm, fácilmente determinamos la corriente en cada resistencia.

$$I_1 = \frac{E_T}{R_1} = \frac{120\text{ V}}{10\ \Omega} = 12\text{ A}$$

y

$$I_2 = \frac{E_T}{R_2} = \frac{120\text{ V}}{15\ \Omega} = 8\text{ A}$$

En un circuito en paralelo, la corriente total es igual a la suma de las corrientes individuales de cada derivación. En este caso, la corriente total calculada es 20 amperes.

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$I_T = 12\text{ A} + 8\text{ A} = 20\text{ A}$$

La resistencia total del circuito se determina aplicando la Ley de Ohm y utilizando como valores el voltaje total del circuito y la corriente total del circuito.

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{120 \text{ V}}{20 \text{ A}} = 6 \Omega$$

Observe que la resistencia **total** del circuito es 6 ohm, magnitud inferior a cualquiera de los valores de resistencia individuales de las derivaciones (R_1 y R_2).

Al conectar más resistencias en paralelo, se crean más derivaciones para que la corriente circule. Esto **aumenta** la **corriente** total del circuito y consecuentemente **disminuye** la **resistencia** total del circuito en paralelo.

Leyes de un Circuito en Paralelo

El voltaje, la corriente y la resistencia en circuito en paralelo se relacionan en tres formas fundamentales.

Voltaje

En un circuito en paralelo, cada resistencia de carga actúa como si fuera una derivación independiente del circuito y por esta razón, cada derivación "ve" el voltaje total de la fuente.

El voltaje total en un circuito en paralelo tiene el mismo valor que el voltaje en cada derivación.

La igualdad entre los voltajes de un circuito en paralelo se expresa de la siguiente forma:

$$E_T = E_1 = E_2 = E_3 = \dots$$

El voltaje es 120 V en cada derivación del circuito de la figura 14.

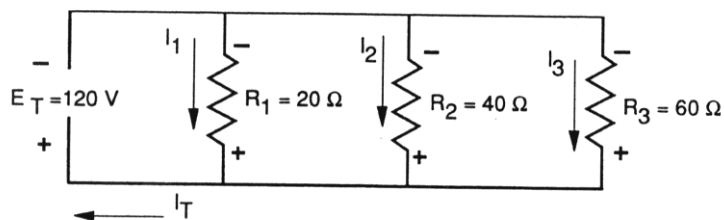


Figura 14

Circuito paralelo con tres derivaciones

En el circuito en paralelo el flujo de corriente se mueve por más de un trayecto. La cantidad de trayectos para la corriente está determinada por el número de resistencias de carga conectadas en Paralelo.

La corriente total en un circuito en paralelo es igual a la suma de las corrientes individuales de las derivaciones.

La igualdad entre las corrientes en un circuito en paralelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

Para calcular la corriente total (en línea) en la figura 14, usted deberá primero determinar la corriente en cada derivación, aplicando la Ley de Ohm:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{120 \text{ V}}{20 \Omega} = 6 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{120 \text{ V}}{40 \Omega} = 3 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{120 \text{ V}}{60 \Omega} = 2 \text{ A}$$

Utilizando los valores de corriente en las derivaciones, usted puede calcular la corriente total (en línea) de la siguiente forma:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_T = 6 \text{ A} + 3 \text{ A} + 2 \text{ A} = 11 \text{ A}$$

Resistencia

Siempre que se conecten más resistencias en paralelo, la resistencia total del circuito disminuye.

La resistencia neta de un circuito en paralelo es siempre menor que cualquiera de los valores de resistencia de las derivaciones individuales.

Existen distintas formas para determinar la resistencia total de un circuito en paralelo. Uno de los métodos más comúnmente usados es el de la ecuación recíproca como fórmula general y el producto sobre suma como fórmula puntual:

Ecuación recíproca

$$R_T = [R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} + \dots + R_N^{-1}]^{-1}$$

Producto sobre suma (solo dos resistencias en paralelo)

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Para el circuito de la figura 14, calcule la resistencia total sustituyendo los valores apropiados en esta ecuación recíproca:

$$R_T = [(20 \, \Omega)^{-1} + (40 \, \Omega)^{-1} + (60 \, \Omega)^{-1}]^{-1}$$
$$R_T = 10,9 \, \Omega$$

Potencia en los Circuitos en Paralelos

La misma ecuación de potencia utilizada en los circuitos en serie se aplica a los circuitos en paralelo. Por ejemplo, para determinar la potencia desarrollada por la resistencia R_1 , de la figura 14, página anterior, usamos:

$$P_1 = \frac{(E_1)^2}{R_1} = \frac{(120 \, V)^2}{20 \, \Omega} = 720 \, W$$

$$P_1 = (I_1)^2 \cdot R_1 = (6 \, A)^2 \cdot 20 \, \Omega = 720 \, W$$

$$P_1 = E_1 \cdot I_1 = 120 \, V \cdot 6 \, A = 720 \, W$$

De igual forma, usted puede calcular la potencia de la resistencia R_2 ($P_2 = 360 \, W$) y para la resistencia R_3 ($P_3 = 240 \, W$) utilizando cualquiera de las fórmulas anteriores, previo cambio del índice respectivo.

Usted puede determinar la potencia total del circuito (P_T) de las siguientes dos maneras:

Sustituya los valores de voltaje, corriente o resistencia totales del circuito en las fórmulas anteriores.

$$P_T = E_T \cdot I_T$$

$$P_T = (I_T)^2 \cdot R_T$$

$$P_T = \frac{(E_T)^2}{R_T}$$

Determine la potencia total disipada por las resistencias individuales en cada derivación.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_i = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

1.5 La Ley de Corriente de Kirchhoff

Usted conoció la Ley de Voltaje de Kirchhoff cuando estudió los circuitos en series. Sin embargo, cuando usted trabaje con circuitos en Paralelo se referirá a ella como La Ley de Corriente de Kirchhoff.

En palabras simples, la Ley de Kirchhoff se puede enunciar así:

La suma de las corrientes que llegan a un empalme (o nudo) es igual a la suma de las corrientes que salen de esa unión.

La Ley de Kirchhoff es algo similar a una ley de conservación de corriente: todo lo que entra debe salir. En cualquier empalme donde se ramifique el circuito, el amperaje total de salida deberá ser igual al amperaje total de entrada. Esta relación se ilustra en la figura 15.

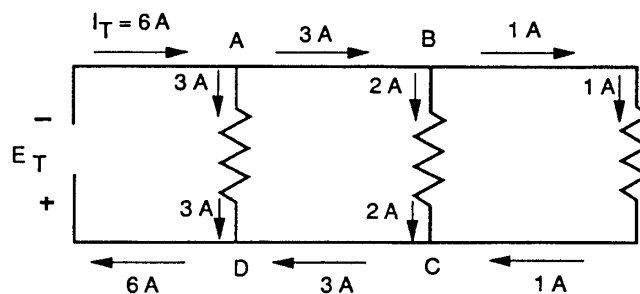


Figura 15

Circuito que ilustra la Ley de corriente de Kirchhoff.

En el nodo A, la corriente se divide en dos ramas. Fíjese que por el empalme A entran 6 A y que el total de amperes que salen de A es 6 A (3 A + 3 A).

En el nodo B, entra una corriente total de 3 A y sale una corriente total de 3 A (2 A + 1 A).

En el nodo C, entran 3 A ($1A + 2A$) y salen 3 A.
En el nodo D, entran 6 A ($3A + 3A$) y salen 6 A.

Usted podrá darse cuenta que la corriente total de excitación del circuito al pie de la figura 15, es igual a la corriente de línea que entra al circuito por la parte superior del circuito.

A pesar de que esta ley puede parecer algo obvia y simple, la Ley de Corriente de Kirchhoff se usa con la Ley de Voltaje de Kirchhoff para resolver problemas complejos de circuitos.

Resolver Problemas sobre Circuitos En paralelo

Al analizar cualquier circuito, es mejor estudiar los diagramas esquemáticos antes de comenzar a hacer los cálculos. Si la presentación del problema es sólo verbal, y no se cuenta con ningún diagrama, entonces lo mejor es hacer un diagrama y verter en él toda la información disponible.

Este análisis inicial debe darnos los primeros indicios en busca de soluciones. Estos indicios se dan cuando dos o tres de los valores que se necesitan aparecen en el diagrama. Un buen primer paso hacia la solución de problemas de circuitos paralelos es determinar uno de los valores de E, ya que E tiene el mismo valor a lo largo de todo el circuito.

Sistematice la forma de resolver los problemas. La tabla es muy útil ya que ordena todos los registros y le permite conocer los valores que aún no ha determinado

Ejemplo 1: Para el circuito de la figura 16, resuelva los valores incógnitos en la Tabla 1.

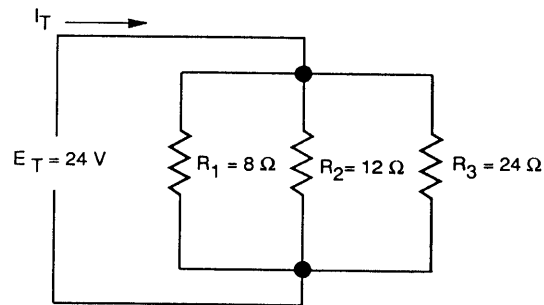


Figura 16

Circuito paralelo para Ejemplo 1

Tabla de valores del circuito

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1			8	
Ramal 2			12	
Ramal 3			24	
Total	24			

Tabla 2

Voltaje: En un circuito en paralelo, el voltaje es igual al voltaje de cada ramal. Por lo tanto:

$$E_1 = E_2 = E_3 = 24 \text{ V}$$

Corriente: Emplee la Ley de Ohm para resolver las corrientes en cada ramal:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{24 \text{ V}}{8 \Omega} = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{24 \text{ V}}{12 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{24 \text{ V}}{24 \Omega} = 1 \text{ A}$$

La corriente total en un circuito en paralelo es la suma de los corrientes ramales. Por lo tanto:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 6 \text{ A}$$

Potencia: Se puede utilizar cualquier ecuación de potencia para calcular la potencia.

En este caso, utilice la más simple.

$$P_1 = E_1 \cdot I_1 = 24 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 72 \text{ W}$$

$$P_2 = E_2 \cdot I_2 = 24 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 48 \text{ W}$$

$$P_3 = E_3 \cdot I_3 = 24 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 24 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 144 \text{ W}$$

¡Su tabla debe estar completa ya con excepción de los valores de las resistencias!

Resistencia: Se pueden utilizar distintos métodos para calcular resistencia total en un circuito en paralelo.

Método # 1: Aplicando la Ley de Ohm: Si se conoce el voltaje total y la corriente total del circuito, entonces se puede determinar la resistencia total del circuito, aplicando la Ley de Ohm. Para el circuito de la figura 16.

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{24 \text{ V}}{6 \text{ A}} = 4 \Omega$$

Nota: La resistencia de circuito total en un circuito en paralelo siempre es **menor** que la resistencia más pequeña en ese circuito. Use esta información para revisar rápidamente sus cálculos.

Método #2: Aplicando la ecuación recíproca; Usted estudió esta fórmula anteriormente, la cual puede utilizarse cuando sólo se conocen los valores de resistencia en un circuito:

$$R_T = [R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1}]^{-1}$$

Sustituyendo,

$$R_T = [8^{-1} + 12^{-1} + 24^{-1}]^{-1} = 4 \Omega$$

Método # 3: Utilizando el producto-suma

Este método es muy utilizado para resolver problemas de resistencias con dos resistencias en paralelo. En realidad es una variación del Método # 2, que utiliza la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Para utilizar este método en el ejemplo del Dibujo 16, usted debe realizar dos pasos. Considere primero la resistencia neta, por ejemplo, de las resistencias R_2 y R_3 :

$$R_{eq,1} = \frac{R_2 \cdot R_3}{(R_2 + R_3)} = \frac{12\ \Omega \cdot 24\ \Omega}{(12\ \Omega + 24\ \Omega)} = 8\ \Omega$$

El valor $8\ \Omega$ representa la resistencia sencilla de sustitución de las resistencias en Paralelo de $12\ \Omega$ y $24\ \Omega$. Ahora usted puede tomar este valor de $8\ \Omega$ como el de una resistencia en paralelo con R_1 , (que también es de $8\ \Omega$).

$$R_T = \frac{R_{eq,1} \cdot R_1}{(R_{eq,1} + R_1)} = \frac{8\ \Omega \cdot 8\ \Omega}{(8\ \Omega + 8\ \Omega)} = 4\ \Omega$$

La resistencia total del circuito es de $4\ \Omega$.

Cualquiera de los tres métodos anteriores se pudo haber usado en este ejemplo. El Método # 1 posiblemente hubiera sido el más fácil de usar, en el caso que a usted se le hubiera pedido determinar los valores de todas las corrientes.

Ejemplo 2: Método # 4: Utilizando las resistencias iguales

Resistencia: En la figura 17, las resistencias de cada paso son conocidas e iguales. La resistencia total del circuito se puede determinar en este caso dividiendo el valor de una resistencia por el número total de resistencias en paralelo.

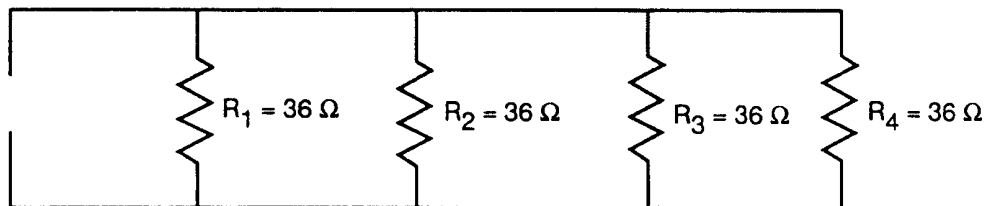


Figura 17

Resistencias iguales en paralelo

$$R_T = \frac{\text{Valor de una resistencia}}{\text{Número de resistencias en paralelo}}$$

$$R_T = \frac{36 \, \Omega}{4}$$

Proporcionalidad y Corrientes Ramales

La figura 18 ilustra un circuito simple en paralelo con dos ramales.

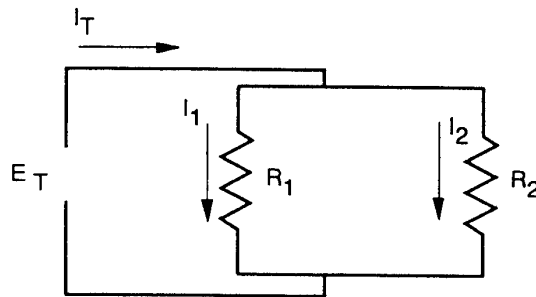


Figura 18

Resistencias en paralelo en circuito de dos ramales

Aplicamos la Ley de Ohm para determinar el voltaje a través de las dos resistencias en este circuito en paralelo:

$$E_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$E_2 = I_2 \cdot R_2$$

Dado que $E_1 = E_2$, Entonces,

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$$

La igualdad anterior se puede convertir en la siguiente ecuación:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Esta ecuación expresa que las corrientes ramales en un circuito paralelo son inversamente proporcionales a sus respectivas resistencias. Este concepto puede usarse en rápidos cálculos de corrientes o resistencias en problemas de circuitos en paralelo.

Ejemplo 3: Una corriente de 10 A entra a un ramal con dos resistencias en paralelo. Si $R_1 = 20 \Omega$ y la corriente a través de $R_1 = 6 \text{ A}$, ¿cuál es el valor de resistencia de R_2 ?

Primero haga el esquema y vierta la información dada en el esquema, como se muestra en la figura 19.

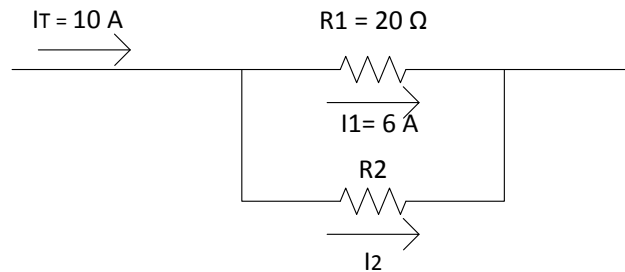


Figura 19

Esquemático para Ejemplo 3

Se puede determinar I_2 aplicando la ley de corriente de Kirchhoff:

$$I_T = I_1 + I_2$$

Sustituyendo,

$$10\text{A} = 6\text{A} + I_2$$

Por lo tanto,

$$I_2 = 4 \text{ A}$$

Aplicando la proporcionalidad inversa de una resistencia en paralelo se determina R_2 .

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{20 \Omega}{R_2} = \frac{4 \text{ A}}{6 \text{ A}}$$

$$R_2 = \frac{6 \text{ A} \cdot 20 \Omega}{4 \text{ A}} = 30 \Omega$$

Ejemplo 4: En la figura 20, muestra un circuito con un ramal de iluminación en el cual usted deberá determinar los valores de R_2 y P_2 .

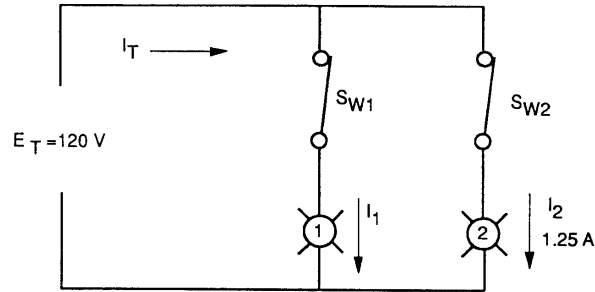


Figura 20

Esquemático para Ejemplo 4

Este es un circuito en paralelo, de modo que $E_2 = E_T$
 Use la rama E_2 , I_2 y la Ley de Ohm para determinar R_2 .

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{120 \text{ V}}{1,25 \text{ A}} = 96 \, \Omega$$

Es decir, la lámpara en R_2 tiene una resistencia de $96 \, \Omega$.

Para determinar la energía disipada por la lámpara, use una de las ecuaciones de potencia, y compruebe con la otra fórmula.

$$P_2 = E_2 \cdot I_2$$

$$P_2 = 120 \text{ V} \cdot 1,25 \text{ A} = 150 \text{ W}$$

$$P_2 = (I_2)^2 \cdot R_2$$

$$P_2 = 1,25 \text{ A} \cdot 96 \, \Omega = 150 \text{ W}$$

La energía consumida por la lámpara es 150 W.

Ejemplo 5: El circuito de la figura 21, tiene una fuente de potencial de 120 V y una corriente de 11 A. Contiene dos resistencias desconocidas, R_1 y R_2 y la corriente ramal del circuito I_2 es 6 A. Determine I_1 , R_T , P_1 , P_2 y P_T .

Para responder a esta pregunta, usted debe calcular varias incógnitas. Para ser sistemático, use una tabla como en el Ejemplo 1. Le será de ayuda encerrar en un círculo las posiciones de los valores que usted debe determinar.

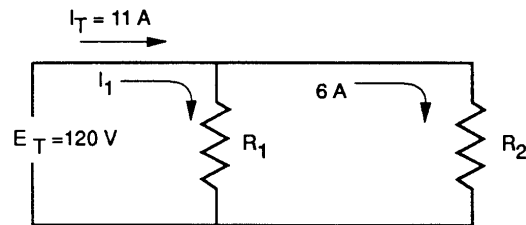


Figura 21

Circuito para Ejemplo 5

El primer paso es transferir la información del esquema a la Tabla 3:

Tabla de valores para iniciar ejemplo 4

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1	120			
Ramal 2	120	6		
Total	120	11		

Tabla 3

Como ya se conoce E_T , e I_T , es fácil determinar R_T :

$$R_T = \frac{E_T}{I_T} = \frac{120 \text{ V}}{11 \text{ A}} = 10,9 \Omega$$

Dado que ya usted conoce los valores de I_T e I_2 , aplique la ley de corriente de Kirchhoff para determinar I_1 :

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots$$

$$I_1 = I_T + I_2 = 11 \text{ A} - 5 \text{ A}$$

$$I_1 = I_T - I_2 = 11 \text{ A} - 6 \text{ A} = 5 \text{ A}$$

Añada estos valores a su tabla según se muestra en la Tabla 4:

Tabla de valores para cálculos del ejemplo 5

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1	120	(5)		
Ramal 2	120	6		
Total	120	11		

Tabla 4

Las tres cantidades pendientes de determinar son todos valores de potencia. Como ya conoce los valores de la corriente y del voltaje para cada uno de ellos, utilice la ecuación general de potencia, $P = E \cdot I$

$$P_1 = E_1 \cdot I_1 = 120 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 600 \text{ W}$$

$$P_2 = E_2 \cdot I_2 = 120 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 720 \text{ W}$$

$$P_T = E_T \cdot I_T = 120 \text{ V} \cdot 11 \text{ A} = 1320 \text{ W}$$

Incluya estos valores en su tabla según muestra la Tabla 5:

Valores calculados para circuito Ejemplo 5

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1	120	(5)		(600)
Ramal 2	120	6		(720)
Total	120	11	(10, 9)	(1320)

Tabla 5

Si usted desea, usted puede terminar la tabla con las determinaciones de R_1 , y R_2 , ambas deben ser mayores que 10,9 Ω .

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{120 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 24 \Omega$$

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{120 \text{ V}}{6 \text{ A}} = 20 \Omega$$

Tabla completa de valores para ejemplo 5

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1	120	(5)	(24)	(600)
Ramal 2	120	6	(20)	(720)
Total	120	11	(10, 9)	(1320)

Tabla 6

Ejemplo 6: Calcule los siguientes valores para el circuito en la figura 22

$E_1, E_2, E_3, E_T, I_1,$
 $R_1, R_3, R_T, \text{ y } P_T$

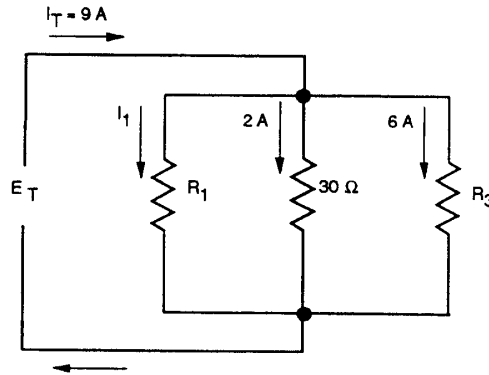


Figura 22

Circuito para Ejemplo 6

Como en el caso anterior, prepare una tabla con los valores dados para el diagrama y encierre en un círculo los valores a determinar

Tabla de valores del circuito para iniciar ejemplo 6

	$E \text{ [V]}$	$I \text{ [A]}$	$R \text{ [\Omega]}$	$P \text{ [W]}$
Ramal 1				
Ramal 2		2	30	
Ramal 2		6		
Total		9		

Tabla 7

Establezca las relaciones entre los valores conocidos de la Tabla 7 que puedan rápidamente guiarlo hacia una solución: usted verá que I_1 y E_2 pueden calcularse aplicando las Leyes de Kirchhoff s y Ohm respectivamente:

$$I_1 = I_T - I_2 - I_3$$

$$I_1 = 9 \text{ A} - 2 \text{ A} - 6 \text{ A} = 1 \text{ A}$$

$$E_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$E_2 = 2 \text{ A} \cdot 30 \text{ } \Omega = 60 \text{ V}$$

A partir de este valor de E_2 , ya que se trata de un circuito en paralelo se tiene que:

$$E_1 = E_2 = E_3 = 60 \text{ V}$$

Registre los valores obtenidos en su tabla como se muestra en la Tabla 8.

Valores calculados para Ejemplo 6

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1	(60)	(1)	(60)	
Ramal 2	(60)	2	30	
Ramal 3	(60)	6	(10)	
Total	(60)	9	(6,67)	

Tabla 8

Ahora, aplique la ley de Ohm para calcular las tres resistencias requeridas:

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{60 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 60 \Omega$$

$$R_3 = \frac{E_3}{I_3} = \frac{60 \text{ V}}{6 \text{ A}} = 10 \Omega$$

$$R_T = \frac{E_1}{I_1} = \frac{60 \text{ V}}{9 \text{ A}} = 6,67 \Omega$$

Para calcular la potencia total P_T , usted tiene una variedad de métodos ya que conoce los valores para I_T , E_T y R_T . Utilice una igualdad para calcular P_T y utilice la otra para comprobar su cálculo.

$$P_T = E_T \cdot I_T = 60 \text{ V} \cdot 9 \text{ A} = 540 \text{ W}$$

$$P_T = (I_T)^2 \cdot R_T = (9 \text{ A})^2 \cdot 6,67 \Omega = 540 \text{ W}$$

Registre los valores calculados en su tabla como se muestra en la Tabla 9.

Valores del circuito requeridos para Ejemplo 6

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Ramal 1	(60)	(1)	(60)	(60)
Ramal 2	(60)	2	30	(120)
Ramal 2	(60)	6	(10)	(360)
Total	(60)	9	(6, 67)	(540)

Tabla 9

En ocasiones es buena idea comprobar algunos cálculos utilizando métodos alternativos. Trate de determinar otros valores en el Ejemplo 5 y 6 utilizando métodos de cálculos diferentes.

Ejemplo 7: La figura 23, una corriente de 5 A se ramifica de tal forma que sólo 1 mA fluye hacia la rama donde está R_1 . Determine R_2 .

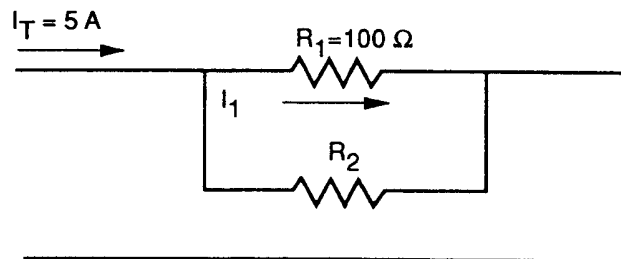


Figura 23

Circuito para Ejemplo 7

Primero, relacione todos los valores conocidos:

$$I_T = 5A$$

$$R_T = 100 \Omega$$

$$I_1 = 1 mA = 0,001 A$$

Aplicando la Ley de Kirchhoff determine I_2 :

$$I_2 = I_T - I_1 = 5A - 0,001 A = 4,999 A$$

Ahora aplique la regla de proporcionalidad inversa de las resistencias paralelas:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{o bien} \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} = 100 \Omega \cdot \frac{0,001 A}{4,999 A} = 0,02 \Omega$$

Por lo tanto, la resistencia en paralelo es 0,02 Ω

Este ejemplo demuestra un procedimiento frecuente para determinar la dimensión de la derivación requerida para extender el rango de un amperímetro.

Ejemplo 8 Un amperímetro tiene una sensibilidad de 1mA y una resistencia interior de 100 Ω . Determine la cantidad de resistencia de derivación requerida para que el medidor lea 10 A. (figura 24).

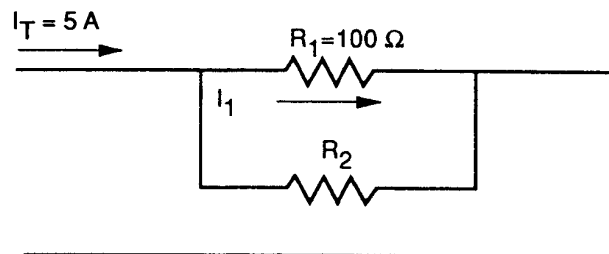


Figura 24

Amperímetro con circuito Shunt para Ejemplo 8

Tomemos a R_m como la resistencia del medidor y R_s como la resistencia de la derivación. Primero, relacionemos todos los valores conocidos:

$$I_T = 10 \text{ A}$$

$$I_m = 1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$$

$$R_m = 100 \Omega$$

Aplicamos la ley de corriente de Kirchhoff para calcular I_s :

$$I_T = I_m + I_s = 10 \text{ A} - 0,001 \text{ A} = 9,999 \text{ A}$$

Utilizamos la regla de la proporcionalidad para determinar el valor de R_s :

$$\frac{R_m}{R_s} = \frac{I_s}{I_m} \quad \text{o bien} \quad \frac{R_s}{R_m} = \frac{I_m}{I_s}$$

$$R_s = R_m \cdot \frac{I_s}{I_m} = 100 \Omega \cdot \frac{0,001 \text{ A}}{9,999 \text{ A}} = 0,01 \Omega$$

1.6 Características de un Circuito Combinado

Los circuitos puramente en serie y puramente en paralelo se encuentran pocas veces en los trabajos cotidianos de electricidad. En la práctica, la mayoría de los circuitos eléctricos son circuitos combinados que están formados por elementos conectados tanto

en serie como en paralelo. En algunos textos, este tipo de circuito es llamado circuito en serie-paralelo.

Aunque algunos circuitos combinados son complejos, sus componentes pueden descomponerse entre componentes en serie y componentes en paralelo. Las leyes que se aplican separadamente a los circuitos en serie y a los circuitos en paralelo pueden aplicarse a las partes apropiadas de un circuito combinado.

Existen infinitas posibilidades para construir un circuito combinado. Ya que todo circuito combinado contiene dispositivos conectados tanto en serie como en paralelo, usted deberá ser capaz de identificar los componentes que están en serie y los que están en paralelo dentro de un circuito combinado.

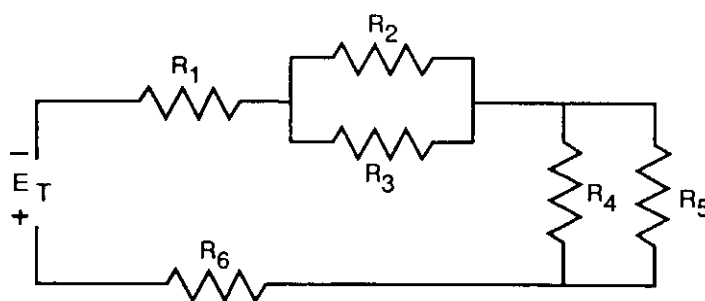


Figura 25

Circuito combinado

En el circuito combinado de la figura 25, usted puede ver que las resistencias R_2 y R_3 están en Paralelo, pero sólo entre ellas. Las resistencias R_4 y R_5 también están en paralelo, pero sólo una con la otra. Para cerrar el circuito, ambas porciones de estas resistencias están en serie una con la otra, así como con las resistencias R_1 y R_6 .

A menudo, cuando se resuelven problemas, es necesario descomponer un circuito combinado en un circuito equivalente en serie.

Para hacerlo, use el método del producto sobre la suma para calcular resistencia equivalente de pares de resistencias en paralelo en un circuito.

Por ejemplo, las resistencias en paralelo R_2 y R_3 en la figura 25 puede calcularse como una **resistencia equivalente**, representada como R_{23} en la figura 26. También, la otra porción en paralelo del circuito en la figura 25, formada por R_4 y R_5 puede representarse como una sola resistencia equivalente R_{45} en la figura 26.

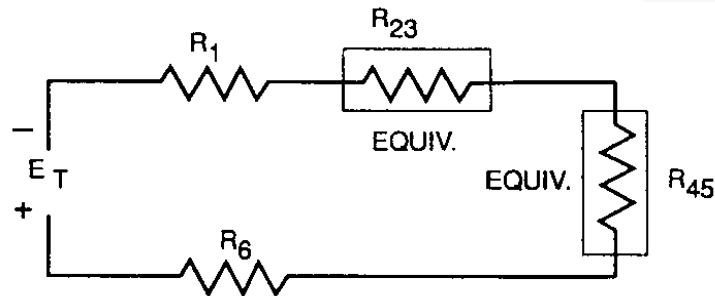


Figura 26

Circuito serie re-diseñado, equivalente a la figura 82

Una vez sustituidos los dos pares de resistencias paralelas por sus resistencias equivalentes, el circuito combinado original en la figura 25 se asemeja al circuito simple en serie de la figura 26.

Las leyes de los circuitos en series pueden aplicarse a este circuito para calcular la resistencia total del circuito, la corriente total de línea y las caídas de voltaje a través de los componentes en serie.

A menudo cuando se calculan problemas de circuitos combinados, usted tratará de redefinir las porciones de circuitos en paralelo de un circuito para que así usted llegue a un circuito equivalente en serie más simple.

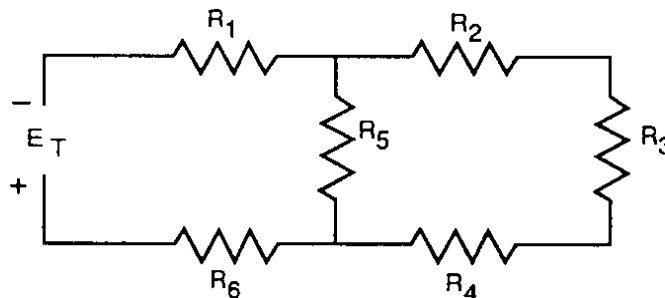


Figura 27

Otro circuito combinado

Para transformar el circuito combinado en la figura 27 en otro equivalente simplificado en serie, utilice un enfoque sistemático:

Primero calcule las resistencias equivalentes:

Considere que las resistencias R_2 , R_3 y R_4 forman un pequeño circuito en serie, que está en paralelo con la resistencia R_5 .

Calcule las resistencias R_2 , R_3 y R_4 como una sola resistencia equivalente, R_{234} .

R_{234} aparece en la figura 28a, conectada en paralelo con la resistencia R_5 .

Simplifique la combinación en paralelo de R_{234} con R_5 a una simple resistencia equivalente R_{2345} .
 Conecte R_{2345} en serie con el resto del circuito como se muestra en la figura 28b.

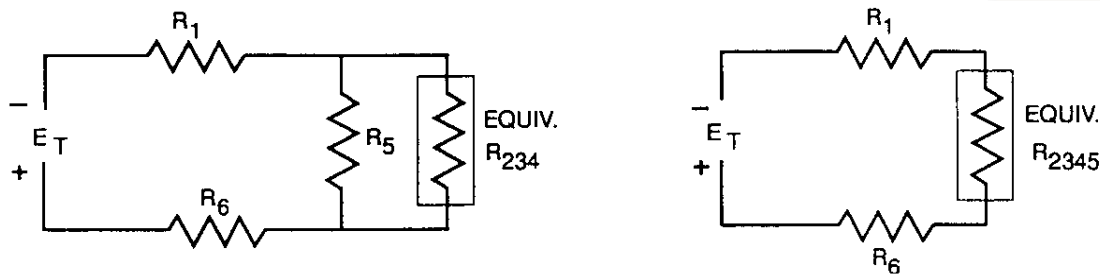


Figura 28

Re-diseñados circuitos equivalentes a la figura 27

a. Serie en paralelo

b. Paralelo en serie

Como usted podrá ver, ahora usted tiene un circuito simple en serie formado por las resistencias R_1 , R_6 y el lazo equivalente reducido.

Determine la resistencia neta R_T del circuito combinado, utilizando la ley del circuito en serie ($R_T = R_1 + R_{2345} + R_6$)

Ahora calcule la corriente total y los voltajes individuales.

Una vez que ha determinado la resistencia del circuito, resuelva la corriente total del circuito (I_T) aplicando la Ley de Ohm ($I = E / R$).

Usted puede utilizar esta corriente para determinar las caídas individuales de voltaje en el circuito equivalente reducido. Ver Figura 29.

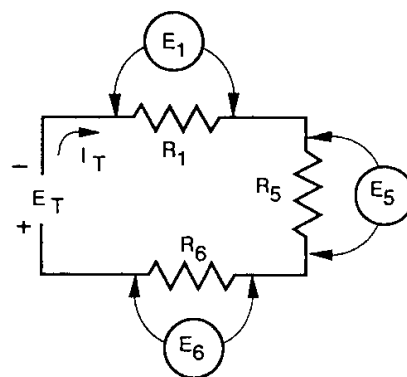


Figura 29

Voltajes en el circuito equivalente

Calcule las caídas individuales de voltaje según:

$$E_1 = I_{T1} \cdot R_1$$

$$E_5 = I_T \cdot R_{2345}$$

$$E_6 = I_T \cdot R_6$$

Naturalmente, la suma de $E_1 + E_5 + E_6$ deberá ser igual a E_T según la ley de los circuitos en serie.

Ahora, calcule las corrientes ramales:

Utilice la caída de voltaje (E_5) que pasa a través de las porciones de resistencias equivalentes del circuito, para determinar las corrientes ramales ilustradas en la figura 30.

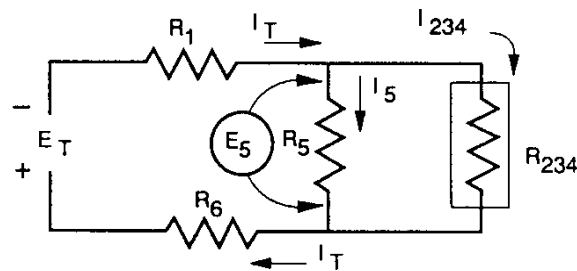


Figura 30

Corrientes ramales

Para esta porción en paralelo del circuito combinado, las caídas de voltaje a través de los ramales son iguales ($E_5 = E_{234}$).

Recuerde la Ley de Kirchhoff, $I_T = I_5 + I_{234}$, para la porción en paralelo.

Una vez que ha determinado las corrientes ramales, calcule las caídas individuales de voltaje a través de las resistencias originalmente en serie.

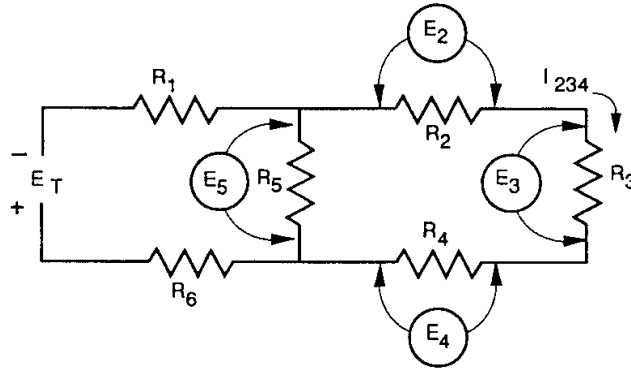


Figura 31

Caídas de voltaje

En la figura 31 muestra el circuito con sus ramales en originales en serie de la figura 29. Aplique la Ley de Ohm para calcular las caídas individuales de voltaje:

$$E_2 = I_{234} + R_2$$

$$E_3 = I_{234} + R_3$$

$$E_4 = I_{234} + R_4$$

También, $E_5 = E_2 + E_3 + E_4$ para esta porción del circuito

Determine la polaridad de los componentes

Use los pasos de la corriente en este circuito combinado para marcar la polaridad de las resistencias individuales. Estudie el diagrama de la figura 32.

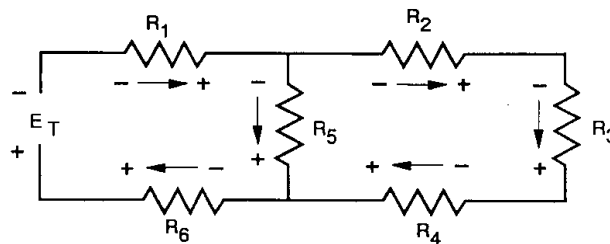


Figura 32

Marcas de polaridad

Determine la potencia

El cálculo de la potencia en un circuito combinado no difiere en nada del cálculo de la potencia en circuitos puros en serie o circuitos puros en Paralelo. La potencia total se puede calcular utilizando los valores totales de la línea. Los valores individuales de potencia se calculan utilizando los valores individuales de resistencia y aplicando las distintas ecuaciones de potencia.

Solución de Problemas sobre Circuitos Combinados

Para resolver los problemas de circuitos combinados, usted deberá primero dominar los circuitos en serie y en paralelo. Esto es importante porque usted tendrá que aplicar las leyes de los circuitos en serie y de los circuitos en paralelo a los circuitos combinados.

Además, usted tiene que aplicar un enfoque sistemático a la solución del problema. Generalmente esto se traduce en el rediseño del circuito en circuitos equivalentes, ya que esto hace más fácil el cálculo de los valores totales de resistencia, corriente y voltaje. Estos valores calculados se pueden aplicar al circuito original.

Circuitos con Resistencia Equivalente

Todos los circuitos resistivos que contienen dos o más resistencias pueden ser llevados a una resistencia (R_T) que representa la resistencia total. Usted ya ha realizado esto con los circuitos en serie: usted ha determinado R_T , cuando sumó las resistencias individuales. En los circuitos en Paralelo usted lo realizó a través de varios métodos distintos, principalmente el método recíproco, para hallar R_T .

Cuando usted está trabajando con circuitos combinados, el procedimiento usual es hallar valores de resistencias equivalentes para los componentes en paralelo y rediseñar el circuito para que refleje las cargas resistivas en serie. Después, a través de una operación de suma sencilla de los valores resistivos equivalentes se determina el valor de la resistencia neta (R_T).

Ejemplo 1. Determine la resistencia total del circuito en la figura 33.

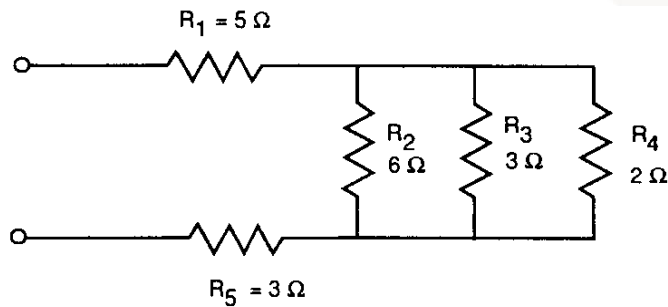


Figura 33

Circuito para Ejemplo 1

Usted puede darse cuenta que R_2 , R_3 y R_4 están en paralelo. Encuentre la resistencia equivalente para las tres resistencias y llámela R_6 . Use el método de resistencias recíprocas

$$R_6 = [R_2^{-1} + R_3^{-1} + R_4^{-1}]^{-1}$$

$$R_6 = [6^{-1} + 3^{-1} + 2^{-1}]^{-1}$$

$$R_6 = 1 \, \Omega$$

Es decir, las resistencias R_2 , R_3 , y R_4 pueden ser sustituidas por una simple resistencia de $1 \, \Omega$. La manera formal de representar por escrito esta transformación es:

$$R_2 // R_3 // R_4 = 1 \, \Omega$$

Donde el símbolo $//$ significa "en paralelo con".

Ahora vuelva a dibujar el circuito igual a la figura 34. Señale la resistencia equivalente en serie con el resto de las dos resistencias del circuito.

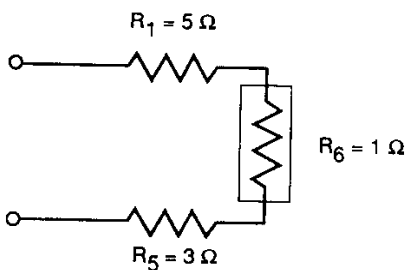


Figura 34

Circuito para Ejemplo 1

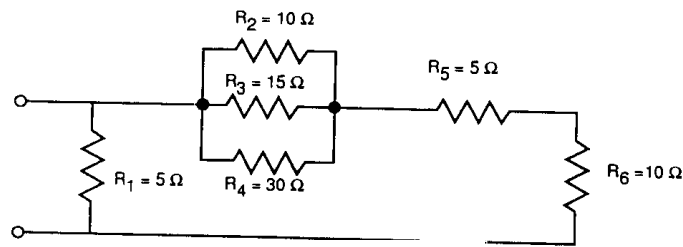
Ahora el circuito se puede considerar como un circuito simple en serie, lo que permite determinar la resistencia total del circuito, R_T sumando R_1 , R_5 , y R_6 .

$$R_T = R_1 + R_5 + R_6$$

$$R_T = 5 \, \Omega + 3 \, \Omega + 1 \, \Omega$$

$$R_T = 9 \, \Omega$$

Ejemplo 2: Simplifique el circuito de la figura 34 a su resistencia equivalente, R_t .



Las resistencias R_2 , R_3 , y R_4 están en paralelo. Primero encuentre la resistencia equivalente, R_7 que puede sustituir a las anteriores.

$$R_7 = [R_2^{-1} + R_3^{-1} + R_4^{-1}]^{-1}$$

$$R_7 = [10^{-1} + 15^{-1} + 30^{-1}]^{-1}$$

$$R_7 = 5 \, \Omega$$

Vuelva a dibujar el circuito de la figura 35, sustituyendo $R_2 // R_3 // R_4$ por $R_7 = 5 \, \Omega$

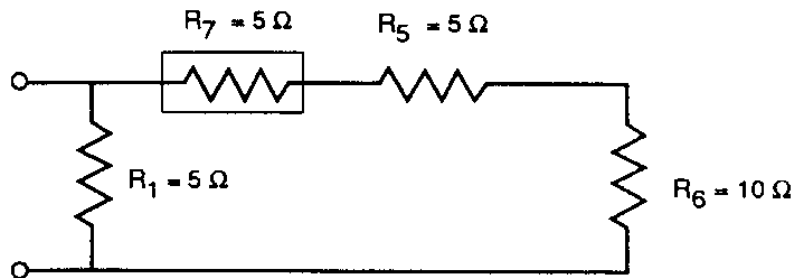


Figura 35

Primer circuito equivalente del Ejemplo 2

R_7 , R_5 y R_6 reciben el mismo flujo electrónico, lo que significa que ellas están en serie. Las mismas pueden ser sustituidas por una sola resistencia R_8 , que se calcula al sumarlas:

$$R_8 = R_7 + R_5 + R_6$$

$$R_8 = 5 \, \Omega + 5 \, \Omega + 10 \, \Omega$$

$$R_8 = 20 \, \Omega$$

Dibuje de nuevo el circuito como aparece en la figura 36, sustituyendo R_7 , R_5 y R_6 por R_8

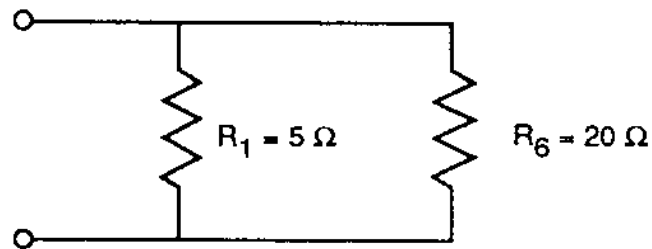


Figura 36

Segundo circuito equivalente del ejemplo 2

En la figura 36 es un circuito simple en paralelo. Ahora encuentre la resistencia equivalente para R_1 y R_8 , la cual será R_T . Para practicarlo, utilice el método del producto-suma.

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_8}{R_1 + R_8}$$

$$R_T = \frac{5 \Omega \cdot 20 \Omega}{5 \Omega + 20 \Omega}$$

$$R_T = 4 \Omega$$

Ejemplo 3: Simplifique el circuito de la figura 37 a su valor de resistencia equivalente, R_T .

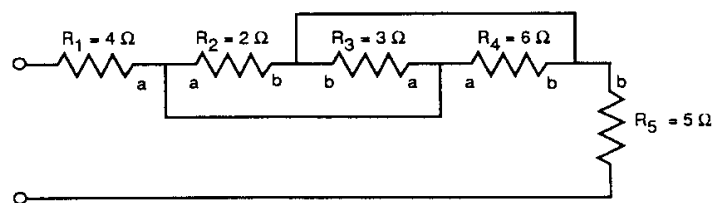


Figura 37

Circuito para Ejemplo 3

Para hallar los puntos comunes entre las resistencias, analice el circuito en la figura 37 basándose en los empalmes. Llame a y b a los empalmes comunes según se muestra en la figura 38.

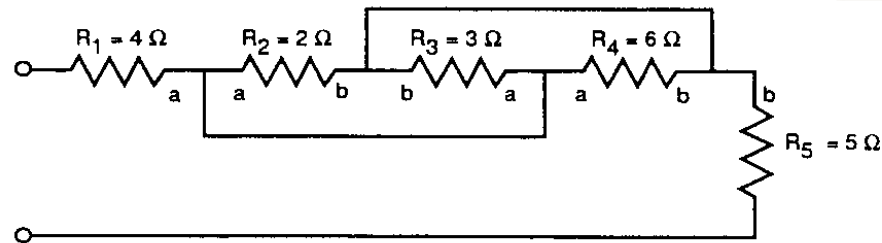


Figura 38

Circuito de Ejemplo 3, mostrando nodos comunes identificados

Las resistencias R_2 , R_3 y R_4 todas tienen la misma identificación, a y b, por lo que deben estar en paralelo. Utilice la ecuación recíproca para hallar la resistencia R_6 que sustituirá las resistencias anteriores.

$$R_6 = [R_2^{-1} + R_3^{-1} + R_4^{-1}]^{-1}$$

$$R_6 = [2^{-1} + 3^{-1} + 6^{-1}]^{-1}$$

$$R_6 = 1 \Omega$$

Ahora dibuje nuevamente el circuito según la figura 39, reemplazando $R_2 \parallel R_3 \parallel R_4$ por R_6

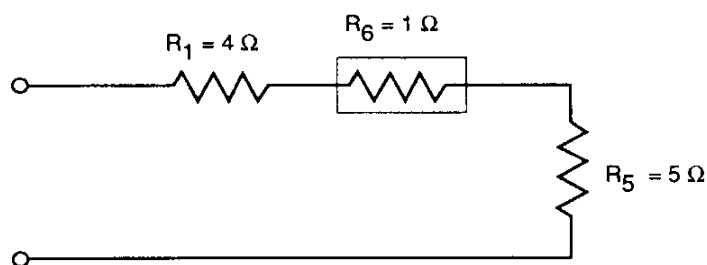


Figura 39

Circuito equivalente para Ejemplo 3

La figura 39 es un circuito simple en serie, por lo tanto, calcule R_T a través de la suma de R_1 , R_5 y R_6 .

$$R_T = R_1 + R_5 + R_6$$

$$R_T = 4 \Omega + 1 \Omega + 5 \Omega$$

$$R_T = 10 \, \Omega$$

Ejemplo 4: Encuentre R_T Para el circuito de la figura 40.

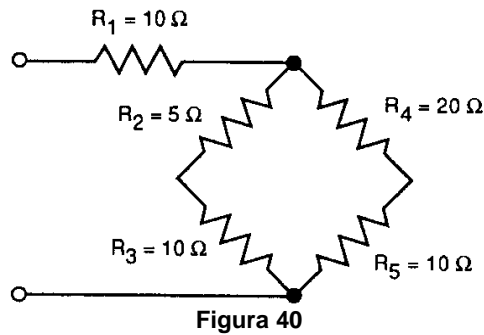


Figura 40

Circuito para Ejemplo 4

Algunas veces, volver a dibujar el circuito en una forma diferente es un paso útil en la resolución de problemas de circuitos combinados. La figura 41 es eléctricamente idéntica a la figura 40.

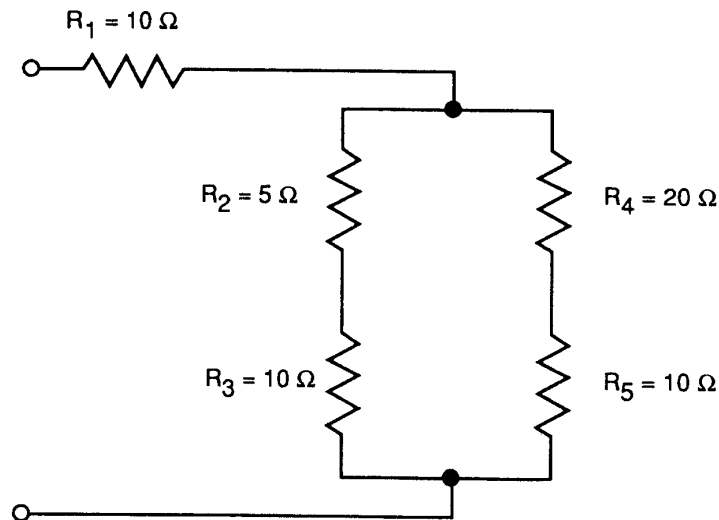


Figura 41

Nuevo esquema del Ejemplo 4

Los pasos restantes para resolver este problema se ilustran en forma de diagramas solamente en la figura 42, partes a, b, c y d. Trate de seguir los pasos, realizando sus propios cálculos. Verifíquelos con el resumen que aparece más abajo:

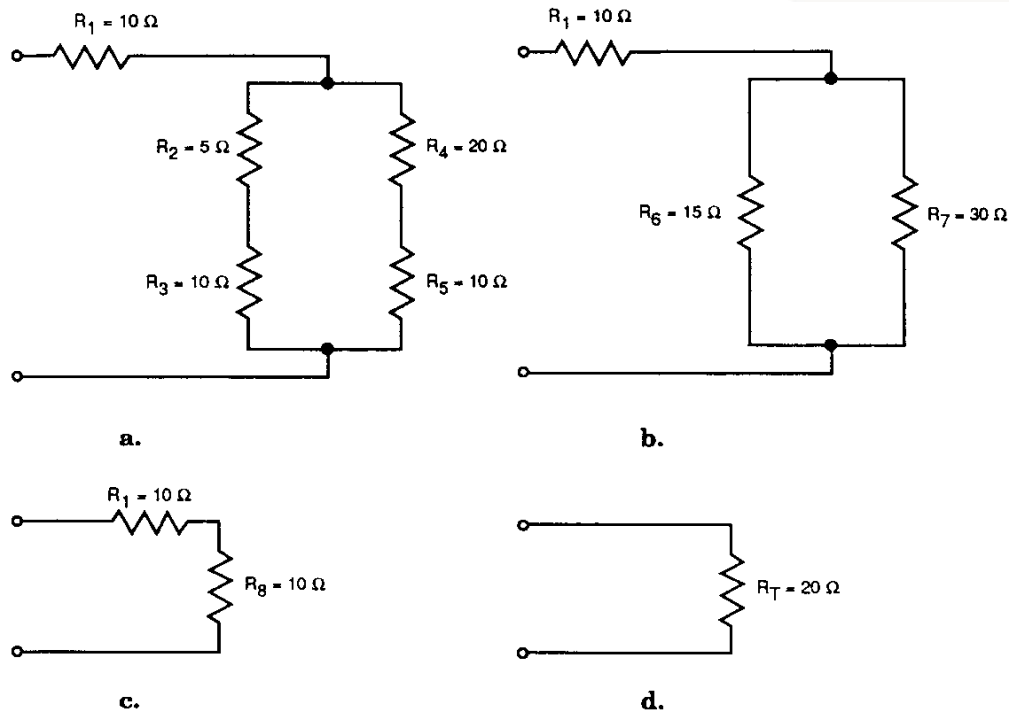


Figura 42

Solución en diagramas para Ejemplo 4

En resumen;

R_2 y R_3 están en serie y su suma da como resultado R_6 .

También, R_4 y R_5 están en serie y su suma da como resultado R_7 .

La combinación de estos pasos da como resultado el Dibujo 99b.

Las dos nuevas resistencias $R_6//R_7 = R_8$.

Este paso da como resultado el Dibujo 99c.

R_1 y R_8 están en serie y su suma da como resultado $R_T = 20\ \Omega$ (Dibujo 42d).

Cuando resuelva cálculos de corriente, voltaje y potencia en un circuito combinado recuerde las leyes básicas de los circuitos en serie y los circuitos en paralelo.

Recuerde que:

Circuitos en serie:	El voltaje varía sobre una resistencia (carga en serie resistiva); la corriente se mantiene igual a través de la carga resistiva.
Circuitos paralelo:	La corriente varía en los empalmes; el voltaje se mantiene igual a través de las resistencias en paralelo.
Ley de voltaje Kirchhoff:	La suma de las caídas de voltaje en un circuito es igual al voltaje de la fuente.
Ley de corriente de Kirchhoff:	La corriente que entra a un ramal de un circuito es igual a la corriente que sale del ramal del circuito.

Los siguientes ejemplos de problemas de circuitos combinados comprobarán sus conocimientos sobre los circuitos en serie y los circuitos en paralelo.

Ejemplo 5: En el circuito de la figura 43, Encuentre cada uno de los ocho valores siguientes:

R_T , I_T , P_T ;
 E_1 , E_2 , E_3 ;
 I_2 y I_3

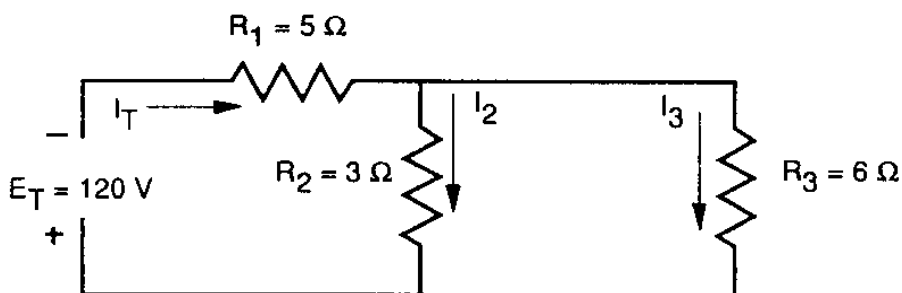


Figura 43

Circuito para Ejemplo 5

Utilice una tabla igual a la Tabla 10 para llevar una relación de la información. Usted encontrará útil hacer un círculo alrededor de los valores que deberán ser calculados.

Valores para comenzar el Ejemplo 5

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Resistencia 1				
Resistencia 2				
Resistencia 3				
R Total				

Tabla 10

Primero, Encuentre R_T

$R_2 // R_3 = R_{23}$, por lo tanto, utilice el método de producto-suma para calcular R_{23} .

$$R_{23} = 2\Omega$$

R_1 está en serie con R_{23} .

$$R_T = 5 + 2 = 7\Omega.$$

Después, Encuentre I_T :

Aplicando la Ley de Ohm:

$$I_T = \frac{120 \text{ V}}{7 \Omega} = 17,14 \text{ A}$$

Ahora determine los voltajes a través de las resistencias.

Aplique la Ley de Ohm para hallar los valores de la caída de voltaje de E_1 a través de R_1 :

$$E_1 = 17,14 \text{ A} \cdot 5 \Omega = 85,7 \text{ V}$$

Debido a la caída de voltaje a través de R_1 , E_2 y E_3 debe ser menor que E_T .

Aplique la Ley de Voltaje de Kirchhoff para calcular E_2 :

$$E_2 = 120 \text{ V} - 85,7 \text{ V} = 34,3 \text{ V}$$

R_2 y R_3 están en paralelo, por lo tanto

$$E_3 = E_2 = 34,3 \text{ V}$$

Ahora actualice su tabla como se muestra en la Tabla 11. Los valores calculados aparecen en paréntesis; los valores asignados no tienen paréntesis; los círculos marcan los valores que se deben calcular aún.

Valores del circuito obtenidos en los cálculos del Ejemplo 5

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Resistencia 1	(85,7)		5	
Resistencia 2	(34,3)		3	
Resistencia 3	(34,3)		6	
R Total	120V	(17,14)	(7)	

Tabla 11

Sólo le resta llenar tres espacios en blanco en la tabla.

Encuentre las corrientes ramales:

Aplique la Ley de Ohm para hallar I_2 :

$$I_2 = \frac{34,3 \text{ A}}{3 \Omega} = 11,43 \text{ A}$$

Usted puede aplicar la Ley de Ohm o la Ley de Corriente de Kirchhoff para hallar I_3 .

$$I_3 = \frac{34,3 \text{ A}}{6 \Omega} = 5,716 \text{ A}$$

También se puede obtener un resultado similar aplicando la Ley de Corriente de Kirchhoff:

$$I_3 = 17,4 \text{ A} - 11,43 \text{ A} = 5,71 \text{ A}$$

Observe que la diferencia entre las dos respuestas se debe al redondeo de cifras durante el cálculo de I_1 e I_T lo que es insignificante.

$$P_T = I_T \cdot 5,716$$

Use

Utilizando $P_T = I_T \times E_T$:

Usted puede proceder a completar la tabla como se ilustra en la Tabla ☐:

Tabla completa con los valores del Ejemplo 5

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Resistencia 1	(85,7)	(17,14)	5	1469,14
Resistencia 2	(34,3)	(11,43)	3	392,05
Resistencia 3	(34,3)	(5,716)	6	196,06
R Total	120V	(17,14)	(7)	(2056.8)

Tabla 12

Ejemplo 6: Para el circuito de la figura 44, calcule cada uno de los siguientes valores:

R_T , I_T ; E_1 ; E_2 , E_3 , E_4 ; E_5 ; I_1 , I_2 , I_3 , I_4

Registre los valores en una tabla igual que la Tabla 13.

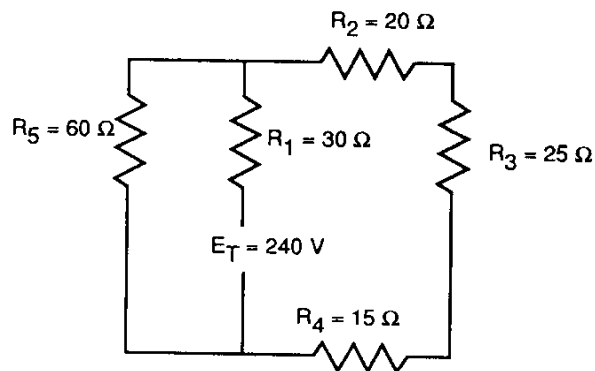


Figura 44

Circuito para Ejemplo 6

Valores del circuito para comenzar Ejemplo 6

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Resistencia 1				
Resistencia 2				
Resistencia 3				
R Total				

Tabla 13

Si el circuito le parece confuso, vuelva a dibujarlo pasando R_5 al lado derecho, para que se parezca la figura 45, siguiente.

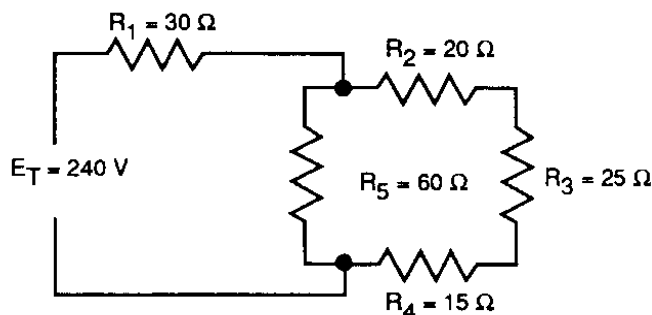


Figura 45

Nuevo diagrama del circuito para Ejemplo 6

Primero, Encuentre R_T :

R_2 , R_3 y R_4 están en serie una con la otra, las que se pueden sustituirse por la resistencia R_6 , por adición se obtiene:

$$R_6 = 20 \, \Omega + 25 \, \Omega + 15 \, \Omega = 60 \, \Omega$$

Con el valor de R_6 , obtenga el valor de paralelo con la resistencia R_5 ; esta debe dar $R_7 = 30 \, \Omega$, Ahora usted debe darse cuenta que esta nueva resistencia ha quedado en serie con R_1 , por lo que debe dar un nuevo valor de $R_T = 60 \, \Omega$.

Conociendo E_T y R_T , aplique la Ley de Ohm para calcular I_T :

$$I_T = \frac{240 \, V}{60 \, \Omega} = 4 \, A$$

Calcule las corrientes los voltajes ramales a través de las resistencias R_1 y R_5 .

Sustituyendo I_T y R_1 en la fórmula de la Ley de Ohm, determine E_1 .

$$E_T = 4 \, A \cdot 30 \, \Omega = 120 \, V$$

Sustituyendo E_1 y E_T en la fórmula de la Ley de Kirchhoff, determine E_5 .

$$E_5 = E_T - E_1$$

$$E_5 = 240 \, V - 120 \, V$$

Conociendo E_5 y R_5 , aplique la Ley de Ohm para calcular I_5 :

$$I_T = \frac{120 \text{ V}}{60 \Omega} = 2 \text{ A}$$

Calcule las corrientes y voltajes ramales a través de las resistencias R_2 , R_3 y R_4 .

En esta etapa, en vez de referirse a las resistencias individuales R_2 , R_3 y R_4 , es más fácil considerar E_6 , el voltaje a través de sus resistencias equivalentes, R_6 y la corriente a través de ésta, I_6 .

Calcule I_6 , utilizando I_5 e I_T por la Ley de Kirchhoff:

$$I_6 = 4 \text{ A} - 2 \text{ A}$$

Ahora considere I_6 y E_6 con atención. Puede ser más conveniente revisar la figura 46 de la página siguiente. Es el sub-circuito que contiene las resistencias R_2 , R_3 y R_4 .

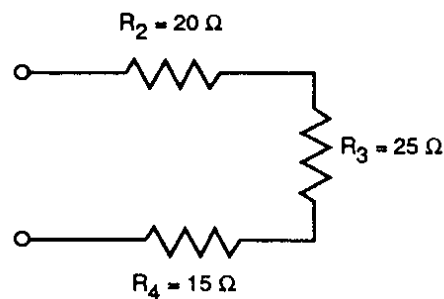


Figura 46

Circuito parcial para Ejemplo 6

El sub-circuito es un circuito en serie con una fuente de voltaje de 120 V, una corriente de 2 A y resistencias de 20 Ω , 25 Ω y 15 Ω .

En este sub-circuito $I_2 = I_3 = I_4 = 2 \text{ A}$

Use esos valores de corriente y resistencia con la Ley de Ohm para calcular E_2 , E_3 y E_4 :

$$E_2 = 2 \text{ A} \cdot 20 \Omega = 40 \text{ V}$$

$$E_3 = 2 \text{ A} \cdot 25 \Omega = 50 \text{ V}$$

$$E_4 = 2 \text{ A} \cdot 15 \Omega = 30 \text{ V}$$

Los valores calculados se muestran en la Tabla 14:

Valores calculados y asignados para el circuito del Ejemplo 6

	E [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]
Resistencia 1	(120)	(4)	30	
Resistencia 2	(40)	(2)	20	
Resistencia 3	(50)	(2)	25	
Resistencia 4	(30)	(2)	15	
Resistencia 5	(120)	(2)	60	
TOTAL	240	4	60	

Tabla 14

¡A manera de reforzar cálculos determine, en la tabla anterior, los valores de potencia de cada resistencia!

Ejemplo 7: Para el circuito siguiente, considere una alimentación de 300 V. Usted podrá observar que los cuatro circuitos resistivos de los Dibujos 47a, 47b, 47c y 47d son equivalentes entre sí. Ellos ilustran los pasos necesarios para determinar la resistencia efectiva total en el circuito, R_T . Utilizando toda la información entregada por la figura 104, calcule lo siguiente:

E_1, E_2, E_3, E_4, E_5

I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 y I_T

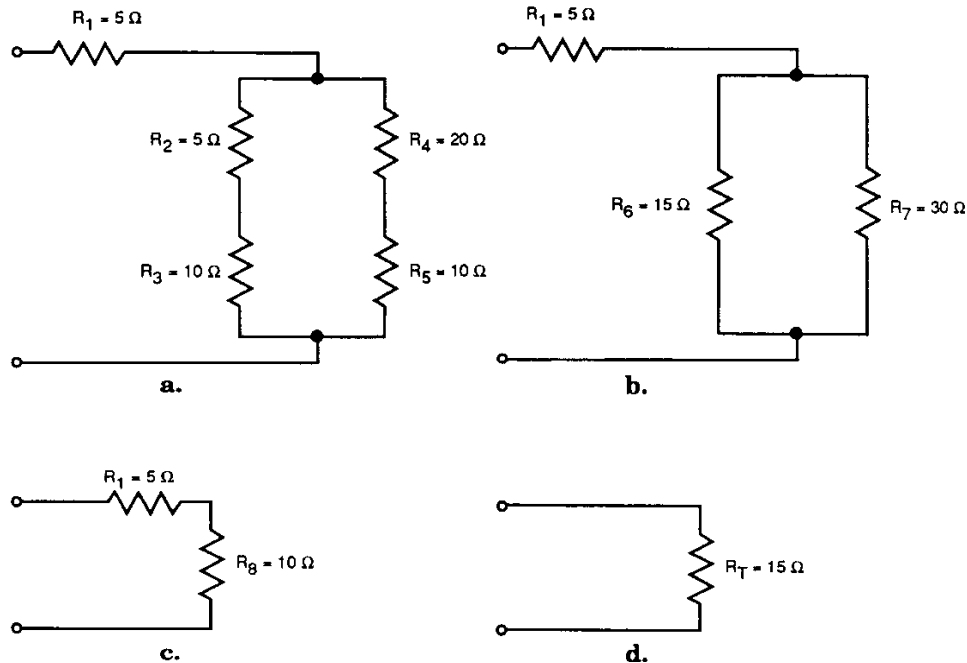


Figura 47

Circuitos de resistencia equivalente para Ejemplo 7

Calcule y utilice la corriente total:

Como E_T y R_T son conocidas, se aplica la Ley de Ohm para determinar I_T :

$$I_T = \frac{300 \text{ V}}{15 \Omega} = 20 \text{ A}$$

Como R_1 está conectada en serie al circuito principal, la corriente total es:

$$I_1 = I_T = 20 \text{ A}$$

Utilice I_T y R_1 con la Ley de Ohm para determinar la caída de voltaje a través de R_1 :

$$E_1 = 20 \text{ A} \cdot 5 \Omega = 100 \text{ V}$$

Calcule los voltajes a través de las resistencias:

Para calcular los valores de los voltajes a través de R_2 , R_3 , R_4 y R_5 , usted deberá conocer los valores de las corrientes ramales que pasan por cada una de las resistencias. Para obtener estos valores, primero determine el voltaje a través de los dos ramales principales.

Por la Ley de Kirchhoff, el voltaje total a través de los ramales que contienen las R_6 y R_7 deberá ser igual al del voltaje de la fuente menos la caída de voltaje en R_1 .

$$E_6 = E_7 = E_T - E_1$$

$$E_6 = 300 \text{ V} - 100 \text{ V} = 200 \text{ V}$$

Además, el Dibujo 3.47c indica que la corriente total pasa a través de la resistencia equivalente R_6 , por lo que se puede aplicar la Ley de Ohm para calcular el voltaje E_8 a través de R_8 :

$$E_8 = 20 \text{ A} \cdot 10 \Omega = 200 \text{ V}$$

Y debido a que $R_6 // R_7$,

$$E_8 = E_6 = E_7 = 200 \text{ V}$$

Ahora puede calcular las corrientes en los ramales I_6 e I_7 . Una vez que obtenga esos valores, usted puede determinar las caídas de voltaje E_2 , E_3 , E_4 y E_5 .

Ahora, calcule I_6 e I_7 , por medio de la Ley de Ohm.

$$I_6 = \frac{200 \text{ V}}{15 \Omega} = 13,33 \text{ A}$$

De igual forma

$$I_7 = \frac{200 \text{ V}}{30 \Omega} = 6,67 \text{ A}$$

Como R_2 y R_3 están en serie, entonces:

$$I_2 = I_3 = I_6 = 13,33 \text{ A}$$

Y, también R_4 y R_5 están en serie, por lo tanto

$$I_4 = I_5 = I_7 = 6,67 \text{ A}$$

Ahora puede utilizar estos valores de corriente para calcular los valores restantes que se requieren de voltaje a través de la Ley de Ohm:

$$E_2 = 13,33 \text{ A} \cdot 5\Omega = 66,67 \text{ V}$$

$$E_3 = 13,33 \text{ A} \cdot 10\Omega = 133,3 \text{ V}$$

$$E_4 = 6,67 \text{ A} \cdot 20\Omega = 133,3 \text{ V}$$

$$E_5 = 6,67 \text{ A} \cdot 10\Omega = 66,7 \text{ V}$$

Con esto se finaliza todos los cálculos requeridos.

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante refuerce la comprensión de las de las leyes eléctricas

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Comprobar leyes eléctricas

Objetivos del aprendizaje

- Comprobar y demostrar las leyes eléctricas

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual. Solicitará a los participantes que desarrollen unos circuitos propuesto mediante laboratorio práctico con las unidades LabVolt.

Solicitará a los participantes que realicen diferentes actividades propuesta y explicar los fenómenos visualizados.

Material y Recursos

- Módulos LabVolt
- Multímetros digitales.
- Equipos de protección personal

Desarrollo de la actividad

Propósito

La mayoría de las cargas están conectadas en serie con algún tipo de dispositivo de control. El dispositivo de control y la carga entonces se conectan en paralelo con otra carga y otro dispositivo de control (que también están conectados en serie). Este tipo de circuito no es un circuito en serie ni es un circuito en paralelo, si no que se trata de lo que se conoce como un circuito combinado. Cuando se analiza estos circuitos combinados, algunas partes del circuito requieren de la aplicación de reglas para series, mientras que otras partes requieren de reglas para paralelos. Como electricista, usted se encontrará constantemente con este tipo de circuito.

Procedimiento

1. Asegúrese de que el interruptor principal en el banco de poder esté en posición OFF y que el selector de la fuente de energía estén en CERO.
2. Estudie el diagrama en el Dibujo 1, y cuidadosamente **DIBUJE UN DIAGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLE DEL CIRCUITO** (al reverso de la página de conclusiones. **ROTULE** todos los dispositivos que haya en su diagrama.
3. Conecte las ampollas, las resistencias de caldeo de cono y el amperímetro de 0 - 10 A AC con los terminales de suministro del banco de poder de acuerdo con el

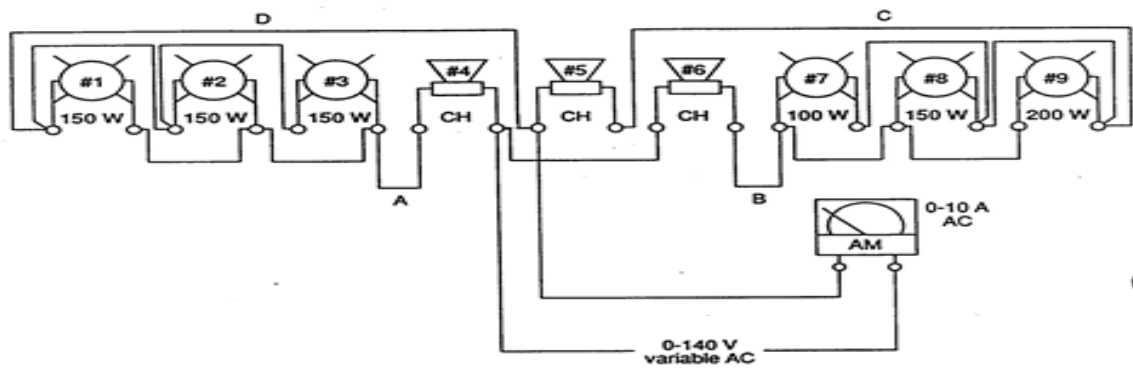


diagrama del Dibujo 1.

Dibujo 1

4. Active el paso de energía (Posición ON) y LENTAMENTE ajuste el suministro a 120 V.

5. Registre la lectura del amperímetro de Corriente Alterna.

Lectura del amperímetro = _____ A

6. Utilizando el multímetro, mida y registre las siguientes caídas de voltaje:

Carga #1 = _____ V Carga #2 = _____ V

Carga #3 = _____ V Carga #4 = _____ V

Carga #5 = _____ V Carga #6 = _____ V

Carga #7 = _____ V Carga #8 = _____ V

Carga #9 = _____ V Carga #10 = _____ V

7. Utilizando el Amperímetro AC de tenaza, tome las siguientes mediciones de corriente:

NOTA: Si no está seguro de cómo usar el amperímetro de abrazadera, ¡vea a su instructor! Comience con la escala más alta. Si la lectura es demasiado baja, continúe con la escala inmediatamente inferior, o bien dele más vueltas a la abrazadera. ¡Siempre abra la abrazadera antes de cambiar las escalas!

Cable de conexión "A" = _____ A

Cable de conexión "B" = _____ A

Cable de conexión "C" = _____ A

Cable de conexión "D" = _____ A

8. Ajuste el voltaje a CERO y corte el paso de energía (Posición OFF).

9. Limpie su área de trabajo y devuelva todos los equipos al lugar correspondiente.

Observaciones y Conclusiones

1. ¿Qué cargas están en paralelo entre sí?

2. ¿Qué lecturas del amperímetro de abrazadera ("A", "B", "C" y "D") deben sumarse para obtener la corriente total del circuito?

3. ¿Qué valores de voltaje y de corriente utilizaría usted para calcular la resistencia total del circuito?

4. A partir de sus mediciones de voltaje y de corriente, ¿cuánta energía está disipando la carga #4?

5. A partir de sus mediciones de voltaje y de corriente, ¿cuánta energía está disipando la carga #5?

6. ¿Qué otras cargas dejarían de disipar energía si se produjera un abierto en la carga #5?

7. ¿Qué otras cargas dejarían de disipar energía si se produjera un abierto en la carga #2?

8. Si ocurriera un corto en la carga #8, ¿qué efecto tendría sobre la energía disipada por la carga #6?

9. Si ocurriera un corto en la carga #7, ¿qué efecto tendría sobre la energía disipada por la carga #4?

10. Si se retirara el conector "B", ¿qué cargas dejarían de disipar energía?

Cierre de actividad:

Los participantes deberán corregir colectivamente con el instructor y compañeros para así aclarar dudas.

2. Electrónica

2.1 Características fundamentales de los materiales semiconductores

La conductividad de una sustancia es muy dependiente de sus electrones de *valencia*. Los átomos que tienen tres o menos electrones de valencia son los mejores conductores eléctricos. Los electrones ubicados en las orbitas más externas son menos atraídos por el núcleo y por lo tanto se transforman en electrones “libres” para el flujo de corriente. Por ejemplo, el aluminio tiene tres electrones de valencia y el cobre tiene un electrón de valencia.

Los materiales aislantes tienen cinco o más electrones de valencia. El aislante ideal contiene ocho electrones en sus niveles de valencia. Mientras mayor sea el número de electrones de valencia, estos tienden a mantenerse más firmemente en su órbita, y no son cedidos fácilmente al flujo de corriente.

Semiconductores

Los elementos semiconductores tienen exactamente cuatro electrones de valencia, y por lo tanto no se consideran ni buenos conductores ni buenos aislantes.

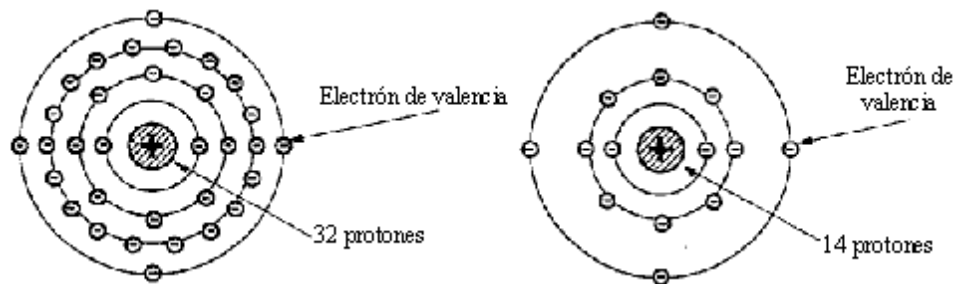


Figura 48

Elementos semiconductores

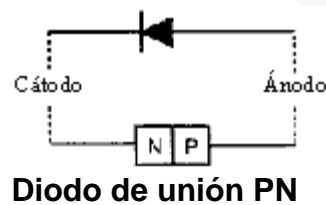
(a) Átomo de Germanio

(b) Átomo de Silicio

El germanio y el silicio son dos de los elementos semiconductores de mayor uso; sus estructuras atómicas están ilustradas en la figura 48. El silicio es más popular gracias a su capacidad para soportar grandes temperaturas.

2.2 Características del diodo de unión PN

Cuando se empalma un material tipo P con un material tipo N, se forma un *diodo semiconductor*. Un diodo permite el paso de la corriente en un solo sentido. El material tipo P forma el ánodo del diodo y el material tipo N forma el cátodo del diodo.



Cuando los materiales tipo P y tipo N se empalman por primera vez:

Algunos de los electrones libres en el material tipo N se combinan con los huecos en el material tipo P.

El material tipo P gana algunos electrones (carga negativa), y el material tipo N pierde algunos electrones (carga positiva).

Por lo tanto, se forma una pequeña *barrera potencial* en la unión.

Esta pequeña diferencia de potencial interna es de 0,7 voltios para los diodos de silicio y de aproximadamente 0,3 voltios para los diodos de germanio.

Polaridad inversa (Reverse Bias)

Si se aplica un voltaje externo al diodo de forma tal que el cátodo se haga más positivo que el ánodo, la barrera potencial en la unión PN se fortalece de la siguiente manera:

Los electrones libres en el material tipo N son atraídos hacia el lado positivo del potencial aplicado.

Los huecos en el material tipo P son atraídos hacia el lado negativo del potencial aplicado.

Como resultado, se agotan los transportadores de carga disponibles (huecos y electrones) en la región de la unión.

Por lo tanto, idealmente, el diodo bloquea cualquier flujo de corriente.

Esta conexión del voltaje de la fuente con el diodo se llama *polaridad inversa*. Estudie el diagrama de la figura 49, en la página opuesta.

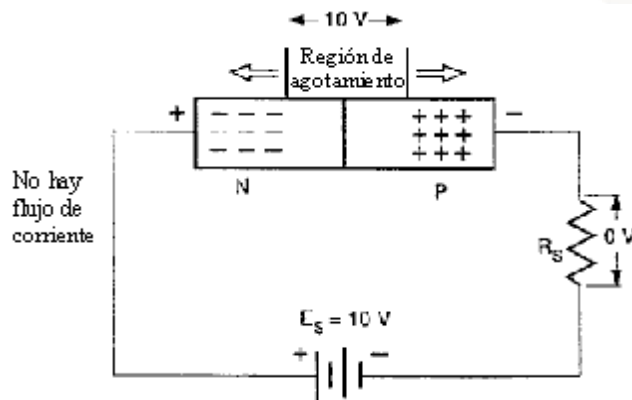


Figura 49

Polarización directa (Forward Bias)

Si se aplica un voltaje externo de tal forma que el cátodo es más negativo que el ánodo, la barrera potencial en la unión PN se debilita de la siguiente manera:

Los electrones libres en el material de tipo N son repelidos por el lado negativo del potencial aplicado, es decir estos se mueven hacia el lado del ánodo de la unión.

Los huecos en el material tipo P son repelidos por el lado positivo del potencial aplicado, es decir, se mueven hacia el lado del cátodo de la unión.

Si el voltaje aplicado es mayor que la barrera potencial (0,7 para el silicio), entonces los electrones en el material tipo N se combinan con los huecos del material tipo P, y la corriente fluye a través de la unión.

Esta polaridad del voltaje aplicado es lo que produce la conducción a través del diodo, y se conoce como *polarización directa*. Estudie el diagrama en la figura 50.

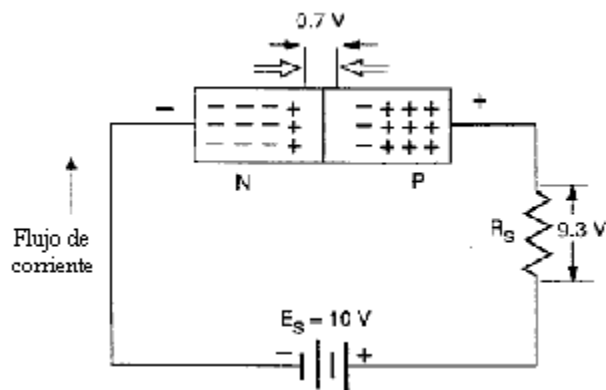


Figura 50

Diodo de polarización directa

En una aplicación simple, el diodo de unión PN actúa como un interruptor sensible a la polaridad:

Si el material de tipo P (ánodo) se hace positivo, y si el material tipo N (cátodo) se hace negativo, el diodo entonces conduce. Es decir, actúa como un interruptor cerrado.

Si el material del tipo N se hace positivo, y el material del tipo P se hace negativo, entonces el diodo bloquea cualquier corriente. Es decir, actúa como un interruptor abierto.

Características de voltaje y corriente

Recuerde que cuando la polaridad es directa, un diodo conductor de silicio presenta una pequeña caída de voltaje de aproximadamente 0,7 voltios debido a su baja resistencia directa. A medida que aumenta la corriente, la resistencia del diodo tiende a disminuir debido al coeficiente negativo de temperatura de los semiconductores. Esta disminución de la resistencia directa junto con el aumento de la corriente hace que la pequeña caída de voltaje (IR) permanezca prácticamente igual. Esta característica directa (o conducción) se ilustra en la parte superior derecha del gráfico de voltaje-corriente de la figura 51, El voltaje aplicado deberá vencer este efecto antes de que la corriente comience a aumentar significativamente.

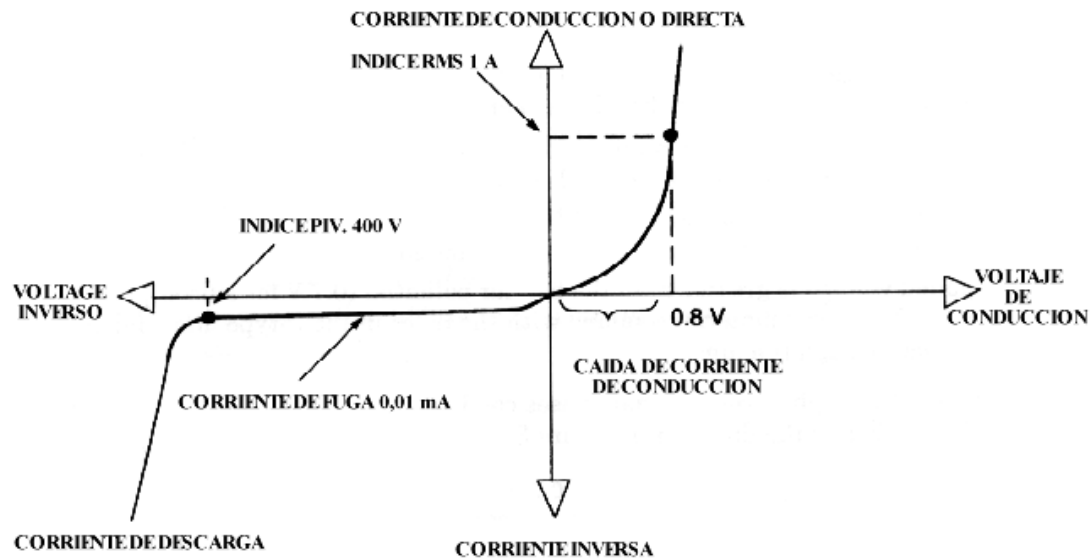


Figura 51

Características voltaje-corriente de un diodo de silicio 1N4004.

Idealmente, no hay flujo de corriente a través de un diodo con polaridad inversa. Sin embargo, según aumenta el valor del voltaje inverso, podría haber una pequeña cantidad de corriente de fuga.

Al aumentar aún más el valor del voltaje inverso, se alcanza un punto crítico en el cual el diodo no puede seguir bloqueando el flujo de corriente. Más allá de ese voltaje inverso pico, o peak inverse voltage (PIV), el diodo falla y la corriente se avalancha, es decir, aumenta severamente. Si se permite que el diodo conduzca en este estado, el calor producido destruirá al diodo.

Los diodos tienen varios parámetros, que se basan en sus aplicaciones. Como trabajador eléctrico, usted verá que fundamentalmente los diodos son usados como rectificadores de potencia que convierten la CA en CC.

Axial Lead Standard Recovery Rectifiers

This data sheet provides information on subminiature size, axial lead mounted rectifiers for general-purpose low-power applications.

Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 0.4 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds, 1/16" from case
- Shipped in plastic bags, 1000 per bag.
- Available Tape and Reeled, 5000 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band
- Marking: 1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

**1N4001
thru
1N4007**

1N4004 and 1N4007 are
Motorola Preferred Devices

**LEAD MOUNTED
RECTIFIERS
50-1000 VOLTS
DIFFUSED JUNCTION**



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
*Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
*Non-Repetitive Peak Reverse Voltage (halfwave, single phase, 60 Hz)	V_{RSM}	60	120	240	480	720	1000	1200	Volts
*RMS Reverse Voltage	$V_R(RMS)$	35	70	140	280	420	560	700	Volts
*Average Rectified Forward Current (single phase, resistive load, 60 Hz, see Figure 8, $T_A = 75^\circ C$)	I_O	1.0							Amp
*Non-Repetitive Peak Surge Current (surge applied at rated load conditions, see Figure 2)	I_{FSM}	30 (for 1 cycle)							Amp
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J T_{stg}	- 65 to +175							$^\circ C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS*

Rating	Symbol	Typ	Max	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop ($I_F = 1.0$ Amp, $T_J = 25^\circ C$) Figure 1	V_F	0.93	1.1	Volts
Maximum Full-Cycle Average Forward Voltage Drop ($I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ C$, 1 inch leads)	$V_F(AV)$	—	0.8	Volts
Maximum Reverse Current (rated dc voltage) ($T_J = 25^\circ C$) ($T_J = 100^\circ C$)	I_R	0.05 1.0	10 50	μA
Maximum Full-Cycle Average Reverse Current ($I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ C$, 1 inch leads)	$I_R(AV)$	—	30	μA

*Indicates JEDEC Registered Data

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Figura 52

Los tres valores nominales más importantes de los diodos rectificadores son:

Corriente nominal de conducción (Forward Current Rating):

Esta es la máxima corriente permanente (valor rms en circuitos ca) que el diodo puede conducir con seguridad sin que se recaliente. Las capacidades típicas varían desde un amperio hasta 1 000 amperios.

Caída de voltaje de conducción (forward voltage drop):

Esta es la caída normal ir medida a través del diodo mientras conduce. Aunque la Temperatura afecta a este valor, típicamente oscila entre 0,7 voltios en los diodos de silicio y 0,3 voltios para los diodos de germanio.

Voltaje inverso pico (Peak Inverse Voltage, o PIV)

Este rango PIV es el valor máximo de voltaje inverso (valor pico instantáneo en CA) que el diodo es capaz de bloquear con seguridad. Este valor puede llegar hasta 3 000 voltios en los diodos de silicio (mucho más bajo para los diodos de germanio).

La figura 52, de la página anterior contiene una página de información tomadas de un manual de especificaciones. Ofrece una lista de las capacidades para un diodo semiconductor.

Polaridad del diodo

Para que un diodo conduzca, debe tener una polaridad directa (forward bias). Esto significa que el potencial deberá aplicarse al diodo de tal forma que el ánodo se haga más positivo que el cátodo. Además, cuando el diodo es conductor tiene muy baja resistencia. Por lo tanto, deberá existir alguna resistencia limitadora de la corriente, conectada en serie con el diodo.

La figura 53 muestra el símbolo del diodo. Observe que el símbolo apunta en dirección del flujo de *corriente convencional*. (Esto es, los *huecos positivos* salen de la batería y fluyen del positivo al negativo). No se deje confundir por esto. Recuerde que los *electrones* que salen de una batería fluyen de negativo a positivo a través de los dispositivos conectados en serie.

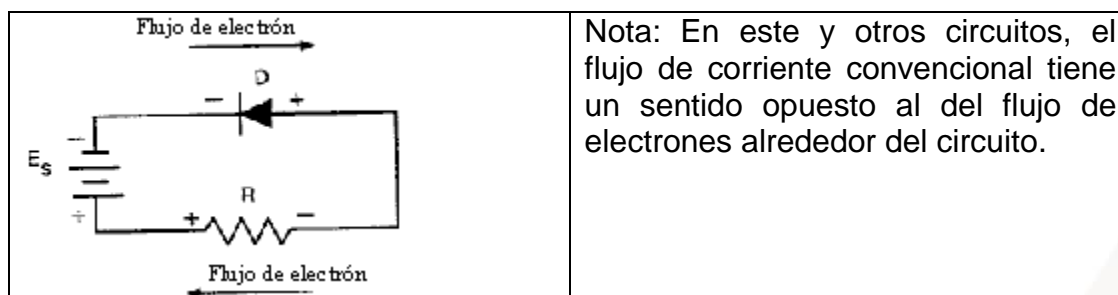


Figura 53

Diodo de polaridad directa

Si se invierte la batería o el diodo, entonces, idealmente, no hay flujo de corriente en este circuito. Recuerde que para que la corriente fluya a través de un diodo,

Usted deberá conectar el ánodo al lado positivo del potencial del circuito, y el cátodo al lado negativo.

Bajo las condiciones inversas que se muestran en la figura 54, el diodo actúa como un interruptor abierto, y todo el voltaje de la fuente aparece a través del diodo. Recuerde que el rango PIV del diodo deberá ser lo suficientemente alta como para bloquear el valor máximo o pico del voltaje de la fuente.

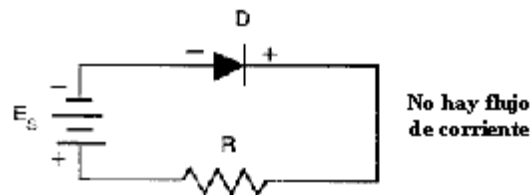


Figura 54

Diodo de polaridad inversa

Para aplicar la polaridad correcta y lograr que un diodo conduzca, primero, usted deberá determinar físicamente cuál lado es el ánodo y cuál lado es el cátodo. Los diodos semiconductores se encuentran disponibles en varios estilos:

En los diodos tubulares más pequeños, el cátodo se identifica algunas veces identificando un extremo como un lápiz afilado, o por una línea circular alrededor del cilindro.

En el caso del diodo tipo perno / tuerca, el lado del perno del diodo es generalmente el cátodo.

En el caso de diodos más grandes, a menudo, el diodo en si exhibe el símbolo.

La figura 55 ilustra lo anterior.

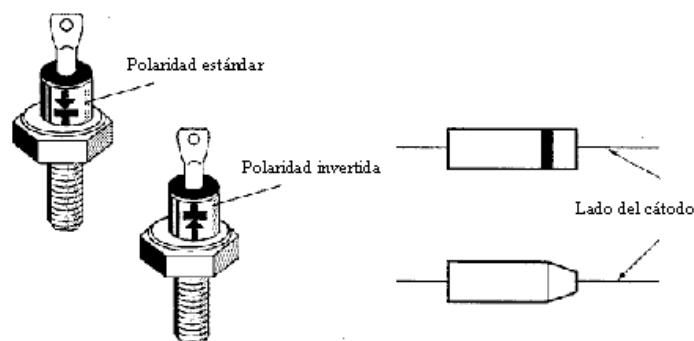


Figura 55

Identificación de los lados del diodo

Si tiene dudas, consulte el manual de especificaciones para identificar las puntas de conexión, o emplee un ohmímetro para comprobar la polaridad.

Chequeo de los diodos con un tester digital

Para ello debemos colocar el cable negro del tester con el cable rojo que sale desde el rectificador y el otro conector rojo del tester debe ir probando los cable amarillo, esta medición debe mostrar un rango entre los 0.400 - 0.600 Voltios en las 3 mediciones que se realicen, ósea cada lectura (3) debe oscilar entre este rango, si no marca ninguna lectura o el valor está fuera de este rango, podríamos señalar que tu rectificador esta con falla.

Esta es la prueba para revisar los 3 diodos superiores, si esta prueba está OK, se procede a revisar los 3 diodos restantes o diodos inferiores. Para esto conectamos el cable rojo del tester al cable negro del rectificador y el otro cable negro del tester a uno de los 3 cables amarillos, debemos probar cada uno de los cables, esta lectura debe encontrarse entre el rango anteriormente dicho. Si el tester muestra lectura como la figura siguiente (ver imagen), lamentablemente se encuentra malo algún Diodo.

Si en ambas mediciones de los diodos superiores e inferiores, podríamos señalar que tu rectificador se encuentra bien, pero si el problema de carga se mantiene, se debe revisar el Alternador, pero eso queda para otra publicación.

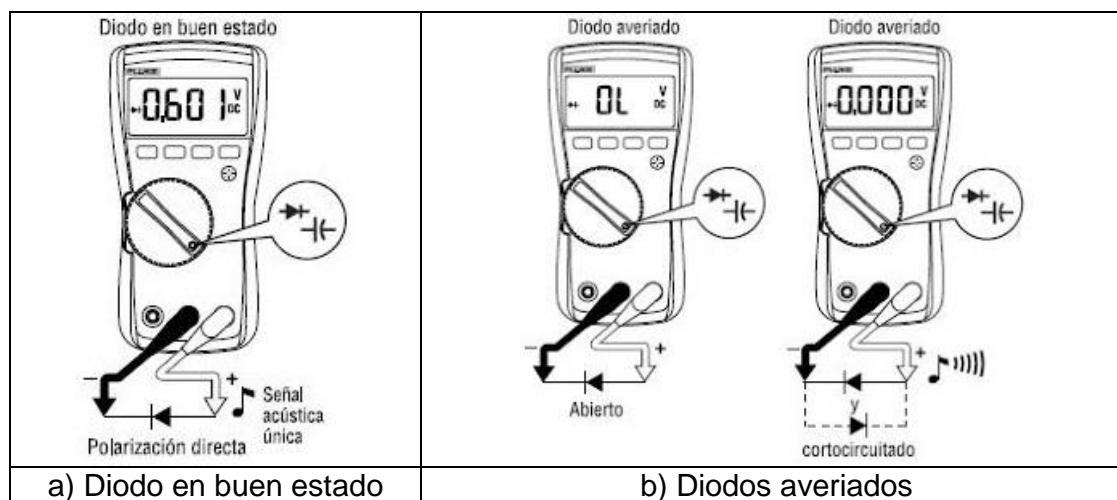


Figura 56

Prueba de diodos

2.3 Circuitos rectificadores de media onda

El circuito rectificador de media onda se forma simplemente al conectar un diodo en serie con una carga CA. La rectificación de media onda se produce porque:

Para la alternancia positiva CA, el diodo es de polarización directa, y conduce la corriente hacia la carga.

Para la alternancia negativa, (180° – 360°), el diodo bloquea el flujo de corriente.

La forma de onda de la CC de salida se muestra en la figura 57.

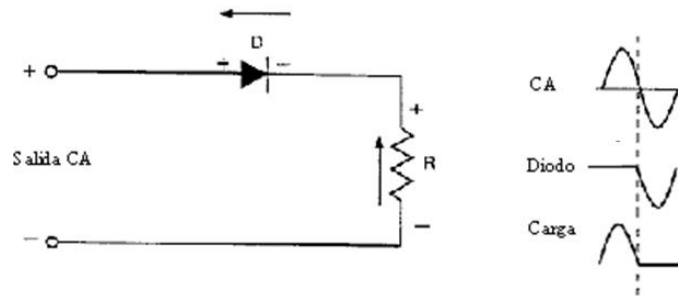


Figura 57

Circuito rectificador de media onda con sus formas de onda

Si se conectase un osciloscopio para que simultáneamente muestre las formas de ondas de entrada y las formas de ondas a través del diodo y de la resistencia de carga, las ondas que se observarán aparecen en la figura 57. Considere que:

Para el medio ciclo cuando el diodo conduce, no hay prácticamente caída de voltaje a través del diodo, el voltaje aparece a través de la resistencia.

Para la otra alternancia, cuando el diodo bloquea la corriente, no hay voltaje a través de la carga, pero si ocurre una caída de voltaje a través del diodo.

La porción de la línea plana de las formas de ondas representa cero voltajes.

Para la mitad del ciclo cuando el diodo tiene una polarización directa, los electrones fluyen desde el negativo al positivo a través de los componentes del circuito. Esto se ilustra en la figura 57 por medio de las flechas de dirección de la corriente. También se identifica la polaridad de la resistencia de la carga durante esta mitad del ciclo.

Cuando se invierten las conexiones línea-carga hacia el diodo, la polaridad del voltaje a través de la carga también se invierte. Considere el diagrama en la figura 58 y compárelo con la figura 57.

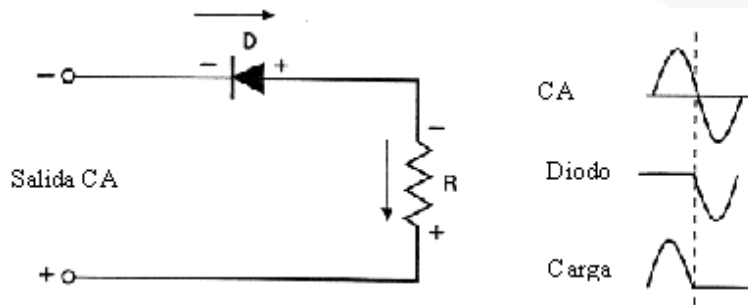


Figura 58

Conexión inversa del diodo

Valores pico y rango nominal PIV

El valor pico de la alimentación de CA aparece a través de la carga para medio ciclo, y a través del diodo durante la otra mitad del ciclo. Consecuentemente, el valor nominal del PIV para el diodo deberá ser mayor que el valor pico de alimentación de CA.

Ejemplo 1 Si la entrada de CA en el circuito rectificador precedente es de 120 V, entonces el diodo deberá tener un PIV nominal mayor que el valor pico del voltaje RMS.

$$\text{Rango nominal PIV} = \sqrt{2} \cdot 120 \text{ V}$$

Circuitos rectificadores de onda completa

En circuitos CA monofásicos, la rectificación de onda completa puede lograrse con el empleo de dos diferentes configuraciones de circuitos: los tipos bifásicos y de puente rectificador.

Rectificación en puente de Graetz

La rectificación de onda completa puede lograrse conectando cuatro diodos en una configuración en puente, según muestra la figura 59.

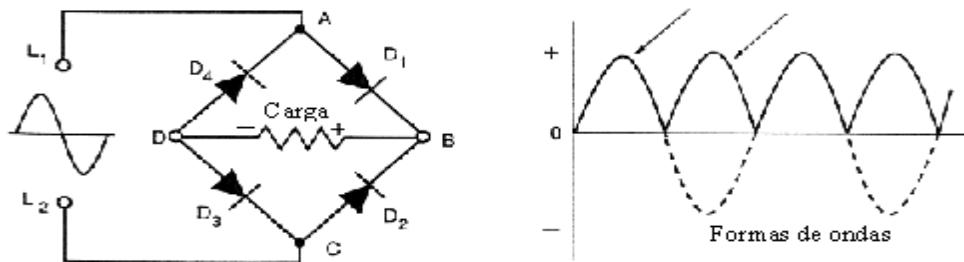


Figura 59

Rectificador en puente de Graetz.

El rectificador en puente está construido para que en cada medio ciclo de alimentación de CA existan dos diodos de polarización directa conectados en serie con la carga. Los otros dos diodos están conectados para que tengan una polarización inversa durante ese mismo instante.

En la figura 60, muestra cómo cada par de diodos conduce la corriente de carga para cada medio ciclo de alimentación de CA al rectificador en puente. Para recordar cómo conectar los diodos a un circuito rectificador en puente, le ayudaría a visualizar los dos trayectos de corriente a través de los pares de diodos según se ilustra.

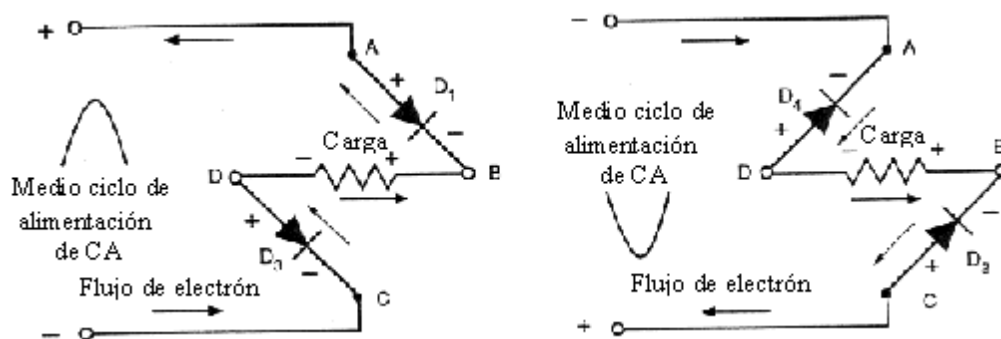


Figura 60

Pares de diodos conductores

La Figura 61 ilustra otra manera de ilustrar un circuito rectificador en puente. Aunque este circuito parece ser diferente, las conexiones son realmente iguales a las que se muestran en el Dibujo 60. Compare los pasos de la corriente ilustrados por lo que aparecen en los diagramas precedentes.

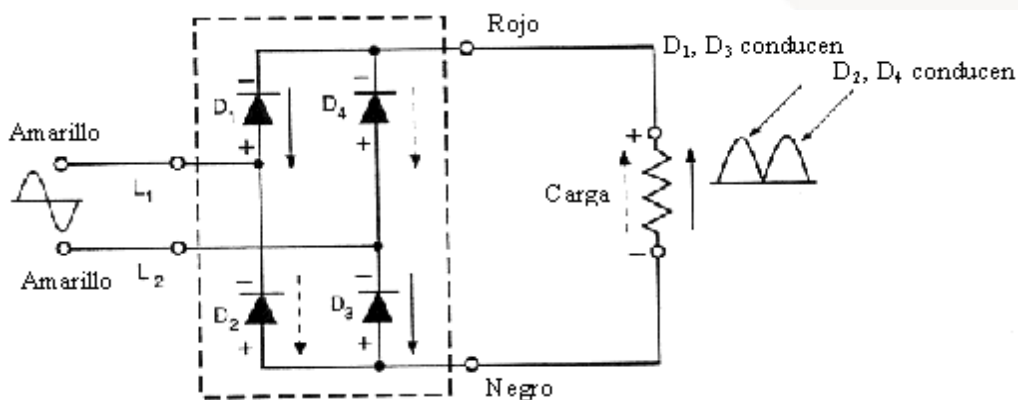


Figura 61

Esquema alternativo de un rectificador en puente.

Observe nuevamente que el lado del cátodo (-) de los diodos rectificadores es el terminal positivo con respecto a la carga, y que el lado del ánodo (+) de los diodos es el terminal negativo con respecto a la carga. Esto es aplicable a todos los circuitos rectificadores.

Los fabricantes de semiconductores producen los rectificadores en puente en paquetes compactos hechos de resinas fenólicas con cuatro terminales para su conexión al circuito. Para facilitar su identificación, estos terminales a menudo llevan una codificación de colores. Los dos terminales identificados por el amarillo son los terminales de alimentación de CA. El terminal rojo es el terminal de carga positiva y el terminal negro es el terminal de carga negativa. Estudie los Dibujos 62 y 64 detenidamente.

¡PRECAUCIÓN!

Cuando en la construcción de un rectificador en puente usted emplee cuatro diodos individuales, es importante que las conexiones se hagan correctamente. Si se invierte la conexión de algún diodo, se producirá un corto circuito.



Antes de conectar la carga o la alimentación de CA, compruebe si el circuito está en corto circuito utilizando un ohmímetro conectado a través de los terminales de alimentación del puente (Figura 62). Independiente del sentido que se conecten las puntas de prueba, el ohmímetro deberá mostrar una lectura infinita. Esto confirma que ninguno de los diodos ha sido incorrectamente conectado.

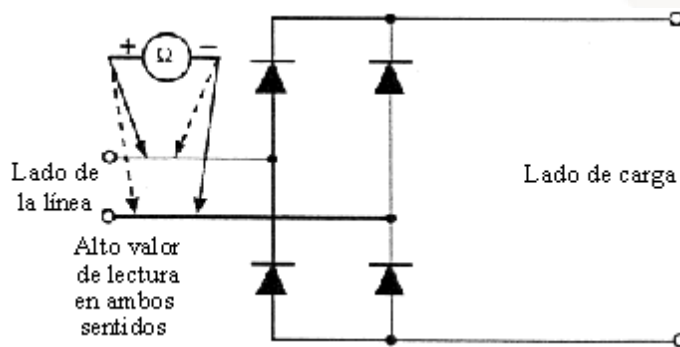


Figura 62

Comprobación con un ohmímetro del rectificador en puente.

Valores pico y rango nominal PIV (en puente Graetz)

En un circuito rectificador en puente, cada diodo debe tener un valor nominal PIV mayor que el valor pico de la alimentación de CA. Como se dijo anteriormente, si la alimentación de CA es de 120 V, entonces el voltaje pico a través de la carga es $120\text{ V} \div 0,707 = 170\text{ V}$.

Cada diodo deberá tener un PIV nominal superior a 170 voltios Si la fuente es de 220 voltios, el PIV debe ser superior a 311 voltios.

2.4 El diodo Zener

El diodo PN estándar se utiliza para conducir corriente bajo polaridad directa solamente. Si se le permite conducir en polaridad inversa, pudiera destruirse. El diodo Zener, sin embargo, está diseñado para funcionar más allá de su capacidad nominal de voltaje de ruptura (breakdown voltage) en sentido inverso.



Figura 63

Símbolo del diodo Zener

Los diodos Zener se fabrican generalmente de silicio, y su apariencia física no los diferencia de los diodos convencionales. Para identificar el diodo Zener se emplea el símbolo que muestra la figura 120, o el número de código del fabricante.

Características del diodo Zener

Cuando tienen polarización directa (+ al ánodo y - al cátodo), el diodo Zener se comporta como cualquier diodo convencional. Conduce con muy baja caída de voltaje, aproximadamente de 0,7 voltios a través del.

Cuando tiene polarización inversa (- al ánodo y + al cátodo), el diodo Zener bloquea hasta que se alcanza el voltaje de ruptura crítico. Más allá de ese valor, el diodo conduce. El Zener funciona bajo esta situación de polarización inversa si la corriente a través del diodo (o la disipación de energía) puede ser limitada a un valor seguro.

Bajo polarización inversa, el diodo Zener mantiene a través de sí mismo un *voltaje constante* en una amplia gama de corriente. Esto se conoce como voltaje Zener. Esta característica de inversión le otorga una característica exclusiva al diodo Zener, la que permite que se puedan utilizar como reguladores de voltaje.

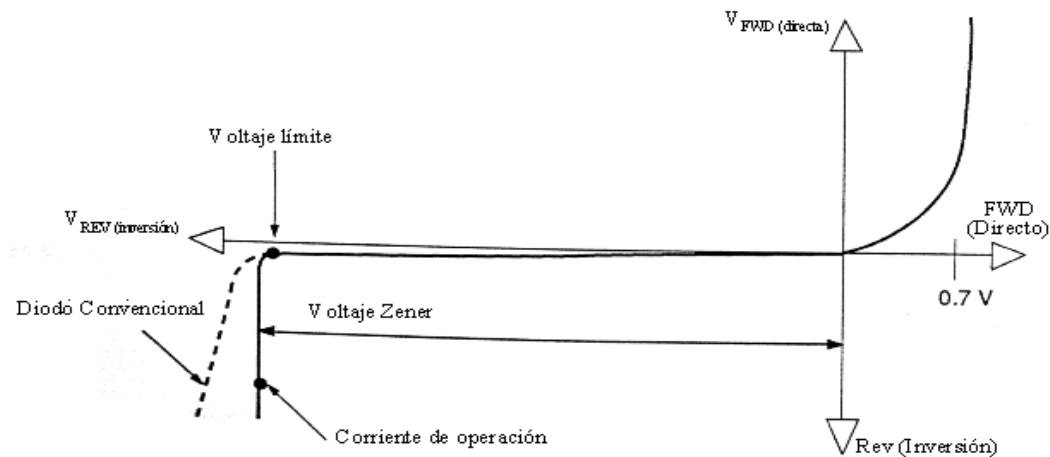


Figura 64

Curva característica de voltaje contra corriente

La curva de ruptura del diodo Zener (breakdown knee) que se muestra en la figura 64 de la página anterior, es mucho más pronunciada que la de un diodo convencional. Se logra gracias a una técnica especial de dopado de los materiales semiconductores PN. Las clasificaciones típicas de los diodos Zener son las siguientes:

Voltaje nominal: Este es el voltaje regulado bajo flujo de corriente nominal en sentido inverso.

Zener: Los valores normales van desde aproximadamente 2 V a 200 V, en incrementos de aproximadamente 10%.

Potencia nominal Los diodos Zener se clasifican según potencia nominal (watts) y no por corriente. Los valores nominales típicos van desde 250 mW a 50 W.

Los diodos Zener pueden comprobarse siempre con un ohmímetro. Si el voltaje de la batería del ohmímetro excede el voltaje Zener, existirá conducción. El ohmímetro

entonces **falsamente** indicará una baja resistencia tanto en sentido inverso como en directo.

El diodo Zener como regulador de voltaje

Para utilizar un diodo Zener como regulador de voltaje CC, usted deberá observar los siguientes puntos claves:

Asegúrese de que el voltaje de entrada CC al circuito regulador exceda el voltaje nominal del Zener.

Conecte el diodo Zener para que funcione con polaridad inversa.

Use una resistencia limitadora de corriente, conecta en serie para estabilizar el regulador. Su función es remover la diferencia entre el voltaje de entrada y el voltaje Zener.

Conecte la carga para que sea regulada en paralelo por un diodo Zener.

Carga constante, entrada variable

La figura 65 muestra un circuito con un regulador Zener de *carga constante* y una fuente de *alimentación variable*.

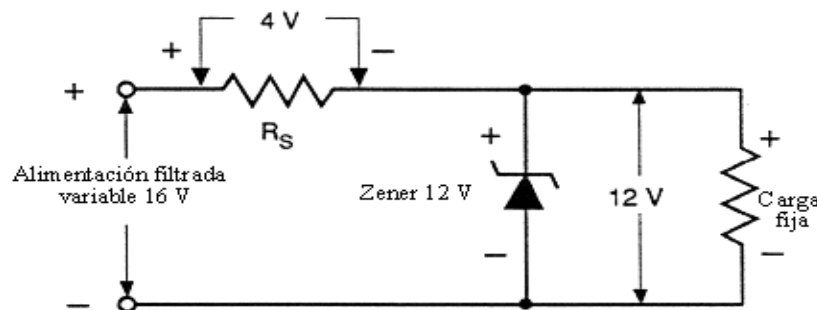


Figura 65

Circuito de regulador de derivación Zener

Si el voltaje de entrada es de 16 V, entonces un Zener de 12 V “falla” y conduce, manteniendo los 12 V a través de él. Los 4 V de diferencia entre el voltaje de entrada y el voltaje Zener “se caen” a través de la resistencia en serie (R_s). Por lo tanto, esta resistencia se conoce como *resistencia de caída* y podría necesitar un rango de potencia nominal mayor para soportar las corrientes de la carga y del Zener.

Si la alimentación al circuito se eleva, digamos a 18 V, entonces el diodo Zener conduce más corriente debido que se ha aumentado el voltaje. Ya que los semiconductores tienen un coeficiente negativo de temperatura de resistencia, un aumento de la corriente del Zener produce una disminución en la resistencia del

Zener, y la caída IR del Zener se mantiene constante. La caída de voltaje a través de la resistencia en serie (R_S) aumenta en proporción al aumento en la corriente Zener hasta un valor de 6 V. Por lo tanto, ante un aumento del voltaje de entrada, el voltaje de la carga y la corriente se han mantenido constantes.

Observe que el Zener regulará sólo si el voltaje de entrada (input voltaje) es mayor que el voltaje nominal del Zener. De otra forma, el Zener se comportará como si estuviera abierto, lo que deja la resistencia de la carga y la resistencia R_S en serie con la fuente de voltaje. En un circuito serie, la caída de voltaje a través de cada uno de ellos es proporcional a su resistencia.

Entrada constante, carga variable

La Figura 66 ilustra un circuito regulador Zener de *entrada constante* pero con *carga variable*

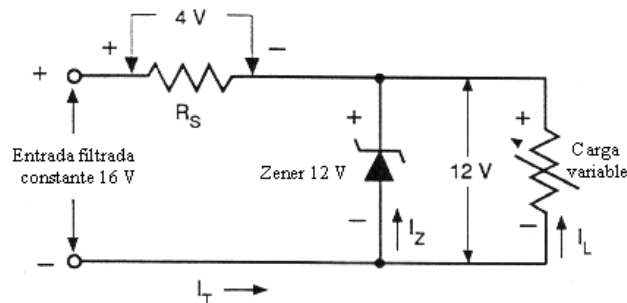


Figura 66

Circuito regulador con carga variable

Para este circuito regulador, la corriente total del circuito es igual a la suma de la corriente Zener más la corriente de la carga.

$$I_T = I_Z + I_L$$

Si la entrada se fija a 16 V, entonces la caída de voltaje a través del Zener es de 12 V y el voltaje a través R_S es de 4 V.

Suponga que la carga en el circuito regulador pueda variar desde $1\,000\,\Omega$ a $500\,\Omega$. Cuando la corriente de la carga es máxima el circuito está diseñado de tal forma que el Zener consumirá 2 mA. Es decir, cuando $R_L = 500\,\Omega$

$$I_L = \frac{V_L}{500\,\Omega} = 24\,mA$$

$$I_Z = 2\,mA$$

$$I_T = I_Z + I_L = 26 \text{ mA}$$

Si la resistencia de la carga aumenta, y el voltaje de entrada permanece constante, entonces la corriente a través de la carga disminuye. La corriente que anteriormente pasó a través de la carga ahora se desvía (shunted) a través del Zener. El aumento en la corriente del Zener da como resultado una disminución de la resistencia del Zener, y se mantiene así un voltaje Zener constante.

Cuando $R_L = 1000 \, \Omega$

$$I_L = \frac{12 \text{ V}}{1000 \, \Omega}$$

$$I_L = I_T - I_Z$$

$$I_L = 26 \text{ mA} - 12 \text{ mA} = 14 \text{ mA}$$

Si la resistencia de la carga se reduce nuevamente, el aumento en la corriente de la carga produce una disminución de la corriente del Zener para mantener así un voltaje constante en la carga. La resistencia del Zener varía inversamente a la resistencia de la carga para mantener una corriente de entrada constante al circuito regulador.

El diodo Zener en un circuito CA

Si se conecta un diodo Zener en serie con una resistencia a una fuente CA, cuyo valor pico de onda no exceda el voltaje nominal del Zener, se obtiene como resultado rectificación de media onda. Ver la figura 67.

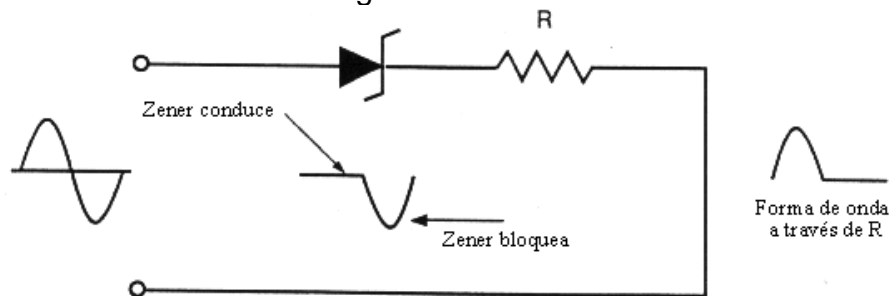


Figura 67

Diodo Zener en un circuito CA

Cuando tiene polarización directa, el Zener conduce como un diodo convencional. Cuando tiene polarización inversa, el Zener bloquea la corriente si el nivel de voltaje no excede su rango de voltaje nominal. (Break-over voltaje)

Si el valor pico CA aumenta por encima del voltaje nominal del Zener, entonces por medio ciclo, el Zener conduce este nivel de CA hacia la resistencia. Para la otra alternancia, el Zener bloquea hasta su valor nominal de voltaje. Por encima de ese nivel de voltaje, el Zener deja pasar el voltaje hacia la resistencia de carga.

Por ejemplo, considere un Zener de 12 V instalado en un circuito CA cuyo valor pico o máximo es de 20 V. La figura 125 en la página siguiente ilustra esta situación. No considere la caída de voltaje del diodo Zener:

Durante medio ciclo, aparecen 20 V_{max}. A través de la resistencia en serie.

Durante la otra alternancia, el Zener bloquea hasta 12 V, manteniendo este voltaje a través de sí mismo. Sólo permite que los 8 voltios pico restantes pasen a través de la resistencia en serie.

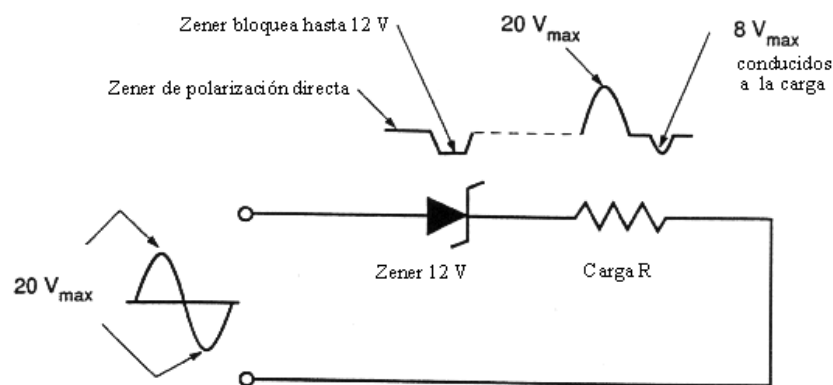


Figura 68

Formas de ondas Zener en un circuito CA

El resultado es una forma de onda asimétrica a través de la resistencia. El nivel de voltaje máximo a través del Zener se mantiene en 12 V durante la mitad del ciclo. El Zener permite sólo que el pico de la onda recortada (clipped waveform) aparezca a través de la resistencia durante esta otra mitad del ciclo. Para este medio ciclo, el Zener ha “recortado” 12 V de los 20 V pico de entrada.

Circuitos recortadores (Clípper circuits)

Los inesperados aumentos de voltaje en la línea (transientes /transient spikes) pueden ser destructivos. Las cargas pueden protegerse contra estas tensiones momentáneas utilizando dos diodos Zener conectados cátodo a cátodo a través de una línea de CA. Esta aplicación de los diodos Zener se conoce como circuito *supresor de tensión momentánea o recortador (spike supresor o clíper)*.

Refiriéndose al circuito en la figura 69:

Durante medio ciclo positivo, el diodo (D_1) tiene polarización directa, el otro diodo (D_2) bloquea.

En la alternancia negativa CA, el diodo (D_2) tiene polarización directa, pero el diodo (D_1) ahora bloquea.

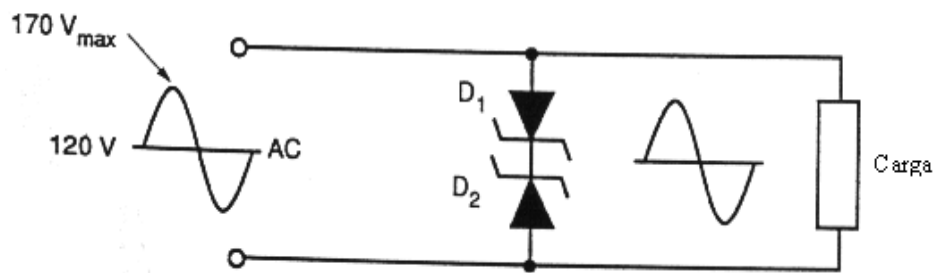


Figura 69

Diodos Zener para circuitos supresores de transientes

Si el valor pico CA no excede el voltaje nominal del Zener, entonces el circuito ramal Zener se comporta como si estuviera abierto, y la onda completa de CA aparece a través de la carga.

Si el voltaje en la línea es de 120 V CA, el valor máximo o pico es 170 V. Si cada diodo Zener tiene un voltaje nominal de 200 V, entonces la carga estará protegida contra cualquier nivel de voltaje pico superior a 200 V.

Por ejemplo, asuma que un sobre voltaje o transiente en la línea cause que el voltaje pico CA alcance 300 V, como se ilustra en la figura 70. Cada diodo Zener conduce y mantiene un máximo de 200 V a través de sí mismo en cada alternancia. Los picos de la onda sinusoidal son recortados y caen a través de la resistencia de la línea. La carga solo ve un valor pico de 200 V en cada alternancia. La carga está protegida de cualquier valor CA pico sobre 200 V.

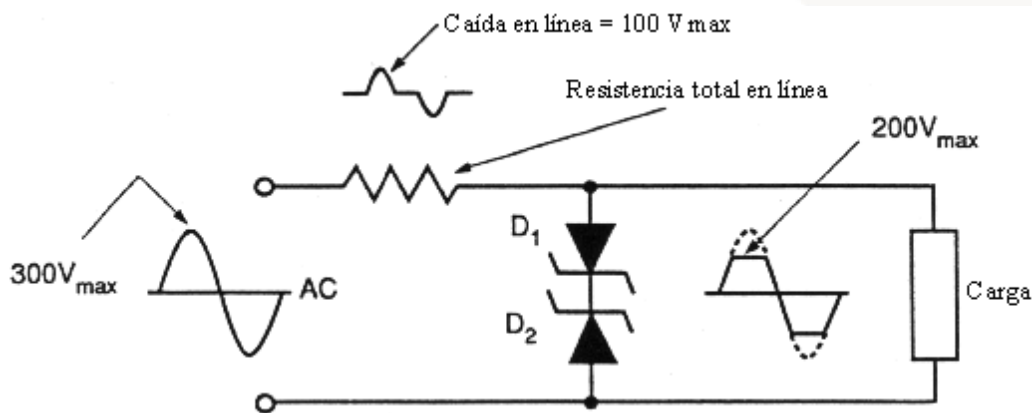


Figura 70

Formas de ondas de la acción recortadora

Este tipo de supresión de transientes de voltaje se fabrican normalmente mediante dispositivos que se denominan varistores, pero la acción del circuito es similar.

2.5 El transistor de empalme bipolar (BJT)

Características de un transistor de empalme bipolar

La invención del transistor en 1948 fue el inicio de los profundos cambios que estamos presenciando en la electrónica moderna. Un conocimiento práctico del funcionamiento de los transistores le ayudará a entender los principios fundamentales de circuitos integrados más avanzados y de microelectrónica.

Los principios básicos de los circuitos transistorizados tratan con el voltaje, la corriente y la impedancia del mismo modo que lo hacen los circuitos eléctricos CC. El transistor de empalme bipolar es un dispositivo único que controla la corriente. Puede operar como interruptor simple o como amplificador de corriente.

El transistor es uno de los primeros dispositivos de estado sólido que se desarrolló y reemplazó al tubo en vacío. El término transistor deriva de las palabras “transferencia” y “resistor”. En el curso de los últimos años se ha desarrollado una gama de transistores.

El término bipolar significa que utiliza tanto electrones y huecos como portadores de corriente. El empalme de diodo PN se compone de dos capas de material semiconductor (uno tipo P y otro tipo N). El *transistor de empalme bipolar* (abreviado BJT, por *bipolar junction transistor*) está hecho de tres capas de material semiconductor.

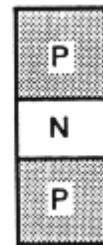
Construcción de un transistor de empalme bipolar (BJT)

En un diagrama de bloque simple, el transistor puede verse como si fuese un emparedado de semiconductores:

Si dos bloques de material semiconductor de tipo N están separados por una capa muy delgada de material semiconductor de tipo P: con esto se crea un *transistor NPN*. Si los dos bloques exteriores están hechos de semiconductores tipo P y si la capa que separa es un semiconductor de tipo N, entonces se forma un *transistor PNP*. Ver figura 71.



Transistor NPN



Transistor PNP

Figura 71

Construcción de un transistor simple

Para aplicaciones simples como las pruebas de ohmiómetro, se puede decir que los dos tipos de transistores son como diodos que están espalda contra espalda (ánodo-ánodo; cátodo-cátodo), como muestra la figura 72. Esto ayuda, cuando se mide con el instrumento, a identificar la polaridad directa e inversa.



Figura 72

Transistor NPN
PNP



Transistor

Analogía del empalme de diodos
para transistores

Los transistores pueden ser de germanio o de silicio. La mayoría de los transistores utilizan un semiconductor de silicio dopado para producir material de tipo N- o P. Este material resiste valores de corriente, temperatura y voltaje más altos que el germanio.

Símbolos de transistores e identificación de sus terminales

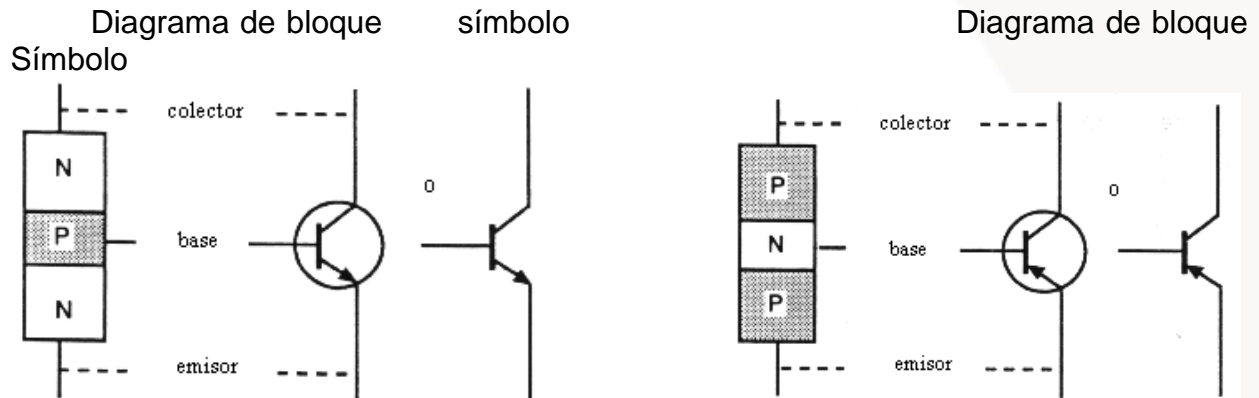


Figura 73

Transistor NPN

Transistor

PNP

El transistor tiene tres terminales conectados a cada una de las regiones semiconductoras:

El terminal que va en la capa de separación (centro) se llama *base*.

Un terminal exterior se llama *colector*.

El otro terminal exterior se llama *emisor*.

La figura 73 muestra los símbolos de los terminales de transistores NPN y PNP. Observe que cada terminal tiene un símbolo único.

Aunque el colector y el emisor estén contruidos del mismo tipo de material semiconductor, el emisor (que está dopado a un nivel levemente distinto) se identifica con una flecha.

La flecha del emisor apunta siempre desde el material tipo P hacia el material tipo N (tal como un diodo). Esto identifica al símbolo del transistor como transistor de tipo PNP o NPN.

La única diferencia básica entre utilizar estilos de transistores NPN o PNP está en la polaridad de las conexiones.

El círculo puede omitirse de estos símbolos; se utilizan ambas formas en estas guías de aprendizaje

Estilos de construcción de transistores comunes

Los transistores se agrupan en estilos y tamaños diferentes, basándose en sus rangos nominales de corriente y voltaje. Los transistores se identifican por un código numerado estándar tal como 2N3719; Ud. Puede encontrar los valores y especificaciones de estos códigos en un manual del producto. Este manual tiene una lista con los rangos nominales, y también identifica los terminales de un transistor.

[illegible]

Tipos comunes de transistores

Los transistores para señales se utilizan en aplicaciones en que los niveles de potencia se encuentran en rangos nominales inferiores a 1 W (miliwatts). Por lo tanto, el tamaño de estos puede ser relativamente pequeño y seguir teniendo una eficiente disipación del calor.

Los transistores de altas potencias pueden utilizarse en aplicaciones de hasta 100 W o más, de manera que deben ser designados para disipar mayor energía calórica. A menudo, los transistores están equipados con disipadores de calor (heat sinks) para ayudar a reducir la temperatura de trabajo.

En electrónica, una definición simple de *amplificador* es la de un dispositivo que *controla* una gran corriente por medio de una corriente pequeña. El transistor hace exactamente esto: no genera corriente, sólo la regula. La fuente real de corriente es un suministro de potencia CC tal como una batería.



A pesar de que un transistor se utiliza a menudo para amplificar señales CA tales como señales de frecuencias de audio, este es esencialmente *un dispositivo de CC*

Un transistor NPN simple es mostrado en forma de bloque de semiconductores en el circuito de la figura 75. Compare el transistor con circuito de relé precedente.

Observe que:

la *base* (b) es el terminal del circuito de control
el *colector* (c) es el terminal del circuito de carga
el *emisor* (e) es el terminal común del circuito

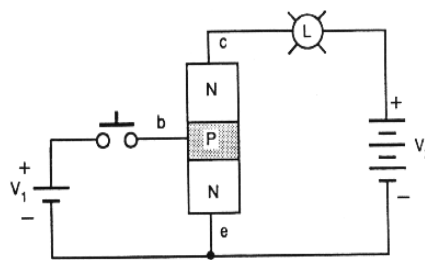


Figura 75

Circuito transistorizado simple

Circuito control abierto

de Con la botonera en el circuito de control abierta, no se permite que fluya una corriente de carga ya que la delgada capa de material tipo P (la *base*) impide la conducción de cualquier corriente de carga a través de los materiales semiconductores tipo N.

Nótese que si la capa de tipo P fuese removida, entonces la corriente de la carga fluiría a través de las regiones tipo N del semiconductor para completar el circuito de carga.

La capa de *base* tipo P del semiconductor bloquea la conducción a través del circuito de carga, ya que un material semiconductor tipo P debe hacerse eléctricamente positivo antes de que pueda conducir.

Circuito control cerrado

de Si se presiona la botonera, la unión PN base-emisor entra en polarización directa (forward bias) y la corriente de base a emisor (circuito de control) fluye. Es aquí donde funciona la magia del transistor.

Una vez que los electrones han penetrado el material tipo

P de la base, estos son atraídos hacia el potencial más positivo que aparece en el *colector*. (Nótese que la batería V_2 en el circuito de carga es mucho más grande que la batería V_1 en el circuito de control). Por cada electrón atraído hacia el terminal positivo de la batería, conectado a la *base*, fluirán cien veces más electrones hacia el punto más positivo en el *colector*.

Cuando se establece una pequeña corriente base a emisor, se establece una corriente colector a emisor mucho *mayor*. El terminal emisor (común) transporta tanto la corriente del circuito de colector (carga) como la de base (control).

Para todos los circuitos transistorizados :

El empalme base-emisor es polarizado directamente (en este caso + al material tipo P).

El colector es polarizado inversamente (en este caso + al material tipo N).

Al igual que el relé, una vez que se establece la corriente de control, puede entonces fluir la corriente de carga. En todo caso, el transistor es mucho más versátil que un simple relé.

El Amplificador Transistorizado

Considere el mismo circuito transistorizado con una resistencia variable en lugar de la botonera. El circuito de la figura 76, utiliza el símbolo apropiado para el transistor NPN. Recuerde, la flecha del emisor apunta desde el material semiconductor tipo P hacia el tipo N. Para que el transistor pueda conducir, este empalme debe tener polarización directa. Ya que los símbolos semiconductores fueron diseñados para la teoría de corriente convencional (o flujo de huecos), es más fácil trazar los trayectos de corriente desde positivo a negativo. Esta es la dirección de las flechas en el símbolo del transistor. Este proceso no afecta ninguno de los *valores* de corriente sino que simplemente la *dirección* de flujo que trazamos. Le será más fácil entender los circuitos transistorizados si utiliza este concepto.

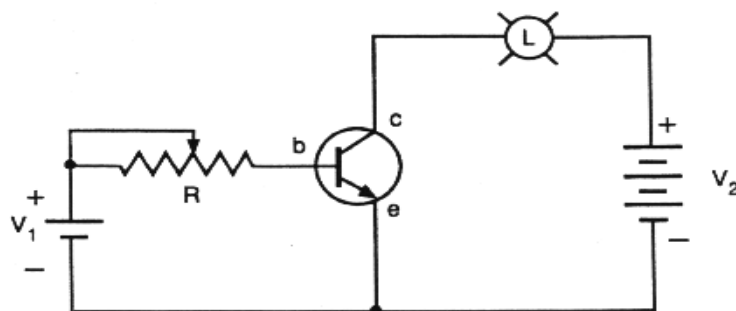


Figura 76

Amplificador transistorizado simple

Si la resistencia de la base se establece a su valor mínimo, podrá fluir una corriente de base mayor. Esto permite que pase un alto valor de corriente hacia la región del colector y el circuito de carga.

Si la resistencia de la base es aumentada, entonces fluye *menos* corriente de base. Esto, a su vez, resulta en menos corriente de colector conducida a través de las capas de semiconductoras. Esta es la ventaja real del transistor sobre el relé.

La magnitud de la corriente de base en realidad *controla* la cantidad de corriente del colector que podrá fluir. Esto es, la cantidad de corriente de base causa que cambie y varíe la cantidad de resistencia entre los terminales del colector y del emisor.

Un circuito de amplificador transistorizado puede compararse a una llave de agua. Si la llave (la base) se abre más, más agua fluye (corriente de colector). Si se cierra la llave, menos agua fluye. Al igual que la llave de agua, la corriente de base puede controlar la corriente de colector de un transistor desde “completamente abierta” a “completamente cerrada”.

Términos y abreviaciones de transistores básicos

Un intenso estudio de los circuitos transistorizados requerirá muchos términos y abreviaciones nuevas. Sin embargo, para identificar la acción de un circuito transistorizado simple, necesitará un conocimiento práctico de sólo unos pocos términos básicos.

El conocer las designaciones de los terminales (Colector, Base, Emisor) del símbolo del transistor facilita la identificación de muchos términos y abreviaciones de circuitos de transistor. La figura 77 ilustra la utilización de las abreviaciones de un circuito transistorizado común.

Nota:
El flujo de corriente convencional aparece en la mayoría de estos diagramas.)

The diagram shows a common-emitter BJT amplifier circuit. The base is connected to a DC voltage source V through a resistor R_b . The collector is connected to a collector resistor R_c and a collector supply voltage source V_c . The emitter is connected to ground. The transistor is labeled Q . The base-emitter junction voltage is V_{be} , the collector-emitter voltage is V_{ce} , and the collector-base voltage is V_{cb} . The base current is I_b , the collector current is I_c , and the emitter current is I_e . The voltage across the base resistor is V_{R_b} and the voltage across the collector resistor is V_{R_c} .

O

 V_{cb}

Abreviaciones de circuito transistorizado

El transistor de empalme bipolar es un aparato sensible a la corriente. Una corriente de base pequeña controla una corriente de colector mucho mayor. El transistor de efecto de campo (FET) es diferente porque es *unipolar* y es sensible *al voltaje*.

Unipolar quiere decir que utiliza electrones (tipo N) o huecos (tipo P) como portadores de corriente importantes. Esto quiere decir que no conduce a través de un empalme PN.

de corriente insignificante en el circuito de control, y por lo tanto se le considera como un dispositivo controlado por *voltaje*.

Existen dos tipos distintos de FET: el transistor de efecto de campo de empalme (JFET) y el transistor de efecto de campo semiconductor de óxido de metal (MOSFET).

Transistor de efecto de campo tipo empalme (field-effect junction transistor, JFET)

El FET tipo empalme fue el primer transistor de este tipo desarrollado. La figura 78, muestra la construcción de un JFET de manera simple.

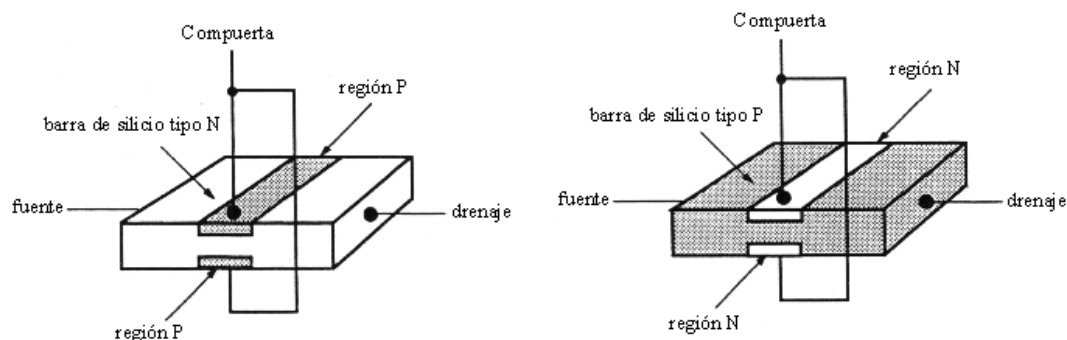


Figura 78

Construcción JFET simple

Trayectoria de conducción de extremo a extremo de la barra semiconductor se llama *canal* o *channel*. Del mismo modo que el BJT existe como NPN o PNP, el JFET existe como *canal N* o *canal P*. El terminal en un extremo del canal se llama *fuentes* (*source*) y actúa como el emisor de un BJT. El terminal en el otro extremo se llama *drenaje* (*drain*) y actúa como el colector de un BJT. Un material semiconductor alternativo, llamado *compuerta* (*gate*) es procesado en cada cara de la región central del canal. Habitualmente, las dos secciones de la compuerta se conectan juntas. La compuerta (*gate*) es el terminal de control y actúa de la misma forma que la base de un BJT. Los símbolos que se utilizan comúnmente para el JFET se muestran en la figura 79 de la próxima página.

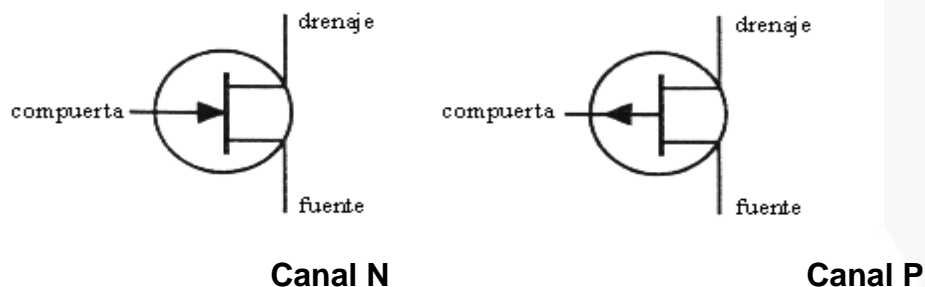


Figura 79

Símbolos de JFET

En un JFET *simétrico*, la fuente (Source) y el drenaje (Drain) son generalmente intercambiables. Sin embargo, el drenaje está habitualmente conectado al positivo y la fuente es habitualmente conectada al negativo del voltaje de alimentación.

Para todos los JFET, la compuerta (Gate) se conecta en *polarización inversa*, esto quiere decir con negativo a la región tipo P, y el positivo a la región tipo N.

El transistor de efecto de campo semiconductor de óxido de metal (Mosfet)

Nuevos tipos de FETs se construyen con una capa de óxido aislante (dióxido de silicio) entre la compuerta y el canal semiconductor como aparece en la figura 80.

Este tipo de FET es llamado a veces transistor de efecto de campo (IGFET) con compuerta aislada (insulated gate FET).

Se conoce más comúnmente como semiconductor de óxido de metal, transistor de efecto de campo (MOSFET).

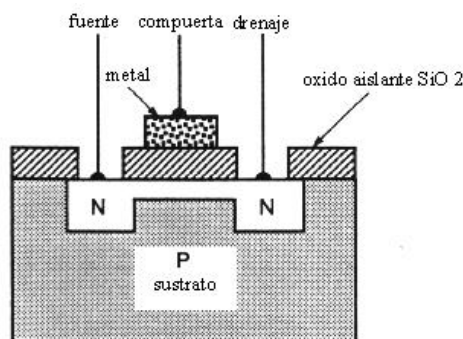


Figura 80

Estructura MOSFET

El MOSFET puede tener un cuarto terminal que se llama sustrato (SS). Este sustrato es realmente el chip de material semiconductor en el cual se forma el MOSFET y se conecta externamente en forma usual al mismo potencial que los terminales "fuente o source". Dos símbolos comunes para el MOSFET se muestran en la figura 81.

Dependiendo de la construcción y composición (o dopado), la conductividad del canal en algunos tipos de MOSFET se puede variar (controlar) por medio de un voltaje de compuerta -a- fuente negativo o positivo. El estado de operación de este MOSFET es

el modo de *depleción* (*depletion*) o de *mejoramiento* (*enhancement*) dependiendo de la polaridad de voltaje de compuerta.

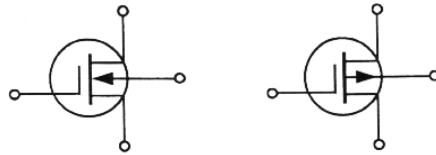


Figura 81

Símbolos de MOSFET

Los MOSFET se caracterizan por su altísima resistencia desde compuerta a fuente, la que está típicamente en el rango de 10^{10} a $10^{14}\Omega$. Esto ofrece pérdidas negligibles en la potencia de entrada y ganancia extremadamente alta. Los MOSFET se utilizan ampliamente en circuitos de amplificación de alta frecuencia y bajo ruido para equipos de comunicaciones.

¡PRECAUCIÓN!

Los MOSFET son muy susceptibles a daños provocados por cargas estáticas.



Si no los está usando, ponga en corto circuito sus terminales con material conductivo.

Aterrice las partes metálicas de herramientas y la punta de las pistolas de soldar antes de hacer contacto con un MOSFET.

Cuando manipule MOSFET, utilice bandas de puesta a tierra en sus muñecas.

Nunca inserte un MOSFET en un circuito energizado o los saque de circuitos energizados.

Nunca aplique señales a un MOSFET mientras la energía CC esté desconectada.

2.7 Transistor Bipolar de Compuerta Aislada (IGBT).

El transistor bipolar de puerta aislada (IGBT, del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor) es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia. Este dispositivo posee las características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y bajo voltaje de saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar

como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT.

Los transistores IGBT han permitido desarrollos que no habían sido viables hasta entonces, en particular en los Variadores de frecuencia así como en las aplicaciones en máquinas eléctricas y convertidores de potencia que nos acompañan cada día y por todas partes, sin que seamos particularmente conscientes de eso: automóvil, tren, metro, autobús, avión, barco, ascensor, electrodoméstico, televisión, domótica, Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o SAI (en Inglés UPS), etc.

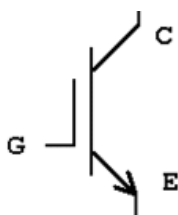
Características

Sección de un IGBT: El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 100 kHz y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones. Es usado en aplicaciones de altas y medias energías como fuente conmutada, control de la tracción en motores y cocina de inducción. Grandes módulos de IGBT consisten en muchos dispositivos colocados en paralelo que pueden manejar altas corrientes del orden de cientos de amperios con voltajes de bloqueo de 6.000 voltios.

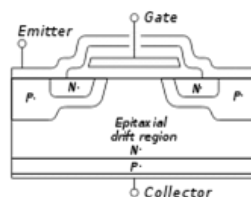
Se puede concebir el IGBT como un transistor Darlington híbrido. Tiene la capacidad de manejo de corriente de un bipolar pero no requiere de la corriente de base para mantenerse en conducción. Sin embargo las corrientes transitorias de conmutación de la base pueden ser igualmente altas. En aplicaciones de electrónica de potencia es intermedio entre los tiristores y los mosfet. Maneja más potencia que los segundos siendo más lento que ellos y lo inverso respecto a los primeros.

Circuito equivalente de un IGBT.

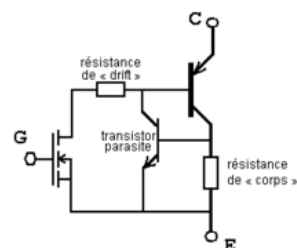
Este es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. La tensión de control de puerta es de unos 15 V. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta.



Símbolo más extendido del IGBT: Gate o puerta (G), colector (C) y emisor (E).



Sección de un IGBT.



Circuito equivalente de un IGBT.

Figura 82

Transistor Bipolar de Compuesta Aislada



Figura 83

Módulo de Transistores IGBT con Diodos de Volantes o de Rueda Libre (freewheeling diodes)

3 Electrónica analógica

3.1 Características y aplicaciones de los amplificadores operacionales

Amplificadores operacionales

Un amplificador operacional, o op-amp, es básicamente un amplificador lineal (análogo). Originalmente era utilizado para una amplificación de alta ganancia de CC, en conjunto con los computadores análogos. Hoy en día aún es muy utilizado para una amplificación de alta ganancia CC, pero también tiene muchas aplicaciones en los circuitos de interfase digitales / análogos.

El op-amp es un dispositivo de circuito integrado de baja corriente, bajo voltaje y baja potencia, que tiene una ganancia en la región de 200 000 y mayor. Los op-amps utilizan con frecuencia una retroalimentación externa (*external feedback*) para controlar sus respuestas y reducir la ganancia. Ellos se utilizan mucho en televisión, radio y telecomunicaciones, así como también en las aplicaciones industriales.

Existen muchas variedades de circuitos op-amp en el mercado. Las hojas de datos de los fabricantes especifican el voltaje, corriente y las características de operación. Un régimen típico es 15 V, 20 mA, 300 mW, y generalmente vienen en un paquete de circuito integrado (CI) en línea doble (dual-inline)

Símbolo del Op- Amp

El símbolo esquemático para el op-amp se muestra en la figura 84. El op-amp tiene dos entradas y una salida.

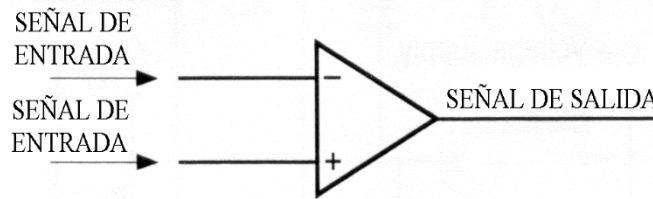


Figura 84

Símbolo del op-amp

Las entradas se denominan entradas inversora (-) y no inversora (+). Si la + es puesta a tierra, la señal de salida está 180° fuera de fase con la señal de entrada. Si la entrada (-) es puesta a tierra, la señal de salida es 0° , o en fase, con la señal de entrada (figura 85).

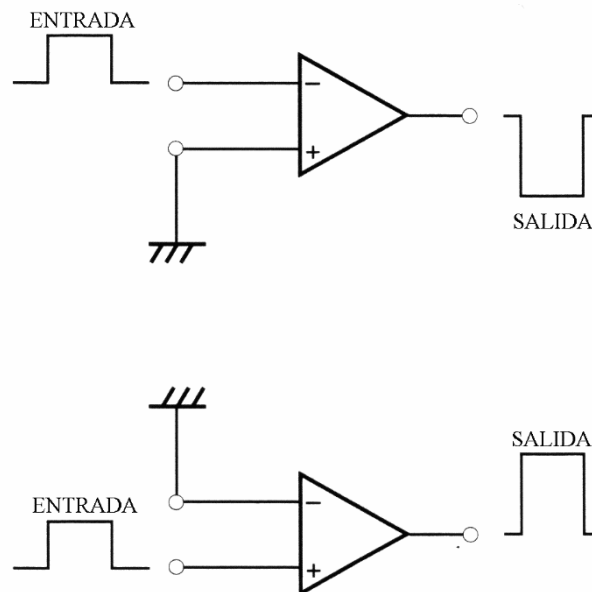


Figura 85

Modos inversor y no inversor

Voltaje de la fuente de alimentación

Un op-amp generalmente es energizado desde una fuente de doble voltaje. El voltaje puede ser $\pm 9\text{ V}$, $\pm 12\text{ V}$, $\pm 15\text{ V}$, etc. hasta aproximadamente $\pm 35\text{ V}$. Un voltaje único podría ser necesario sólo para algunas aplicaciones. La figura 86 muestra op-amps con fuentes de voltaje individual y de doble voltaje.

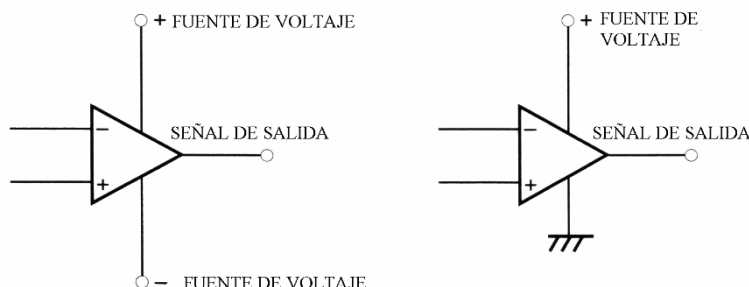


Figura 86

Fuente de poder del op-amp

Encapsulado del Op-Am

El encapsulado tipo “tarro metálico” es el encapsulado original del op-amp. Es más caro que el encapsulado de plástico, pero puede utilizarse en ambientes que fundirían el plástico.

La cubierta o baño de plástico (dual in-line package) es la más común y menos cara. Es similar a aquella utilizada para las compuertas lógicas, flip-flops, contadores y registradores de desplazamientos o shift registers. El 741 es un op-amp muy común que viene en un encapsulado mini-dip, como se muestra en la Figura 87. El pin 8 no se conecta a punto alguno. Los pins 1 y 5 son sólo para ajustes y generalmente no se utilizan. También, existen op-amps con 14 pins. Sólo una parte muy pequeña de esta cápsula es ocupada por el chip de silicio, que es el lugar donde se fabrica el circuito completo del op-amp ilustrado en la Figura 88.

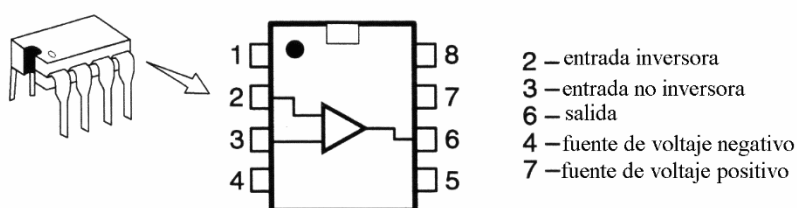


Figura 87

Encapsulado del op-amp 741

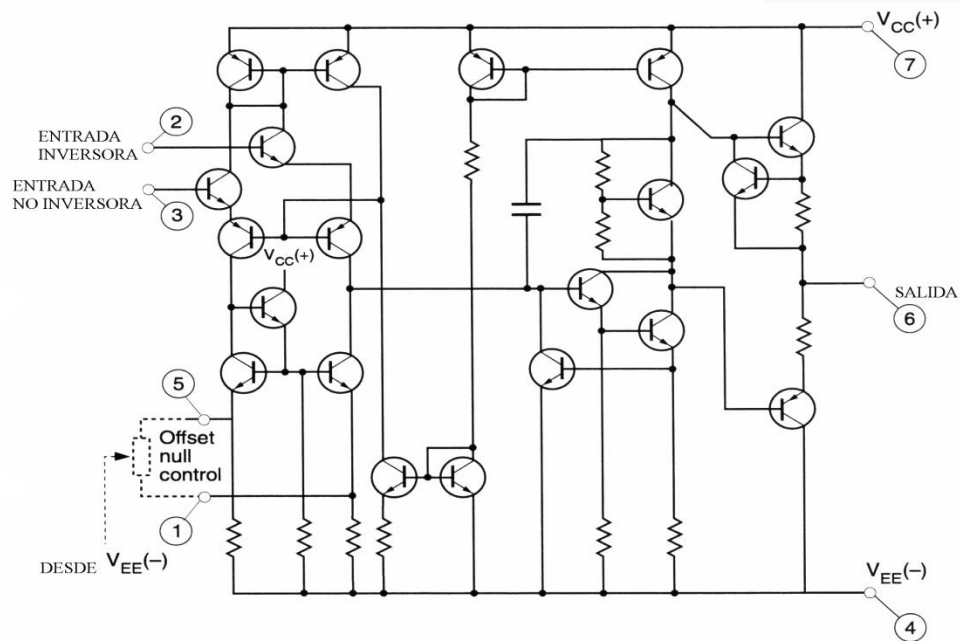


Figura 88

Circuito op-amp

Otro IC op-amp es el encapsulado redondo TO 5, que se muestra en la Figura 89. Los terminales de conexión se llevan hacia fuera del dispositivo de la misma forma que los terminales de conexión en los transistores encapsulados. La caja está sellada herméticamente. No es tan común como en el encapsulado tipo dip.

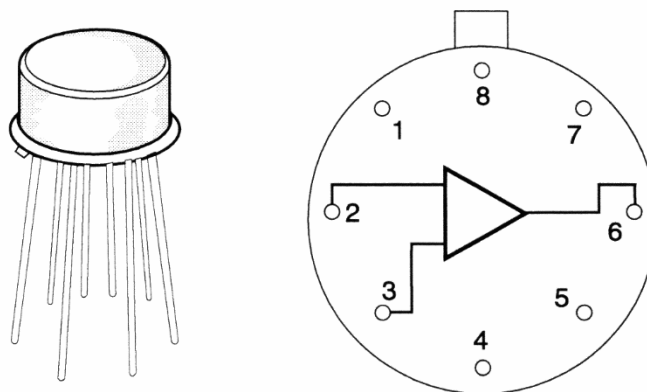


Figura 89

Op-Amp encapsulado TO 5

El op-amp del tipo encapsulado plano (Figura 90) es una cubierta de plástico, similar a los tipo dip, excepto que los terminales de conexión se extienden hacia afuera, en

lugar de hacia abajo como en el tipo dip. Otro tipo de encapsulado de plástico utiliza una formación escalonada para los pins de conexión.

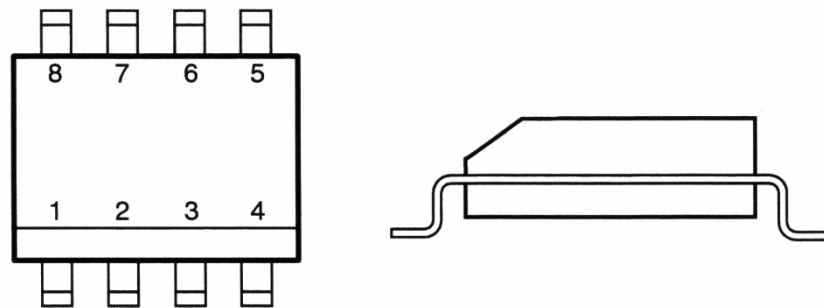


Figura 90

Componente plano

El Op-amps de lazo abierto y cerrado

Un Op-amp es un amplificador de alta ganancia. Puede ser operado de lazo abierto o cerrado.

Lazo abierto

En el modo de lazo abierto la ganancia es muy alta pero inestable, por sobre 200 000 en el caso del op-amp 741. En todo caso, esta alta ganancia no es de mucha utilidad en muchos casos, ya que el voltaje de salida nunca puede exceder el voltaje de la fuente de poder. En la práctica, la salida se saturará en uno o dos voltios por debajo del voltaje la fuente de poder.

Lazo cerrado

El lazo cerrado significa que existe una retroalimentación o feedback desde la salida y de vuelta hacia la entrada inversora. La ganancia es sustancialmente inferior en esta conexión (pero es más estable sobre un rango de frecuencias), y puede controlarse por medio de resistencias externas.

Amplificador diferencial

Una de las aplicaciones primarias de un op-amp es actuar como un amplificador diferencial, midiendo la diferencia entre dos señales de entrada. Esta diferencia luego es amplificada en la salida. Es importante señalar que no son las señales individuales las que se amplifican, solo *la diferencia entre estas* señales es amplificada. El amplificador diferencial se conecta en lazo abierto. En la Figura 91, la diferencia entre V_1 y V_2 es amplificada.

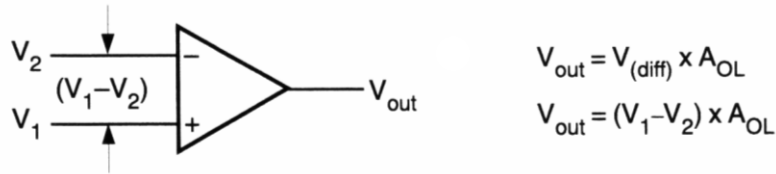


Figura 91

El Op-amp como un amplificador diferencial

Op-amp comparador

La aplicación del comparador es similar a la del amplificador diferencial, en el sentido que las dos señales de entrada son comparadas y la diferencia es amplificada. Sin embargo, una de las señales es un voltaje de referencia fijo, y la salida siempre se satura. La otra señal de entrada es el voltaje de retroalimentación o *feedback voltage*, que proviene, por ejemplo, desde un tacómetro en el eje de un motor. Los cambios muy pequeños entre el voltaje de referencia y el voltaje de retroalimentación causarán que la salida entre en saturación. Esta salida luego actúa para hacer un cambio o corrección. En este caso, la corrección será el aumentar o disminuir la velocidad del motor. Existen muchas aplicaciones industriales para el circuito del comparador, donde voltajes de entrada variables deben compararse con los voltajes de referencia, y estos circuitos efectúan los cambios necesarios para corregir el problema.

La Figura 92 muestra cómo funciona el op-amp comparador. Asumiremos que la salida se satura en los + 10 V y los - 10 V para este voltaje de alimentación. El op-amp está en lazo abierto.

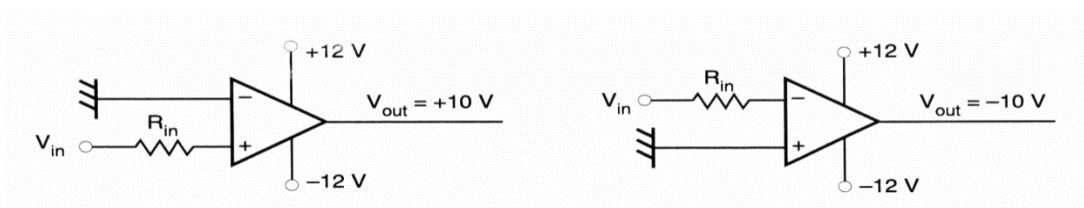


Figura 92

Acción de comparación

Cuando V_{in} es positivo con respecto a tierra, la salida se saturará a + 10 V (Figura 93). Si V_{in} es negativo con respecto a tierra, la salida se saturará a -10 V. Ya que la ganancia de lazo abierto es muy alta, V_{in} necesita ser sólo levemente más positivo o más negativo para causar la saturación de la salida.

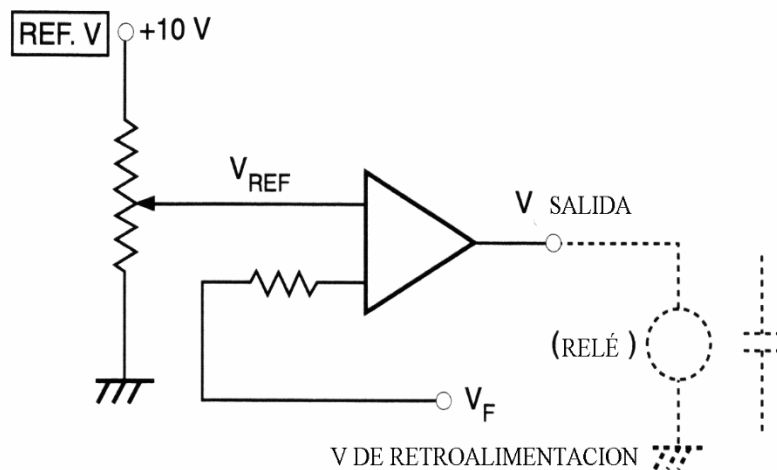


Figura 93

Circuito comparador

V_{in} es comparado con un voltaje de referencia, el cual es ajustable. La salida u output ajustará o corregirá el dispositivo de salida por medio de una señal hacia un relé, tiristor, transistor, u otra etapa de amplificación.

Cuadrando una onda sinusoidal

Si el voltaje de referencia es cero (Figura 94), el op-amp actúa convirtiendo la onda sinusoidal en onda cuadrada (square wave).

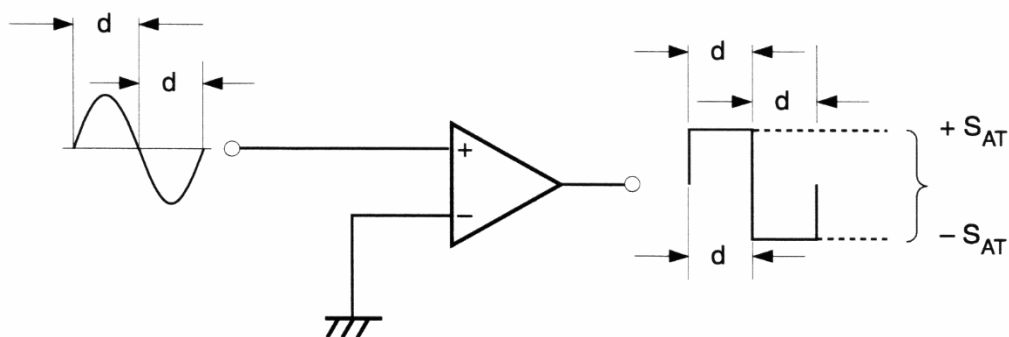


Figura 94

Convirtiendo una onda sinusoidal en onda cuadrada

El op-amp amplifica la diferencia de voltaje entre el voltaje de referencia (0 V) y el voltaje de retroalimentación. Ya que la diferencia se *convierte* en el voltaje de referencia (onda sinusoidal), y la amplificación en el lazo abierto es tan alta, en el momento en que el voltaje se eleve por sobre o bajo del cero, el voltaje de salida se saturará.

3.2 Aplicaciones comunes de circuitos para el amplificador operacional

Circuito seguidor de tensión (Voltage follower)

En la aplicación del circuito seguidor de tensión (Figura 95), la ganancia del op-amp es unitaria, o 1. En otras palabras, no existe ganancia; las señales de entrada y salida son idénticas. El op-amp funciona tal como un transformador de aislación, con una relación de transformación 1:1. Actúa como un dispositivo buffer, aislando la fuente de la señal de entrada de la carga conectada a la salida. El propósito es reducir el efecto de carga que una carga de baja resistencia tendrá en una fuente con una señal débil.

Un op-amp tiene una impedancia de entrada muy alta, y una impedancia de salida baja. Esto significa que la carga recibe la señal, mientras el op-amp trabaja para evitar la carga en la fuente de señales. Así mismo, ya que la impedancia de salida del op-amp es baja, la carga es accionada por una fuente de voltaje que posee una impedancia interna muy baja, lo cual siempre es una característica deseable.

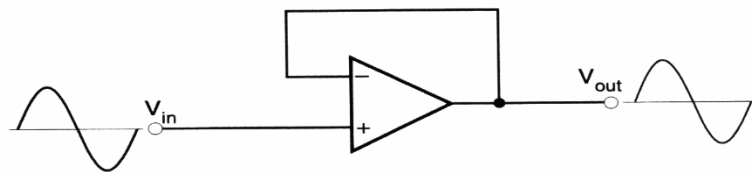


Figura 95

Circuito seguidor de tensión

Amplificador inversor (Inverting amplifier)

La Figura 96 muestra un op-amp conectado para funcionar como un *amplificador inversor*. La entrada no inversora es conectada a tierra, y la señal de entrada va hacia la entrada inversora. Con esta conexión, la señal de salida se invertirá, o estará 180° fuera de fase con la señal de entrada. La ganancia del amplificador es la razón de R_f , el resistor de retroalimentación o feedback resistor, a R_{in} , el resistor de entrada. La ganancia o amplificación en el lazo cerrado se identifica como “Acl”.

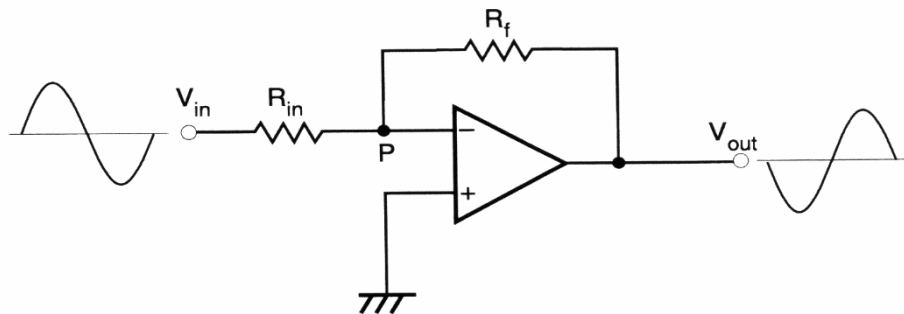


Figura 96

Amplificador inversor

El punto P en la Figura 96, se considera una puesta a tierra virtual, lo que significa que el voltaje a través de los terminales de entrada + y -, puede ser considerado como cero. Se puede asumir que la corriente tendrá el mismo valor a través de R_{in} y R_f . De esto se puede deducir que la ganancia,

$$A_{cl} = \frac{R_f}{R_{in}}$$

Ya que $A_{cl} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ y $A_{cl} = \frac{R_f}{R_{in}}$

Se deduce que $V_{out} = -V_{in} \left(\frac{R_f}{R_{in}} \right)$ (el signo menos indica que la salida está invertida)

Ejemplo:

Si el voltaje de entrada fuese 0,5 Vp-p, $R_{in} = 1 \text{ K}\Omega$, y $R_f = 5,6 \text{ K}\Omega$, ¿cuál sería el voltaje de salida?

Solución:

$$A_{cl} = \frac{R_f}{R_{in}} = \frac{5,6 \text{ K}\Omega}{1 \text{ K}\Omega} = 5,6$$

Y ya que:

$$V_{out} = -V_{in} \times A_{cl}$$

Entonces:

$$V_{out} = 0.5 \times 5.6 = 2.8V_{pp}$$

Amplificador no inversor

En la conexión del amplificador no inversor (Figura 97), la conexión es similar a la del amplificador inversor, pero note que la señal de entrada va hacia el terminal no inversor. El resistor en el terminal inversor tiene un lado conectado a la puesta a tierra, y el resistor de retroalimentación R_f se conecta entre la salida y el otro lado del resistor de entrada, tal como con el amplificador inversor. El voltaje a través de los terminales de entrada + y - de entrada se puede considerar como cero voltios, tal como en el amplificador inversor.

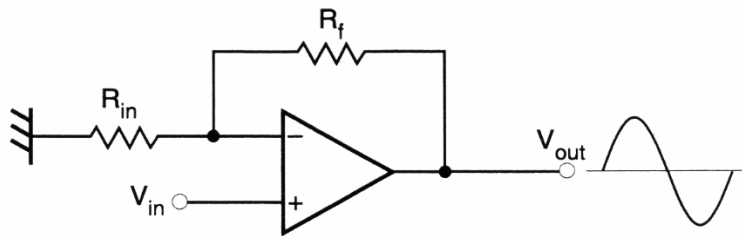


Figura 97

Amplificador no inversor

En esta conexión, se puede mostrar que la ganancia es $A_{cl} = \frac{R_f}{R_{in}} + 1$

Y ya que: $A_{cl} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

Se deduce que: $V_{out} = -V_{in} \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right)$ (Note que la salida no está invertida)

Ejemplo:

En la Figura 97, si el voltaje de entrada fuera 1 Vpp y los resistores de retroalimentación y de entrada fueran 1 KΩ y 3,3 KΩ, ¿cuál sería el voltaje de salida?

Solución:

La ganancia,

$$A_{cl} = \frac{R_f}{R_{in}} + 1$$

$$A_{cl} = \frac{3.3}{1} + 1$$

$$A_{cl} = 3.3 + 1$$

$$A_{cl} = 4.3V$$

Y ya que

$$V_{out} = V_{in} \times A_{cl}$$

Se deduce que

$$\begin{aligned} V_{out} &= 1V \times 4.3 \\ &= 4.3 \text{ Vpp (Respuesta)} \end{aligned}$$

Amplificador sumador

En la conexión del amplificador sumador (Figura 98), el op-amp suma dos o más voltajes en las entradas, y las amplifica en la salida.



¡PRECAUCIÓN!

La voltaje de salida no puede exceder (o incluso alcanzar) el voltaje de la fuente. Por esta razón, los voltajes de entrada deben ser menores que el voltaje de la fuente de poder del op-amp.

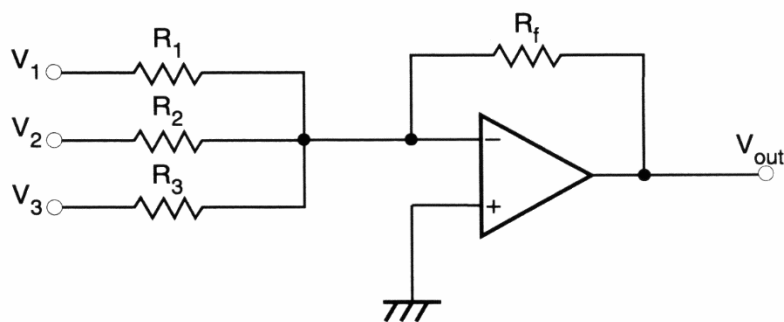


Figura 98

Conexión del amplificador sumador

$$V_{out} = - \left[V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + V_3 \frac{R_f}{R_3} \right]$$

$$\text{Si } R_1 = R_2 = R_3 = R_f, V_{out} = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

$$\text{Si } R_1 = R_2 = R_3 \text{ y } R_f = kR_1, V_{out} = -k(V_1 + V_2 + V_3)$$

$$\text{Donde } k = \frac{R_f}{R_{in}}$$

La ponderación dada para cada señal puede ajustarse por medio de la variación de R_1 , R_2 , y R_3 .

Si $R_1 = R_2 = R_3 = 3R_f$, $V_{out} = \text{Promedio de los tres voltajes de entrada.}$

Op-amp integrador

Un integrador del op-amp es un circuito útil, pero especializado. El integrador y diferenciador de los circuitos de op-amp son complementarios, y desarrollan funciones matemáticas. (No confunda el op-amp diferencial con el op-amp diferenciador). La diferenciación y la integración son operaciones matemáticas que determinan la proporción o razón de cambio, y las áreas bajo una curva (forma de onda), respectivamente. La Figura 99 muestra un circuito op-amp integrador básico, aunque en la práctica, este circuito debería modificarse en cierta forma.

Con una selección adecuada de los elementos, un op-amp integrador puede ser usado para extraer una onda de forma triangular deseada desde una señal de entrada digital. O, el integrador puede producir un desplazamiento de fase (aparte de 0° o 180°) entre una onda sinusoidal de entrada y una de salida.

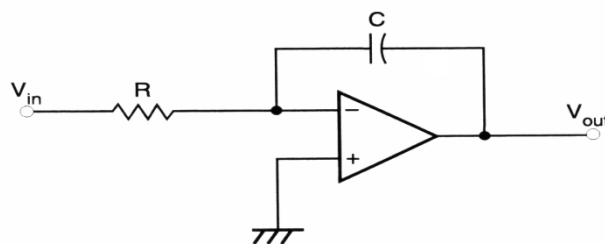


Figura 99

Circuito op-amp integrador

Convertidor digital-análogo (DAC)

Los *convertidores digitales a análogos* convierten las señales digitales en análogas. Las señales digitales de entrada son en forma de 0s y 1s (tomadas de dispositivos tales como flip-flops, contadores y computadores) que representan 0 V y 5 V

respectivamente. El funcionamiento del DAC está basado en el principio del amplificador sumador, mostrado en la Figura 100.

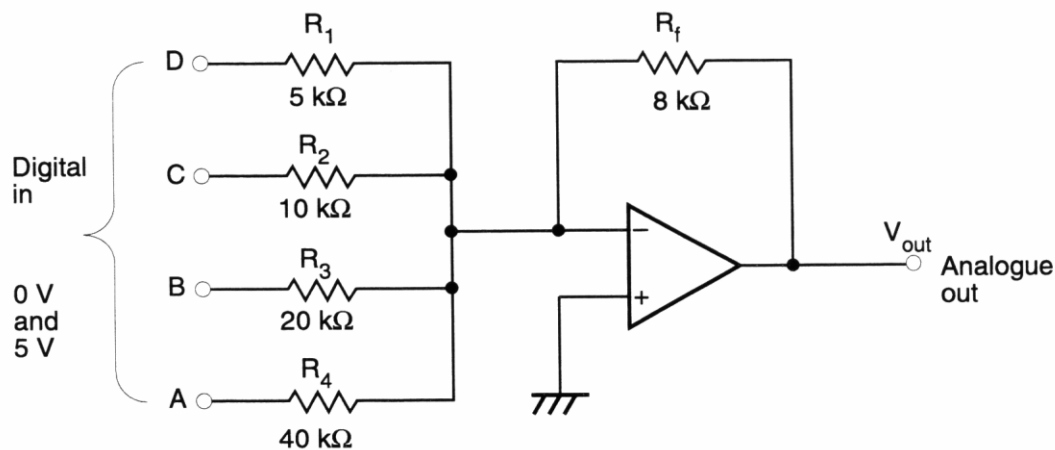


Figura 100

Convertidor digital -análogo

La ponderación dada para los resistores de entrada debe tener una relación binaria. Es decir $2^0(1)$, $2^1(2)$, $2^2(4)$, $2^3(8)$, y así sucesivamente. Los resistores, tal como los dígitos binarios, doblan su valor de uno al otro. Las entradas A, B, C y D son ya sea de 0 V o de 5 V. Usted recordará que el amplificador sumador multiplica cada voltaje de entrada por la razón entre el resistor retroalimentador R_f al resistor de entrada R_{in} , para dicha entrada. Cada entrada digital contribuye con una magnitud diferente de voltaje en la salida, y su ponderación depende de su ubicación en la posición binaria. El LBS (o dígito menos importante) en las entradas binarias es A y el MSB (o dígito más importante) es D. Los voltajes de salida reflejan esto, como se muestra en el circuito.

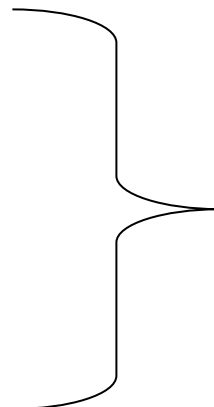
Comencemos con una entrada digital de 1111 y observemos la salida:

$$1 \leftarrow A = -\left(5V \times \frac{8}{40}\right) = -1V$$

$$1 \leftarrow B = -\left(5V \times \frac{8}{20}\right) = -2V$$

$$= -15V$$

$$1 \leftarrow C = -\left(5V \times \frac{8}{10}\right) = -4V$$



$1 \leftarrow D = -\left(5V_x \frac{8}{5}\right) = -8V$ Y si la entrada digital fuera 1011, la salida sería:

$$\left. \begin{aligned} 1 \leftarrow A &= -\left(5V_x \frac{8}{40}\right) = -1V \\ 1 \leftarrow B &= -\left(5V_x \frac{8}{20}\right) = -2V \\ &= -11V \\ 0 \leftarrow C &= -\left(5V_x \frac{8}{10}\right) = -0V \\ 1 \leftarrow D &= -\left(5V_x \frac{8}{5}\right) = -8V \end{aligned} \right\}$$

Ya que las entradas de los dispositivos digitales son sólo tensiones nominales de 0V y 5V, y estos voltajes podrían variar considerablemente, se deben utilizar amplificadores de instrumentación (*precision level amplifiers*) para producir las tensiones precisas de 0 V y 5 V. Esto se muestra en la Figura 101.

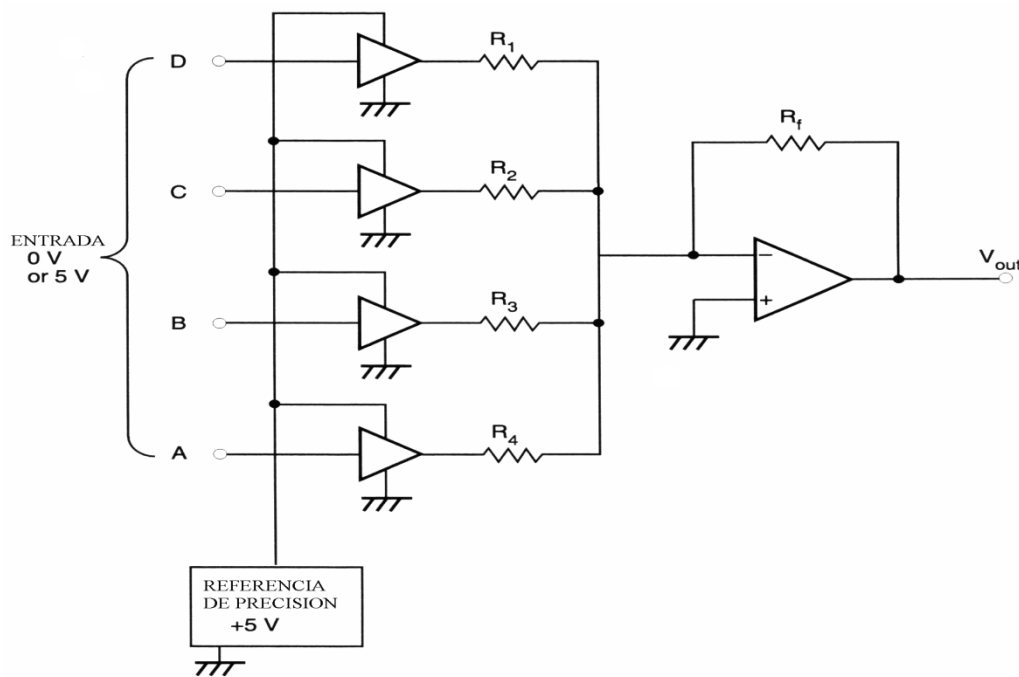


Figura 101

DAC con amplificadores de instrumentación

Convertidor análogo -digital (ADC)

El *convertidor análogo-digital* es lo contrario del DAC, y convierte las señales análogas en digitales. Un ejemplo del funcionamiento del ADC se muestra en el circuito de la figura 102. Observe la polaridad de los LEDs. Resistores R_1 a R_5 forman un divisor de tensión. Este coloca un voltaje de referencia en cada entrada no inversora, como se muestra. Recuerde que en un op-amp comparador, la salida se satura en uno o en el otro extremo de la fuente de poder del op-amp. En este caso, es 0 V o + 5 V. Si la entrada + es mayor que la entrada -, la salida se saturará en los + 5 V y el LED permanecerá apagado. Pero si la entrada es inferior a la entrada -, la salida será 0 V y el LED estará encendido.

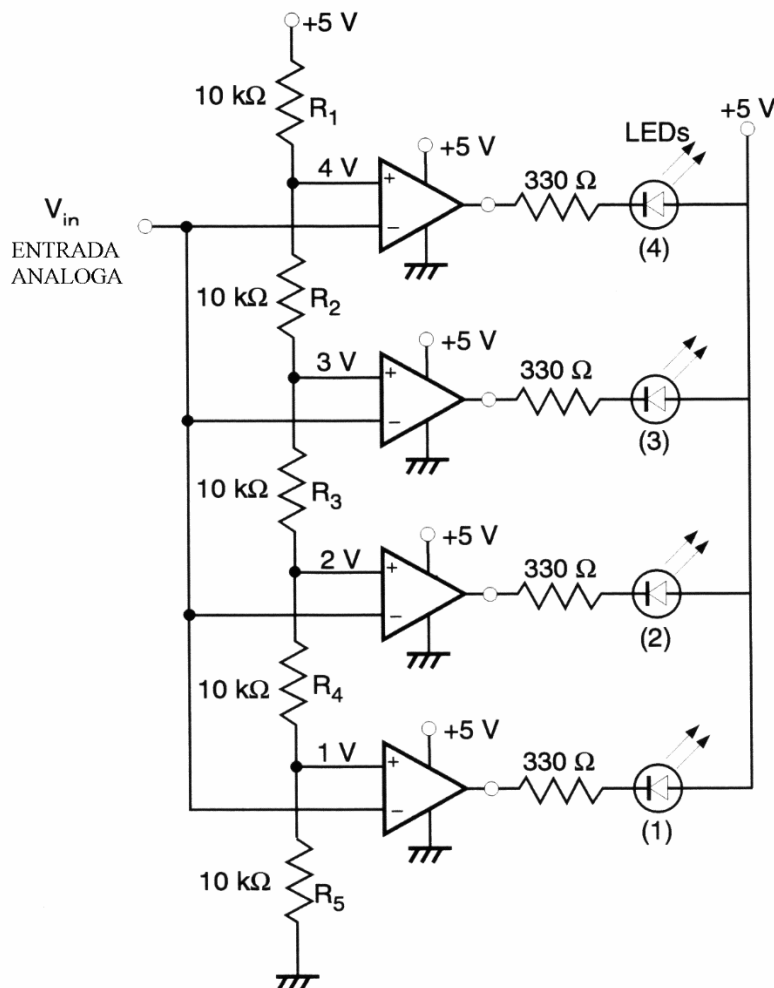


Figura 102

Conversión análogo-digital

Con V_{in} en 3,5 V, los LEDs 1, 2, 3 se encienden, pero el 4 permanece apagado. Si los LEDs se Dibujan verticalmente (como un conjunto de ventanas), como se muestra en la Figura 103, la pantalla de señalización (bar display) indicará una señal digital de 3 V.

Este es un circuito de poca precisión, ya que el gráfico de barra sólo puede detectar las diferencias de voltaje de 1 V. En todo caso, este circuito podría perfeccionarse utilizando más resistores de voltaje de referencia y op-amps. Si existieran ocho op-amps y ocho resistores de voltaje de referencia (y ocho LEDs), cada LED en el gráfico se encendería para cada incremento de 0.5 V del voltaje análogo de entrada. Esto se denomina mejoramiento de *la resolución*.

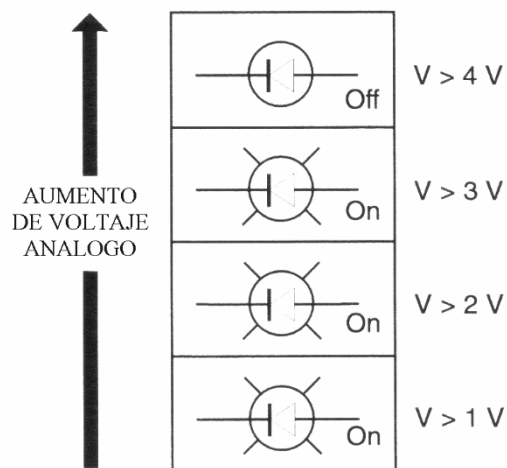


Figura 103

LEDs instalados verticalmente

4. Electrónica digital

Sistemas numéricos usados en los sistemas digitales

Para la mayoría de las personas, un sistema numérico significa el sistema numérico con base 10 o sistema decimal estándar. Ya que la electrónica digital se basa en dos estados estables, los sistemas numéricos binarios que usan sólo los dígitos 1 y 0 son esenciales. En esta sección es posible examinar, contrastar y comparar el sistema decimal con varios sistemas binarios y otros.

- ✓ Decimal (en el uso diario)
- ✓ Octal (plcs)
- ✓ Binario (computadores)
- ✓ Hexadecimal (plc)

Estos sistemas tienen varias cosas en común:

1. Todos tienen una base (llamada también *base*).

El sistema decimal usa base 10.

El sistema octal usa base 8.

El sistema binario usa base 2.

El sistema hexadecimal usa base 16.

2. El número de dígitos en un sistema numérico es el mismo que la base de ese sistema.

El decimal tiene 10 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

El octal tiene 8 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

El binario tiene 2 (0, 1).

El hexadecimal tiene 16 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F).

3. El dígito mayor usado en un sistema numérico es inferior en uno a la base.

El dígito mayor en la base 10 es el 9.

El dígito mayor en la base 8 es el 7.

El dígito mayor en la base 2 es el 1.

4. Los dígitos en el extremo izquierdo y derecho se identifican como *MSD* y *LSD* respectivamente, que se relaciona con la ubicación del dígito dentro del número.

El dígito en el extremo izquierdo es el Dígito Más Importante - MSD.

El dígito en el extremo derecho es el Dígito Menos Importante - LSD.

Los dígitos intermedios se identifican de acuerdo con su posición respecto del MSD. De esta forma 2SD, 3SD, etc. representan el segundo dígito más importante, el tercero más importante, etc.

Por ejemplo, si un producto cuesta \$7.777, el 7 ubicado al extremo derecho es insignificante cuando se considera el costo. Pero el 7 ubicado al extremo izquierdo es obviamente muy importante.

5. Los números dentro de un sistema en particular se identifican con frecuencia por medio de un subíndice. Por ejemplo:

Octal 1255₈

Sistema decimal

El sistema numérico más común es el sistema decimal, el cual usa la base 10. (El *sistema decimal* y el *sistema con base 10* son uno solo e iguales.) El sistema decimal tiene 10 dígitos, de los cuales el más alto es el 9. Si un número se escribe sin mostrar una base de subíndice, se entiende que es de base 10. De esta forma el número 256 = 256₁₀

Ejemplo 1 La siguiente ecuación explica que significa 256₁₀ o 256:

$$\begin{aligned} 256_{10} &= (2 \times 10^2) + (5 \times 10^1) + (6 \times 10^0) \\ &= (2 \times 100) + (5 \times 10) + (6 \times 1) \\ &= 200 + 50 + 6 \end{aligned}$$

En otras palabras hay dos 100, cinco 10 y seis 1 en el número 256.



Un número elevado a la potencia de cero es igual a 1, en consecuencia:

$$10^0 = 1, 8^0 = 1, 2^0 = 1, 16^0 = 1, \text{ etc.}$$

Ejemplo 2 ¿Qué significa 6479₁₀ o 6479?

$$\begin{aligned} 6479_{10} &= (6 \times 10^3) + (4 \times 10^2) + (7 \times 10^1) + (9 \times 10^0) \\ &= (6 \times 1000) + (4 \times 100) + (7 \times 10) + (9 \times 1) \\ &= 6000 + 400 + 70 + 9 \\ &= 6479 \end{aligned}$$

Esto indica que hay seis 1000s, cuatro 100s, siete 10s y nueve 1s en el número 6479.

Todo lo que se hace con un número con base 10 es multiplicar el LSD (el dígito menos importante) por 10⁰, el siguiente dígito por 10¹, el siguiente dígito por 10², etc. hasta e incluyendo el MSD (el dígito más importante)

Sistema octal

El sistema octal usa base 8. Esto significa que tiene 8 dígitos, siendo el más alto el 7. Nótese en los siguientes ejemplos que el número octal se trata de la misma forma que el decimal con la excepción que en este caso se usan 8 en lugar de 10. El LSD se multiplica por 8⁰, el dígito siguiente por 8¹, el dígito siguiente por 8², etc. y así sucesivamente hacia la izquierda hasta alcanzar el último dígito.

Ejemplo 1 ¿A qué equivale el número 256_8 en el sistema decimal o de base 10?

$$\begin{aligned} 256_8 &= (2 \times 8^2) + (5 \times 8^1) + (6 \times 8^0) \\ &= (2 \times 64) + (5 \times 8) + (6 \times 1) \\ &= 128 + 40 + 6 \end{aligned}$$

De esta forma $256_8 = 174_{10}$ (o simplemente 174). Esto puede enunciarse como: *Octal/dos-cinco-seis es igual a ciento setenta y cuatro.*

Ejemplo 2 ¿A qué corresponde 64_8 en decimal?

$$\begin{aligned} 64_8 &= (6 \times 8^1) + (4 \times 8^0) \\ &= (6 \times 8) + (4 \times 1) \\ &= 48 + 4 \\ &= 52 \end{aligned}$$

Ejemplo 3 ¿A qué corresponde 432_8 en sistema decimal?

$$\begin{aligned} 432_8 &= (4 \times 8^2) + (3 \times 8^1) + (2 \times 8^0) \\ &= 4 \times 64 + (3 \times 8) + (2 \times 1) \\ &= 256 + 24 + 2 \\ &= 282 \end{aligned}$$

Ejemplo 4 Cambiar 1234_8 a decimal

$$\begin{aligned} 1234_8 &= (1 \times 8^3) + (2 \times 8^2) + (3 \times 8^1) + (4 \times 8^0) \\ &= (1 \times 512) + (2 \times 64) + (3 \times 8) + (4 \times 1) \\ &= 512 + 128 + 24 + 4 \\ &= 668 \end{aligned}$$

Sistema binario

El sistema binario usa base 2. Esto significa que tiene 2 dígitos, siendo el más alto el 1. Se encuentran sólo los dígitos 0 y 1 en un sistema binario. Nótese en los siguientes ejemplos la simetría con el sistema decimal y octal. El sistema binario usa base 2, así que aquí estaremos usando el 2 en vez del 8 y el 10 usados previamente en los sistemas octal y de base 10 respectivamente. El LSD se multiplica por 2^0 , el siguiente dígito por 2^1 , el siguiente dígito por 2^2 , y así sucesivamente hacia la izquierda hasta alcanzar el MSD.

Ejemplo 1 ¿A qué equivale el número binario 1011_2 en el sistema decimal?

$$\begin{aligned} 1011_2 &= (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \\ &= (1 \times 8) + (0 \times 4) + (1 \times 2) + (1 \times 1) \\ &= 8 + 0 + 2 + 1 \\ &= 11 \end{aligned}$$

En consecuencia $1011_2 = 11_{10}$, o 11, o “once”.

Ejemplo 2 ¿A qué equivale 11100_2 en el sistema decimal?

$$\begin{aligned} 11100_2 &= (1 \times 2^4) + (1 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (0 \times 2^0) \\ &= (1 \times 16) + (1 \times 8) + (1 \times 4) + (0 \times 2) + (0 \times 1) \\ &= 16 + 8 + 4 + 0 + 0 \\ &= 28 \end{aligned}$$

Ejemplo 3 ¿A qué equivale 10101_2 en el sistema decimal?

$$\begin{aligned} 10101_2 &= (1 \times 2^4) + (0 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \\ &= (1 \times 16) + (0 \times 8) + (1 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1) \\ &= 16 + 0 + 4 + 0 + 1 \\ &= 21 \end{aligned}$$

Otro método para convertir binario a decimal

Si consideramos un número binario, 11111_2 , el LSD representa 1 (2^0), el siguiente representa 2 (2^1), el siguiente es 4 (2^2), el siguiente es 8 (2^3) y el último, el MSD, es 16 (2^4). Empezando con el LSD = 1 (o *LSB para bit de menor importancia* como se le denomina comúnmente), los números representados por los 1 en el binario se van doblando: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, etc. a medida que se avanza hacia el MSB. Estos dígitos decimales se suman luego para dar el equivalente decimal del binario.

Si hay un 0 en el número binario sólo significa la ausencia de uno de estos números. En consecuencia, si se desea descubrir el equivalente decimal de un número binario se puede encontrar con el método que aparece en el siguiente ejemplo.

Ejemplo 1 Cambiar 1100111_2 a sistema decimal.

Usted debe suprimir o borrar los números representados por los 0 y sumar los otros.

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 64 & +32 & +16 & +8 & +4 & +2 & +1 & = & 103 \end{array}$$

En consecuencia: $1100111_2 = 103$

Ejemplo 2 Cambiar 1011100_2 a sistema decimal

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 64 & +32 & +16 & +8 & +4 & +2 & +1 & = & 92 \end{array}$$

En consecuencia: $1011100_2 = 92$

Sistema hexadecimal

El sistema hexadecimal usa la base 16. Tiene 16 dígitos, siendo el más alto el 15. Debido a que los números decimales desde 10 a 15 requieren de dos dígitos cada uno, usted verá letras y números en un número hexadecimal. Las letras A, B, C, D, E y F reemplazan los números 10, 11, 12, 13, 14 y 15 respectivamente. El número hexadecimal se trata de igual forma que los números con otras bases. En los siguientes ejemplos se usa 16 en lugar de 2, 8 y 10, que representan los sistemas binarios, octal y decimal respectivamente. El LSD se multiplica por 16^0 , el siguiente dígito por 16^1 , el siguiente por 16^2 y así sucesivamente hacia la izquierda hasta alcanzar el último dígito.

Ejemplo 1 ¿A qué equivale 256_{16} en sistema decimal?

$$\begin{aligned} 256_{16} &= (2 \times 16^2) + (5 \times 16^1) + (6 \times 16^0) \\ &= (2 \times 256) + (5 \times 16) + (6 \times 1) \\ &= 512 + 80 + 6 \\ &= 598 \end{aligned}$$

En consecuencia: $256_{16} = 598_{10}$ o simplemente 598

Ejemplo 2 ¿A qué equivale $3C2_{16}$ en sistema decimal? (Nota: C = 12)

$$\begin{aligned} 3C2_{16} &= (3 \times 16^2) + (12 \times 16^1) + (2 \times 16^0) \\ &= (3 \times 256) + (12 \times 16) + (2 \times 1) \\ &= 768 + 192 + 2 \\ &= 962 \end{aligned}$$

En consecuencia: $3C2_{16} = 962_{10}$ o simplemente 962

Ejemplo 3 ¿A qué equivale $12AB_{16}$ en decimal? (Nota: A = 10, B = 11)

$$\begin{aligned} 12AB_{16} &= (1 \times 16^3) + (2 \times 16^2) + (10 \times 16^1) + (11 \times 16^0) \\ &= (1 \times 4096) + (2 \times 256) + (10 \times 16) + (11 \times 1) \\ &= 4096 + 512 + 160 + 11 \\ &= 4779 \end{aligned}$$

Convirtiendo desde decimal a otra base

Si es necesario convertir un número decimal (base 10) a cualquier otra base se deben seguir los siguientes pasos.

Divida el número decimal por la base varias veces hasta que no sea posible dividirlo más.

Cada vez que se hace una división se obtiene una respuesta y un remanente. Si el número inmediatamente, el remanente es 0.

El remanente de cada división es uno de los dígitos que conforman la respuesta.

Ejemplo 3 Cambiar 23 a binario.

$$\frac{23}{2} = 11 + 1$$

$$\frac{11}{2} = 5 + 1$$

$$\frac{5}{2} = 2 + 1$$

$$\frac{2}{2} = 1 + 0$$

$$\frac{1}{2} = 0 + 1$$

$$23 = \longrightarrow 10111_2$$

Ejemplo 4 Cambiar 1325 a hexadecimal

$$\frac{1325}{16} = 82 + 13$$

$$\frac{82}{16} = 5 + 2$$

$$\frac{5}{16} = 0 + 5$$

$$1325 = \longrightarrow 52D_{16}$$

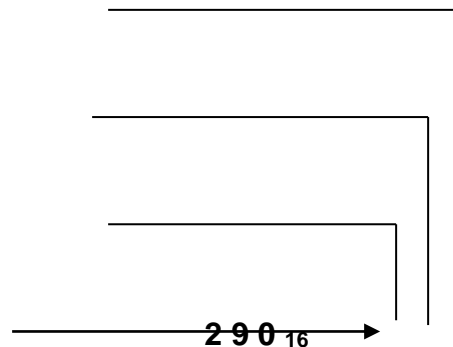
Ejemplo 5 Cambiar 656 a hexadecimal

$$\frac{656}{16} = 41 + 0$$

$$\frac{41}{16} = 2 + 9$$

$$\frac{2}{16} = 0 + 2$$

$$656 =$$



Conversión de binario a octal

Cuando tiene que representarse un número grande con dígitos binarios deben usarse muchos 1 y 0, llamados *bits* (abreviatura de *dígitos binarios*). En ocasiones se usa el sistema octal como anotación de taquigrafía para el binario. Ya que 7 es el dígito más alto que se usa en el octal y puede representarse por los tres bits 111, todos los demás dígitos octales pueden representarse también por medio de tres bits. Para convertir un número binario a octal se debe comenzar desde la derecha y agrupar los bits en grupos de tres. Luego anote qué dígito decimal representa cada grupo.

Como se muestra en los siguientes ejemplos se comienza a agrupar desde la derecha. Si se termina sólo con un grupo de 2 bits o 1 bit en la izquierda porque no se tienen grupos pares de tres, se debe agregar 0s para completar el grupo final.

Ejemplo 1 Cambiar 101111100011001010₂ a su equivalente en forma octal.

101	111	100	011	001	010
5	7	4	3	1	2

$$101111100011001010_2 = 57312_8$$

Ejemplo 2 Cambiar 1111101100010011₂ a octal.

1	111	101	100	010	011
001	111	101	100	010	011
1	7	5	4	2	3

$$1111101100010011_2 = 175423_8$$

Convertir de octal a binario

El proceso anterior puede invertirse si es necesario convertir octal a binario. Sustituya tres bits para cada uno de los dígitos octales.

Ejemplo Cambiar 617234_8 a binario.

6	1	7	2	3	4	
	110	001	111	010	011	100

$617234_8 = 110001111010011100_2$

Conversión de binario a hexadecimal

El procedimiento que se usa para convertir de binario a hexadecimal y viceversa es muy similar al que se usa en la conversión de binario a octal. La excepción es que aquí deben usarse grupos de *cuatro* bits porque los números hexadecimales llegan hasta F (o 15) que corresponde a 1111_2 en el binario.

Ejemplo 1 Cambiar 0011101110011101_2 a su equivalente en hexadecimal.

0011	1011	1001	1101
3	B	9	D

$0011101110011101_2 = 3B9D_{16}$

Al igual que en la conversión de binario a octal, deben agregarse ceros al MSD para completar la agrupación final.

Ejemplo 2 Cambiar 11010010110001_2 a hexadecimal.

11	0100	1011	0001
0011	0100	1011	0001
3	4	B	1

$11010010110001_2 = 3B1_{16}$

Convertir de hexadecimal a binario

El procedimiento anterior puede invertirse si es necesario convertir de hexadecimal a binario. Sustituya cuatro bits para cada uno de los dígitos hexadecimales.

Ejemplo Cambiar B069₁₆ a binario.

B	0	6	9
1011	0000	0110	1001

B069₁₆ = 1011000001101001₂

Códigos binarios comunes

Los códigos binarios más comunes son:

Código de decimal codificado binario (BCD)

Código Norteamericano Estándar para Intercambio de Información (ASCII)

Código gris

ASCII

El Código Norteamericano Estándar para Intercambio de Información (ASCII) representa símbolos que se usan en los códigos de los computadores. Los computadores usan las letras mayúsculas y minúsculas, los signos de puntuación y varios otros símbolos (como +, \$, &, etc.) que se ven en un teclado estándar de computador o una máquina de escribir. Un computador reconoce todos estos símbolos por medio de códigos denominados códigos *alfanuméricos*. En una época los distintos fabricantes usaban códigos diferentes, pero el ASCII (que se pronuncia *ask íi*) se convirtió en el código estándar para los símbolos alfanuméricos.

El ASCII es un código de siete bits con 128 caracteres:

- 0 a 127 decimal o
- 0 a 177 octal

Por ejemplo, la letra B se codifica 100 0010. El espacio entre el grupo de tres y el grupo de cuatro se inserta para una lectura más fácil, pero no es obligatorio. El código para la B minúscula, *b*, es 110 0010 o 1100010. La Tabla 15 muestra el código ASCII.

La tabla se lee en forma de gráfico. Las filas se identifican como $X_3X_2X_1X_0$ y las columnas como $X_6X_5X_4$. Las filas representan el grupo de cuatro bits en la derecha y las columnas los tres bits en la izquierda. El código ASCII para un símbolo se lee entonces: $X_6X_5X_4X_3X_2X_1X_0$

Código ASCII						
X ₃ X ₂ X ₁ X ₀	X ₆ X ₅ X ₄					
	010	011	100	101	110	111
0000	SP	0	@	P		p
0001	!	1	A	Q	a	q
0010	"	2	B	R	b	r
0011	#	3	C	S	c	s
0100	\$	4	D	T	d	t
0101	%	5	E	U	e	u
0110	&	6	F	V	f	v
0111	'	7	G	W	g	w
1000	(	8	H	X	h	x
1001	)	9	I	Y	i	y
1010	*	:	J	Z	j	z
1011	+	;	K		k	
1100	,	<	L		l	
1101	-	=	M		m	
1110	.	>	N		n	
1111	/	?	O		o	

Tabla 15

Ejemplo 1 Tomemos la letra B. Esta muestra su ubicación de columna como 100 y su ubicación de fila como 0010. La letra B es en consecuencia 100 0010.

Ejemplo 2 Si consideramos la palabra STOP escrita en el teclado de un computador, se codificaría en ASCII como:

1010011101010010011111010000

S = 101 0011

T = 101 0100

O = 100 1111

P = 101 0000

Ejemplo 3 ¿Qué dice el mensaje ASCII codificado: 010 0100 011 0010 011 0101?

010 0100 = \$

011 0010 = 2

011 0101 = 5

En consecuencia, dice \$25.

4.1 Operación de las compuertas lógicas comunes

Una *compuerta lógica* es un dispositivo con capacidades de conmutación de alta velocidad. Las compuertas o gates están hechas de circuitos integrados llamados normalmente "ICs". Las compuertas lógicas son el equivalente electrónico de los interruptores mecánicos conectados en serie o paralelos. Son circuitos que toman decisiones. Al combinar compuertas lógicas se pueden formar también circuitos de memoria. Los transistores, resistores y diodos que forman la compuerta lógica típica están grabados en placas de silicio. En la lógica digital aplicada no es necesario preocuparse tanto del sistema de circuitos internos de una compuerta. Sin embargo, debe saber que esperar en una salida para ciertas entradas determinadas.

Las compuertas lógicas típicas cuentan con dos o más entradas y una salida. Están diseñadas para bloquear o pasar señales digitales. Hay cinco compuertas lógicas básicas:

- AND
- OR
- NOT (llamada también compuerta de *inversor*, o *inverter gate*)
- NAND
- NOR

Para entender completamente la electrónica digital es necesario estar familiarizado con estas cinco compuertas básicas.

Compuerta AND

La compuerta AND tiene dos o más entradas y una salida. La figura 104 muestra el símbolo de compuerta AND y su analogía eléctrica. Los interruptores A y B corresponden a las entradas de compuerta A y B, y la lámpara corresponde a la salida Y.

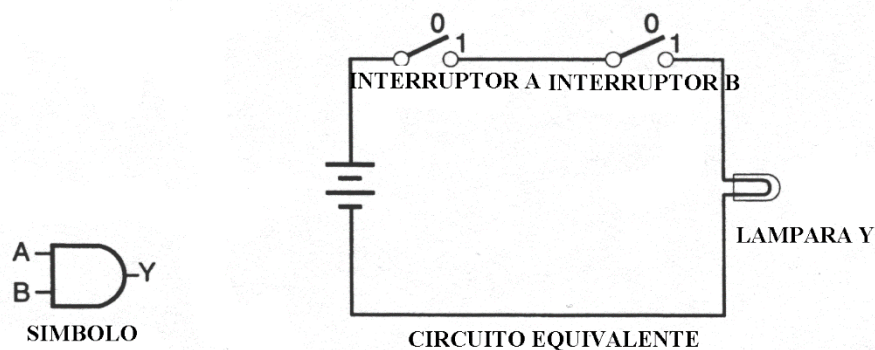


Figura 104

Símbolo de compuerta AND y su analogía de circuito eléctrico

Al igual que con los interruptores mecánicos, cada entrada tiene dos estados, “1” y “0”, llamados “alto” y “bajo” respectivamente. 1 es equivalente a un interruptor cerrado y 0 es equivalente a un interruptor abierto. La Tabla 16a resume el estado de lámpara (salida u output) que se basa en todas las combinaciones posibles de los dos interruptores (entradas o inputs). Este es el equivalente de la operación de compuerta AND. La Tabla 16b resume la operación de la compuerta AND. Esta tabla de compuerta lógica resume la acción de la compuerta y se denomina *Tabla de Verdad*. Todas las compuertas lógicas tienen tablas de Verdad asociadas a ellas.

a) Estado de la lámpara de AND

Interruptor A	Interruptor B	Lámpara Y
off	off	off
off	on	off
on	off	off
on	on	on

b) Tabla de verdad

Entrada A	Entrada B	Salida Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 16

Las líneas en la tabla de Verdad resumen la operación de la compuerta AND. Sólo cuando todas las entradas a una compuerta AND son altas (1) se obtiene una salida alta (1). La compuerta se denomina apropiadamente AND ya que la entrada A y la entrada B deben ser 1 para obtener una salida 1. Aunque las compuertas AND están disponibles con varias entradas, la regla sigue siendo la misma: todas las entradas deben ser altas para obtener una salida alta. Esto es lo mismo que con el circuito de conmutación equivalente: todos los interruptores deben estar cerrados para que se encienda la lámpara.



Las entradas y salidas 1 y 0 representan los niveles de voltaje. Los niveles de voltaje nominal típicos serán +5 V y 0V respectivamente. Es completamente incorrecto suponer que 0 significa la ausencia de una señal: 0 o bajo es una señal muy definida.

Expresión booleana de la Compuerta AND

Una *expresión booleana* es una forma de expresar la operación de una compuerta lógica. Para la compuerta AND con entradas A y B y salida Y se expresa: $A \bullet B = Y$. El punto quiere decir “y”, o “and” en Inglés. En ocasiones el punto puede omitirse y la expresión, significando lo mismo, puede escribirse como: $AB = Y$.

Las expresiones booleanas (que reciben su nombre de George Boole, un matemático irlandés) expresan la operación de la compuerta: cuando A y B son altas, C (Y) es alta. Si una compuerta AND tiene tres entradas A, B y C, su expresión booleana sería: $A \bullet B \bullet C = Y$. Una vez más esto puede escribirse $ABC = Y$ para expresar matemáticamente la operación de la compuerta. Una compuerta AND con cualquier número de entradas se escribe de forma similar.

El comportamiento de cualquier compuerta AND puede expresarse con la siguiente afirmación: Cualquier *bajo da un bajo*. Esto significa que si cualquiera de las entradas es 0, la salida será baja.

Compuerta OR

La compuerta OR tiene dos o más entradas y una salida. La figura 105 muestra el símbolo para la compuerta OR junto con su analogía eléctrica.

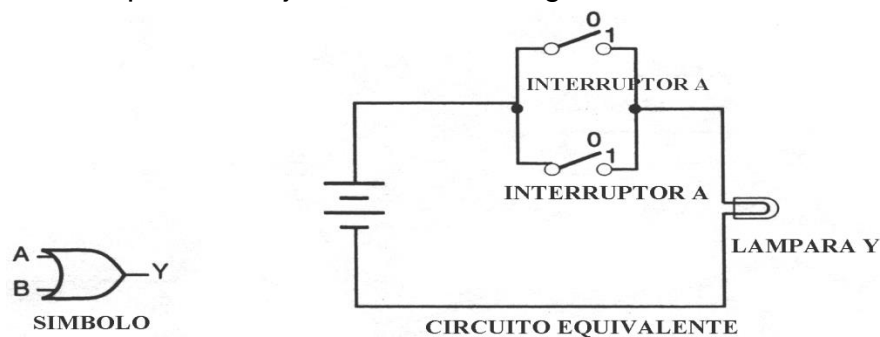


Figura 105

Símbolo de compuerta OR y su analogía de circuito eléctrico

La operación de la compuerta OR es análoga a un circuito eléctrico con los interruptores en paralelo. La lámpara se enciende cuando cualquiera de los interruptores está cerrado o si ambos lo están. Es lo mismo con la compuerta OR. Habrá una salida alta si cualquiera de las entradas es alta o si ambas lo son. Al igual que con la compuerta AND, un 1 es equivalente a un interruptor cerrado y un 0 es equivalente a un interruptor abierto.

La Tabla 17 resume la operación de la compuerta OR.

Tabla de Verdad OR

Entrada A	Entrada B	Salida Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Tabla 17

Expresión booleana de la Compuerta OR

La ecuación booleana que expresa la operación de la compuerta OR es: $A + B = Y$. El signo + indica aquí "o". Si las entradas fueran A, B y C se escribiría $A + B + C = Y$.

El comportamiento de cualquier compuerta OR puede expresarse con la siguiente afirmación: Cualquier *alto da un alto*. Esto significa que si *cualquier* entrada es 1, la salida será 1.

Compuerta NOT

La compuerta NOT tiene una sola entrada y una sola salida. Se le denomina también compuerta de *inversor*. El símbolo NOT y su analogía eléctrica aparecen en la Figura 106.

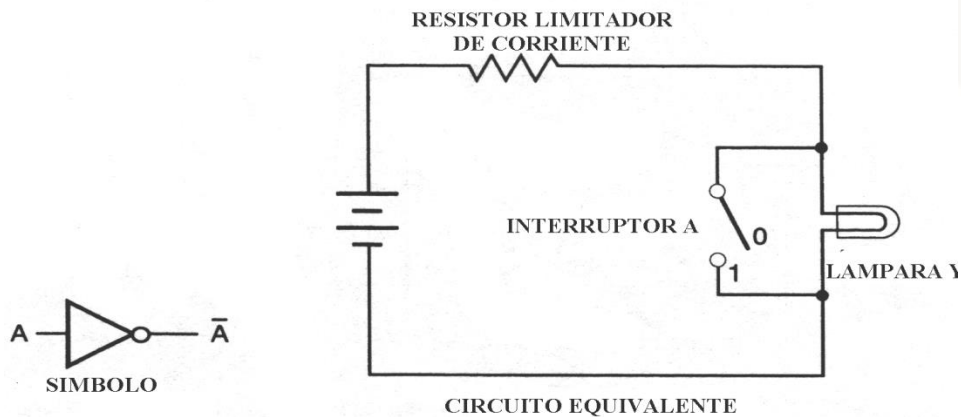


Figura 106

Símbolo de compuerta NOT y su analogía de circuito eléctrico

La compuerta NOT es la más simple de todas las compuertas desde el punto de vista de la operación. Cuando la entrada es 0, la salida es 1 y cuando la entrada es 1, la salida es 0. En el circuito eléctrico si el interruptor está en on (1), la lámpara está en off (0) y si el interruptor está en off (0), la lámpara está en on (1).

La Tabla 18 resume la operación de la compuerta NOT.

Tabla de Verdad NOT (inversor)

Entrada A	Salida A
0	1
1	0

Tabla 18

Expresión booleana de la Compuerta NOT

La ecuación booleana que expresa la operación de la compuerta NOT es:

$$A = \bar{A}$$

La línea o barra significa la función de inversión. Quiere decir que la entrada y la salida son opuestas o complementarias.

Compuerta NAND

La compuerta NAND tiene dos o más entradas y una salida. En la figura 107 muestra el símbolo de compuerta NAND junto con sus analogías de compuerta lógica y eléctrica.

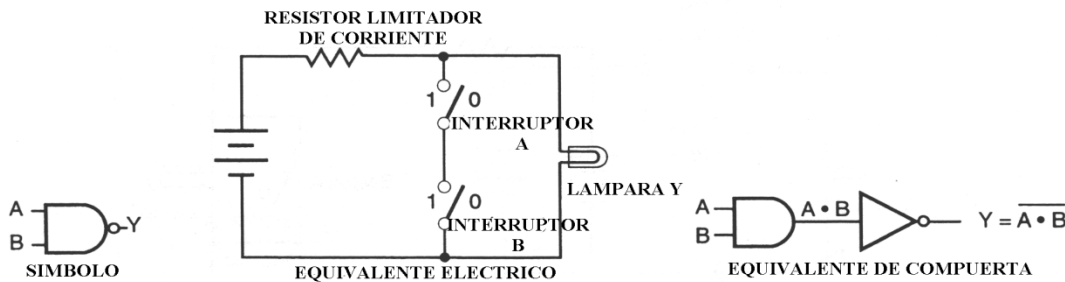


Figura 107

Símbolo de compuerta NAND con analogías de compuerta lógica y eléctrica

El símbolo de compuerta NAND es un símbolo de compuerta AND con una burbuja o *inversión* en la salida. La burbuja es equivalente a poner un inversor en la salida de una compuerta AND. Para las mismas entradas, las salidas de las compuertas AND y NAND son opuestas o complementarias.

La operación de la compuerta NAND es análoga a un circuito eléctrico con los interruptores y la lámpara conectados como se indica. Se dice que la operación de la compuerta NAND es una inversión de la operación de la compuerta AND y ambas se describen como *complementarias*. La lámpara no se enciende cuando el interruptor A y el interruptor B están cerrados. Si cualquiera de los dos está abierto o si ambos lo están, la lámpara se enciende. La Tabla 19 resume la operación de la compuerta NAND.

Tabla de Verdad NAND

Entrada A	Entrada B	Salida Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Tabla 19

Expresión booleana

La ecuación booleana que expresa la operación de la compuerta NAND es:

$$\overline{A \cdot B} = C$$

El signo • indica aquí AND, igual que anteriormente. La línea sólida sobre *ambas* entradas es crucial. Nos dice que sólo cuando las entradas A y B son altas, la salida será baja.

El comportamiento de cualquier compuerta NAND puede expresarse con la siguiente afirmación: Cualquier *bajo da un alto*. Esto significa que si cualquiera de las entradas es 0, la salida será 1.

Compuerta NOR

La compuerta NOR tiene dos o más entradas y una salida. En la Figura 108 muestra el símbolo para la compuerta NOR junto con sus equivalentes de compuerta lógica y eléctrica.

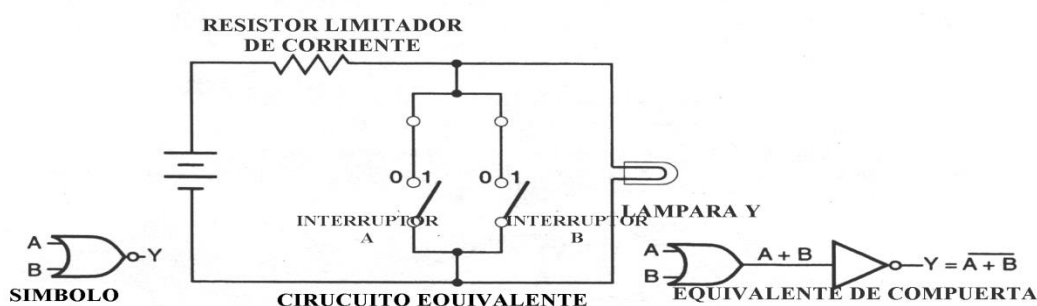


Figura 108

Símbolo de compuerta NOR y sus circuitos equivalentes

El símbolo de compuerta NOR es un símbolo de compuerta OR con una burbuja o “inversión” en la salida. La burbuja es equivalente a poner un INVERSOR en la salida de una compuerta OR. Para las mismas entradas, las salidas de las compuertas OR y NOR son opuestas. Esto es similar al contraste entre las compuertas AND y NAND. La operación de la compuerta NOR es análoga a un circuito eléctrico con los interruptores y lámpara conectados como se indica en la Figura 108. La operación de compuerta NOR es una inversión de la operación de compuerta OR. La lámpara no se enciende si el interruptor A o el interruptor B están cerrados o si ambos lo están. La lámpara se enciende sólo cuando A y B están abiertos. La operación de la compuerta NOR es similar. Cualquier entrada 1 produce una salida 0. Por otra parte si ambas entradas son 1 la salida también es 0. Sólo cuando no hay entrada 1 (ambas entradas son 0) la salida es 1. La Tabla 20 resume la operación de la compuerta NOR.

Tabla de Verdad NOR

Entrada A	Entrada B	Salida Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

Tabla 20

Se dice que las compuertas NOR y OR son complementarias. Observe que para la misma serie de entradas, las salidas de compuertas OR y NOR son opuestas o complementarias.

Expresión booleana de la Compuerta NOR

La ecuación booleana que expresa la operación de la compuerta NOR es:

$$\overline{A + B} = Y$$

El signo + indica aquí OR, como en el ejemplo anterior. La línea sólida sobre ambas entradas es crucial. Dice que cuando las entradas A o B son altas, la salida es baja.

El comportamiento de cualquier compuerta NOR puede expresarse con la siguiente afirmación: *Cualquier alto da un bajo*. Esto significa que si hay cualquier entrada 1, la salida será 0.

Compuerta XOR

XOR es la abreviatura de OR *exclusiva*. No es una de las cinco compuertas básicas, pero es una compuerta especial diseñada para la adición binaria. La compuerta XOR tiene dos entradas y una salida. Su símbolo aparece en la Figura 109.



Figura 109

Símbolo de compuerta OR exclusiva (XOR)

La operación de la compuerta XOR es ligeramente diferente de la compuerta OR, llamada en ocasiones *compuerta OR inclusiva*. Esto se puede ver comparando las Tablas 21a y 21b.

a)Tabla de Verdad de compuerta XOR			b)Tabla de Verdad de compuerta OR		
Entrada A	Entrada B	Salida Y	Entrada A	Entrada B	Salida Y
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1

Tabla 21

La diferencia en su operación está en la última línea de las tablas. Mientras que dos 1 de entrada dan una salida 1 en la compuerta OR, ellas darán una salida 0 en la compuerta XOR. Una forma común de expresar la operación es decir que la salida será alta sólo cuando las entradas sean opuestas (o “complementarias”).

Expresión booleana de la Compuerta XOR

La expresión booleana que resume la operación de la compuerta XOR es:

$$AB + \overline{A}\overline{B} = Y \text{ que también puede escribirse como } A \oplus B = Y$$

Ambas fórmulas significan lo mismo, que la salida será 1:

Si se tiene 0 en A y 1 en B o

Si se tiene 1 en A y 0 en B.

En otras palabras la salida será alta sólo si las dos entradas son complementarias

Los símbolos lógicos que hemos estado usando son los símbolos de compuerta estándar que se han usado por muchos años y siguen siendo los más reconocidos en Norteamérica. Sin embargo, los símbolos equivalentes *rectangulares* están apareciendo gradualmente en mayor cantidad de textos, por lo cual decidimos incluirlos.

Los símbolos rectangulares usan un ángulo donde los símbolos tradicionales usan una burbuja. El triángulo, al igual que la burbuja, indica una inversión del nivel lógico. El símbolo dentro del rectángulo identifica el tipo de compuerta lógica.

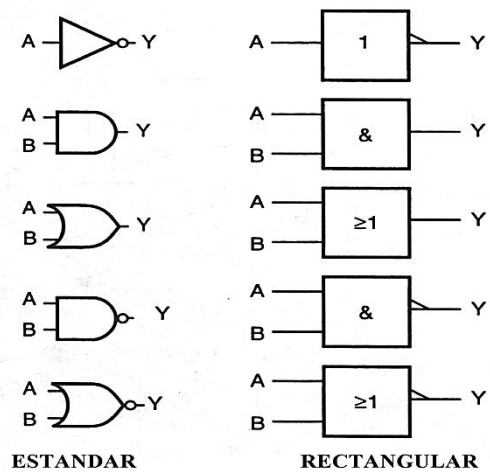


Figura 110

Símbolos de compuerta lógica tradicionales y rectangulares

Diagramas de temporización

Los diagramas de temporización muestran como varían los niveles de señales digitales con el tiempo. El diagrama de temporización puede ser sólo para una entrada o una salida, pero la mayoría de ellos muestran la relación entre las señales de entrada y las señales de salida en las compuertas lógicas digitales y los circuitos lógicos digitales.

Las magnitudes de señal, tanto de entrada como de salida, aparecen en el eje Y. Estas son altas (1) o bajas (0) y representan en forma típica + 5 V nominal y 0 V nominal respectivamente. Se aplican a entradas y salidas.

Los tiempos de señales, tanto de entrada como de salida, aparecen en el eje X. Este representa la duración de tiempo de las señales. Ya que las señales de salida son una función de las señales de entrada, normalmente aparece una sobre la otra como en la compuerta AND de dos entradas en la Figura 111.

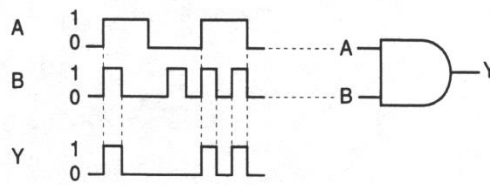


Figura 111

Diagrama de temporización para una compuerta AND

La salida de una compuerta AND es alta sólo cuando todas las entradas son altas. En otras palabras, si cualquiera de las entradas es baja, la salida será baja. De esta forma para el grupo de señales de entrada A y B en la Figura 111, la salida será como se muestra.

En la figura 112 es otro ejemplo de un diagrama de temporización simple, esta vez para una compuerta NOR. Recuerde la tabla de Verdad para una compuerta NOR: cualquier entrada alta produce una salida baja; alternatively todas las entradas bajas producen una salida alta.

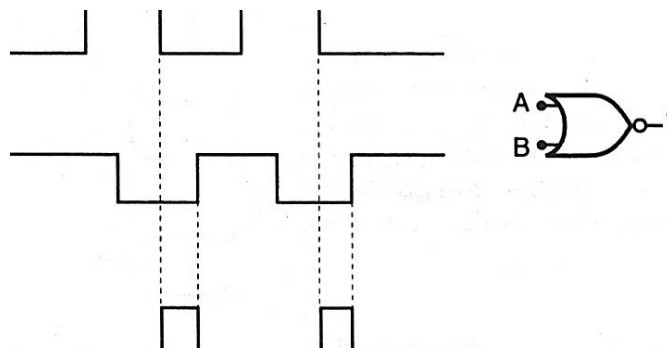


Figura 112

Diagrama de temporización para una compuerta NOR

4.2 Aplicaciones de las compuertas lógicas.

Las aplicaciones de las compuertas lógicas son muy variadas, estas pueden ser sincrónicas o asincrónicas, ya sea de forma tangible como en su presentación de circuitos integrados o como parte integral de un programa de PLC o DCS o simplemente en la lógica cableada de un circuito de comando eléctrico de un motor (de cc o ca indistintamente).

Aplicaciones sincrónicas:

Semáforos.
Sistemas de lavado automático.
Sistemas de riego automático.
Secuenciales temporizados.
Desplazamiento de registros temporizados.
Operatorias matemáticas.
Divisores de frecuencia.
Toda aplicación con base de tiempo.

Aplicaciones asincrónicas.

Sistemas de embotellados automáticos.
Accionamiento de motores eléctricos.
Control de sistemas neumáticos e hidráulicos.

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante refuerce la comprensión de los semi conductores, diodos, transistores, amplificadores operacionales, compuertas lógicas, osciladores.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	✓
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Describir y aplicar semi-conductores

Objetivos del aprendizaje

- Describir y aplicar semi-conductores

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual. Solicitará a los participantes que realicen diferentes actividades propuesta y explicar los fenómenos ocurridos}

Materiales y Recursos

- Bases para Tablet LabVolt
- Tablet adecuado a la actividad
- Fuentes de CA
- Osciloscopios
- Multímetros digitales

- Equipo de protección personal

Desarrollo de la actividad

Los participantes armaran circuito propuesto en la Tablet sugerida por el instructor
Ejemplo:



Tablet de dispositivos semiconductores y realizara las actividades sugeridas, tomaran datos valores y formas de onda, generando un informe de lo experimentado

Cierre:

Se debe entregar informe final a instructor para así poder ver el aprendizaje esperado y poder recibir una retroalimentación.

5. SENSORES, TRANSMISORES Y ACTUADORES

5.1 Principios de funcionamiento de sensores discretos

La mayoría (sobre el 65%) de las actividades de control, supervisión (funcionamiento y seguridad) y accionamiento industrial son de tipo discreto, o sea, su operación depende de estados definidos o discontinuos (On/Off, 0 y 1, Max. Neutro y Min., Alto y Bajo, cuenta de eventos temporizados o no temporizados, otros). En algunos casos, las señales que provienen de estas actividades deben ser capturadas a través de dispositivos sensores o mediante circuitos de electrónica digital, según sea su aplicación. En otros casos, las señales deben ser codificadas en pulsos (forma serial) o palabras (forma paralela), donde esta codificación representa un número específico (dominio digital) que representa una medida de campo.

Otro aspecto relevante en este tipo actividades industriales, es que la captura de la información debe realizarse en forma directa o indirecta, en el primer caso, la acción se ejecuta en contacto con el medio a sensor, en la segunda situación es de no contacto al medio. En el caso directo, se dice que existe una comunicación *mecánica* entre la actividad que genera la señal y el medio que la captura. Para el caso indirecto o de no contacto, la comunicación es a través de ondas electromagnéticas (campos inductivos o eléctricos) u ondas mecánicas (sonido o vibración).

La presente unidad tiene como objetivo presentar los sensores de tipo discreto más comunes en ambiente industrial minero orientados a las operaciones de transporte de material, seguridad y accionamiento, dejando para otros cursos los sensores discretos orientados a los procesos físicos.

Otra misión de esta unidad es presentar los principios de funcionamiento que rigen los sensores de contacto o mecánicos (conocidos también como finales de carrera o *limit switch*) y los de no contacto (tales como: capacitivos, inductivos, ópticos y sónicos).

Principios de los sensores mecánicos finales de carrera o limit switch

Un *fin o final de carrera* es un dispositivo electromecánico que está compuesto de un actuador mecánico, que puede ser una leva, vástago, rodillo u otro medio el cual está enlazado a un conjunto de contactos o terminales eléctricos. De estas uniones, se puede enlazar a un medio eléctrico tipo relé o tipo electrónico de estado sólido.

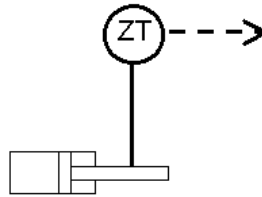


Figura 113

Símbolo de ISA 51.1 para sensores de proximidad y de fin de carrera.

Cuando ocurre presencia de objeto físico que ejecuta una acción en el actuador, este opera los contactos eléctricos, detectándose un cambio de estado que finalmente se manifiesta en el relé o circuito electrónico o simplemente en una acción mecánica de abrir o cerrar.

Los sensores de fin de carrera, son los más antiguos y de amplias aplicaciones y variedad según los ambientes de trabajo, su gran uso se debe a la robustez mecánica y aptitud para ambientes duros o sucios, como es el caso de la industria minera, son de fácil instalación y de operación confiable. Pueden detectar presencia o ausencia de objetos o material en una cinta transportadora o conveyor, pasos de elementos dentados (detección de movimiento o velocidad), posicionamiento de máquinas o sistemas o el fin de una carrera de un aparato como interruptor de carrera. Están diseñados para detectar millones de operaciones repetitivas en ambientes sucios, húmedos, aceitosos o grasos y vibratorios.

Partes de un fin de carrera

Un fin de carrera puede ser de dos tipos: encapsulado y no encapsulado. Las diferencias y ventajas son discutidas más adelante.

Las partes que componen un *fin de carrera* son (Figura 114).

Actuador: El actuador es la parte del fin de carrera que entrara en contacto con el objeto a ser sensado

Cabezal: El cabezal del encapsulado es el mecanismo que trasmite el movimiento del actuador a los contactos. Cuando el actuador es movido con intención, el mecanismo opera los contactos.

Bloque de Contactos

Es el lugar donde se encuentran los contactos eléctricos del interruptor, típicamente contiene entre dos o cuatro pares de contacto

Bloque de Terminales: Contiene los terminales de conexión y es el lugar donde se realiza la conexión de los conductores entre el sensor y el resto del circuito de control, ya sea, el relé, controlador, o circuito electrónico.

Cuerpo: Es la carcasa o cubierta que contiene el bloque de contactos y el bloque de terminales, para el caso de sensores encapsulado.

Base: Corresponde al bloque terminal en un *fin de carrera* de tipo no encapsulado. El aislamiento de los sensores de este tipo y los contactos eléctricos son construidos sobre la base de estándares desarrollados por comités tales como IEC y NEMA. Los estilos de switch, según NEMA y la IEC, difieren en muchos aspectos tales como, tamaño del cuerpo, vida mecánica, durabilidad, material del encapsulado y perforaciones para la fijación. Los estilos de switch de NEMA, son generalmente vistos como más robustos y de mayor vida útil, mientras que los estilos de productos de la IEC, tienden a ser más pequeños y de menor costo.

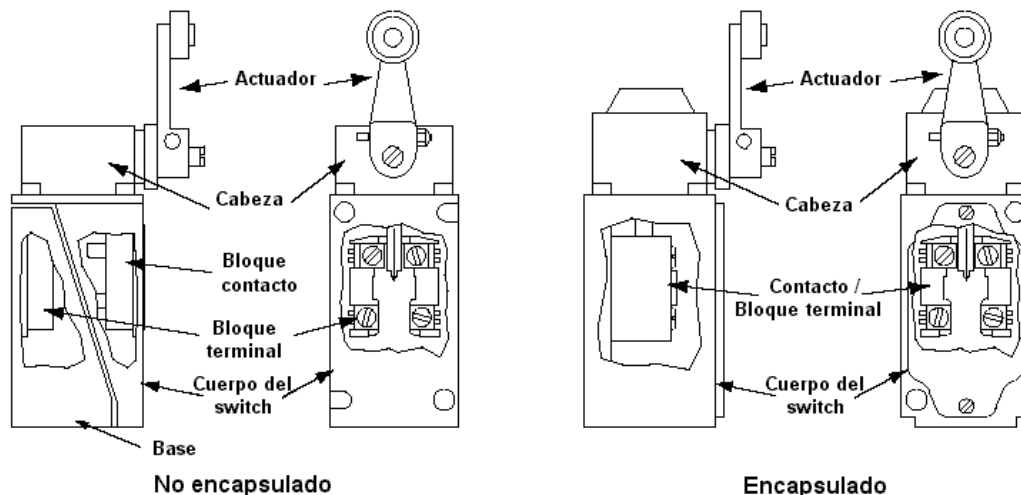


Figura 114

Partes de un *Fin de Carrera*

Cuerpo Encapsulado: Son los primeros en surgir y se componen de una caja con una tapa separada. Un sello a la humedad entre el cabezal, el cuerpo y la tapa es mantenida mediante un anillo y por un aislante plano, ver Figura 115.

Cuerpo No Encapsulado: Este tipo de fin de carrera fue desarrollado para reemplazar el switch, cuando fuera necesario. En contraste con el sistema encapsulado, este divide el cuerpo en la mitad manteniendo el bloque terminal, para el conexionado. Un conjunto de puntas en el cuerpo se inserta en la base, para realizar la unión entre el bloque de contactos y el bloque terminal, ver Figura 116.

Inicialmente la base es fijada y conectada, la base raramente es cambiada ya que no presenta desgaste. En cambio, si el switch es dañado o se desgasta por su uso, el

cuerpo con el actuador debe ser removido y un nuevo cuerpo es montado sobre la base existente, quedando el dispositivo listo para la funcionar.

Un anillo provee aislamiento entre el actuador y la cubierta del switch, mientras que una empaquetadura resguarda el cuerpo de la entrada de elementos acuosos (aceites, agua, etc.)

Los tipos de *fin de carrera* no encapsulados, están basados en la estándar NEMA y las ventajas que ofrece son:

Instalación sin remover la cubierta

Partes sin movimiento ubicado en la base

Reducción de tiempo de recambio de switch, sin perturbar la conexión en la base

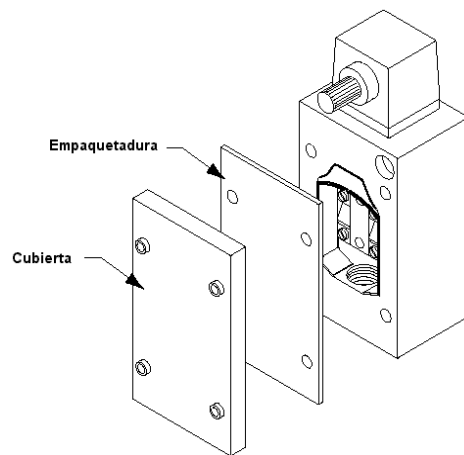


Figura 115

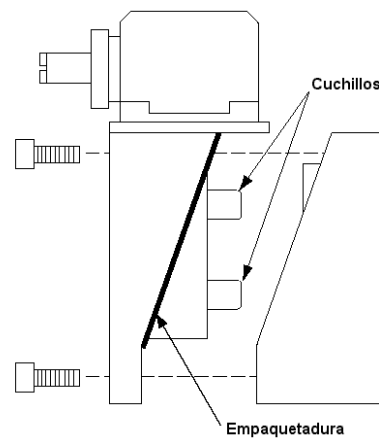


Figura 116

- Fin de carrera encapsulado.

- Fin de carrera no encapsulado.

Tipos y funciones de un actuador

Cuando un actuador está sin la aplicación de torque o fuerza, se habla de un punto de descanso o libre. La posición a la cual el actuador debe ser movido para operar los contactos es llamada punto de disparo o punto de operación. Cuando el movimiento del actuador es inverso, la posición a la cual los contactos vuelven a su posición original es llamada punto de reset o de descarga.

Existen tres tipos de actuadores:

Rotatorio

De empuje

Vara Oscilante

El actuador rotatorio (rodillo, varo, otros) es un eje sobresaliente por el costado del *fin de carrera*, que opera el switch cuando gira. Este puede moverse en sentido horario y/o anti horario. Una terminación no fija en el extremo del eje, permite el paso de los objetos para activar el switch. (Figura 117 y 118).

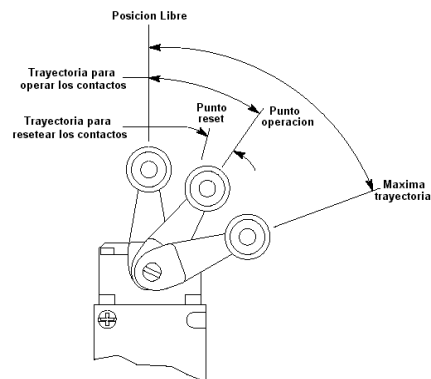


Figura 117

Fin de carrera rotatorio.

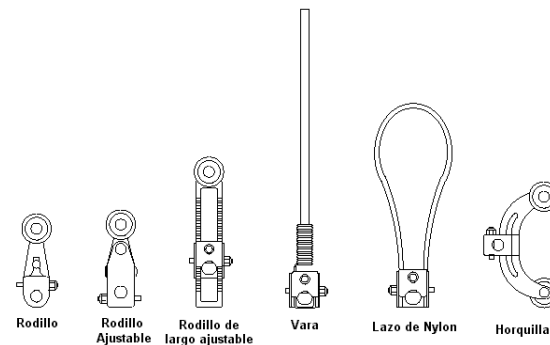


Figura 118

Terminaciones para fin de carrera rotatorio.

El actuador de empuje es una corta barra sobre la parte superior de un limit switch, y opera los contactos cuando es oprimido. Este usualmente dispone de un mecanismo de resorte para retornar a la posición original, para cuando desaparece la fuerza. Algunos actuadores de empuje no tienen sistema de resorte y se les debe aplicar una fuerza dirección opuesta para resetear los contactos. (Figura 119 y 120).

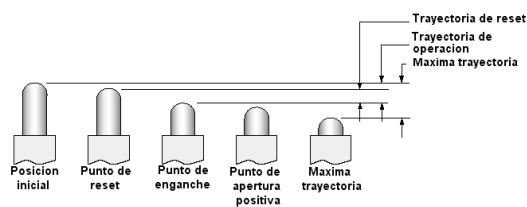


Figura 119

Fin de carrera de empuje.

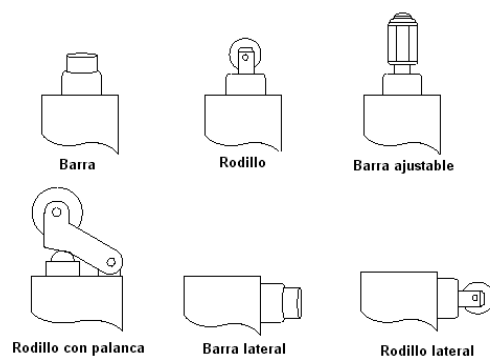


Figura 120

Terminaciones de fines de carrera de empuje.

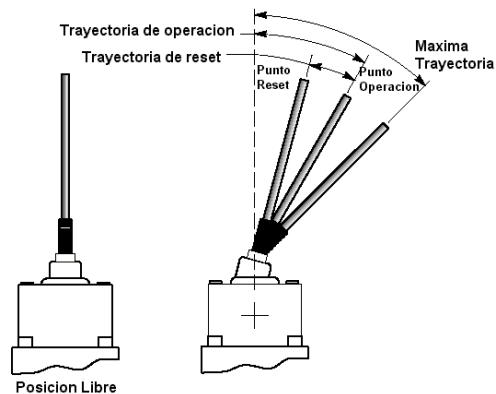


Figura 121

Fin de carrera de vara deflectora

El actuador de vara deflectora es una barra larga en la parte superior del *fin de carrera*, que opera los contactos cuando la barra se deflecta de la posición vertical. El material de la barra puede ser de plástico o de alambre flexible. Son capaces de operar en cualquier dirección y retornar a su posición original cuando la fuerza deflectora desaparece. (Figura 121)

Características y operación de los contactos

Sostenimiento v/s Momentáneo: Los contactos de un fin de carrera se cierran cuando una fuerza o torque predeterminado es aplicado al actuador. Cuando esa fuerza desaparece, un resorte y su fuerza retorna a la posición original (*Momentáneamente*) los contactos del switch. Los contactos de un switch son *Sostenidos* en una posición de actuación hasta que una fuerza o torque es aplicada en la dirección opuesta, en el fondo esta es una operación de enclavamiento del dispositivo.

Dos o Cuatro Circuitos: Un típico fin de carrera contiene dos o cuatro pares de contactos. Cada par de contactos es utilizado para abrir o cerrar un circuito.

Normal Abierto o Normal Cerrado: Normal abierto (NA o NO) o Normal Cerrado (NC), describe el estado de cada par de contactos cuando el switch está en una posición de descanso o desenergizado, es el estado natural del sensor.

Contactos de Acción Instantánea: En esta estructura de contactos, el movimiento del actuador ejerce una fuerza a un mecanismo de sobrecarga, el cual crea un cambio rápido en el estado de los contactos cuando el punto de disparo es alcanzado. De esta forma el movimiento de los contactos es independiente de la velocidad de operación

del actuador. El movimiento inverso del actuador causa la vuelta a un punto de reset y los contactos rápidamente vuelven a su posición original.

Características de Operación de los Contactos

Las especificaciones de fuerza y movimiento del actuador, requeridos para operar y resetear los contactos es llamado “Características típicas de operación”. Para muchos fines de carrera, las características típicas de operación son puestas en forma tabular. Esta tabla especifica la fuerza o el torque y la trayectoria del actuador necesario para operar los contactos y la trayectoria máxima permitida al actuador.

Algunos fines de carrera basados en el IEC, presentan las características típicas de operación como “arreglo de los diagramas de contacto”, (Figura 122 y 123).

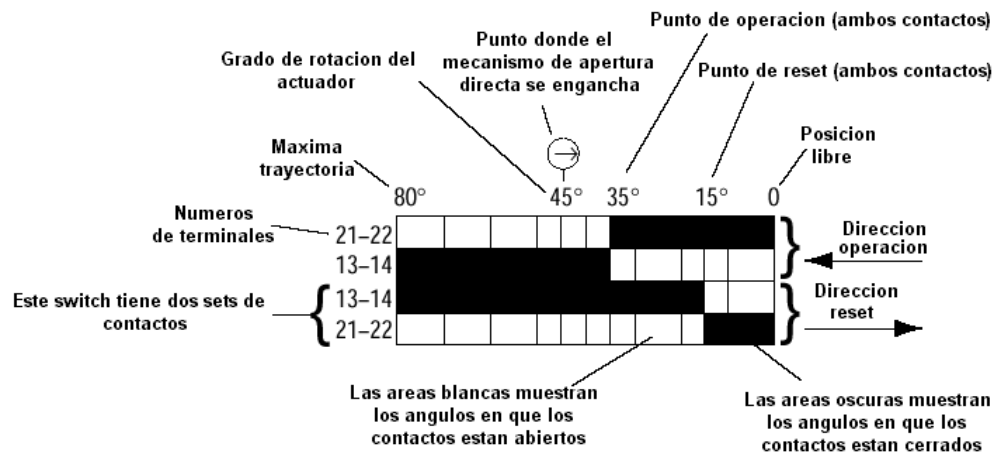


Figura 122

Diagrama de contactos de acción rápida

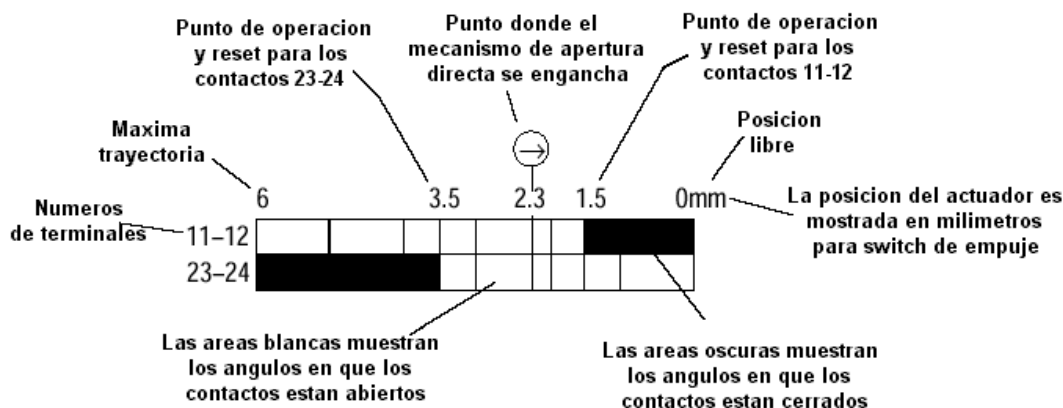


Figura 123

Diagrama de contactos de acción lenta

Fin de carrera, ventajas y desventajas

Ventajas Mecánicas:

- Fácil uso
- Operación Sencilla
- Durabilidad
- Buena impermeabilidad para operaciones seguras
- Alta resistencia en diferentes ambientes
- Alta repetitividad de operaciones
- Apertura positiva de contactos (algunos modelos)

Ventajas Eléctricas:

- Manejo de cargas de alta potencia comparada con otro tipo de sensores
- Inmunidad a las interferencias de ruido
- Inmunidad a las interferencias de radio frecuencia
- No presentan fuga de corriente
- Mínima caída de tensión
- Operación N.A. o N. C.

Desventajas:

- Corta vida útil de los contactos
- Partes mecánicas pueden quedar fuera de uso eventualmente
- No todas las aplicaciones pueden utilizar censado por contacto

Sensores inductivos

Los sensores inductivos están basados en los principios de campos electromagnéticos y circuitos osciladores de radios frecuencias que enfrentan una bobina, son elementos de estado sólido diseñados para detectar movimientos de objetos metálicos dentro de un campo electromagnético. Esta tecnología se caracteriza por tener ausencia de contacto con el objeto a sensar.

No tiene partes movibles, por lo que no está sometido a desgastes mecánicos.
Tiene un buen rendimiento en ambientes agresivos.
Detecta metales ferrosos y no ferrosos.

Un sensor inductivo funciona sobre el principio de oscilación en ausencia de corrientes parásitas o de Foucault. El sensor genera un campo electromagnético. Cuando un objeto metálico entra en el campo magnético, aparecen corrientes parásitas o de Foucault sobre la superficie de este. Las corrientes parásitas que se inducen toman la energía del campo magnético, lo que produce una reducción en la amplitud de la oscilación. Un circuito de disparo (trigger) detecta el cambio de amplitud de la oscilación y genera una señal de salida digital (On- Off). Cuando el objeto metálico se aleja, el sensor vuelve a su estado inicial.

Aspectos constructivos

Un sensor inductivo está compuesto por 4 componentes básicos. Figura 124

Una bobina y un núcleo de ferrita ensamblado: La bobina y el núcleo de ferrita ensamblado generan el campo magnético desde la energía eléctrica que provee el oscilador.

Oscilador

El oscilador supe la energía eléctrica para la bobina y la ferrita.

Circuito de Disparo (Detector)

El circuito de disparo detecta los cambios de amplitud de la oscilación. Los cambios ocurren cuando un metal entra o sale de la irradiación del campo electromagnético desde la cara frontal del sensor

Circuito de Salida

El circuito de salida es de estado sólido y provee la salida del sensor la cual puede ser tipo relé o transistorizada, según la necesidad.

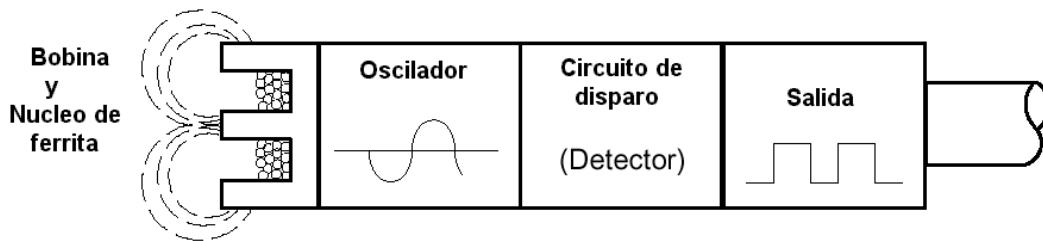


Figura 124

Componentes de sensores inductivos

Diferencias entre sensores blindados y no blindados

Los sensores pueden ser clasificados de acuerdo a si poseen o no blindaje.

La distancia de operación del sensor inductivo con blindaje está en función del diámetro de la bobina. Los sensores blindados son construidos con un anillo de blindaje alrededor del núcleo y la bobina. Este concentra el campo electromagnético solamente en la cara frontal del sensor. Los sensores con encapsulado metálico son blindados. Los sensores blindados pueden ser montados en superficies metálicas sin causar disparos falsos. Figura 125

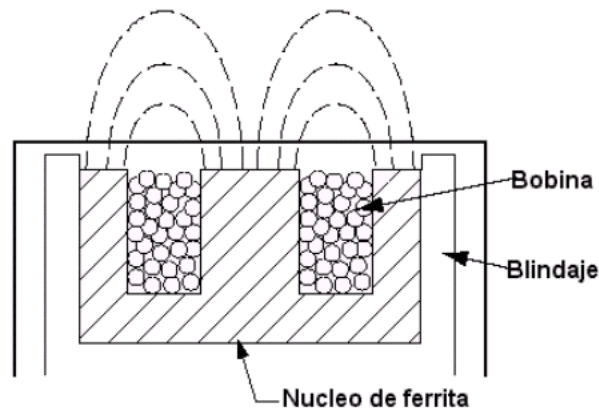


Figura 125

Sensor inductivo blindado

Los sensores sin blindaje, no poseen el anillo de blindaje alrededor de la bobina y el núcleo. El campo electromagnético NO se concentra solamente en la cara frontal del sensor inductivo. Esto hace que sean más sensitivos a metales que estén alrededor de ellos. De hecho poseen un 50% más de rango de detección que los sensores blindados. Sin embargo los sensores sin blindaje NO pueden ser montados en superficies metálicas. Para evitar falsos disparos se debe ubicar la cara frontal del sensor en una zona libre de metal. Ver la Figura 126.

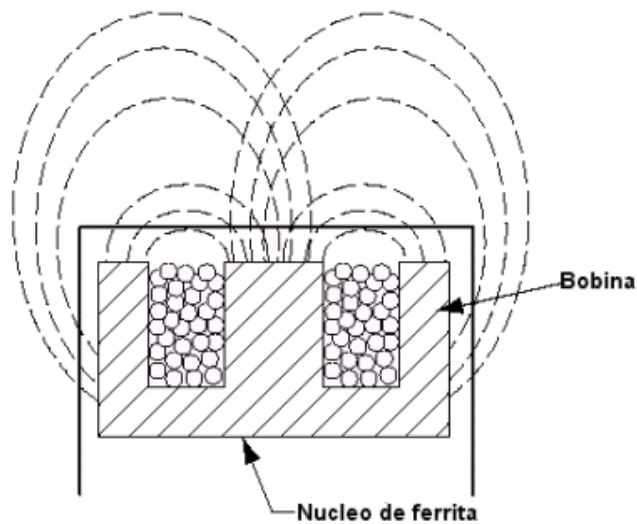


Figura 126

Sensor inductivo sin blindaje

Objetos en movimiento

Los objetos pueden acercarse de dos formas: de frente a la cara del sensor y lateral a la cara del sensor.

Cuando el objeto se desplaza en forma lateral a la cara del sensor, hay que considerar la frecuencia de conmutación del sensor o la velocidad de respuesta del sensor.

Cuando el objeto se desplaza en forma radial hay que considerar el efecto de histéresis o trayectoria diferencial. Ver Figura 127.

La diferencia entre el punto de operación y el punto de despeje es llamada histéresis o trayectoria diferencial. Se debe considerar el efecto de histéresis para efectos de ubicar al sensor. La histéresis es necesaria para ayudar a prevenir conmutaciones rápidas cuando el objeto y el sensor son sometidos a un golpe o vibraciones.

Las amplitudes de las vibraciones deben ser menores que la banda de histéresis.

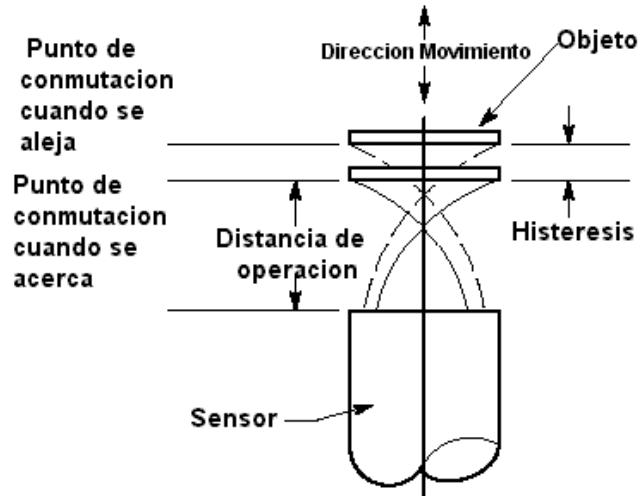


Figura 127

Histéresis en un sensor inductivo

Sensores inductivos; ventajas y desventajas

Ventajas:

- No les afecta la humedad.
- No les afecta el polvo o suciedad ambiental.
- No tiene partes mecánicas que se muevan
- No depende del color.
- Menor dependencia de la superficie que otras tecnologías de medición.
- No tiene zonas ciegas.
- Su MTBF (tiempo medio entre falla) es alta sobre 200.000 horas.
- Inmune a choques y vibración y se conectan directamente a sistemas PLC.

Desventajas:

- Solamente censa objetos metálicos.
- El rango de operación es pequeño comparado con otras tecnologías de sensado.
- Puede ser afectado por fuertes campos electromagnéticos.

Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos son una tecnología sin contacto que pueda detectar metales, no metales, sólidos y líquidos. Estos sensores son similares en tamaño y forma a los sensores inductivos, sin embargo, el sensor capacitivo utiliza para reaccionar las alteraciones en un campo electrostático. Estos sensores se usan para mediciones de tipos lineales o angulares.

Aquí, se usa el principio del condensador para detectar una medida, siendo una placa perteneciente al sensor (sonda) y la otra el objeto a medir, la cual está en movimiento, por lo tanto alterando el campo eléctrico.

Cuando se energiza el sensor, se genera un campo electrostático el cual reacciona con el objeto a sensor, el cual modifica el valor de la capacitancia. Cuando un objeto está fuera del campo electrostático, el oscilador está inactivo. Y cuando el objeto se aproxima se genera un acoplamiento capacitivo. Cuando la capacitancia alcanza un determinado valor, el oscilador es activado disparando la salida del circuito, conmutando la salida entre ON y OFF.

La detección de un objeto está determinada por el tamaño del objeto, constante dieléctrica y la distancia al sensor. La constante dieléctrica es una propiedad del material y es un valor de constante. Materiales con mayor valor de constante dieléctrica son fácilmente detectables, comparados con los de menor valor.

Aspectos constructivos

El sensor capacitivo se compone básicamente por 5 componentes, ver Figura 128.

Sonda

La sonda capacitiva presenta un campo electrostático, la cual genera el acoplamiento entre esta y el objeto que es afectado por el campo.

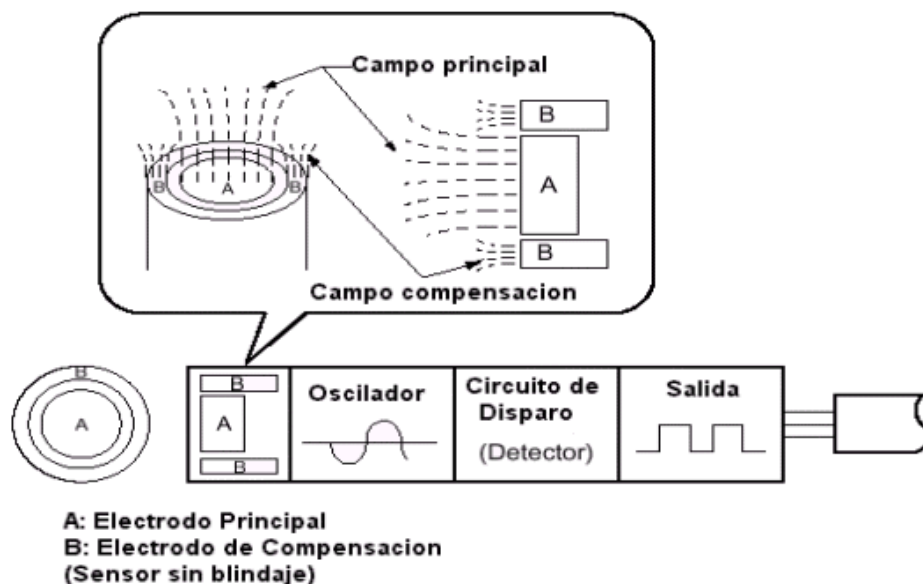


Figura 128

Partes de un sensor capacitivo

Oscilador

El oscilador supe la energía eléctrica para la sonda capacitiva, esta oscila a una frecuencia definida.

Circuito de Disparo

El circuito de disparo detecta los campos de amplitud de la oscilación. Los cambios se producen cuando el objeto entra o sale de campo electrostático irradiado desde el sensor.

Salida de Estado Sólido

Un cambio en el campo electrostático es detectado, generándose una señal eléctrica de salida, esta señal indica la presencia del objeto en el campo.

Potenciómetro de Ajuste

El sensor posee un potenciómetro el cual puede incrementar o decrementar la sensibilidad.

Construcción con blindaje y sin blindaje

Un sensor blindado, implica, que la sonda está rodeada de un anillo metálico, el cual concentra el campo electrostático. Los sensores blindados pueden ser montados en forma rasante en materiales, sin causar falsos disparos.

Los sensores blindados tienen su mejor aplicación en la detección de materiales de bajo nivel de constante dieléctrica, ver Figura 129

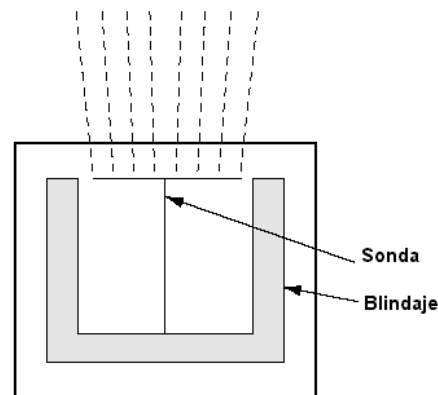


Figura 129

Sensor capacitivo blindado

Los sensores sin blindaje no tienen de anillo metálico, por lo que no tienen el campo electrostático tan concentrado. Varios modelos sin blindaje disponen de sondas compensadas las cuales proveen mayor estabilidad al sensor. La compensación es

para ignorar pequeñas neblinas, o pulverización de finas gotas de aceite o agua acumulada sobre el sensor, proveyendo mayor resistencia a la variación en la humedad ambiental.

Este tipo de sensores dispone de accesorios para sensar en estanques con líquido. Son ideales para sensar elementos de constantes dieléctricas altas, ver Figura 130.

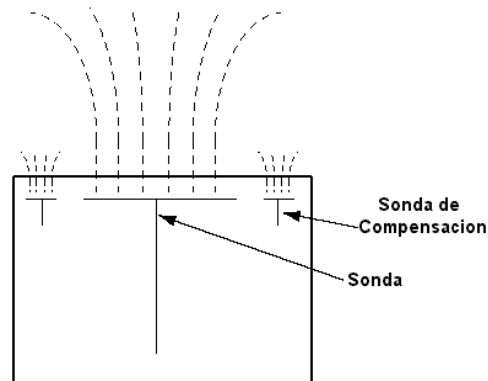


Figura 130

Sensor capacitivo sin blindaje

Ventajas y desventajas del sensor

Ventajas:

Detecta metales, no metales, líquidos y sólidos.

Puede detectar a través de ciertos materiales.

Construcción en estado sólido, sin desgaste de piezas.

Variadas configuraciones de montaje.

Desventajas:

Distancia corta de medición (3 a 25 mm), la cual varía ampliamente según el material.

Sensible a variables ambientales, por ejemplo la humedad.

No es selectivo al momento de medir.

Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos emiten un pulso de sonido, el cual es producido y reflejado por el objeto a medir y es recibido por el sensor. La detección genera una señal de salida que puede ser análoga o digital.

Los sensores ultrasónicos se basan en el principio donde la velocidad del sonido es relativamente constante. El tiempo de recorrido de una onda emitida y su retorno, es

proporcional a la distancia del objeto. Por lo tanto, la mejor aplicación de estos sensores está en la medición de distancias.

Los sensores ultrasónicos se usan para detectar objetos tales como metal, no-metal, claros y opacos, líquidos, sólidos y granulares (siempre y cuando tengan suficiente reflectividad acústica).

Otra ventaja de este tipo de capturador es que no le afecta la condensación, como es el caso de los sensores fotoeléctricos. La desventaja es que no puede medir materiales que absorben sonido tales como ropa, caucho, harina, espuma.

Aspectos constructivos

Los sensores ultrasónicos están compuestos por 4 partes, ver Figura 131.

Transductor / Receptor:

El transductor envía los pulsos de señales de audio desde la cara frontal del sensor y el receptor recibe el eco de la onda producido por la reflexión del objeto.

Comparador y Detector:

Cuando el sensor recibe el eco un comparador calcula la distancia en función del tiempo de envío y recepción de la onda que viaja a la velocidad del sonido.

Salida Estado Sólido:

La salida del circuito en estado sólido genera una señal eléctrica que puede ser interpretada por un elemento interfaz, como por ejemplo, un PCL. La señal del sensor en términos digitales, indica la presencia o ausencia de un objeto. La señal analógica indica la distancia modulada entre el sensor y el objeto.

Frecuencia de Medida:

En general, un sensor industrial opera entre los 25 KHZ y los 500 KHZ. La frecuencia de sensado es proporcional a la distancia. Una onda de 50 KHZ trabaja a 10 mts. o más, una de 200 KHZ está limitada a censar rangos de 1 mts.



Figura 131

Partes del sensor ultrasónico

Rango de medida y radio de acción

El rango de medida, es el área entre el mínimo y el máximo límite de sensado. Los sensores ultrasónicos tienen un pequeño arco que no es utilizable que está ubicada frente a la cara frontal del sensor. Esta zona se llama ZONA CIEGA. Saliendo de la zona ciega, se establece la distancia mínima, así, el objeto puede ser medido.

El tamaño y el tipo de material del objeto a sensar determinan la máxima distancia a la cual el sensor es capaz de operar. Objetos acústicos reflectivos son fáciles de detectar y determinan la mayor distancia de operación.

Cuando un transductor vibra, este emite un pulso ultrasónico que se propaga como cono. Este cono puede ser ajustado vía potenciómetro para ampliar o extender el rango de medida.

Algunos modelos análogos ofrecen una supresión de fondo, lo que permite al sensor ignorar todos los objetos más allá de una determinada distancia. Esta distancia es ajustable por medio de un potenciómetro.

Los objetos no detectados pueden estar cubiertos con algún material absorbente de sonido o porque la posición del objeto refleja la onda (eco) en otra dirección.

El espacio entre los sensores está determinado por el ángulo de apertura. El sensor debe estar espaciado para que no se interfieran entre sí. Esta interferencia es llamada CRUCE DE SEÑALES. Ver Figura 132.

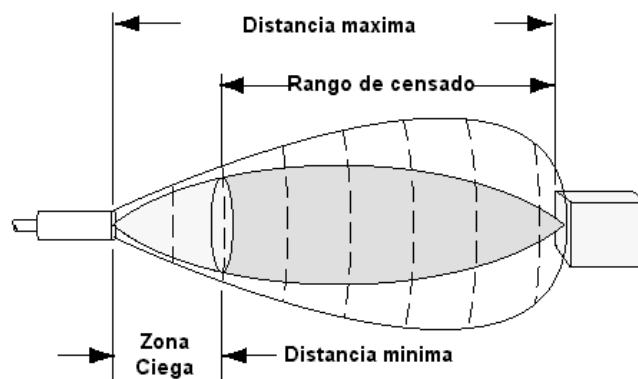


Figura 132

Distancia de operación

Ventajas y desventajas

Ventajas:

Puede medir objetos a grandes distancias, 15 mts.

La respuesta del sensor ultrasónico es independiente del color de la superficie o la reflectividad óptica.

Sensor ultrasónico con salida digital (ON - OFF), tiene buena precisión y permiten medir objetos que estén de fondo.

La respuesta de un sensor ultrasónico con salida analógica es lineal a la distancia del sensor al objeto.

Desventajas:

El objeto a medir debe ser duro, liso, perpendicular al sensor, para recibir el eco.

Si bien el sensor ultrasónico tiene supresores de ruido puede generar una falsa respuesta por el silbido que generan las válvulas.

Lenta frecuencia respuesta de salida, 110 HZ.

Tienen una distancia mínima de medida.

Respuesta sensible a condiciones ambientales (temperatura, presión, humedad, turbulencia de aire, partículas en suspensión).

Materiales de baja densidad, son difíciles de sensar.

Superficies lisas reflejan la onda mejor que una superficie rugosa, sin embargo, el ángulo de una superficie lisa es más crítico que el de una superficie rugosa.

Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos operan por medio de la medición del cambio de luz incidente en un foto detector. El cambio de luz incidente indica que el sensor ha detectado la presencia o ausencia de un objeto, su tamaño, su reflectividad, opacidad, translucidez o color.

Los sensores fotoeléctricos proveen detección precisa de los objetos sin contacto directo. Sin embargo, existe una gran variedad de modelos

Aspectos constructivos

Una fuente de luz envía está hacia un objeto. La luz recibida del objeto determina la presencia o ausencia de este. La detección de la luz genera una señal de salida, esta señal puede ser digital o analógica. Los componentes básicos se muestran en la Figura 133 y son:

Fuente de Luz

Los sensores fotoeléctricos utilizan un diodo emisor de luz (LED) como fuente de luz. Un led es un semiconductor que genera luz cuando circula una corriente. Los led son fabricados para trabajar con longitudes de onda específicas y color, por ejemplo, infrarrojo, rojo visible, verde y azul. Los colores de luz emitida por los led ofrecen

variadas características, tales como: un led infrarrojo genera más luz y menos calor, lo que lo hace ideal para medir distancias largas. Los led de otros colores son utilizados para detectar colores o contrastes específicos.

Otros tipos de fuente luminosa son los diodos láser, que presentan buen rendimiento pero son sensibles a partículas circundantes en el aire y requiere seguir procedimientos de seguridad.

Detector de Luz

Un detector es un componente utilizado para detectar la luz proveniente de la fuente de luz. El detector es usualmente un fotodiodo o fototransistor. La respuesta del detector de luz determina su sensibilidad a diferentes longitudes de onda. La fuente y el detector de luz están calibrados para operar a la misma longitud de onda. El fotodetector puede operar con luz directa del emisor, o por luz reflejada en un objeto.

Circuito Lógico

El circuito lógico provee la modulación para el led, amplificando la señal desde el detector y determinando la activación de la salida.

Dispositivo de Salida

Una vez que se detecta el cambio en la cantidad de luz, se activa o desactiva el switch de salida. Existen diferentes tipos de salida digital y analógica.

Circuitos Básicos

Los sensores fotoeléctricos pueden ser compactos o modulares. Los compactos incorporan la fuente y el receptor de luz en un solo modelo. Contrariamente, los modulares tienen separados ambas partes. El principio de operación es si existe continuidad de la luz, el detector activa la salida. Si el detector no recibe luz, este mantiene sin activar la salida. Los modelos compactos disponen de circuitos que sincronizan el emisor y el receptor, a fin de evitar falsos disparos.

Lentes

Los led y los fotodetectores, emiten y reciben luz en una amplia área. Los lentes son usados para estrechar el haz de luz, concentrándolo para obtener una mayor distancia de operación (Figura 134).

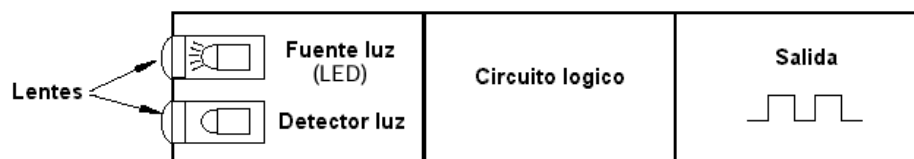


Figura 133

Partes sensor fotoeléctrico

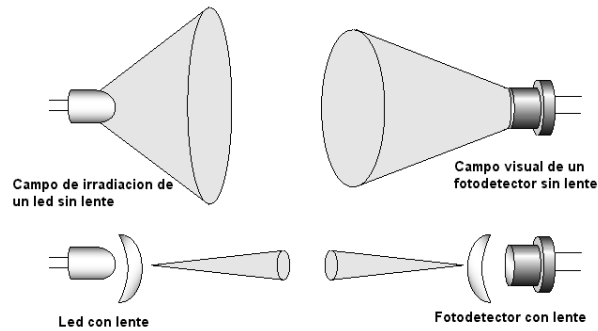


Figura 134

Efectos de los lentes

Distancia Mínima:

Varios modelos de sensores, tales como los reflectivos y difusos tienen una área ciega y el elemento reflectivo debe ser ubicado a una distancia mayor a esta.

Histéresis:

La histéresis en un sensor fotoeléctrico es la diferencia del objeto que puede ser detectado y la distancia cuando es desplazado en dirección opuesta al sensor. Altos porcentajes de histéresis son utilizados para detectar objetos opacos y bajos porcentajes para objetos transparentes o de bajo contraste (Figura 135).

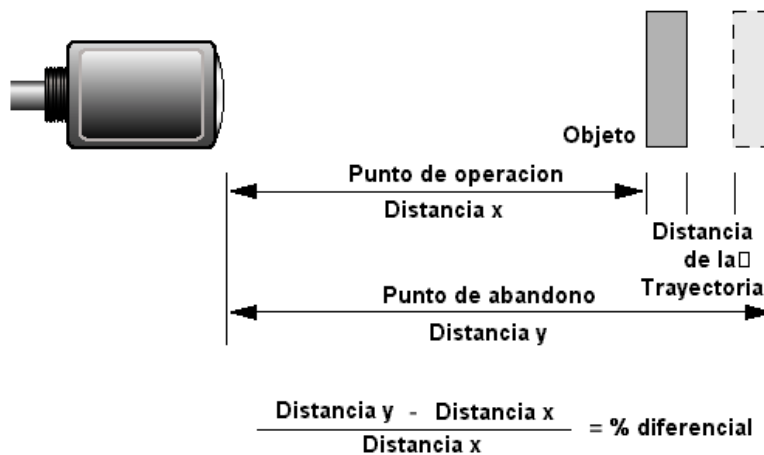


Figura 135

Histéresis

Velocidad de Respuesta:

La velocidad de respuesta varía de acuerdo al modelo, siendo los valores típicos de 30us a 30ms. La velocidad de respuesta debe ser considerada con relación a la velocidad del objeto

Modos de medida:

Existen tres modos básicos de medida y son:

Retroreflectivo

Difuso

Transmisión directa

Dentro de cada modo existen variantes, las que presentan ventajas y desventajas según su aplicación.

Modo Retroreflectivo (Figura 136):

Este tipo de sensor corresponde a un modelo compacto, emisor y receptor unidos. La luz emitida es reflejada en un material específico y proyectada al receptor.

Modo Difuso (Figura 137):

El sensor es de tipo compacto, y la luz emitida es reflejada en el mismo objeto a detectar, hacia el receptor de luz. Por lo tanto no utiliza un material de reflexión específico.

Modo Directo (Figura 138):

Como su nombre lo indica, el emisor de luz apunta directamente al receptor de luz.

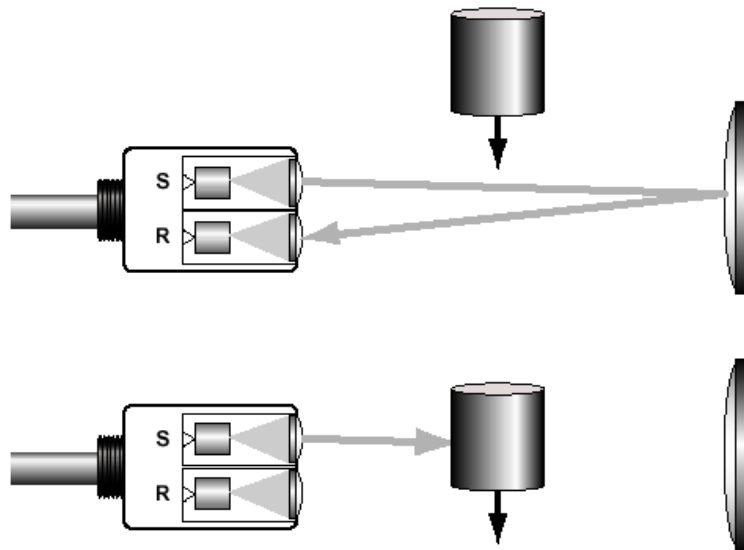


Figura 136

Modo Reflectivo

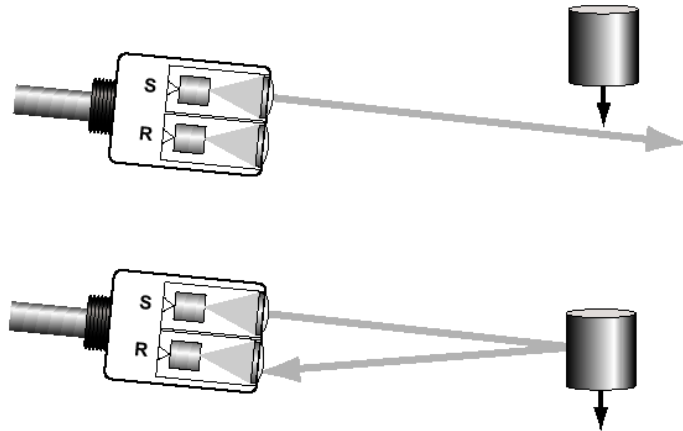


Figura 137

Modo Difuso

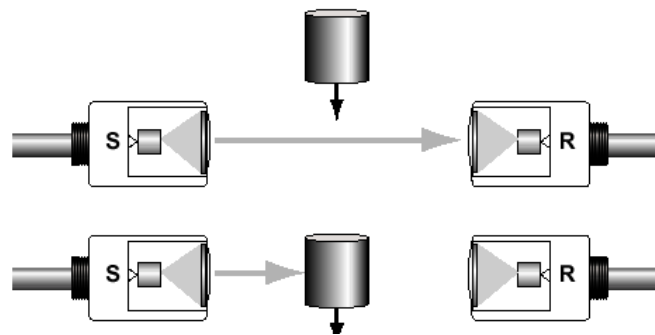


Figura 138

Modo Directo

5.2 Sensores analógicos

- Medidores de presión

Definición del concepto de presión: La presión es una variable dinámica definida como "fuerza por unidad de área". Esta "fuerza" provoca siempre una deflexión, distorsión, o algún cambio en un volumen o en una dimensión, sobre el elemento en que se aplica, que dependerá de cuán grande o pequeña sea la fuerza aplicada. Este

cambio, cuando se produce en un elemento sensor, sirve para proporcionar la base de medición y movimiento de control en los instrumentos de presión.

Las unidades de presión más comunes son la "libra por pulgada cuadrada" ("Pound per Square Inch" o [PSI]), pulgadas o milímetros de agua ("H₂O" o [mmH₂O]) sobre una columna de un manómetro ("Water Column" o [WC]) o pulgadas o milímetros de mercurio en un manómetro ("Hg" o [mmHg]), atmósfera y el [Kg/cm²]. La unidad métrica normalizada de presión en el sistema internacional (SI) es el Pascal ([Pa]) aunque, por su bajo valor, se usa más frecuentemente el [Kpa] (Kilopascal). En la Tabla 1.1 se muestran las equivalencias entre estas unidades.

Unidades de presión.

	psi	"H ₂ O	"Hg	Atmósfera	Kg/cm ²	cmH ₂ O	mmHg	bar	Pa
psi	1	27.68	2.036	0.0680	0.0703	70.31	51.72	0.0689	6894.76
"H ₂ O	0.0361	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.540	1.868	0.0024	249
"Hg	0.4912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.53	25.4	0.0338	3386.39
Atmósfera	14.7	406.79	29.92	1	1.033	1033	760	1.0132	1.0133x10 ⁵
Kg/cm ²	14.22	393.7	28.96	0.9678	1	1000	735.6	0.98	98066
cmH ₂ O	0.0142	0.3937	0.0289	0.00096	0.0010	1	0.7355	0.0009	98.06
mmHg	0.0193	0.5353	0.0393	0.0013	0.0013	1.359	1	0.00133	133.322
bar	14.5	401	29.53	0.987	1.02	1020	750	1	10 ⁵
Pa	0.00014	0.0040	0.00029	0.987x10 ⁻⁵	0.102x10 ⁻⁴	0.01	0.0075	10 ⁻⁵	1

Tabla 22

Aspectos generales

La presión es una de las variables de procesos industriales más importantes, y debe medirse con respecto a una presión de referencia dada. Una clasificación primaria de los instrumentos de presión se basa en el tipo de referencia de presión utilizada. Cuando se usa "la presión que rodea al instrumento", se miden presiones "manométricas", mientras que si la referencia se obtiene de un recinto evacuado a un vacío "casi perfecto", las presiones medidas son "absolutas". La figura 139 no se muestra las clases de presión que miden los instrumentos más comunes de la industria.

La presión absoluta es la presión de cualquier punto, medida con relación al cero absoluto de presión.

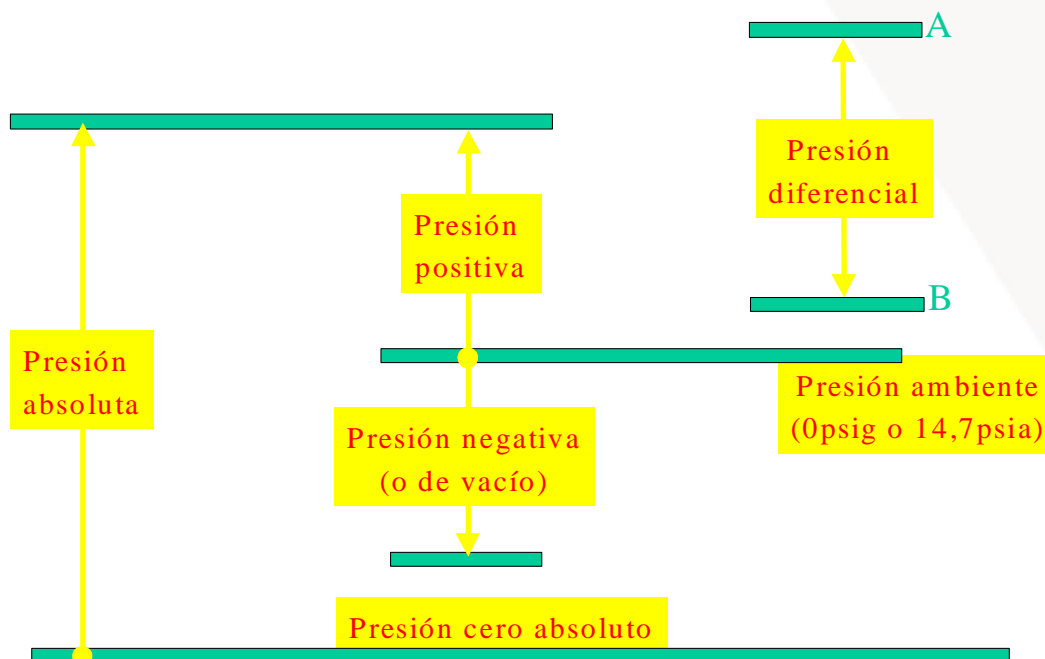


Figura 139

Clases de Presión

Por otro lado, la **Presión Atmosférica** es la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, medida a través de un barómetro. Cuando se mide al nivel del mar, esta presión se aproxima a 760 [mmHg] absolutos o 14,7 [psia] (libras por pulgada cuadrada absolutas). Este valor es el que define lo que se conoce como Presión Atmosférica Estándar.

Otro concepto es el de **Presión Relativa**, que es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica del lugar donde se efectúa la medición. Puede notarse que si varía la presión atmosférica de un lugar, también lo hará la presión relativa (estas variaciones son despreciables cuando se miden presiones muy altas).

Los sensores de **Presión Diferencial** carecen de presión de referencia, ya que su función es hacer la comparación de presiones que pueda existir entre dos puntos de interés. Sólo los manómetros de vacío del tipo ionización o térmicos no basan su indicación en la comparación entre la presión medida y la existente en un recinto interior al instrumento, con presión de referencia.

Finalmente, la **Presión de Vacío** es la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta de un punto cuya presión es inferior a la atmosférica. En general, esta presión se afecta considerablemente con cambios en la presión atmosférica.

El campo de aplicación de los medidores de presión es muy amplio, y cubre valores desde presiones de ultra alto vacío a presiones positivas superiores a los 10000 [psi].

Consideraciones sobre la presión de referencia

Es conveniente aclarar que las presiones de referencia pueden ser motivo de error en las mediciones, bajo ciertas condiciones particulares. Por ejemplo, los sensores de presión absoluta no evacúan completamente el recinto que se fija como "cero absoluto" de referencia. Esto requiere decir que en lugar de operar con un vacío de cero absoluto, se evacúan sólo hasta unas milésimas de "Hg. En consecuencia, se considera como "cero" a un valor que - en estricto rigor - no lo es. Esto hace que no se adecuen bien para medir valores de presión de alto vacío. Adicionalmente, con el tiempo suele ir ingresando aire atmosférico al recinto de referencia, lo que va causando una pérdida gradual del vacío de referencia.

Otra situación de naturaleza distinta pero de efectos similares, resulta cuando la presión barométrica es la que se utiliza como referencia. Esto se debe a que la presión barométrica puede variar alrededor de 1" Hg (1 pulgada de mercurio). Así, podría suceder que la presión del lugar que se quiera medir no cambie pero si lo haga la indicación del instrumento debido a la variación de su presión de referencia. Si bien es cierto que el efecto de esta variación podría ser insignificante cuando se miden presiones manométricas muy altas, no sería así si el instrumento se usa como medidor "compuesto", para medir en un rango de presión que comprenda presiones que están por debajo y por encima de la presión atmosférica.

Elementos primarios para la medición de presión

La componente más importante de cualquier instrumento utilizado para medir y/o controlar presión es el elemento primario de detección (de presión). Este elemento, por lo general, se combina con un resorte de calibración que se opone al movimiento de dicho elemento. En conjunto, determinan el rango de presiones medidas, así como la sensibilidad y valor absoluto de la medición.

Las características particulares del elemento primario de presión de un instrumento dado, determinan la robustez, el tiempo de vida útil, el tamaño y el costo del instrumento. Por otra parte, y dependiendo de la naturaleza de este elemento, los instrumentos medidores de presión se clasifican en mecánicos, neumáticos y electromecánicos y/o electrónicos.

Elementos primarios de naturaleza mecánica

Pueden ser de acción directa, en los que la medida resulta de una comparación entre la presión a medir y la altura de una columna de líquido de densidad y altura conocidas (manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, etc.). Por lo general, este tipo de instrumentos no se aplica en el ámbito industrial, salvo en caso de ser utilizados como elementos patrones o de calibración.

También pueden ser elementos mecánicos elásticos, que tienen la propiedad de deformarse por la presión interna del fluido que contienen. A continuación, se indican algunos de los elementos primarios elásticos más utilizados en la medición de presión.

Tubo de Bourdon

Es un tubo de sección elíptica dispuesto en forma de anillo, según un arco de circunferencia de 250° , y cerrado en uno de sus extremos, ver Figura 140.

Cuando aumenta la presión del fluido interno, aplicada a través de su extremo abierto, el tubo tiende a enderezarse. Este movimiento se utiliza como un indicador directo de presión, accionando un mecanismo que convierte dicho movimiento en el de una aguja indicadora.

El rango de presión de este tipo de instrumentos es bastante amplio, encontrándose desde 0 a 15 [psi] hasta 0 a 20000 [psi].

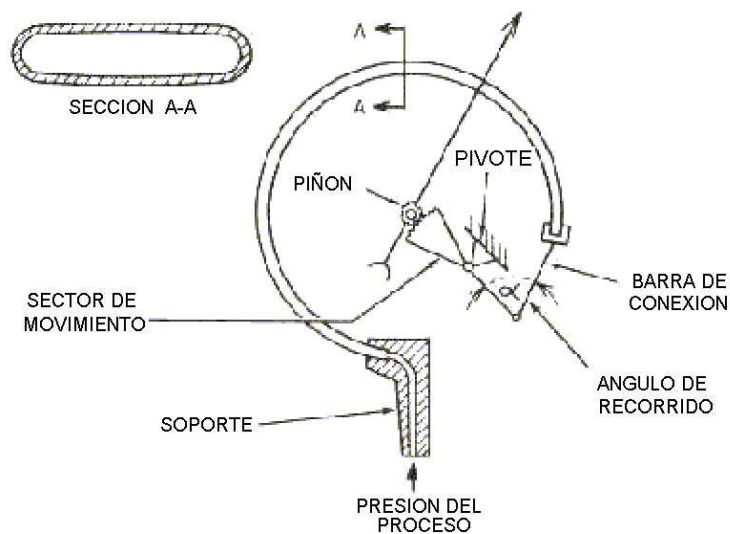


Figura 140

Esquema de un elemento primario de presión tipo diafragma

Diafragmas

Son mecanismos de deflexión, planos o corrugados, que se instalan solidarios a un plato de accionamiento, tal como se muestra en la Dibujo 1.3. El plato tiene adosado un vástago, mediante el cual se transfiere el movimiento mecánico causado por la acción de la presión, al dispositivo amplificador de señal.

La Figura 141a se muestra el diafragma en estado de reposo (sin presión). Cuando se aplica presión por el extremo inferior (La Figura 141b), el diafragma con el plato se deflactan, oponiéndose a la acción de un resorte calibrado, hasta que se equilibran las fuerzas ejercidas por ambos elementos. Según el resorte y diafragma utilizado se establece el rango y sensibilidad del instrumento.

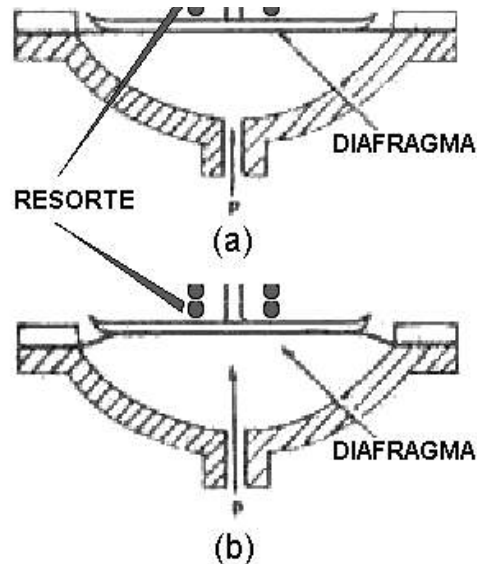


Figura 141

**Esquema de un elemento primario de presión tipo diafragma;
(a) sin presión; (b) con presión**

Los instrumentos basados en diafragmas pueden sensor presiones entre 30" Hg de vacío hasta 6000 [psi] de presión manométrica. Se consiguen medir bajas presiones debido a la gran cantidad de área efectiva que presentan, permitiendo generar grandes fuerzas a costos relativamente bajos.

Los diafragmas de teflón combinan su alta resistencia a fluidos corrosivos con su buena sensibilidad, debido a su capacidad de deflexión con bajos cambios de presión.

Los resortes de calibración pueden intercambiarse para poder variar un tanto los rangos de medición como la sensibilidad del instrumento. El resorte permanece sin carga, excepto para mediciones de vacío, que operan en forma inversa.

Fuelles

Un fuelle metálico es un elemento cilíndrico (generalmente cerrado en uno de sus extremos) de paredes corrugadas, que se expanden o contraen cuando están sujetas a presión. Estos dispositivos se usan comúnmente para medir presiones de vacío (30" Hg vacío) hasta presiones positivas sobre 500 [psi].

El material de los fuelles puede ser latón, bronce fosforoso o acero inoxidable, dependiendo del rango de presión deseado, la sensibilidad, la resistencia a la corrosión y el costo final del equipo.

Debido a que la vida de los fuelles se incrementa cuando el desplazamiento axial se mantiene restringido al mínimo posible, se emplean en conjunto con un resorte de carga que se oponga al movimiento del fuelle, tal como se muestra en la Figura 142. Cambiando este resorte, cambia la sensibilidad y el rango del control, del mismo modo que sucede con el caso de los diafragmas.

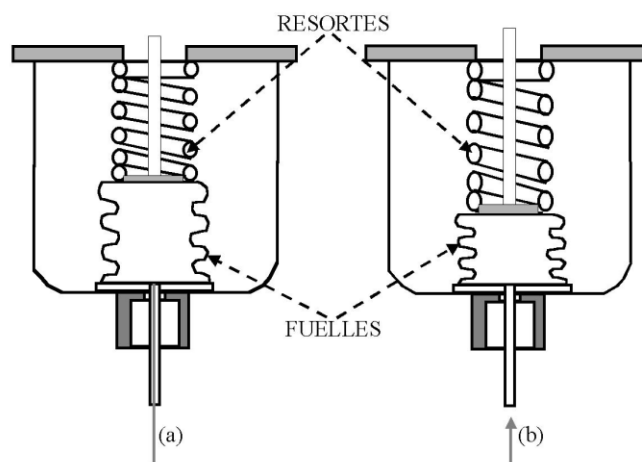


Figura 142

**Esquema de un elemento primario de presión tipo fuelle:
(a) Con alta presión; (b) con baja presión.**

Pistón

Un instrumento que utiliza un pistón como elemento primario se caracteriza por operar con altas presiones (P/E: presiones superiores a 10000psi). Un esquema de este tipo de elementos es el que se muestra en la Figura 143.

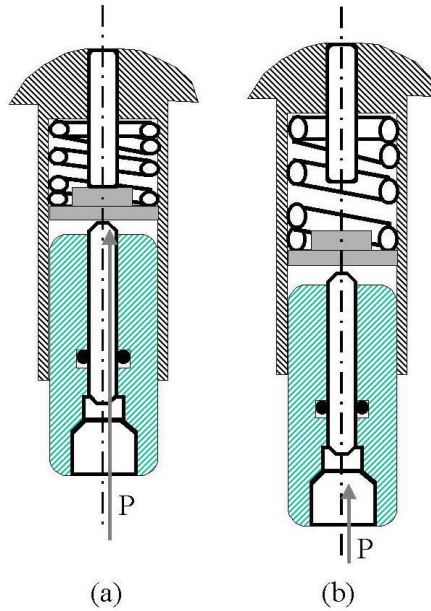


Figura 143

**Elemento primario de presión tipo pistón.
(a) Con alta presión; (b) con baja presión**

Estos dispositivos se fabrican generalmente con acero inoxidable suavizado, y el vástago del pistón se mueve oponiéndose a un resorte de carga para producir un movimiento medible. Se emplea un O-ring para sellar el encapsulado del pistón del medio de medición.

Mientras más alta sea la presión aplicada al pistón, más grande debe ser la estructura del sistema de medición, y la sensibilidad del instrumento disminuye a medida que la presión se incrementa. El rango de sobreprotección del sensor a pistón queda determinado por el resorte de carga seleccionado, cuyo efecto se opone al movimiento del pistón, determinando el rango de medición (al igual que sucede con los instrumentos basados en sensores de diafragma o de fuelle

Elementos Primarios De Naturaleza Neumática O Electromecánica

Se caracterizan por usar un elemento primario mecánico solidario a un transductor neumático o eléctrico. El elemento mecánico se encarga de producir una fuerza, o desplazamiento, relacionado directamente con la presión aplicada, mientras que el circuito neumático o eléctrico produce una señal relacionada con la variable medida, tal como se muestra en la Figura 144, en el cual el principio de funcionamiento está basado en el Equilibrio de Momentos.

El otro principio de balance que se tiene en los medidores de presión es el Equilibrio de Fuerzas. Este es el que se aplica en el transmisor neumático de presión diferencial de la Figura 145.

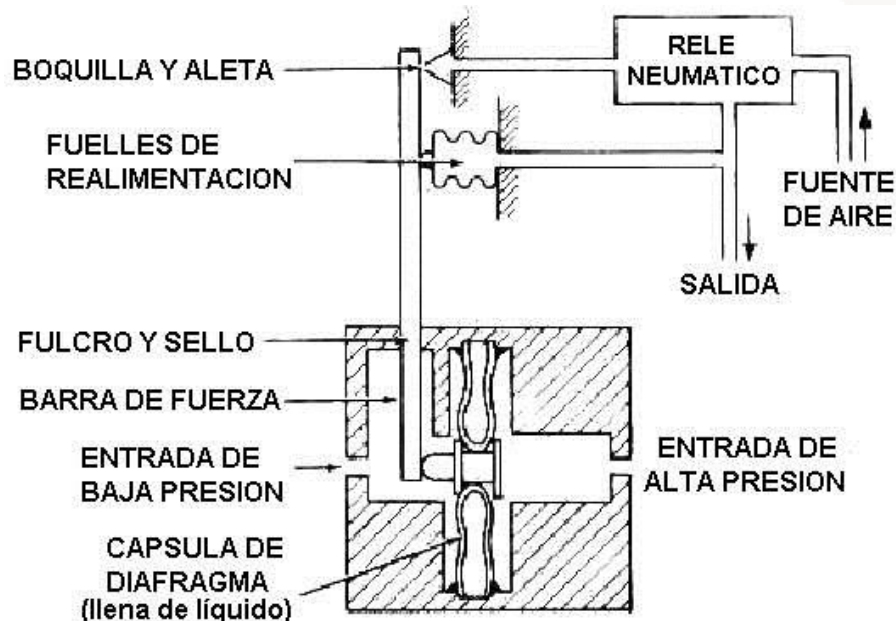


Figura 145

Transmisor neumático de presión diferencial

Este sistema se basa en el equilibrio de fuerzas, ejercido sobre una barra dispuesta para tales efectos. Un conjunto de fulcro y sello actúa como elemento de sujeción de la barra, impidiendo la fuga de presión.

Como elemento detector de presión, tiene una cápsula de diafragma sellada, llena de líquido, para reducir su deformación por compresión y facilitar su desplazamiento por fuerzas de flexión. Esta cápsula tiene un émbolo solidario, el que se encarga de aplicar la fuerza ejercida por la diferencia de presión a la barra de fuerza. Si la presión aumenta o disminuye, en la misma proporción, en ambos costados de entrada de presión, no se detectará ningún cambio de presión y, por ende, no variará la fuerza aplicada a la barra.

El costado de baja presión corresponde a aquel en donde ingresa la barra a la cápsula de presión, ya que su acción tiene el mismo sentido que el movimiento natural de la barra, mientras que el costado de alta presión es aquel que trata de imponer un movimiento en sentido contrario al del movimiento natural de la barra.

El movimiento de las partes mecánicas en un sistema de equilibrio de fuerzas es mucho menor que el que se produce en un sistema de equilibrio de movimiento. Por lo tanto, estos últimos son los que mejor se adecuan para tener indicación directa, como

se muestra en la Figura 144. En general, los instrumentos que actúan por equilibrio de fuerza tienen adosado un sistema transductor neumático o eléctrico, para transmitir la señal medida a distancia. El sistema neumático adosado al instrumento de la Figura 145 tiene un principio de funcionamiento similar al explicado para el sistema de la Figura 144.

En la Figura 146.a) se muestra la forma en que pueden estar dispuestas cuatro galgas extensiométricas (o "strain-gauges"), solidarias a una celda con diafragma, que puede usarse para medir presión relativa (manométrica o de vacío). Estos elementos tienen la propiedad de variar su resistencia cuando se los somete a una deformación (en este caso, causada por la deflexión del diafragma). Conectadas a un circuito puente (como se muestra en la Figura 146.b), la medida de presión se puede convertir en una señal eléctrica proporcional.

En la Figura 146 se muestra una posible disposición de un transductor electrónico.

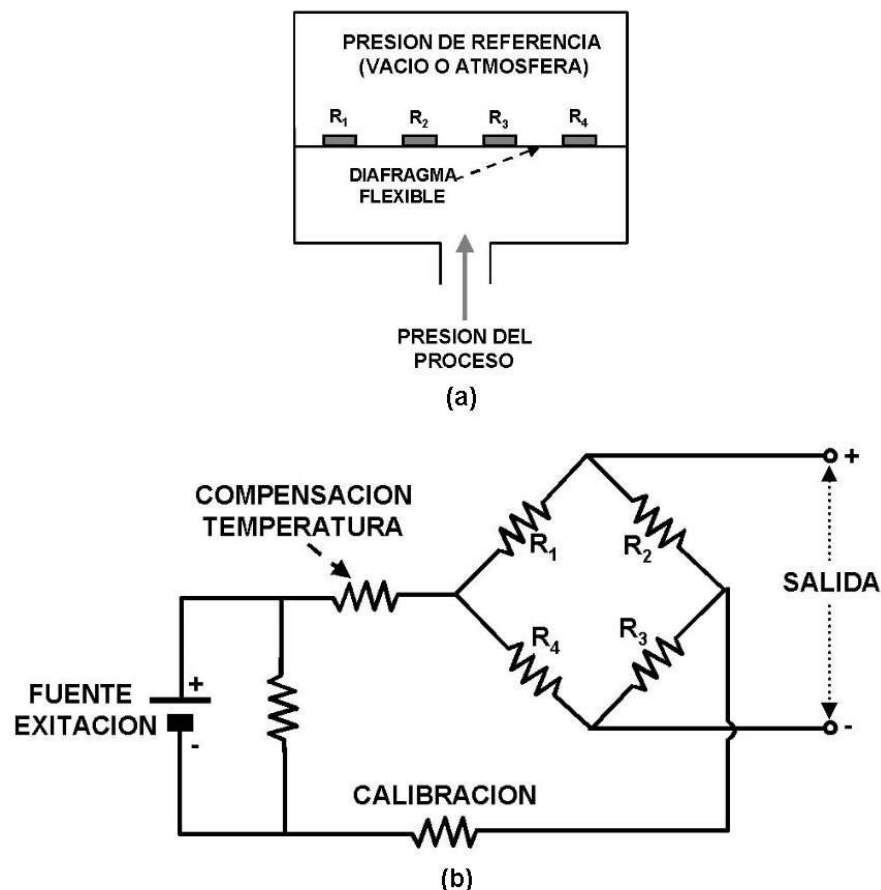


Figura 146

Transductor de presión electrónico.

a) Celda con diafragma y "strainge-gauge"; b) Circuito puente.

Los transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas pueden ser de carácter resistivo, magnético, capacitivo, extenso métrico y piezoeléctrico.

Transductor De Presión

Desde el punto de vista del tipo de medición de presión requerida, se pueden clasificar en (usando unidades inglesas):

Transductores de presión manométrica (PSIG): miden la presión en libras por pulgadas cuadrada ("Pounds per Square Inch - [PSI]) con respecto a la presión atmosférica ("Gauge") del lugar de la medición. Por ejemplo: 14,7 [PSI] al nivel del mar; (averiguar presión atmosférica) PSI en Santiago. Este es el tipo más común de medida de presión.

Transductores de presión manométrica encapsulada o sellada (PSIS): miden la presión relativa a una atmósfera al nivel del mar (14,7 [PSI]) en lugar de la presión atmosférica local.

Para la mayoría de las aplicaciones, los transductores manométricos comunes y sellados son intercambiables entre sí.

Transductores de presión absoluta (PSIA): miden la presión en libras por pulgada cuadrada con relación a una presión de vacío perfecto.

1 PSIA = 14,7 [PSI] (al nivel del mar)

Transductores de presión diferencial (PSID): miden una presión que representa la diferencia entre dos presiones de entrada.

Las señales de salida de cualquier transductor se pueden convertir en las unidades de ingeniería de mayor manejo por el usuario, con un simple escalamiento de la salida del transductor para el instrumento. Por ejemplo, un transductor de presión de 10 [PSI] puede medir 20,4"Hg o 276,8"H₂O.

Existen tres tipos principales de transductores de presión, desde el punto de vista de las señales electrónicas que proveen. Pueden tener: salida en milivolts, salida acondicionada de voltaje y salida con lazo de corriente.

En el primer caso, los transductores tienen la ventaja de ser pequeños y de bajo costo, debido a que las funciones de acondicionamiento de señal se hacen en forma remota. Una ventaja adicional de estos transductores es que son directamente compatibles con la mayoría de los instrumentos relacionados con "strain-gauges" y celdas de carga.

Los segundos incluyen amplificadores y acondicionadores de señal dentro del transductor. Estos sistemas se usan comúnmente en aplicaciones de laboratorio y en ambientes eléctricamente ruidosos. Los sistemas con acondicionamiento de voltaje son compatibles con la mayor parte de los controladores de proceso y de los sistemas de interfaz a computador.

Por último, los lazos de corriente se adecuan de manera especial a instalaciones que requieren grandes distancias de transmisión de señal, así como en sistemas que requieren alta inmunidad a los ruidos ambientales. Este efecto se consigue a través de un transmisor de corriente de 4 a 20 [mA] incorporado al transductor. Esta configuración permite transmitir señales a distancias superiores a los 300 [m] (1000 [pies]) sin degradación apreciable de la señal. Este sistema se adecua para usos de aplicación industrial y sistemas de adquisición de datos.

Factores a tener en cuenta en la selección de un transductor de presión

Hay tres consideraciones principales, que deben ser observadas para seleccionar adecuadamente un transductor de presión.

Requerimientos de presión del sistema

Las presiones normales de trabajo deben estar por debajo del máximo rango del transductor. Los valores de presión de prueba y de estallido deben ser suficientemente altos para asegurar un margen adecuado de seguridad ante eventuales sobrepresiones del sistema. Como recomendación, se sugiere seleccionar un transductor con un rango del 125% de la presión normal de trabajo.

Temperatura Del Proceso

El rango de temperatura de trabajo debe estar comprendido dentro del rango de compensación de temperatura del transductor, y la máxima temperatura del sistema no debe exceder la máxima temperatura de operación indicada para el transductor.

Compatibilidad del transductor con el fluido de trabajo

La compatibilidad con los medios o fluidos de trabajo es un factor muy importante al evaluar un transductor de presión, debiéndose asegurar que los materiales con que está construido el transductor sean compatibles con el medio de trabajo.

Los transductores de diafragma de acero inoxidable se adecuan muy bien para altas presiones, a la vez que proporciona una resistencia a la corrosión superior a otros materiales y una amplia compatibilidad ante diferentes medios. Por su parte, los diafragmas de silicona manifiestan mayores precisiones, pero su aplicación se limita normalmente a medios de trabajo con bajas presiones y gases secos.

Selección de un instrumento para operar con un transductor disponible

Hay tres factores determinantes que se deben considerar para hacer corresponder un instrumento con un transductor disponible, las que se indican a continuación.

Salida del transductor

Mientras se selecciona un instrumento, debe tenerse en cuenta que su rango de entrada sea compatible con la señal de salida del transductor. La salida del transductor puede estar dada en milivolts (mV), volts (V) o miliamperes (mA). La observación de esta característica permite reducir el rango de selección de los dispositivos posibles.

Unidades de ingeniería que se desea utilizar

La capacidad de un instrumento para mostrar valores de medición en unidades de ingeniería particulares, dependerá de su sensibilidad o ganancia. Para determinar la ganancia requerida se deberá dividir la escala completa que es capaz de desplegar por el "span" de salida del transductor.

Por ejemplo: se tiene un transductor con un rango de medición entre 0 a 100 [PSI], convertida a valores de voltaje en el rango de 1 a 6 [V] (span de salida = 5 [V]), y se desea un instrumento que sea capaz de mostrar cambios en el sistema de hasta 0,1 [PSI] (resolución del instrumento). Si el span del indicador tiene 1000 cuentas o posiciones (tres dígitos de 7 segmentos), para obtener la ganancia del medidor se requiere dividir las 1000 cuentas por los 5 [V] de span del transductor, resultando una sensibilidad de 200 [cuentas/Volt]. En consecuencia, al seleccionar el instrumento, debe tenerse en cuenta que admita señales de entrada de 6 [V], y que tenga una sensibilidad de 200 [cuentas/volt].

Requerimientos eléctricos del proceso

Dependiendo del instrumento, pueden presentar diferentes características, en forma estándar u opcional, como ser:

Fuente de alimentación adicional (para excitación del transductor).

Entrada análoga adicional (para fijar set-point remoto)

Alarmas (para indicar cuando se exceden límites prefijados o para realizar control ON/OFF).

Salida análoga de retransmisión (para acondicionamiento de señal para registradores o instrumentos adicionales).

Min/máx. (para mostrar valores extremos ocurridos durante un proceso).

Salida digital (para interfaz a computador, o conexión a buses de campo).

- **Medidores de nivel**

Introducción

La medición de nivel es una parte integral de la Supervisión, Control, Seguridad e Información de un Proceso Industrial y por lo que se ve, esta variable tiene un amplio uso industrial.

La medición de nivel, puede ser dividida en dos categorías, una medición de un punto de nivel o altura del estanque, recipiente o contenedor y otra la medición continua de esta variable.

En el primer caso, se usan marcas o valores discretos de esta medida, condiciones preestablecidas (valores preset), Normalmente el sensor utilizado en este caso, es usado para dar señales de alarmas o similar, en estado de la variable, ya sea, en alto, bajo, fondo o un estado intermedio.

Los sensores de medición continua, como su nombre lo indica, miden el nivel del fluido dentro de un rango de medida más que en un punto específico. Los sensores usados en este procedimiento, entregan una señal análoga directamente correlativa al estado de la variable, que refleja los cambios de nivel contenidos en el recipiente. Esta señal análoga, desde el sensor puede estar directamente ligada al instrumento indicador, o al lazo de control del proceso fijando un sistema manejador de la variable de nivel.

5.3 Tipo de sensores

Sensores tipo interruptor o switches

Un sensor interruptor opera según el estado de la variable y a la salida de éste entrega una señal de tipo discreto, un representante de este tipo de sensor es el sensor Flotador que mide un solo punto. En este dispositivo, se considera un flotador equipado con un imán, el cual se mueve directamente con la superficie del líquido, interiormente en esta disposición se instala un relé tipo caña o reed como muestra la Figura 147. La construcción de este relé, debe ser a prueba de fallos y libre de servicios y diseñado para operar con un alto factor de repetición y minimizar los efectos de choque, vibración y presión.

Estos interruptores, se pueden usar en una variedad de aplicaciones y están disponibles en una variedad de materiales, según el medio a usar, requieren de mínimo mantenimiento e instalación simple, el relé tipo caña, esta herméticamente sellado y actúa magnéticamente en el cierre y apertura de los contactos, los modelos pueden ser SPST (simple polo, simple terminal) o SPDT (simple polo, doble terminal).

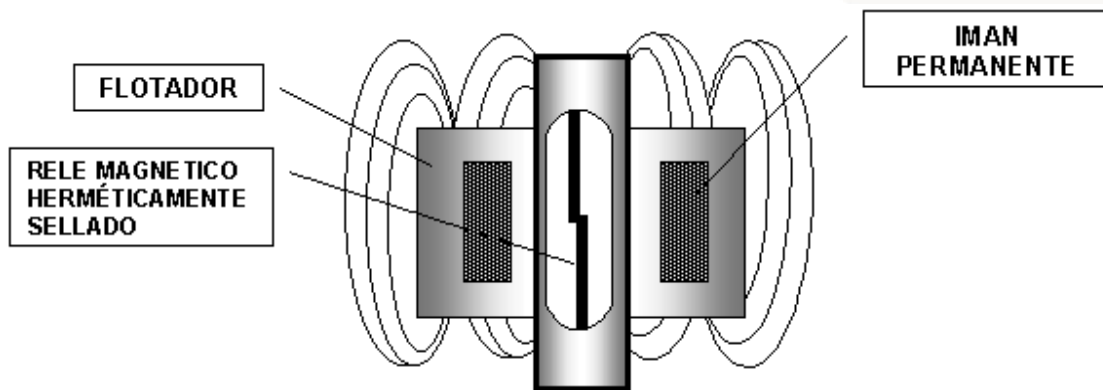


Figura 147

Sensor discreto de nivel tipo Caña

Sensores ultrasónicos sin contacto

Este tipo de sensor contiene los siguientes elementos, un elemento primario o sensitivo, un transmisor, comúnmente basado en microprocesador, un codificador BCD, salidas tipo switch y un circuito driver de salida, ver Figura 148. El transmisor genera una serie de pulsos y señales tipo puerta (gate signal), que son canalizadas a través del procesador de señales análogas del sensor.

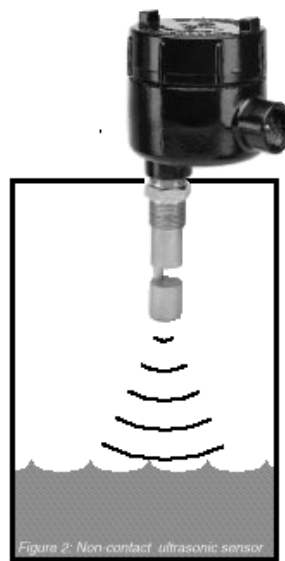


Figura 148

Sensor ultrasónico.

El sensor ultrasónico, transmite un haz de sonido hacia la superficie, el eco de esta señal es detectado por un receptor y la envía al microprocesador, el cual procesa esta

señal en representación digital de la distancia entre el sensor y la superficie del fluido. El transmisor o microprocesador, almacena estos valores y los promedia con técnicas apropiadas y definidas mediante software, a la vez los compara con valores normalizados de nivel, si estos no corresponden y las diferencias son leves puede ocurrir que estos se adapten automáticamente, o sea, realice un proceso de auto ajuste, pero sin las diferencias son grande, se emitirá una señal de mala función, con el fin que el encargado verifique el estado de funcionamiento del instrumento. Las fallas que se pueden presentar frente a estos fenómenos, son ruidos, interferencias, malas conexiones o señales falsas.

Para los sensores de variable continua, los valores promedios son convertidos por el transmisor en señales eléctricas de corriente entre el rango de 4 a 20 [mA], lineal a las variaciones del nivel del líquido. Si el estanque está vacío o fuera del rango del instrumento, entonces el eco, no retornará al receptor del transmisor y si esta señal no se presenta en un tiempo determinado (timeout), la señal caerá bajo el valor de 4 [mA].

Si el sensor es de tipo discreto, entonces los valores promedios corresponden a valores discretos en BCD, aquí, el transmisor energiza las salidas de un relé, indicando ya sea, un valor alto o bajo. Otra cualidad de los transmisores basados en microprocesadores, es que se pueden registrar valores específicos de niveles a considerar en el proceso, o retener los últimos valores de la variable del proceso, también, se pueden temporizar las acciones del relé o estados a considerar, además, se pueden eliminar efectos de las turbulencias en la superficie del fluido y agitaciones, suavizando la señal de salida.

Sensores ultrasónicos con contacto

Estos sensores detectan un valor fijo y controlan el nivel en forma de interrupción (switch), en un punto fijo, mediante un dispositivo ultrasónico de baja energía sin partes móviles. El sistema consiste en un sensor de campo con un amplificador integrado, un terminal de conexiones (TB), provee de una disposición para realizar las conexiones de energía y de señales de medición. Comúnmente estos aparatos no requieren calibración ni ajuste y están libres de problemas. El sensor contienen un "gap" de ½ pulgada donde una señal no audible y de alta frecuencia es generada. Cuando el líquido está dentro de este gap, la señal ultrasónica viaja en este gap y produce un cambio de estado en el relé del instrumento, detectando así el nivel, ver Figura 149.

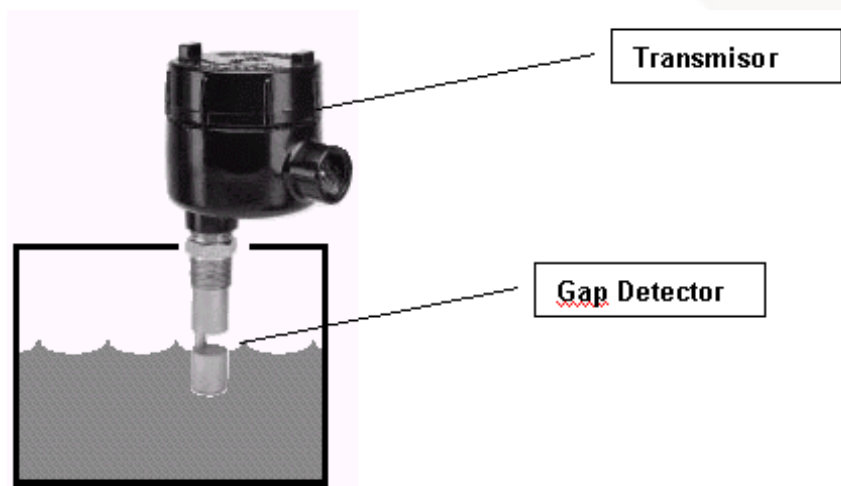


Figura 149

Sensor ultrasónico de contacto

El nivel sensado está en la mitad del gap si este es montado verticalmente, si es montado de costado o lateral inclinado, el nivel medido queda reflejado en la cara superior del gap. Cuando el nivel baja, la señal decae y el switch del relé cambia a su estado original (NO o NC), este dispositivo se puede usar en recipientes, estanques o similar y para corroborar si las tuberías están llenas del fluido que se desea medir, opera sobre bombas, válvulas, alarmas, se puede realizar control de llenado o vaciado en estanques usando dos de estos instrumentos, los líquidos a manejar pueden ser limpios (de conveniencia), aireados, viscosos o pegajosos, en estos últimos se pueden presentar algunos problemas de calidad de medición.

5.4 Medición de nivel bajo el principio de la capacitancia

Principios de medición

Un condensador se forma cuando un electrodo de medida de nivel es instalado en un recipiente, el metal de la barra del electrodo actúa como una placa del condensador y la pared del estanque (en algunos casos un electrodo de referencia, cercano a la pared), actúa como la otra placa. A medida que el nivel aumenta, el aire o gas circundante al electrodo es desplazado por el material que tiene una constante dieléctrica diferente, el cambio de este valor dieléctrico entre las placas, produce una variación en el condensador.

Instrumentos de Capacitancia en Radiofrecuencia (RF), detectan este cambio y lo convierten en una acción de relé o una señal proporcional en la salida. La relación que ilustra este principio está dado por:

$$C = 0,225 K_m \left[\frac{A}{D} \right]$$

Dónde:

- C : Capacitancia en pF
 K_m : Constante dieléctrica del material
 A : Área de las placas en pulg.²
 D : Distancia entre las placas en pulg.

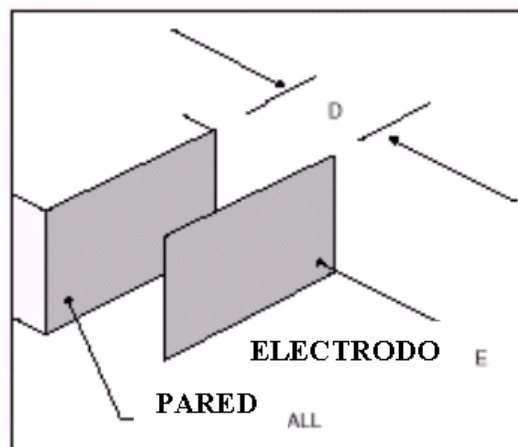


Figura 150

Principios del condensador

El material dieléctrico, es una constante numérica sobre una escala de 1 a 100, el cual relaciona la habilidad del material dieléctrico (entre las placas) a almacenar carga electroestática, su valor real es determinado por organismos internacionales, tales como el Instituto Nacional de Normas y Tecnologías y se determina en celdas de pruebas.

En la práctica los cambios de la Capacitancia son producidos de diferentes maneras y dependen del material que está siendo medido y la selección de los electrodos de nivel. Sin embargo, el principio presentado aquí, siempre es aplicado. Si un material de mayor dieléctrico reemplaza a uno menor, entonces la Capacitancia total de salida aumentará y si el electrodo es más largo (área efectiva de mayor superficie), la Capacitancia de salida aumentará. Si la distancia entre los electrodos o placas disminuye, entonces, la Capacitancia de salida disminuye.

Las mediciones de nivel se pueden organizar en tres niveles o categorías:

Mediciones en materiales no conductivos
Mediciones en materiales conductivos
Mediciones de proximidad o sin contactos

Mediciones En Materiales No Conductivos

Como se estableció previamente, la Capacitancia cambia a medida que el material llega a las placas del condensador, por ejemplo, en la Figura 151, se describe un sistema típico.

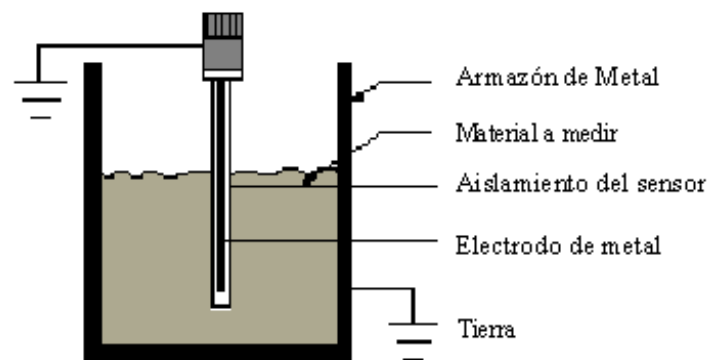


Figura 151

Medición de capacitancia en un medio NO conductor.

La relación aproximada de la Capacitancia real está dada por la siguiente relación, donde se considera que las placas y las paredes del estanque están fijas, la distancia D no varía, el dieléctrico del aire (K_a) y del material se mantienen constante, por lo tanto:

$$C = K_a \cdot A_a + K_m \cdot A_m$$

Esta relación muestra que a medida que el material aumenta en el estanque la Capacitancia también aumenta, luego, la Capacitancia es directamente proporcional a la medida de nivel del estanque.

Mediciones En Materiales Conductivos

Aquí, el caso es similar al anterior, excepto que el material conductivo actúa como una placa a tierra del condensador, además, de las paredes del estanque. Esto cambia los aspectos de la ecuación, con lo cual la salida aumentará comparativamente al caso no conductor. Sin embargo, la Capacitancia aún permanece fija, luego, a

medida que aumenta el nivel, la salida aumentará proporcionalmente. Es importante destacar, que un material se mantiene conductivo si su conductividad es mayor a 10 [microSiemens/cm], además, como advertencia, un electrodo que mide un nivel no aislado, no debe estar en contacto con un material conductivo, ya que así, el sensor actuara como un interruptor.

Mediciones De Proximidad O Sin Contacto

El sensor que mide el nivel normalmente tiene forma de placa montada en disposición paralela a la superficie del material, este material si es conductivo, actuará como electrodo de tierra del condensador. A medida que el nivel aumenta, la placa del sensor también lo hará, de esta manera disminuirá la distancia entre placas lo que incide en el aumento de la Capacitancia. En medios no conductivos, el recipiente actúa como tierra y el material entre placas es la variable, aquí, el área cambia y la distancia es fija. En la medición de nivel por proximidad, es el método opuesto, o sea, el área es fija y la distancia es la que varía. Este método no produce una salida lineal y se usa cuando las variaciones son grandes, algunas aplicaciones de este método, se muestran en la Figura 152.

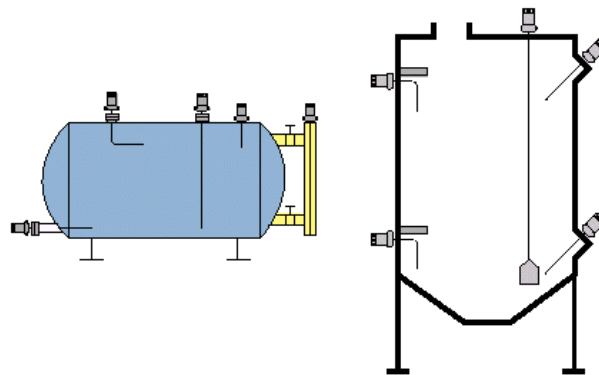


Figura 152

Aplicaciones de mediciones de proximidad.

Consideraciones generales

Los transmisores de este tipo de sensores, siempre deben ser calibrados para el Cero y el Span en terreno. Las sondas concéntricas, pueden ser probadas y calibradas en pequeños estanque, estas sondas son recomendadas en grandes estanque de plásticos (bajas ganancias), ya que, minimizan este efecto y entregan una buena referencia a tierra. En estanques grandes y metálicos, con diámetros mayores a 20 pies, también, se recomiendan sondas concéntricas y su montaje debe ser cuidadoso. Si está cerca de las entradas de flujo, se debe evitar el choque con el chorro de entrada, ya que produce grandes fluctuaciones en la variación de Capacitancia. Si

estas se instalan en toberas, deben ser colocadas en vainas metálicas y que sobrepasen en largo.

En mediciones de nivel continuo, se debe seleccionar la sonda apropiada y evitar los errores producidos por el revestimiento de la sonda, esto se consigue usando altas frecuencia en la medición, desplazamiento de fase y circuitos apropiados, especialmente si el material es pastoso.

Otros factores que influyen en la medición de nivel bajo este principio, es la temperatura, la cual afecta directamente a la constante dieléctrica, si la constante es alta, la influencia de esta variable (cambios de temperatura) es menor, esta situación debe ser considerada cuando se realiza la calibración.

La constante dieléctrica, también se ve afectada por los materiales granulados, produciéndose errores en la medición. Las cargas estáticas, en materiales no conductivos también es un factor negativo en esta clase de sensores, por eso es recomendable una homogeneidad en el material a través de todo el volumen a medir.

Otras consideraciones y aplicaciones, es que cuando se desee medir dos fluidos de diferentes constantes dieléctricas (por ejemplo, aceite y agua). Para estos casos, el electrodo debe estar verticalmente montado y totalmente sumergido todo tiempo, con el fin de detectar la interfaz correcta.

La calibración del cero para la sonda, debe realizarse cuando está completamente sumergida en el material de baja constante dieléctrica, el 100 % del span, se determina cuando el electrodo está totalmente sumergido en el material de alta constante, mediante ajuste del span. En un medio aceite/agua, a medida que la interfaz aumenta sobre el electrodo, un mayor porcentaje de este estará sumergido en el material de mayor dieléctrico, este hecho, producirá un aumento en la Capacitancia y un aumento en la variable de salida, que será registrada por el transmisor. Para asegurarse una medida fiable, se debe mantener el electrodo sumergido, por lo tanto en estas mediciones, se recomienda colocar una vaina de metal al electrodo de suficiente longitud, ver Figura 153.

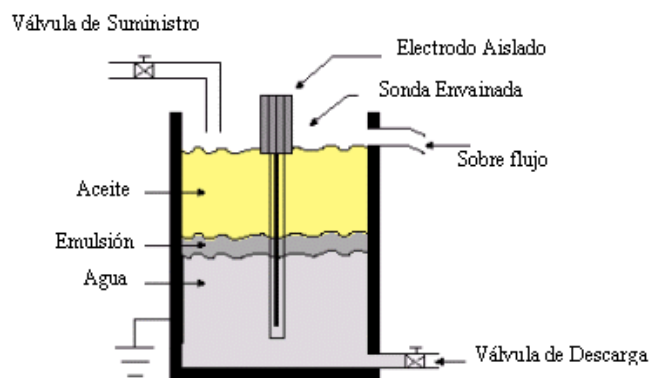


Figura 153

Detección de interfaz en nivel de contacto.

Aplicaciones

Caso 1: Mediciones Estándares

Mediciones continuas en estanques y silos que almacenan líquidos y sólidos y se desean para fines de supervisión y/o control del proceso y sus variables. Además, si se presentan cambios de Capacitancia debido a modificaciones de la constante dieléctrica o la densidad del material y se requiera corrección o compensación de la calibración y adaptación de la medida en forma automática. Además, un sistema entrega salidas normalizadas para conectar a sistemas superiormente jerárquicos, tales como, DAS, PLC o DCS (sistemas SCADA), estas salidas en términos de señales moduladas en pulso (PFM) entregan información continua de la variable, proporcional al nivel recibido desde terreno y valores discretos de límites o gap de operación, para fines de alarma y señalización. Otra propiedad de estas señales, es que son intrínsecamente seguras, aisladas galvánicamente desde las fuentes.

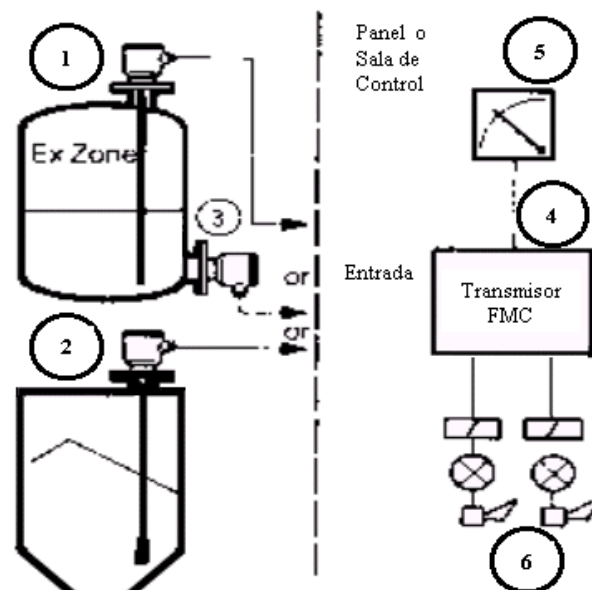


Figura 154

Medición en estanques y silos de nivel continuo.

Dónde:

- 1,2: Sonda Electrónica Detectora de Capacitancia
- 3: Sensor Hidrostático con switch
- 4: Transmisor con microprocesador para silo, FMC
- 5: Indicador de señal análoga
- 6: Salidas discretas para indicación (pilotos) y alarmas (bocinas)

Caso 2: Mediciones Especiales

Existen recipientes de formas no lineales, aquí, se presentan curvas que describen la forma del acumulador y relaciona la altura con el volumen, esta situación se representa en el transmisor (FMC), realizando pruebas de medición (benchmarks) y finalmente determinando los puntos de manera empírica, adaptándose a los curvas propuesta por el fabricante del instrumento (E&H Level Instruments, FMC 671Z), o en su efecto entregar la curva al instrumento en una manera programada, la Figura 155, muestra esta situación.

Otro caso, se presenta cuando se desea una corrección en la curva de calibración, por cambios en el contenido del recipiente, aquí, el cero de la curva de nivel es determinado por la calibración en vacío. En esta disposición se instala una sonda de calibración, cuyo propósito es la corrección de la curva de calibración, al alcanzar el nivel de esta sonda, ver Figura 156 (60 % de la altura), se determina el punto de referencia K1 y así el gradiente de la curva.

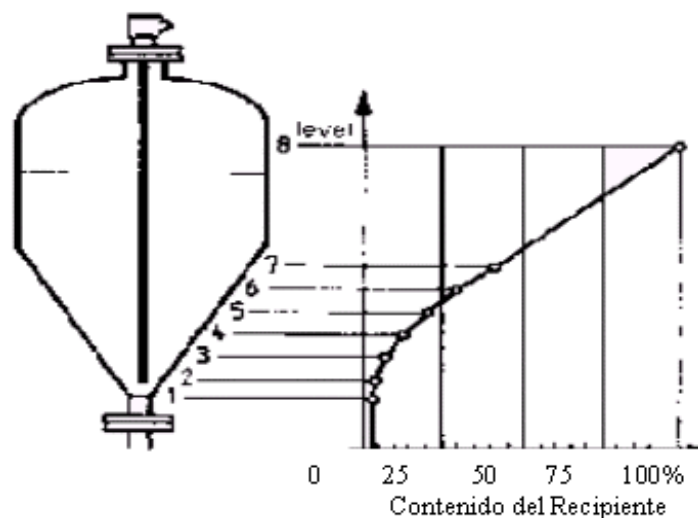


Figura 155

Medición de un estanque de forma no lineal.

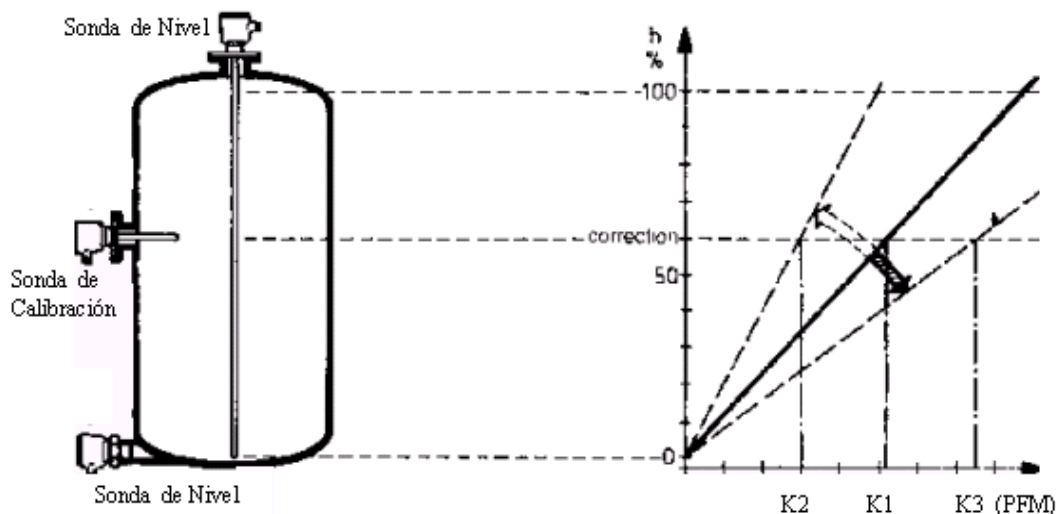


Figura 156

Corrección a la calibración.

Si la constante dieléctrica o la densidad del material aumenta, entonces la pendiente, llegará a ser más menos pronunciada, de esta forma en el proceso de llenado del recipiente, la constante K1 será alcanzada antes de llegar al 60%, este valor permanece fijo, hasta que el nivel alcance la sonda de corrección, al llegar a este nivel se fijará el valor K3, el cual es fijado y enviado en señal PFM corregida al transmisor, este procedimiento ocurre tanto en llenado como en vaciado.

Esta opción nos permite ingresar las características y existen dos métodos para ingresar.

La señal de salida es normalizada, 0 a 20 [mA], 4 a 20 [mA] en corriente o 0 a 10 [VDC], 2 a 10 [VDC], 1 a 5 [VDC] en voltajes. Dependiendo de la calibración, las señales de salida son proporcionales, tanto en nivel como en contenido, la curva de linealización para el contenido en cualquier tipo de recipiente es programado, así también, las señales de valores límites (Min, Max) para ajuste de seguridad de la variable, algunos transmisores, entregan señales a los sistemas de control, por ejemplo, set point, valores de vacío, alarmas, salidas tipo relé.

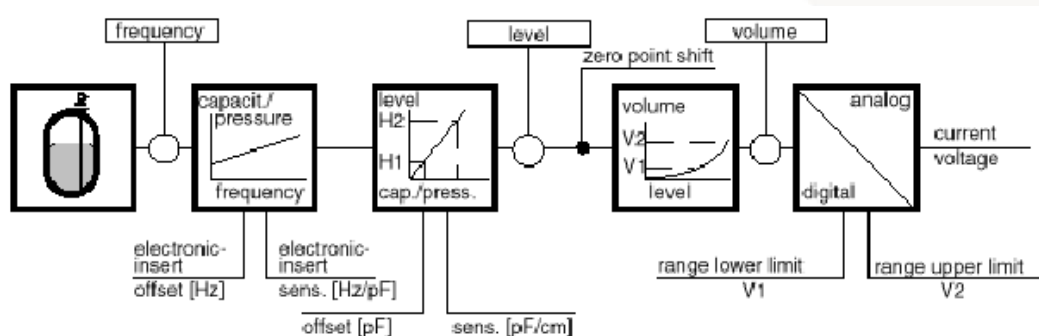


Figura 157

La Figura 157, muestra el recorrido que realiza la señal desde que es medida, hasta la salida del proceso de medición, aquí se observa, la detección de ésta y su transformación a pulsos de frecuencia, el tratamiento de esta señal es electrónico. Se definen los valores discretos de la señal de nivel, la relación, nivel volumen del estanque, en algunos casos nivel peso (densidad del líquido), la linealización

5.5 Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos son dispositivos que miden distancia usando un transductor o elemento sensitivo que envía un chorro o rayo ultrasónico, este rayo contiene una serie de ondas de sonido pulsantes, que se emiten en forma cónica, el reflejo de esto es detectado y recibido por un transmisor. El tiempo que este chorro se demora en ir al destino y volver a la fuente, es convertido en distancia medida por el sensor, vale recordar la relación:

$$D = v \cdot t$$

Dónde:

- D : Distancia entre la fuente y el destino.
- t : Tiempo de recorrido de la distancia D .
- v : Velocidad de la señal ultrasónica, normalmente conocida.

Los detectores de nivel sónico (9500 Hz) y ultrasónicos operan tanto por la absorción de la energía acústica a medida que viaja desde la fuente al receptor, como por la alteración (cambio de frecuencia) de una frecuencia de oscilación comprendida entre 35 a 40KHz.

El transmisor se ubica en la parte superior del estanque y el pulso viaja en el aire (o el sonido 331 [m/s] a 0° C), luego, del tiempo de viaje es un dato debido a la profundidad del estanque.

Factores que afectan la señal ultrasónica

Esta señal, es afectada por varios factores, tales como, superficie del destino, tamaño de la partícula a medir, ángulo de rebote del pulso, distancia del sensor a la superficie a medir, la siguiente Figura 158, muestra estas situaciones:

Superficie: lo ideal de las superficies es que sean de formas suaves y duras, además de que estén dispuestas en perpendicular a la cara del transductor, la superficie, es la que reflejará la mayor cantidad de señal. Un eco débil, el cual resulta de un pequeño y suave objeto, reducirá la distancia de operación del sensor y disminuye su exactitud.

Distancia: Una distancia corta entre el sensor y la superficie a medir hará que el eco regrese con más fuerza, luego, si esta distancia aumenta, requerirá que el sensor aumente sus propiedades reflexivas para obtener un eco suficiente.

Tamaño: Un objeto grande, tendrá una superficie mejor que reflejar que uno pequeño, comúnmente, la superficie a reconocer es una porción cerrada del sensor.

Angulo: La inclinación de la superficie del objeto, afecta al sensor ultrasónico en la reflexión, si está dispuesta perpendicularmente, el eco regresará más eficientemente, mientras más inclinada es la superficie, más afectado será el eco del sensor. Es importante que la superficie que refleje sea plana, así, el ángulo de reflexión es igual al de incidencia, luego, cuando el pulso sónico refleja una

Pendiente, su eco, no volverá directamente a la fuente y este tiempo de viaje (round-trip time) no será exactamente igual al reflejado verticalmente.

Otros factores que pueden afectar la medición son:

En los detectores de sonido es esencial la compensación de temperatura, ya que el sonido, se ve afectado por este en un factor de raíz cuadrada, la velocidad del sonido cambia en 0.6 [m/s] por cada grado Celsius.

Otro factor es la reflexión debido a las partículas del material, estos son buenos reflectores de los pulsos, además, el polvo del ambiente ayuda a la difusión de los pulsos de reflexión.

Otro factor que influye es la pérdida de **Intensidad del Sonido**, esta disminuye con el cuadrado de la de la distancia, luego esté se debilita exponencialmente a medida que el rango del instrumento aumenta. También, la absorción de la sustancia influye en la intensidad, entre 1 y 3 [db] por cada metro es la alteración de la intensidad del sonido.

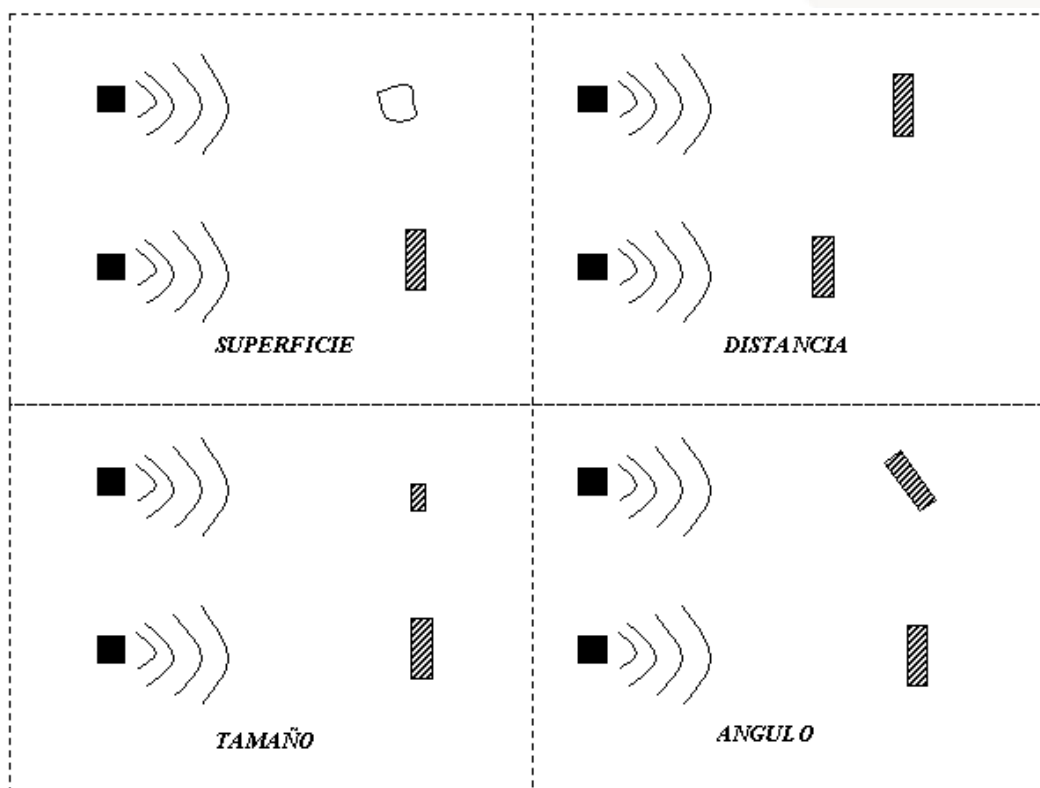


Figura 158

Factores que afectan a la señal ultrasónica.

Generación del sonido

Un instrumento ultrasónico para medición del nivel, normalmente genera sonido por medio de osciladores o piezodiscos. La adaptación del sonido para transportarse a través del gas, así como el enfoque requerido en la emisión de los pulsos, es por distintas formas de construcción de los aparatos. Existen varios formatos en la fabricación de los equipos, algunos con adaptación directa a los discos por medio de capas adaptadas, también diferentes formas del transductor como corneta o conos, así como transductores con diafragma.

Reflexión

Si el sonido está dentro de su rango de propagación y midiendo en materiales que tienen diferentes resistencias a las ondas acústicas, una reflexión es producida en el punto de interface o detección. La elevada diferencia entre las impedancias acústica, producen diferencia de reflexiones, por ejemplo, cuando se atraviesa el gas (AIRE) hacia el líquido se produce una reflexión relativamente limpia. En cambio si esto ocurre cuando es alcanzado un sólido granulado, un eco difuso es reflejado por el sensor. El tamaño de las partículas de los sólidos no debe ser más pequeño que 1/10 la longitud

de onda del sonido, porque de otra manera, la superficie del producto actúa como una superficie cerrada, reflejando el rayo de sonido lateralmente.

Propagación Del Sonido

El principio está basado en la absorción de la señal durante la propagación del sonido. Existen algunos factores que influyen en la propagación del sonido, estos son:

La atenuación básica depende de la frecuencia (longitud de onda)

La intensidad disminuye de acuerdo a la función del cuadrado de la distancia.

Otro tipo de pérdidas son causadas por fricción con las moléculas de gas.

Estas pérdidas son influenciadas por la densidad, frecuencia temperatura y humedad.

Recepción del Eco

Bajo óptimas condiciones, siempre se obtendrá una buena reflexión y por lo tanto un eco seguro para ser evaluado. Pero, desafortunadamente esto ocurre en muy pocas aplicaciones. Muchas veces se producen ecos falsos, estos son causado por distintos motivos tales como:

Objetos en el interior del estanque.

Materiales en suspensión

Conos vaciados o llenados

Agitadores, escaleras.

Todos estos problemas pueden ser fácilmente eliminados por el procesador de evaluación. Esta tecnología está incorporada en algunos modelos.

Tipos de sensores de ultrasonido

Los sensores de ultrasonido tienen una amplia gama de distintos modelos. Para seleccionarlo o clasificarlo se puede hacer desde varios puntos de vista, que son los siguientes:

De acuerdo al tipo de producto medido (líquido o sólido).

De acuerdo a la frecuencia de emisión (15/ KHz...50KHz)

De acuerdo a la configuración del sistema (aparato compacto o electrónico/cabezal separados o control de uno o más estanques).

Los diferentes equipos que se utilizan para líquido o sólidos, están muy ligados a la frecuencia de emisión que posee el transductor, ya que este valor está ligado directamente a la potencia o alcance que puede tener el sistema.

Montaje de un sensor ultrasónico

El montaje es un factor crítico para una operación exitosa del instrumento, aquí, veremos algunas:

La Figura 159a, muestra un sensor que está equipado con un hilo de unión tipo NPT y es montada por una copla soldada a la parte superior del estanque. Debe asegurarse que no haya obstáculos para su montaje, antes de soldar la copla, es conveniente colocar un trozo de cañería al hilo, para alinear perfectamente el sensor-transmisor, posteriormente ésta se retirará. El sensor no siempre es ajustado manualmente, a veces se deben usar herramientas apropiadas, se recomienda colocar una cinta de teflón, para asegurar un sello apropiado en el hilo.

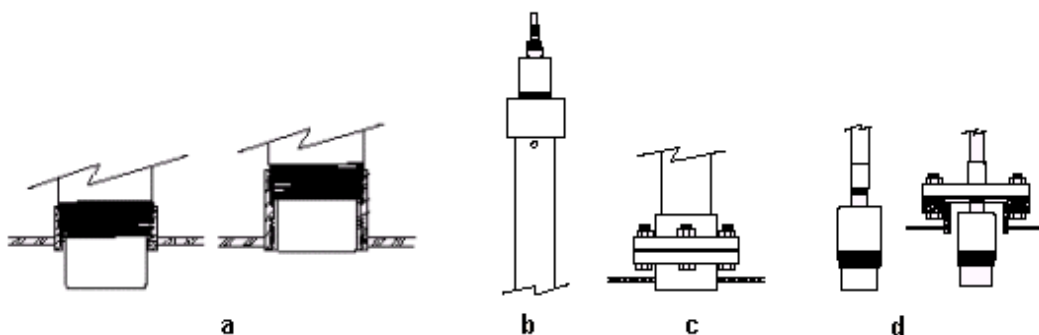


Figura 159

Disposiciones de montaje para sensores ultrasónicos.

La Figura 159.b, muestra una disposición de montaje en una zona tranquila para acceder áreas difíciles, esta disposición ayuda a eliminar problemas asociados con espumas, si es usada, se debe considerar un hoyo de escape en la parte superior y la pared de la tubería deberá ser lisa sin uniones, este sensor puede operar hasta 20 [pies] de distancia.

La Figura 159.c, muestra un sensor equipado con un flange de Teflón y montado directamente a un flange opuesto, este último es parte del estanque y está rígidamente adosado a él. Se recomienda que estos flanges no estén más allá de 3 a 4 [pulg] de separación con el recipiente, ya que a mayor distancia disminuye la eficiencia de la medición. También se recomienda, usar una placa protectora entre los flanges, con el fin de proteger el rayo del sensor frente a las perturbaciones mecánicas de apriete e instalar una empaquetadura suave y flexible, el instrumento debe estar montado directamente al tanque y la apertura del estanque debe ser más grande que el diámetro interior de la tubería.

Otras disposiciones se muestran en la Figura 160.

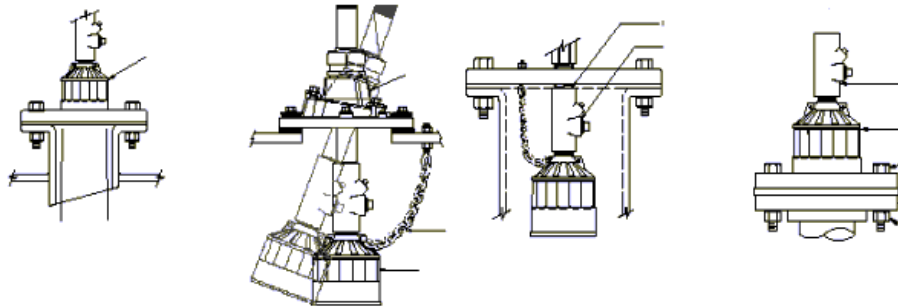


Figura 160

Otras formas de conectar un sensor ultrasónico.

En esta última, se muestran disposiciones del tipo aflangeado, uno con montaje en la parte superior del recipiente y en una tubería, otro usado en aplicaciones de materiales sólidos e incluye una cadena de seguridad, aquí, el aparato va dentro del recipiente, también, se muestra una disposición blindada, para protegerlo a ambientes corrosivos (plantas de ácidos) o de la intemperie (humedad), finalmente se muestra un montaje con un flange simple.

Las medidas para algunas disposiciones de instalación se pueden ver en la siguiente Figura 161.

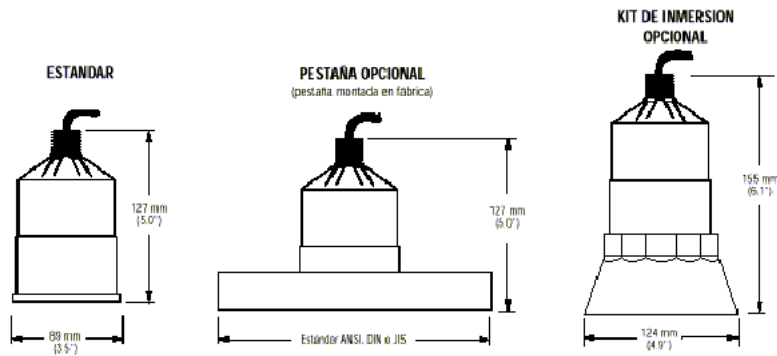


Figura 161

Dimensiones estándar de instalación

Programación de un sensor ultrasónico

Comúnmente para programar este tipo de sensores, se usa un módulo de programación que puede ser manual (tipo Hand Help), de tipo Panel (adosado al transistor del instrumento) o de tipo programación (mediante un software), estos accesorios actúan como interfaz entre el aparato y el operador (HMI). La comunicación

es realizada mediante conductores normalizados y conectados a las puertas de un PC (COM 1 o similar), la energía suministrada normalmente es de 24 [VDC] y mediante conectores apropiados (pines tipo Phoenix y alambres rojo y negro).

Los parámetros del sensor, son manejados mediante programas bajo DOS o WINDOWS, siempre, se debe revisar la versión a usar, por lo cual es conveniente leer el manual de programación, los parámetros a revisar suelen ser:

- Control Del Sensor

Blanking (borrar): Poner las distancias mínimas de detección de objetos, por ejemplo un pie.

Sensibilidad: Control de la amplificación de la señal de retorno

Pulsos: Poner la fuerza a la señal de transmisión.

- Filtraje

Promedio de Muestras: Poner un número de muestra a promediar.

Rango de Salida: Poner el número mínimo de muestra que deben ser recibidas a la salida antes de reconocer el nuevo destino (target).

Ventana: Poner el Span para los ecos aceptables.

- Calibración

Multiplicador: Ajuste de la variable desplegada (distancia) que concuerde con la variable física.

OFFSET: Poner el cero del sensor.

Cantidad de muestras (HZ): Poner la cantidad de muestras aproximadas del sensor.

Modo: Elegir el modo de operación (auto o manual).

- Valores Análogos

20 [mA]. Distancia máxima y Calibración.

4 [mA] Distancia mínima y Calibración.

Ajustes del sensor ultrasónico

Los parámetros antes mencionados, se conocen como los ajustes del sensor y significan lo siguiente:

Blanking (Operación De Borrar O Blanquear)

Se refiere a la banda muerta por distancia producida en el sensor debido al primer pulso que será aceptado, cualquier eco más cercano a esta banda será ignorado, aquí, se define el valor mínimo del rango de operación del sensor, por ejemplo, un pie.

Puede tener valores mayores a un pie, hay instancias, donde un objeto está muy cerca del sensor y está siendo detectado, luego se debe prevenir al sensor de esta situación, ya que puede producir pulsos indeseados. Cuando la distancia de blanqueo se aumenta, se debe evitar que el objetivo este muy cerca del sensor, si la distancia es más cerca, entonces ocurrirá un error de medida.

Control de la Sensibilidad

Controla la ganancia del sensor, esta ganancia se expresa en porcentaje (entre 1 a 100%). El valor ideal debe ser el menor y más fidedigno posible detectado por el sensor. La ganancia más baja, es el valor menos probable que sea afectado en el sensor por las condiciones ambientales (tanto ruido acústico como eléctrico), también este bajo valor, ayudará a reducir la detección de pulsos indeseados desde objetos cercanos al patrón de detección del sensor.

La sensibilidad del sensor es afectada por la temperatura, una temperatura cálida, ayudará que el sensor sea menos sensible que si la temperatura es fría. Si un sensor es "Set Up" (puesto a punto) cuando la temperatura es fría y esta va aumentando gradualmente más allá de lo esperado, la sensibilidad del nivel dada por el sensor, aumentará entre un 10 a 20%. La sensibilidad puede ser usada para eliminar la detección de los pulsos indeseados, si el sensor periódicamente se sale del rango de distancia, es porque el objetivo está muy cerca, lo que hace que la sensibilidad se reduzca y así, ayuda a eliminar la detección de ruido o ecos indeseados.

Calibración

El objetivo es que el sensor sea ajustado para que la distancia medida sea igual a la detectada, existen varios factores que afectan la velocidad de la señal, por ejemplo, la temperatura, la humedad, presión y humos químicos. Para obtener medidas precisas, el sensor debe ser calibrado en ambientes en los cuales trabaja, si este ambiente tiene temperaturas cíclicas, se debe realizar una compensación de esta variable o crearle un ambiente adecuado, ya que al calibrar el sensor esta situación debe ser tomada en cuenta. Los parámetros que se consideran son:

Multiplicador

Se usa para llevar la distancia medida en línea con una variable física medida, para determinar este factor, se debe medir desde el extremo del transductor hasta el objetivo, dividir esta medida por la distancia desplegada e introducir este valor.

Por ejemplo, un objetivo está ubicado a 2,5 [pies] desde el sensor, la distancia desplegada por el transmisor es 2,68 [pies], así, el multiplicador debe ser $2,5 / 2,68 = 0,9328$, este parámetro se redondea a 1 y se pone en la programación.

Offset

Ajusta el punto cero del sensor, cuando este valor es 0, el cero eléctrico del sensor es un valor pequeño detrás de la cara del sensor. A veces estos valores se ajustan en fábrica, enviando las características del uso del instrumento. Para ajustar este valor se deben considerar las cuentas del microprocesador en pulgadas y en función de estos valores proceder al ajuste de 0 offset.

Temperatura De Compensación

Coloca la compensación de temperatura en ON u OFF, la velocidad del sonido a través del aire cambia en 0.18 % por cada grado Celsius, debido a esto las variaciones de la medición de la distancia variará de acuerdo a este porcentaje. Usando compensación interna de temperatura se reducirá este valor a un 50% o más. Siempre el sensor se debe calibrar cuando se efectúa un cambio de ON/OFF, de acuerdo a las instrucciones del fabricante dadas en el catálogo del instrumento.

Si se realiza compensación de temperatura, se debe evitar poner el sensor directamente al sol, el calor del sol puede calentar el sensor más allá de la temperatura ambiente, produciendo una descompensación a los cambios de temperatura. La compensación, se debe realizar usando una sonda externa y aplicando una fórmula de corrección, esto da mejores resultados que si se hace mediante una compensación interna. Cuando se aplica la formula, la distancia del sensor al objetivo debe ser conocida. Una de estas fórmulas de corrección es

$$D = M \cdot I$$

Dónde:

D : Es la distancia,

M : El Multiplicador

I : Es la corriente de salida (0 a 20 [mA])

Muestras

La cantidad de muestras del sensor debe ser obtenida del catálogo de fábrica, se expresa en Hertz y una opción es de 0 a 20. Si se selecciona 0, el sensor operara a la velocidad más lenta, si el valor es 20, entonces el sensor estará operando a la más alta velocidad, las muestras (sample rate) y la muestras promedias (samples average), determinan el tiempo de respuesta del sensor.

Especificaciones técnicas

Los Sensores Ultrasónicos pueden incluir un dispositivo sin contacto, y su cara emisora puede ser tipo diafragma, de un material de caucho Hypalon, PVC o similar,

su unidad electrónica (transmisor receptor), se conecta a distancias que pueden sobrepasar los 300 [mt] de medición.

Sus aplicaciones son variadas, medición de variables continuas en estaciones de bombeo (pozos), sumideros, vertederos, canales, lechos de filtrados, estanques, recipientes, silos, y otros. El rango de medida va desde unos cuantos centímetros a centenares de metros, capaces de soportar ambientes limpios como altamente rigurosos (polvos, químicos, húmedos), los índices de protección son IP 65 (NEMA 4X), IP 68, para ambientes resistente a la corrosión, a prueba de explosión e inmersión, también los hay para ambientes intrínsecamente seguros (o peligrosos), Clase I, División 1, normas NFPA.

Algunos transmisores que operan con software, normalmente, apoyan las actividades de comunicación del sensor, entre este y el operador, ya que actualmente la mayoría de los transmisores, están basados en microprocesadores y se pueden conectar vía RS 232, RS 485 (puertas seriales), MB+, BlueTooth, ProfiBus, Device Net a un computador o sistemas de control basado en PLC o DCS, con funciones de comunicación, telemetría y telegestión (SCADA). Algunas facultades del transmisor es emplear ganancias adaptivas que permiten ajustar automáticamente la ganancia para mantener un eco constante a una amplitud predeterminada, esto permite al sensor seguir la variable de nivel cuando se presentan perturbaciones intermitentes tales como agitaciones, llenado o vaciado, o vibraciones.

Aplicaciones

Algunas aplicaciones de su uso en la industria minera, son las que se muestran en la Figura 162 y la figura 163.



Figura 162

Algunas aplicaciones de sensores de nivel.

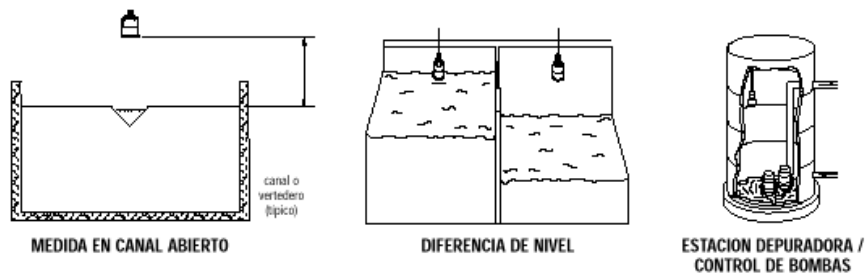


Figura 163

Aplicaciones específicas de los sensores de nivel

Medición de flujos

Una de las variables frecuentemente medidas en el control de procesos de plantas industriales, laboratorios y plantas piloto es la medición de flujo de un fluido, ya sea líquido, gas o vapor, en una tubería.

La importancia de medir flujo puede variar desde ser muy crítica en procesos de transferencia de fluidos costosos, a relativamente no crítica en procesos en que sólo se registra esta variable.

El flujo se define como el volumen de un fluido que pasa a través de una sección por unidad de tiempo.

Algunas de las unidades de flujo son: m³/s, lt/s, ft³/s, gallon/s y otras.

Se define como flujo en tuberías al flujo de un fluido en un conducto circular cerrado cuyo diámetro es pequeño comparado con su longitud y está completamente lleno con el fluido. Se asume que el fluido considerado es un fluido real incompresible de densidad y viscosidad constante conocida, además de un flujo en estado estacionario, el cual puede ser laminar o turbulento.

Generalmente el flujo es medido indirectamente, es decir, se mide la velocidad del fluido a través de una tubería de un área conocida. De esta manera el flujo volumétrico (Q_v) queda dado por:

$$Q = A \cdot v$$

Dónde:

A = Área de la sección transversal de la tubería.

v = Velocidad del fluido.

Los factores principales que afectan el flujo de fluidos a través de tuberías son:

La velocidad del fluido (v): Esta depende de la presión estática, la cual fuerza al fluido a desplazarse a través de la tubería.

La fricción del fluido en contacto con la tubería (f): Esta reduce la velocidad del fluido.

La viscosidad del fluido (μ): Esta trabaja junto a la fricción de la tubería para reducir la velocidad del fluido en las cercanías de la pared de la tubería.

La gravedad específica del fluido (ρ): Es la razón entre la densidad del fluido y la densidad del agua, afecta al flujo debido a que si este es más denso mayor debe ser la presión estática para mantener un flujo deseado.

Estos factores son correlacionados en un parámetro adimensional llamado Número de Reynolds, el cual describe condiciones de flujo en un punto en particular en función de la velocidad, viscosidad y tamaño de la tubería. El Número de Reynolds (R_D) está dado por:

$$R_D = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Dónde:

v = Velocidad del fluido

D = Diámetro interior de la tubería

μ = Viscosidad del Fluido a temperatura normal

ρ = Gravedad específica del Fluido a temperatura normal

El R_D se utiliza como una indicación de flujo laminar o turbulento. Normalmente, un flujo laminar puede ser esperado para R_D menor que 2000, y flujo turbulento con R_D mayor a 4000. El rango entre los dos, es un flujo inestable y se dice que está en transición, ver Figura 164.

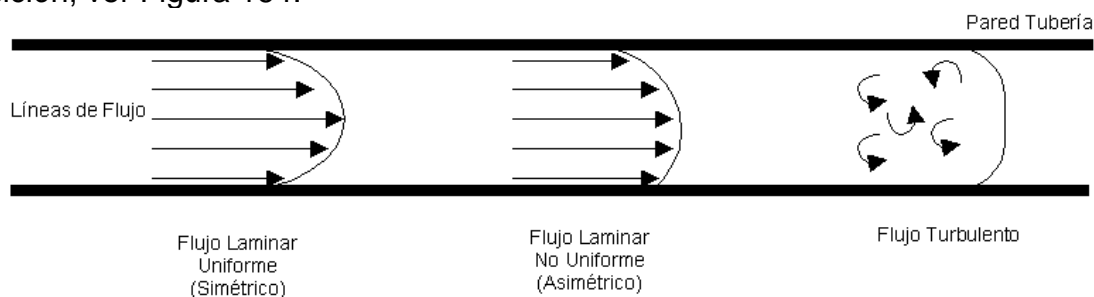


Figura 164

Perfiles de Velocidad

El término flujo es utilizado a menudo para describir velocidad, flujo volumétrico o flujo másico. Sin embargo, es importante reconocer la diferencia y entender para que se utiliza cada medición.

El flujo volumétrico (Q_v) es una expresión del volumen de fluido transportado a través de una tubería en un período de tiempo específico, como por ejemplo litros por minuto. Por consiguiente los aparatos para medir flujo volumétrico determinan el flujo en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento positivo), o bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

Hay que señalar que la medida de flujo volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentra la placa - orificio o diafragma, el tubo pitot promedio (annubar) y el tubo Venturi. El medidor de desplazamiento positivo cuenta en forma discreta el volumen de un fluido cuando este pasa través del medidor.

La medición de flujo volumétrico es principalmente utilizada para propósitos de control de procesos donde la confiabilidad y repetitividad de la medición son más importantes que la precisión. Cuando se está midiendo fluidos compresibles es necesario compensar por presión y temperatura.

Algunas unidades de ingeniería para medir flujo volumétrico son: galones/segundo, galones/minuto, galones/hora, ACFM, ACFH, barriles/hora, litros/segundo, litros/minuto, litros/hora, ACMM, ACMH.

El flujo másico (Q_m) es una medida de la masa instantánea del fluido por unidad de tiempo, como por ejemplo kilogramos por hora. Los medidores másicos determinan el flujo a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad del fluido, o bien determinar directamente el flujo másico aprovechando características medibles de la masa del fluido.

En el primer caso se compensa directamente la densidad o bien las variables de presión y/o temperatura. En los líquidos, como son incompresibles, la densidad varía por los cambios en la temperatura del fluido. Si se instala un transmisor de densidad que mide ésta en condiciones de servicio, bastará aplicar su salida directamente a la salida del transmisor de flujo para así tener el flujo corregido.

$$Q_M = Q_V \cdot \text{Densidad}$$

Si bien en la industria se utilizan normalmente medidores volumétricos de flujo, con el flujo determinado en las condiciones de servicio, o bien compensado según la presión, la temperatura o la densidad, en ocasiones interesa aprovechar características medibles de la masa. En este caso existen dos tecnologías básicas, la de efecto Coriolis y la de efecto térmico, ambas eliminan la necesidad de compensar por presión y temperatura la salida del medidor.

Algunas unidades de ingeniería utilizadas en la medida de flujo másico son: libras / hora, kilogramos / segundo, toneladas / hora, kilogramos / hora.

5.6 Aparatos de medida de flujo

Medidor tipo placa orificio

Es el aparato más popular, se utiliza para medir prácticamente cualquier fluido que circule a través de una cañería, ya sean líquidos, para gases o vapor. Sin embargo, las características de los flujos másicos del concentrado de cobre u otro parecido, hace que este tipo de sensores esté en franca retirada del rubro minero, siendo reemplazado por lo magnéticos, que resultan menos invasivo y más confiables.

La placa orificio consiste de una placa de metal perforada insertada en la tubería entre dos tomas, ver Figura 165. Actuando como elemento primario la placa orificio contrae el flujo para producir una presión diferencial a través de la placa. Las dos tomas están localizadas en la parte anterior (alta presión) y posterior de la placa (baja presión), estas captan la presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado del flujo. La localización de la toma y la forma de la placa orificio puede variar dependiendo de la aplicación y características del fluido que se va a medir.

La fórmula de caudal obtenida con los elementos de presión diferencial se basa en la aplicación del teorema de Bernoulli (altura cinética + altura de presión + altura potencial = constante) para una placa horizontal y la ecuación de continuidad para un fluido incompresible.

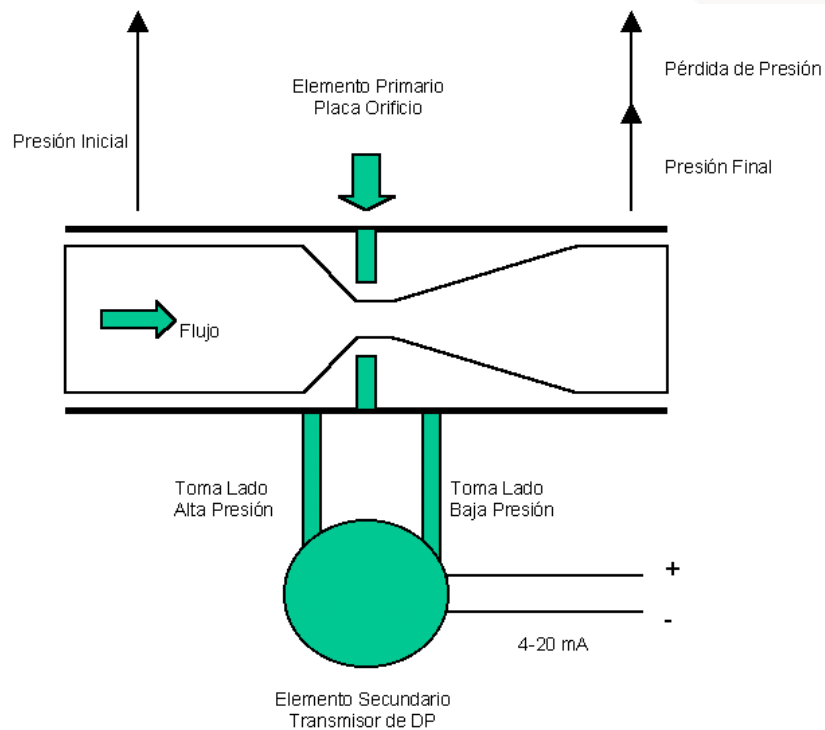


Figura 165

Placa Orificio.

$$\frac{P}{\rho * g} + \frac{v^2}{2g} + y = constante$$

Donde g = aceleración de gravedad

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

Las tomas pueden estar localizadas en:

Tipo De Tomas En Los Medidores Placa Orificio:

Brida (flange taps)

Es bastante utilizada porque su instalación es cómoda ya que las tomas están taladradas en las bridas que soportan la placa y situadas a 1" de distancia de la misma.

Vena contraída (vena contracta taps)

La toma posterior está situada en un punto donde la vena alcanza su diámetro más pequeño, lo cual depende de la razón de diámetros y se presenta aproximadamente a medio diámetro de la tubería. La toma anterior se sitúa a un diámetro de la tubería.

Tomas radiales (radius taps)

Son similares a la de vena contraída, pero fijando siempre las tomas anterior y posterior a un y medio diámetro de la tubería respectivamente.

Tubería (pipe taps)

La toma anterior y posterior está situada a dos y medio y ocho diámetros, respectivamente. Se emplean cuando se desea aumentar el intervalo de medida de un medidor de flujo dado. La ubicación de las tomas está en un lugar menos sensible a la medida.

El orificio de la placa puede ser concéntrico, es el más común y se utiliza para medir flujos turbulentos de líquidos y gases limpios, excéntrico o segmental, con un pequeño orificio de purga para los pequeños arrastres sólidos o gaseosos que pueda llevar el fluido y permite medir flujos de fluidos que contengan una cantidad pequeña de sólidos y de gases, ver Figura 166.

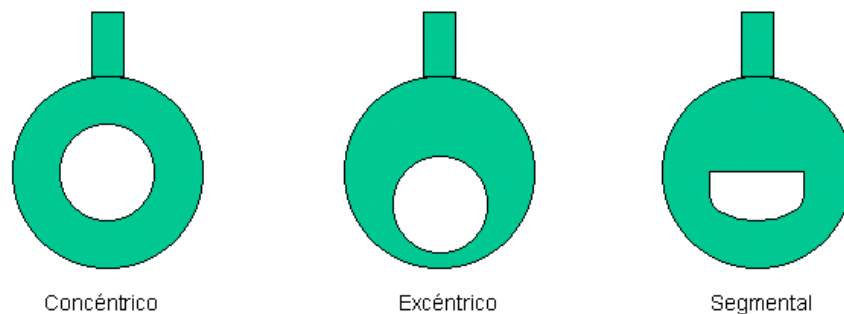


Figura 166

Tipos de Placa Orificio.

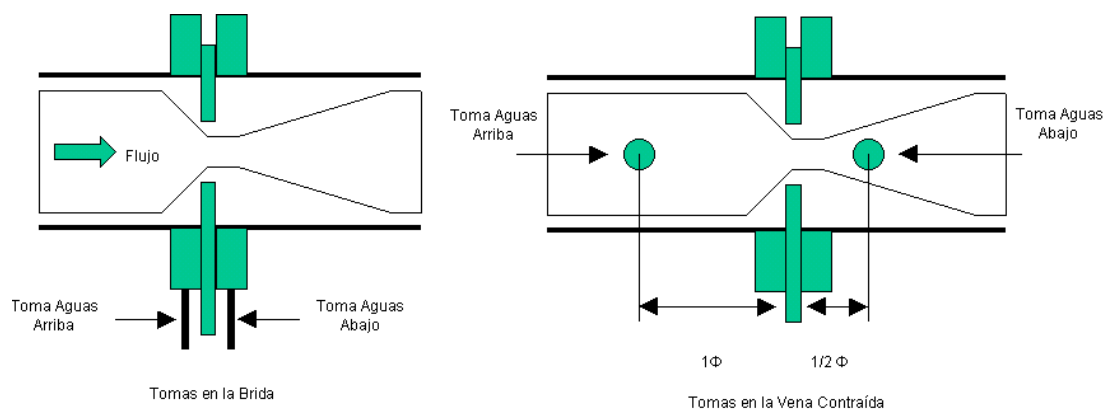


Figura 167

Tomas de Presión Diferencial.

Como todo equipo mecánico la placa se desgasta con el uso, sobretodo en fluidos líquidos abrasivos, por lo tanto, después de cierto tiempo los valores de medición de flujo no son precisos o confiables. La instalación no es simple ya que se requieren tubos y válvulas de aislación y de equilibrio de presión para proteger al transmisor de flujo, ver Figura 167. También depende de las condiciones atmosféricas de terreno, los fluidos se pueden congelar en la tubería entre la placa orificio y el transmisor de flujo como sería el caso en la medición de vapor o cualquier líquido que se pueda congelar debido a la baja temperatura ambiental. El mismo fenómeno se puede presentar en la medición de gases húmedos donde hay condensación.

Para la medición de gases y vapor seco estos inconvenientes no se presentan y como estos fluidos por regla general no son tan severos, la placa orificio da muy buenos resultados con una vida útil por muchos años sin exceder las tolerancias de errores de medición de flujo.

Casos muy particulares de mediciones de flujo de gases que contienen polvos en suspensión. Los polvos pueden ser abrasivos y por lo tanto con el tiempo la placa se deteriora y por lo tanto la medición de flujo. También los polvos obstruyen o tapan la toma entre la placa y el transmisor si no se purgan continuamente. La purga de polvos complica la medición de flujo.

El metal más popular de la placa orificio es Acero Inoxidable (S.S.), pero también en aplicaciones especiales las placas orificios pueden ser de otros materiales, como por ejemplo de Bronce en la medición de oxígeno gas o líquido de relativamente baja presión. Otro material que se usa muy extensamente en la medición de oxígeno es placas orificios de Monel. Como regla se elige el material de la placa orificio de acuerdo a la compatibilidad con el fluido a medir. En el caso del oxígeno se debe evitar todo material ferroso que pueda producir una chispa debido a la velocidad del fluido dentro de la cañería. En caso de fluidos ácidos el material de la placa debe ser compatible con el uso del ácido.

El rango de medición de flujo de la placa orificio es relativamente bajo 3:1, y el error de medición basado en flujo máximo es de 0.75 %.

Los flujómetros de placa orificio no requieren de una rutina de mantención específica, sólo se debe chequear en forma periódica la calibración. Sin embargo, pueden ocurrir problemas debido al desgaste o corrosión, acumulación de materiales extraños que afectan el perfil de velocidad del fluido, obstrucción de tomas debido a polvo o materiales extraños, fugas en conectores y válvulas que afectan la diferencial de presión medida por el transmisor y fallas del transmisor que son usualmente remediadas cambiando el transmisor.

Tubo Venturi

El tubo Venturi se utiliza en casos donde la caída de presión y el error de medición deben ser mínimos. El principio de operación es similar al de una placa orificio, pero es

un equipo mecánico de alta precisión y fabricación. El costo comparado con la placa orificio es muy alto, pero se ahorra en gasto de energía para la misma medición de flujo. Todas las demás características del tubo Venturi son similares a las mencionadas para la placa orificio, tanto para fluidos líquidos, gases y vapor

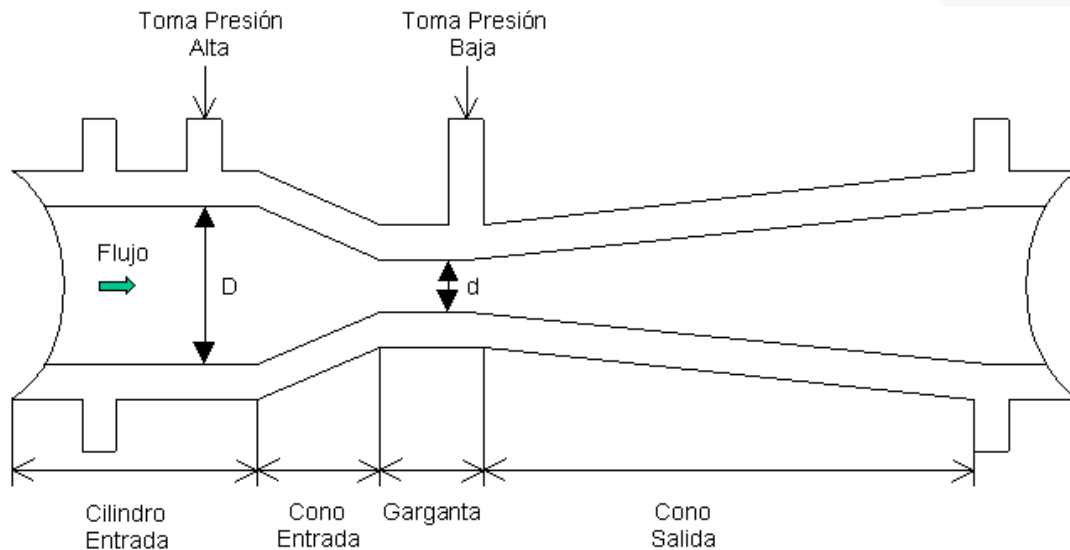


Figura 168

Tubo Venturi.

El tubo opera disminuyendo gradualmente el diámetro de la tubería y midiendo la diferencial de presión resultante, una sección de expansión del medidor retorna el flujo a una presión muy cercana a la original, ver Figura 168.

El rango de medición de flujo del tubo Venturi es relativamente bajo 3:1, y el error de medición basado en flujo máximo es de 1 %.

Tubo pitot

El tubo Pitot mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, es decir, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad. Este tipo de instrumento, es sensible a las variaciones de la distribución de velocidad en la sección de la tubería, por lo cual, en su empleo es esencial que el flujo sea laminar disponiéndolo en un tramo recto de la tubería. La máxima exactitud en la medida se consigue efectuando varias medidas en puntos determinados y promediando las raíces cuadradas de las velocidades medidas, ver Figura 169.

Este aparato es el más económico para medir la velocidad del fluido en un ducto o cañería. La caída de presión del fluido es mínima. El tubo Pitot es muy popular en la medición de flujos en ductos de aire acondicionado donde es posible hacer todas las

mediciones necesarias sin afectar la salida del producto. Las mediciones de flujos en ductos de aire acondicionado son necesarias para establecer una buena distribución de aire en distintas oficinas. Hoy en días, es muy raro encontrar una instalación de tubo Pitot en medición de flujo en una instalación industrial.

El rango de medición de flujo del tubo Pitot es relativamente bajo 3:1, y el error de medición basado en flujo máximo es de 1 %.

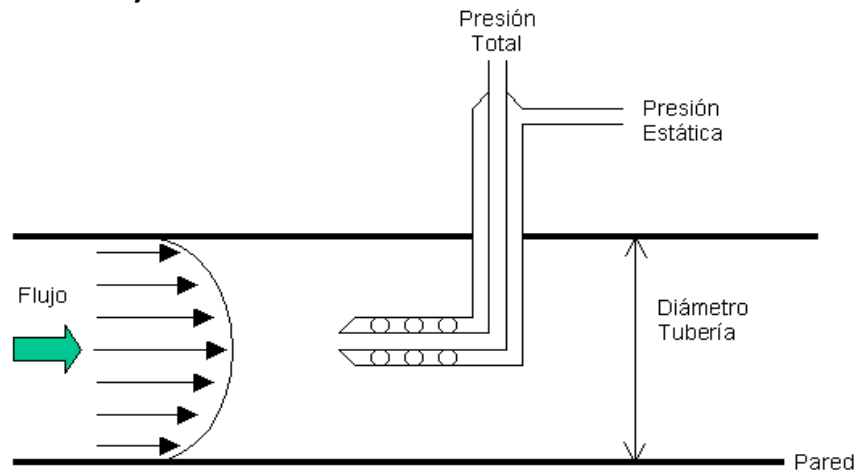


Figura 169

Tubo Pitot

Tubo annubar o pitot promedio

El principio de medición es muy similar a la del tubo Pitot para medir líquidos, gases y vapor, pero en vez de medir la velocidad del fluido en un punto transversal a la dirección del fluido, la medición se hace a través del área transversal total de la cañería midiendo la velocidad en varios puntos de igual área y obteniendo el promedio de la medición de los mismos, ver Figura 170. De esta manera se neutraliza la desigualdad de distribución de velocidad del fluido en la cañería. La medición de la presión de impacto y la presión de deslizamiento se realiza a través de perforaciones dispuestas a lo largo del tubo, cuyo número y ubicación depende del largo del tubo.

El tubo annubar tiene un perfil en forma de “bala”. Este nuevo desarrollo en la medición de flujos líquidos, gases y vapor introdujo un nuevo estándar de medición en este tipo de tecnología. Las mejoras obtenidas con este tipo de tubo Annubar son tan significativas que ahora se instalan en aplicaciones y operaciones donde antes era territorio exclusivo de placas orificio. Los resultados son impresionantes, grandes compañías distribuidoras de gas usan estos tubos Annubar para medir flujos en sus gasoductos. En el consumo de gas natural para operar compresores se utilizan estos tubos de medición. La tecnología evolucionó a tal punto que ya no hay dudas de la precisión de las mediciones con los tubos Annubar. Hasta ahora es el único que puede producir estos resultados.

El rango de medición de flujo del tubo Annubar es 5:1 y el error de medición basado en flujo actual es de 1 %.

La fabricación de los tubos Annubar puede ser de una gran variedad de materiales, similar a las placas orificios (acero inoxidable S.S., bronce, monel y otros).

En el tubo Annubar, debido a su perfil, las perforaciones que miden la presión del flujo no se tapan tan fácilmente como ocurren en otros tubos si el flujo tiene cierta cantidad de polvo en suspensión. Y la presión diferencial del flujo es significativamente más baja que la de la placa orificio.

Para la medición de gases y vapor el tubo promedio tipo Annubar es el más indicado y el más económico. Se utilizan en la medición de gases tales como oxígeno, nitrógeno, aire de proceso.

Los tubos se pueden instalar en cañerías de 2" hasta el diámetro máximo de cañería de vapor que pueda existir. Para medición de gases o aire se instala en ductos de varios metros de diámetro.

El elemento de medición puede ser instalado y retirado en tuberías en operación sin afectar el flujo.

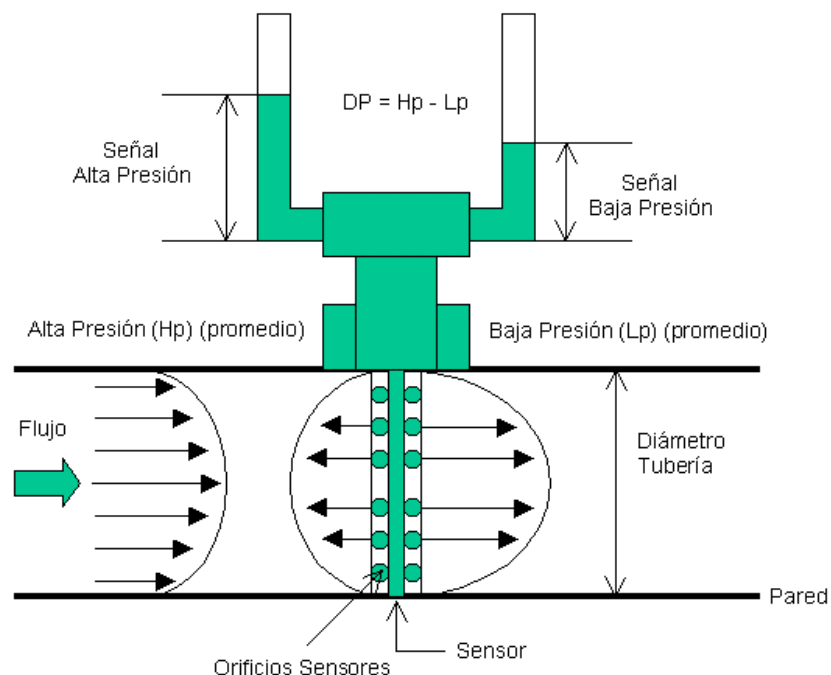


Figura 170

Tubo Annubar.

Medidor tipo vortex

El principio de medición está basado en el efecto de Von Karman, cuando un fluido pasa a través de un cuerpo en forma de cono genera en forma alternativa remolinos o vórtices (áreas de baja presión e inestabilidades) desfasadas en 180°, que son detectadas por un sensor. La frecuencia generada por los vórtices es directamente proporcional a la velocidad y por consiguiente al flujo. La salida de un flujómetro Vortex depende del factor K. El factor K relaciona la frecuencia de generación de vórtices con la velocidad del fluido, ver Figura 171. La fórmula para la velocidad del fluido es la siguiente:

$$\text{Velocidad de fluido} = \frac{\text{Frecuencia Vortex}}{\text{factor K}}$$

El factor K varía con el número de Reynolds, pero es virtualmente constante sobre un amplio rango, lo cual provee una alta exactitud del flujómetro.

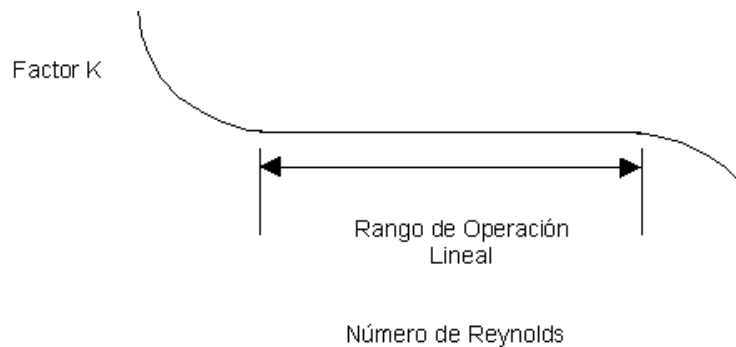


Figura 171

Relación entre Factor K y el número de Reynold

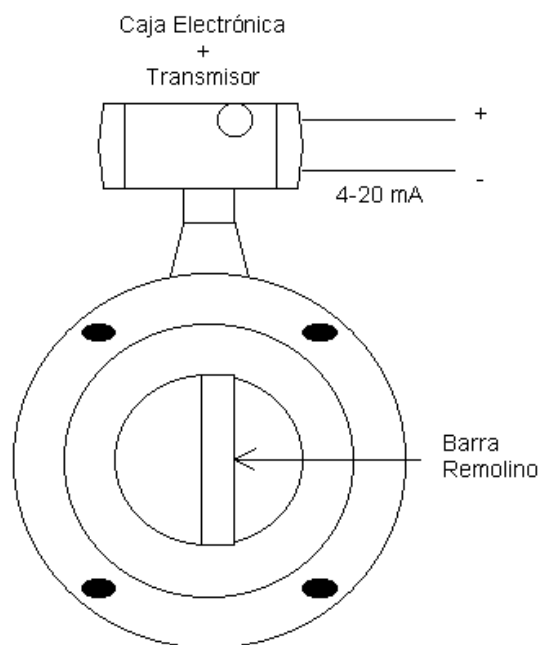


Figura 172

Flujómetro Vortex.

Este tipo de medidor es utilizado para medir flujos de líquidos, gases y vapor, es también de tipo de penetración y se usa en cañerías de $\frac{1}{2}$ " a 8" de diámetro. Hay dos variedades de estos medidores unos que se montan entre bridas tipo "wafer" y otros que vienen suministrados con sus propias bridas para sistemas de presión de 150#, 300# y 600#.

Las ventajas de este tipo de medidor son:

Alta exactitud y baja caída de presión.

La señal de salida es lineal basada en la frecuencia generada por los vórtices del flujo que pasa alrededor del "mástil" instalado dentro del medidor.

Instalación simple, ya que el medidor se instala en la cañería entre bridas.

El transmisor puede ser integrado con el medidor o montado separadamente y conectado con un cable especial.

El medidor puede montarse en cualquier posición: tuberías horizontales, verticales o inclinadas.

Por lo general el medidor es de Acero Inoxidable (S.S.) o Hastelloy C.

El rango de medición es de 20:1, y el error de medición basado en el flujo máximo es de 0.25 %.

La desventaja del medidor Vortex es su amplio rango de medición. El medidor es excelente para medir flujos muy grandes de alto valor numérico, pero no tiene buena resolución para medir flujos bajos. Esto, por regla general implica que el medidor para

cubrir un rango de medición adecuado debe ser un tamaño menor que la cañería y en algunos casos hasta dos tamaños más pequeños.

El medidor Vortex debe instalarse en una tubería recta de largo diez diámetros aguas arriba y cinco diámetros aguas abajo. Cuando se utiliza compensación por presión y temperatura, los elementos deben instalarse aguas abajo del medidor.

Este tipo de flujómetro no requiere una rutina de mantención específica más que chequear la calibración en forma periódica. Sin embargo pueden ocurrir las siguientes fallas:

Fallas del sensor

El reemplazo del sensor es dificultoso, ya que es dependiente del diseño e implica abrir el cuerpo del medidor. Esto requiere que en la tubería no haya flujo y que cualquier presión presente en la tubería debe ser sangrada.

Fallas Electrónicas

Son solucionadas reemplazando la tarjeta electrónica.

Un método de calibración es inyectar señales de frecuencia especificadas por el fabricante al transmisor y realizar los ajustes apropiados.

Flujómetro magnético

Los flujómetros magnéticos proveen una medición de flujo precisa y sin obstrucciones que es ideal para medir cualquier tipo de fluido líquido con una conductividad mínima de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La ventaja de este flujómetro es que provee compatibilidad con casi todas las aplicaciones, entre las que se incluyen líquidos corrosivos y abrasivos. La clave de esta versatilidad radica en que hay disponible una gran variedad de materiales para la fabricación de los electrodos y el revestimiento del tubo. En general la medición de estos flujómetros no es afectada por los cambios de densidad, temperatura, presión y viscosidad, y además su pérdida de carga es baja.

El principio de operación se basa en la Ley de Faraday que establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse perpendicularmente a través del campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor.

La fórmula de flujo que representa la Ley de Faraday es la siguiente:

$$E_s = K \cdot B \cdot L \cdot v$$

Dónde:

E_s = Tensión generada en el conductor.

K = Constante.

B = Densidad del campo magnético.

L = Longitud del conductor.

v = Velocidad del movimiento.

En el flujómetro magnético el conductor es el líquido y E_s es la señal generada, esta señal es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos, ver Figura 173. La única zona del líquido en movimiento que contribuye a la f.e.m. es la que une en línea recta a los dos electrodos, B es la densidad del campo magnético creado por medio de la bobina de campo, L es el diámetro de la tubería y V es la velocidad del fluido a través del flujómetro.

La única variable en esta aplicación de la Ley de Faraday es la Velocidad del líquido conductivo, ya que la fuerza magnética es fija y la distancia de los electrodos también. Por consiguiente, la salida de voltaje E_s es directamente proporcional a la velocidad del líquido.

Hay dos variedades de estos flujómetros, unos que se montan entre bridas tipo “wafer” para diámetros de cañería de 0.15 a 8”, y otros que vienen con sus propias bridas para diámetros de cañería de 0.5 a 36”.

Para seleccionar el material adecuado del revestimiento del tubo es necesario conocer la composición química del líquido y su temperatura límite.

Una de las desventajas de este medidor es que la medición es influenciada por el ruido eléctrico del área, es decir, motores y líneas eléctricas de gran potencia pueden generar corrientes y tensiones eléctricas en las tuberías de la planta, siendo estas señales captadas por el medidor en forma de tensión. Para solucionar este problema se instala un tercer electrodo y se conecta a tierra.

Otra desventaja es que el flujómetro magnético no puede utilizarse para la medición de flujos de gases, ya que la conductividad eléctrica en los gases es generalmente mucho más baja que la de los líquidos.

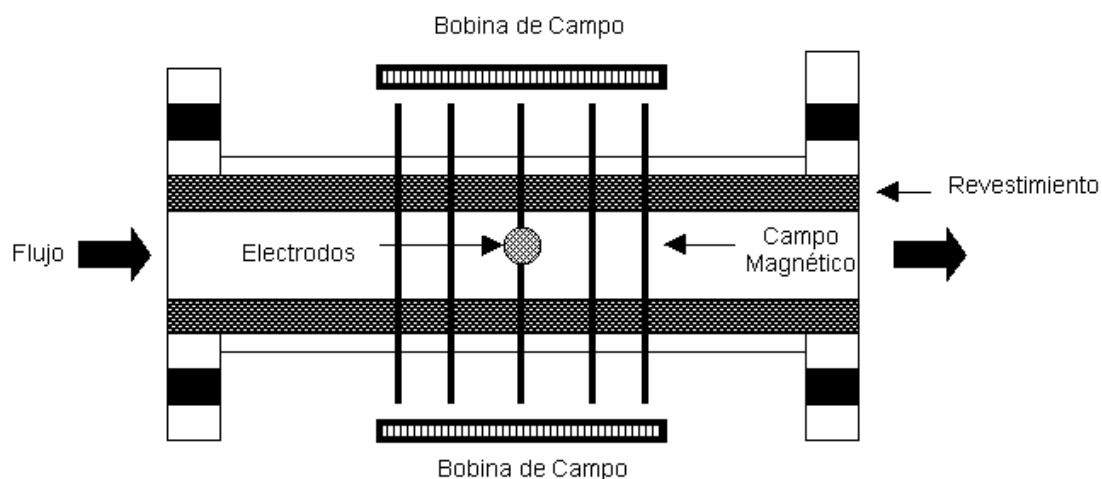


Figura 173

Flujómetro Magnético.

El medidor tipo magnético no requiere de una rutina de mantención específica, sólo de chequeos periódicos de calibración. Sin embargo, pueden ocurrir los siguientes problemas: desgaste del electrodo, daño al revestimiento y fallas de componentes electrónicos.

Los repuestos requeridos pueden incluir varios electrodos, revestimientos, tubos de flujo para diferentes tamaños y tarjetas electrónicas.

Los calibradores de medidores magnéticos son instrumentos de precisión que inyectan la señal de salida del elemento primario al transmisor.

Medidor tipo coriolis

El medidor se basa en el teorema de generación de la fuerza de Coriolis, que puede producirse por inversión de las velocidades lineales del fluido mediante la desviación de un bucle en forma de omega (Ω) en estado de vibración controlada (a la frecuencia de resonancia para reducir la energía requerida) ver Figura 174. La vibración del tubo es perpendicular al sentido de desplazamiento del fluido lo que crea una fuerza de aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de desaceleración en la de salida, con lo que se genera un par cuyo sentido va variando de acuerdo con la vibración y con el ángulo de torsión del tubo, que es directamente proporcional a la masa instantánea del fluido circulante. La fuerza de Coriolis es el producto de los vectores w y v , y su valor es:

$$\vec{F} = 2 \cdot m \cdot \vec{w} \times \vec{v}$$

Dónde:

F = Fuerza de Coriolis.
 m = Masa del fluido contenido en el tubo recto de longitud L .
 w = Velocidad angular alrededor del eje del tubo en Ω .
 v = Velocidad lineal del fluido.

Sensores magnéticos de posición ubicados en el centro del tubo combinan dos intervalos de tiempo, uno del movimiento hacia abajo del tubo y el otro del movimiento hacia arriba. De este modo, la diferencia de las ondas se traduce en impulsos que alimentan un integrador lineal. Cuando hay caudal, el integrador carga un condensador y la carga es conectada a una señal analógica proporcional al ángulo de torsión del tubo.

Este tipo de medidor permite medir, sin obstrucción, flujo másico, densidad en línea y temperatura de fluidos líquidos y gases. Los tamaños disponibles son de 1/16 a 6 ". Los materiales de fabricación del tubo son: Acero Inoxidable, Inconel 686, Hastelloy C y los del revestimiento Tefzel y Tantalun. La electrónica está basada en microprocesadores, configurable.

El rango de medición es de 80:1, y el error de medición basado en el flujo máximo es de 0.2 %.

Las principales ventajas de este medidor son:

Requiere baja mantención, ya que no opone obstrucción al paso del fluido, no tiene rotores, electrodos ni filtros.

Mide en forma directa y en línea: Flujo Másico, Densidad y Temperatura.

No lo afectan los cambios de Densidad y Viscosidad.

Mide fluidos con Viscosidad mayor a 5000 cP.

Fácil Instalación, viene con sus propias bridas.

Las limitaciones son:

No es recomendable en aplicaciones altamente abrasivas, tales como slurry de cobre.

No mide fluidos en dos fases (líquido-gas).

Se fabrica hasta tamaño de 6".

Para medir gas se requiere una presión mínima de 1 bar.

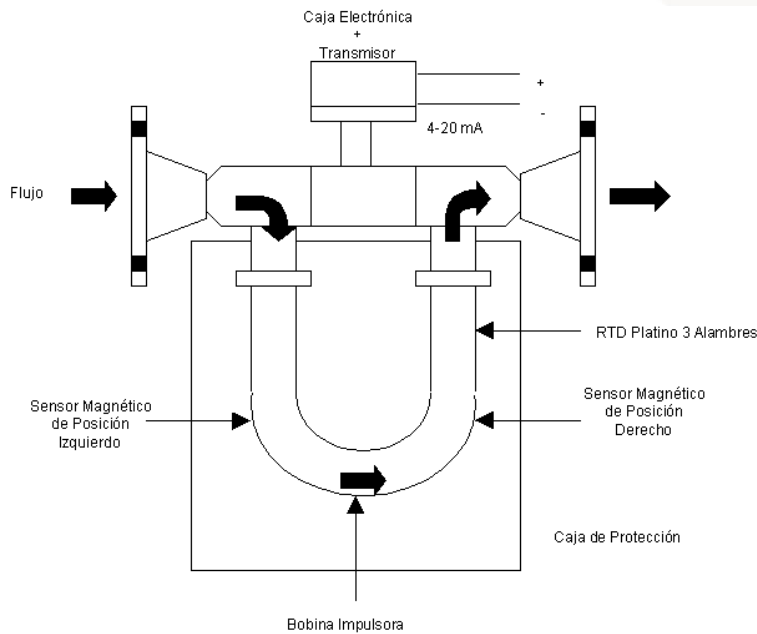


Figura 174

Flujómetro Coriolis.

El medidor tipo Coriolis no requiere de una rutina de mantención específica más que chequear el cero en forma periódica. Sin embargo, pueden ocurrir los siguientes problemas:

Por uso del tubo (corrosión del revestimiento)

Causa un cambio en la exactitud de la medición debido al cambio gradual en las características mecánicas del tubo.

Por fallas electrónicas

Son solucionadas cambiando la tarjeta del circuito electrónico del medidor.

Los repuestos se limitan típicamente a mantener tarjetas electrónicas y sensores.

La calibración de cero y span es realizada digitalmente bajo condiciones de cero flujo y temperatura de operación. Variaciones de más de $\pm 11^{\circ}\text{C}$ desde la temperatura a la cual el cero fue ajustado puede causar una pérdida de exactitud en la medición del flujómetro.

Selección de tipos de sensores de flujo

La selección de medidores de flujo es un procedimiento complejo, el cual como mínimo, toma en consideración propiedades físicas del fluido, necesidades de medición del proceso, y factibilidad técnica para aplicar tecnologías de medición. Otros factores que deben ser incluidas son: exactitud, costo, salidas deseadas.

Aplicación: Control de Procesos, Monitoreo, Compra – Venta, Masa – Volumen

Propiedades del Fluido: Fase (Líquido, Gas, Vapor), Conductividad, Multifase, Viscosidad, Presión, Temperatura

Características del Flujómetro: Exactitud, Repetitividad, Efectos Temperatura, Efectos Presión, Tamaño

Instalación: Tamaño Línea, Vibración, Distancias Diámetros, Accesorios, Disponibilidad – Espacio, Acceso a Mantención

Económicas: Costo de Adquisición, Costo de Instalación, Costo de Operación, Costo de Mantención, Repuestos, Vida útil

Ambientales y Seguridad: Emisiones Fugitivas, Desechos Peligrosos, Fugas Potenciales, Áreas Peligrosas

Selección del Tipo de Flujómetro: Vórtex, Coriolis, Magnéticos, Placa Orificio, Annubar, Etc.

Fabricantes: Fisher-Rosemount, Brooks, Foxboro, Honeywell, Fischer & Porter, Krohne, Etc.

En la actualidad para seleccionar el medidor correcto los fabricantes suministran programas computacionales. Típicamente los parámetros necesarios para especificar un medidor de flujo para líquidos, gases y vapor son:

Fluido : Nombre, Tipo, Composición, Materiales Compatibles

Operación : Material, Tamaño, Schedule y Espesor de la Tubería

Flujo:	Máximo	Normal	Mínimo
Presión:	Máxima	Normal	Mínima
Temperatura:	Máxima	Normal	Mínima
Viscosidad:	Máxima	Normal	Mínima
Densidad:	Máxima	Normal	Mínima
Viscosidad:	Máxima	Normal	Mínima

Flujómetro: Velocidad, Número de Reynolds, Tamaño.

En la Tabla 23 siguiente, se muestran las características resumidas de los instrumentos medidores de flujo, debiendo señalar que sólo están incluidos los elementos primarios.

Características de los medidores de flujo.

Tipo de flujómetro	Exactitud	Flujo Máximo/ Mínimo	Fluido	Diámetro Tubería (pulgadas)	Máxima Presión Psi	Rango Temperatura °C	Pérdida Presión Relativa
Placa Orificio Concéntrica	3 %	3:1	Líquidos Limpios Gases Limpios Vapor	Todos	5800	< 500	Alta
Placa Orificio Segmental	3 %	3:1	Líquidos Limpios Líquidos Sucios Líquidos Viscosos Líquidos Corrosivos Gases Limpios Gases Sucios Vapor	Todos	5800	< 500	Alta
Tubo Venturi	0,75 %	3:1	Líquidos Limpios Líquidos Sucios Gases Limpios Gases Sucios Vapor	3-72	5800	< 500	Baja
Tubo Pitot	3 %	3:1	Líquidos Limpios Gases Limpios Vapor	Todos	5800	< 500	Baja
Tubo Annubar	1 %	3:1	Líquidos Limpios Líquidos Sucios Gases Limpios Gases Sucios Vapor	2-72	5800	< 500	Baja
Vórtex	0,65 %	20:1	Líquidos Limpios Gases Limpios Vapor	½-12	750	< 400	Media
Magnético	0,5 %	30:1	Líquidos Conductivos Líquidos con Sólidos Líquidos Viscosos Líquidos Corrosivos	1/10-36	3000	< 180	Nula
Coriolis	0,2 %	80:1	Líquidos Limpios Líquidos con Sólidos Viscosidad Media	½-6	5800	< 430	Media
Ultrasónico	2 %	20:1	Líquidos Sucios Líquidos Corrosivos	> ½	1500	< 250	Nula
Rotámetro	3 %	10:1	Líquidos Limpios Gases Limpios	< 3	5800	< 250	Baja

Tabla 23

Variable calor y temperatura

Se define calor como la energía interna total de una materia, asociada con el movimiento y configuración de sus moléculas y átomos (energía molecular) y puede ser expresada en unidades de energía (trabajo).

Temperatura es la medida de la magnitud de la energía molecular por molécula y como tal es una cantidad relacionada a un dato seleccionado (punto fijo en una escala seleccionada).

Termómetro es un dispositivo mecánico, eléctrico, o óptico el cual a través de una escala marcada indica su propia temperatura.

Escala de temperatura está definida como dos puntos fijos (dos distintas temperaturas) cuyo intervalo de temperatura fija es dividido en un número de partes iguales llamados **GRADOS**. Como definición se debe fijar tres puntos:

Punto Bajo (hielo, derretimiento) es la temperatura T_l de una mezcla de agua pura y hielo a la presión de 1 atmósfera (atm).

Punto Alto (vapor, ebullición) es la temperatura T_u de una mezcla de agua pura y vapor a la presión de 1 atmósfera.

Cero absoluto es la temperatura T_a de un cuerpo cuya energía molecular total es cero (promedio de velocidad molecular es cero).

Las escalas de temperatura son:

Escala Celsius: 1 grado Celsius = 1 °C

$T_l = 0\text{ °C}$ Intervalo Fijo de Temperatura = 100 °C

$T_u = 100\text{ °C}$ También se le denomina escala centígrada

Escala Fahrenheit: 1 grado Fahrenheit = 1 °F

$T_l = 32\text{ °F}$ Intervalo Fijo de Temperatura = 180 °F $T_u = 212\text{ °F}$

Escala Rankine: 1 grado Rankine = 1 °R

$T_l = 492\text{ °R}$ Intervalo Fijo de Temperatura = 180 °R $T_u = 672\text{ °R}$

Escala Reaumur: 1 grado Reaumur = 1 °Re

$T_l = 0\text{ °Re}$ Intervalo Fijo de Temperatura = 80 °Re $T_u = 80\text{ °Re}$

Escala Kelvin: 1 grado Kelvin = 1 °K

$T_a = 0\text{ °K}$ $T_l = 273\text{ °K}$ Intervalo Fijo de Temperatura = 100 °K $T_u = 373\text{ °K}$

La unidad del Sistema Internacional es el grado Kelvin.

La relación de conversión de temperatura entre las diferentes escalas es:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} * (^{\circ}\text{F} - 32) = \frac{5}{9} * (^{\circ}\text{R} - 492) = \frac{5}{4} * (^{\circ}\text{Re}) = (^{\circ}\text{K} - 273)$$

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes e importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador. Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

Variación en volumen o estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).

Variación de resistencia de un conductor (RTD's).

Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).

F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termocuplas).

Intensidad de la radiación total emitida por un cuerpo (pirómetros de radiación).

Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal).

De este modo se emplean los instrumentos siguientes:

Termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termocuplas, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

Los instrumentos de medición de temperatura más comunes y sus rangos de medición se muestran en la siguiente Tabla N° 2.1:

Instrumentos Y Rango De Medición.

Sensor de Temperatura	Tipo	Rango de Medición (°C)
Termocupla	T	-184 a 371
	J	0 a 750
	E	0 a 871
	K	0 a 1260
	S	538 a 1482
	R	871 a 1705
	B	871 a 1820
Termómetro Bulbo	Gas	-240 a 550
	Vapor	-40 a 320
	Líquido	-150 a 250
	Mercurio	-150 a 650
Termómetro Resistencia	Pt100	-150 a 650
Pirómetro Radiación	Óptico	800 a 6000
	Otros	0 a 300

Tabla 24

Medidores de temperatura

Termómetro de vidrio

El termómetro de vidrio consta de un depósito de vidrio que contiene un fluido, por ejemplo mercurio, el cual al calentarse se expande y sube en el tubo capilar, ver Dibujo 175.

Los rangos de temperatura de los fluidos empleados son:

Mercurio..... –35 a 450 °C
Pentano..... –200 a 20 °C
Alcohol..... –110 a 50 °C

La precisión es de 1 % en toda la escala.

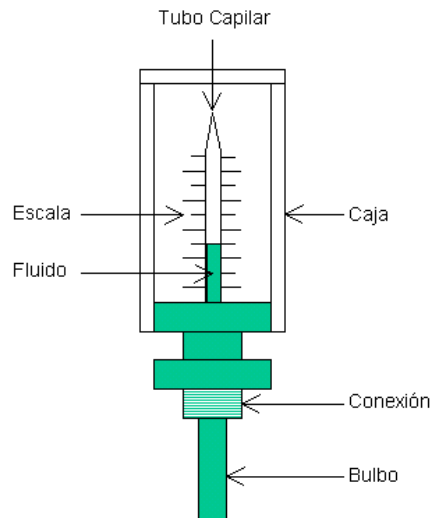


Figura 175

Termómetro Industrial de Vidrio.

Los termómetros industriales de vidrio se utilizan en calderas, hornos, autoclaves, motores diésel, compresores, etc.

Las ventajas del termómetro de vidrio son: bajo precio, no requiere uso de equipos auxiliares, permite realizar medidas precisas en un amplio rango de temperatura, fácil de transportar.

Los termómetros de líquido de vidrio se clasifican en: inmersión total, inmersión parcial e inmersión completa.

Los errores más comunes son: depresión temporal del cero, aumento temporal (permanente) del cero, burbujas en el capilar, mercurio adherido al capilar, paralaje.

Termómetro bimetalico

Los termómetros bimetalicos basan su funcionamiento en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35,5 % de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetalicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.

Un termómetro bimetalico típico contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetalico, ver Figura 176.

El eje y el elemento están sostenidos con cojinetes y el conjunto está construido con precisión para evitar rozamientos. No hay engranajes que exijan un mantenimiento. La precisión del instrumento es de $\pm 1\%$ y su rango de medida es -200 a $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

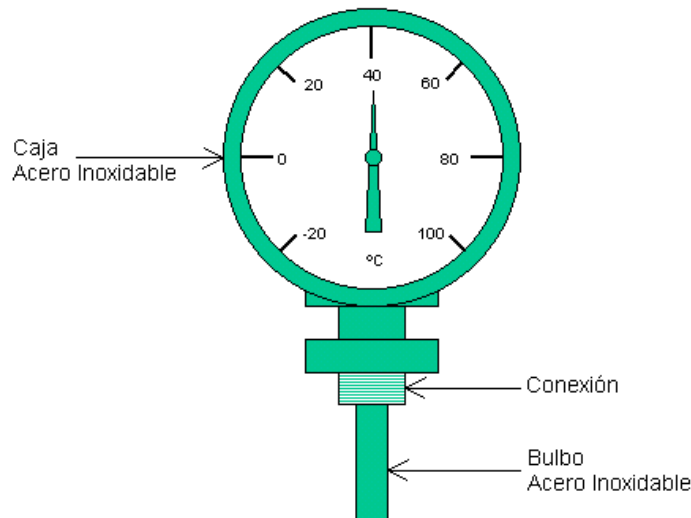


Figura 176

Termómetro Bimetalico.

Los termómetros bimetalicos se utilizan en sistemas de aire, industria textil, líneas de agua y vapor, motores, etc.

Termómetro de bulbo y capilar

Consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a un espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o líquido en el bulbo se expande y el espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo.

Existen cuatro clases de este tipo de termómetros:

- | | | |
|----------|---|-----------------------------------|
| Clase I | : | Termómetros actuados por líquidos |
| Clase II | : | Termómetros actuados por vapor |

Clase III	:	Termómetros actuados por gas
Clase IV	:	Termómetros actuados por mercurio

Termómetro de resistencia (RTD)

La medida de temperatura utilizando RTD depende de las características propias de ciertos elementos metálicos que cambian su resistencia en función de la temperatura.

El elemento consiste de un hilo conductor fino enrollado, este elemento es bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. Las bobinas están situadas dentro de un tubo de protección o vaina de material adecuado al fluido del proceso (acero, acero inoxidable, hastelloy, monel), ver Figura 177.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado “coeficiente de temperatura de resistencia” que expresa, a una temperatura especificada, la resistencia en ohm del conductor por cada grado que cambia su temperatura, expresado en $\text{ohm}/^{\circ}\text{C}$.

Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben poseer las siguientes características:

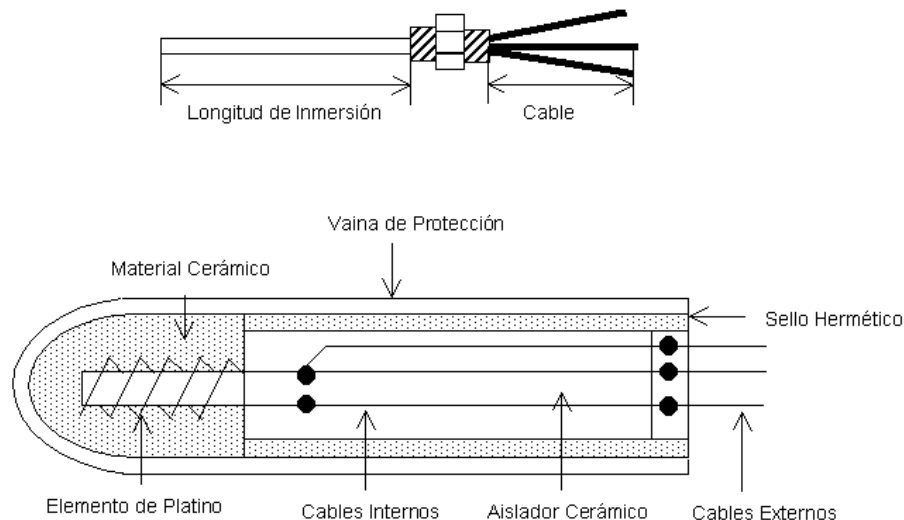


Figura 177

Tipos de Sondas de Resistencia

Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.

Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad).

Relación lineal entre resistencia y temperatura.

Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento de conductor en las bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta).

Estabilidad de las características durante la vida útil del material.

Los materiales que se usan normalmente en las sondas de resistencia son el cobre, níquel, platino y 70 % níquel – 30 % hierro.

El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad pero presenta el inconveniente de su costo. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohms a 0 °C (Pt100).

El níquel es más barato que el platino y posee una resistencia más elevada con una mayor variación por grado, sin embargo, tiene como desventaja la falta de linealidad en su relación entre resistencia y temperatura y las variaciones que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes fabricados.

El cobre tiene una variación de resistencia uniforme, es estable y barato, pero tiene el inconveniente de su baja resistividad.

En la Tabla 25, se indica las características de las sondas de resistencia de platino, níquel y cobre.

La variación de resistencia de las RTD's es medida en un puente de Wheatstone dispuesto en montajes denominados de dos, tres o cuatro hilos, según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente, ver Figura 178. El montaje de dos hilos se emplea con resistencias moderadas del hilo de conexión y cuando la lectura no necesita ser demasiado exacta. El montaje de tres hilos es el más utilizado en la práctica. En este circuito la sonda está conectada mediante tres hilos al puente. De este modo, la medida es compensada por efectos de la longitud de los conductores y la temperatura.

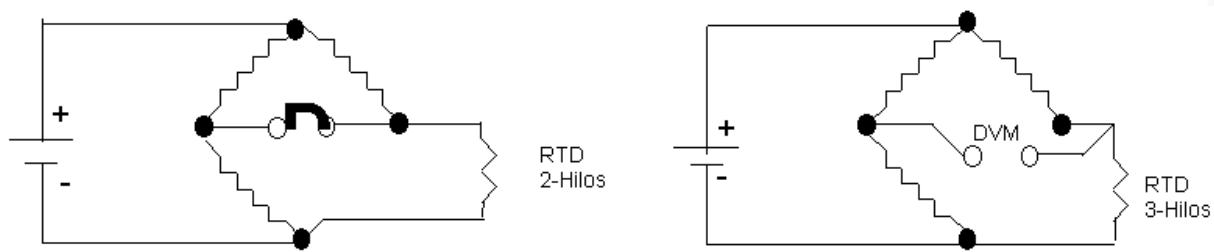


Figura 178

RTD's de 2 y 3 Conductores.

Características De SonDas De Resistencia.

Material	Resistencia (Ohm) a 0 °C	Coeficiente de Temperatura	Rango de Operación (°C)	Precisión (%) a 0 °C
Platino	100	0.00385	-200 a 600	0,01
Platino	100	0.00391	-200 a 600	0,03
Platino	200	0.00385	-200 a 600	0.01
Platino	200	0.00391	-200 a 600	0.03
Platino	500	0.00385	-70 a 500	0.12
Platino	1000	0.00385	-70 a 500	0.12
Cobre	10	0.00427	-200 a 204	0,2
Níquel	120	0.00672	-200 a 204	0,5
Níquel – Fierro	604	0.00518	-200 a 204	0.5

Tabla 25

Termistores

Los Termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativa de valor elevado, por lo que presentan variaciones rápidas y extremadamente grandes para cambios relativamente pequeños en la temperatura.

Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales, y están encapsulados. Los termistores estándar son ofrecidos con resistencias de referencia de 5000 y 1000 ohms a 25 °C.

En intervalos amplios de temperatura, los termistores en forma precisa tienen características no lineales, por lo que ellos pueden medir temperatura pero en un estrecho rango, un rango típico de operación es de 70 °C.

Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las RTD's y permiten incluso intervalos de medida de 1 °C. Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de 0,5 a 10 segundos. Los termistores se conectan a puentes de Wheastone convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una resistencia comparable con los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a cambios de temperatura del proceso.

Los termistores encuentran su principal aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura, y como medidores de temperatura diferencial. Seleccionando el sensor y material de protección adecuados, los termistores pueden operar en un rango de temperatura de -40 a 150 °C.

Termocuplas

La termocupla se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura. La combinación de los dos efectos es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en la termocupla. Esta corriente puede calentar la termocupla y afectar la precisión en la medida de temperatura, por lo que durante la medición debe hacerse mínimo su valor.

Estudios realizados sobre el comportamiento de las termocuplas han permitido establecer tres leyes fundamentales:

Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

Ley de los metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A hacia otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

Ley de temperaturas sucesivas. La f.e.m. generada por una termocupla con sus uniones a las temperaturas T_1 y T_3 es la suma algebraica de la f.e.m. de la termocupla con sus uniones a T_1 y T_2 y de la f.e.m. de la misma termocupla con sus uniones a las temperaturas T_2 y T_3 .

Por estas leyes se hace evidente que en el circuito se desarrolla una pequeña tensión continua, proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de la referencia. Los valores de esta f.e.m. están tabulados en tablas de conversión con la unión de referencia a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Por ejemplo, una termocupla “tipo J” está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y níquel). Al colocar la unión de los metales a $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, debe aparecer en los extremos 42,2 milivolts, ver Figura 179.

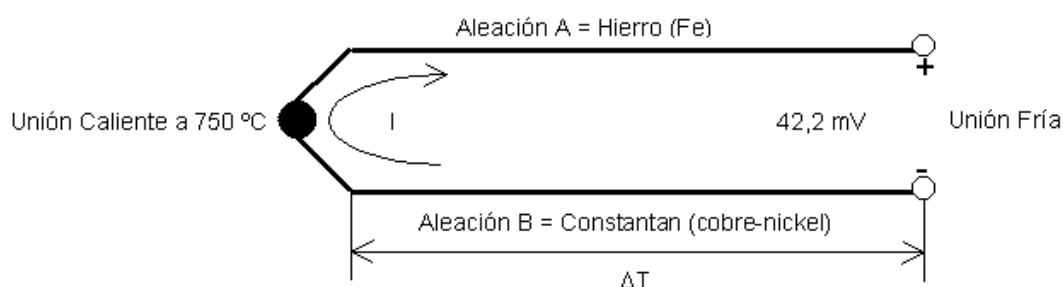


Figura 179

Circuito de Termocupla – Efecto Seebeck.

La selección de los alambres para termocuplas se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, oxidación, reducción y cristalización, que desarrollen una f.e.m. relativamente alta, que sean estables, de bajo costo y de baja resistencia eléctrica y que la relación entre la temperatura y la f.e.m. sea tal que el aumento de ésta sea lineal al aumento de temperatura, ver Figura 180.

En la medición de temperaturas elevadas que se encuentran en la fabricación de acero de fusión se emplean cartuchos con termocuplas R o S que se enchufan en una lanza. El operario sumerge ésta en acero y aunque el cartucho se funde en unos segundos, da tiempo a que un circuito especial fije la máxima temperatura alcanzada.

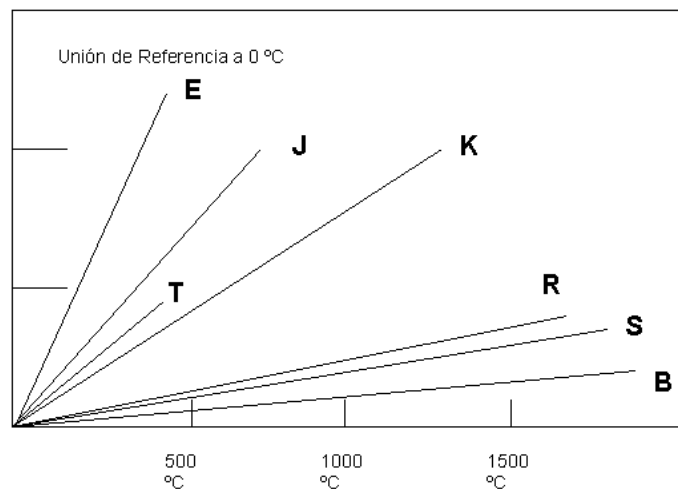


Figura 180

Curvas Características.

La termocupla tipo E, de cromel-constantán puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora. Esta termocupla posee la f.e.m. más alta por variación de temperatura, y puede usarse para las temperaturas entre 0 y 871 °C. El error estándar de medición es $\pm 1,7$ °C.

La termocupla tipo T, de cobre-constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -184 y 371 °C. El error estándar de medición es ± 1 °C.

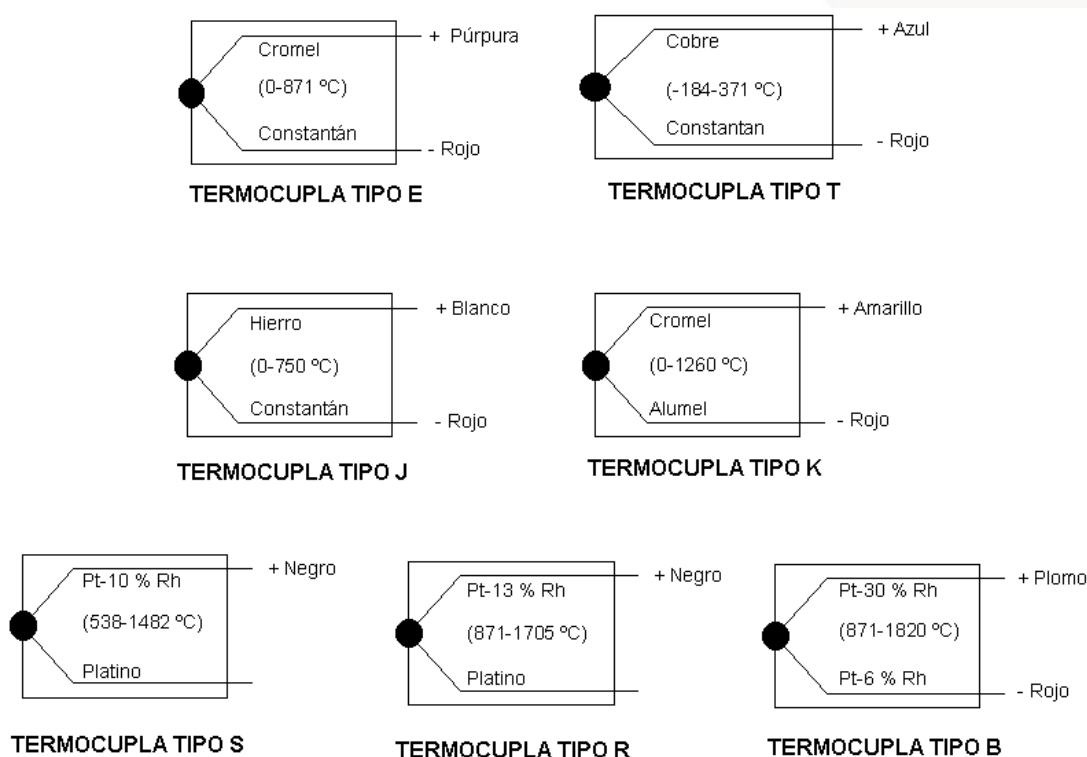


Figura 181

Diferentes tipos de termocuplas.

La termocupla tipo J, de hierro-constantán, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de los 550 °C, siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de 750 °C. El error estándar de medición es $\pm 2,2$ °C

La termocupla tipo K, de cromel-alumel, se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1250 °C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegida con un tubo de protección. El error estándar de medición es $\pm 2,2$ °C

Las termocuplas tipo R, S y B de Pt-Pt/Rh se emplean en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo de hasta 1820 °C. Si la atmósfera es reductora, la termocupla debe protegerse con un tubo cerámico estanco. El error estándar de medición es $\pm 1,5$ °C

El material del tubo de protección, ver Figura 182, o vaina debe ser el adecuado para proteger el sensor de las condiciones ambientales encontradas en procesos industriales donde se aplican y suele ser:

Metálico

Aluminio: Hasta 538 °C continuos. Buena conductividad térmica y resistencia mecánica. La oxidación puede surgir cuando no se anodiza.

Cobre: Hasta 260 °C continuos. Excelente conductividad térmica. Escasa resistencia mecánica.

Hastelloy C: Hasta 1038 °C en atmósfera oxidante. Resistencia excepcional a una amplia variedad de ambientes químicos y gases húmedos.

Inconel: Hasta 1149 °C bajo condiciones oxidantes. No debe ser ubicado en atmósferas sulfurosas sobre 538 °C.

Molibdeno: Hasta 1926 °C en atmósferas inertes, 1871 °C en vacío a 10-4 torr. Tiene mala resistencia al choque mecánico después de los 1038 °C.

Monel: Hasta 538 °C en atmósfera libre de azufre. Excelente resistencia a la corrosión usada principalmente en la industria química y de alimentos.

Platino: Hasta 1374 °C continuos en atmósfera oxidante. Buena conductividad térmica. Usada en aplicaciones de alta temperatura, pero no en atmósfera inerte o vacía.

Acero Inoxidable 316: Hasta 927 °C bajo condiciones oxidantes. Tiene buena resistencia al ácido suave y corrosión.

Titanio: Hasta 1260 °C en atmósfera inerte o vacío. Resistencia química y ácido. En atmósfera oxidante resistencia hasta 538 °C

Cerámico

Alumina: Hasta 1889 °C. Tiene resistencia aceptable al choque térmico y mecánico. Es insensible a los gases a alta temperatura.

Nitrato de Boro: Puede ser usada hasta 3000 °C en atmósferas reductoras. Excelente resistencia al choque térmico y eléctrico.

Hexoloy: Hasta 1650 °C en aire. Alta conductividad térmica, excelente resistencia a la abrasión, alta resistencia al choque térmico y buena resistencia mecánica.

Carburo de Silicio: Hasta 1649 °C. Se utiliza como tubo de protección secundario en tubos de alumina.

Material Compuesto

Cerite: Hasta 1093 °C. Se utiliza en forma sumergida en metales fundidos no ferrosos. Buena resistencia al choque térmico y mecánico.

Vesuvius: Hasta 927 °C. Se utiliza en forma sumergida en metales fundidos no ferrosos. Buena resistencia al choque térmico y mecánico.

Cuando la termocupla está instalada a una distancia larga del instrumento, no se conecta directamente al mismo, sino por medio de un cable de extensión. Los cables de extensión son conductores con propiedades eléctricas similares a las de la termocupla hasta ciertos límites de temperatura (0-200 °C) y son más económicos. Se suelen utilizar los siguientes:

Conductores tipo J para termocuplas tipo J.
 Conductores tipo K o tipo T para termocuplas tipo K.
 Conductores tipo T para termocuplas tipo T.
 Conductores tipo E para termocuplas tipo E.
 Conductores cobre-cobre níquel para termocuplas tipo R, S o B.

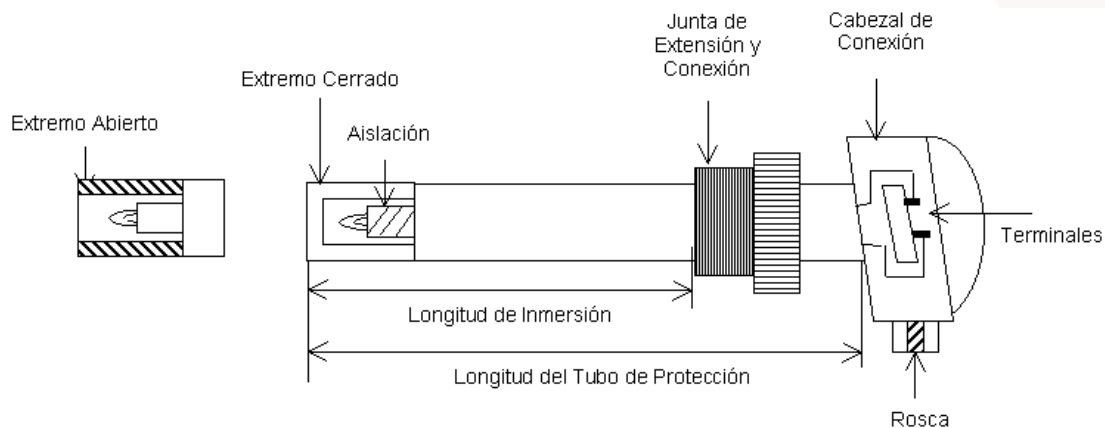


Figura 182

Tubo de Protección para Termocuplas.

Las conexiones entre el cable de compensación, la termocupla y el instrumento deben ser perfectas, sin empalmes en el cable de compensación. Debe utilizarse el hilo correcto y el conjunto de instalación debe evitar el paso próximo por fuentes de calor (aparece el efecto Thomson). Si estas recomendaciones no se cumplen aparecen tensiones térmicas de corriente continua que dan lugar a un desplazamiento de la calibración del instrumento.

La termocupla es susceptible al ruido eléctrico industrial debido a que durante su funcionamiento puede generar tensiones de 2 a 50 mV y se encuentra en un entorno donde las grandes máquinas eléctricas pueden crear cientos de milivolts en el cable de conexión. Por otro lado, la termocupla, trabajando como una antena, puede recoger radiación electromagnética de radio, TV y microondas. De aquí que se requiere que los cables de conexión estén torcidos y dentro de una funda metálica que se pone a tierra, que la unión de medida esté puesta a tierra, y que el amplificador tenga una buena relación señal/ruido.

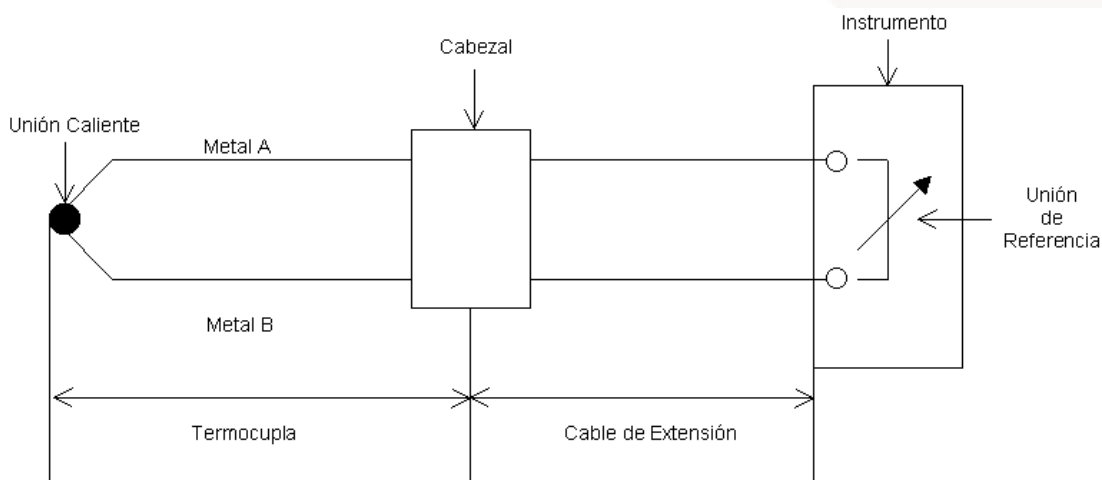


Figura 183

Diagrama de Circuito.

Para medir la f.e.m. de la termocupla pueden emplearse el circuito galvanométrico y el circuito potenciométrico, mostrado en la Figura 183.

Para seleccionar una termocupla para una aplicación industrial se deben considerar los siguientes factores:

- Exactitud requerida
- Estabilidad
- Confiabilidad y vida útil
- Costo inicial
- Costo de reemplazo
- Rango de temperatura
- Condiciones ambientales
- Vibración

El principal criterio de selección es el rango a ser medido. Entre 0 y 350 °C cualquier tipo de termocupla puede ser utilizada. Cuando decrece la magnitud del rango de temperaturas a medir, solamente pueden usarse Termocuplas de metales nobles. El siguiente criterio que determina el tipo de termocupla es la naturaleza del ambiente donde será utilizada.

En la instalación de una termocupla se debe cuidar de minimizar el flujo de calor en la región de la junta caliente debido a conducción o radiación. Si el flujo de calor es muy pequeño en la región de la junta caliente, el gradiente de temperatura será pequeño y el error también será pequeño.

Pirómetros

Pirómetro de Radiación

Estos pirómetros se basan en la ley de Stefan-Boltzmann, ver Figura 184, que dice que la intensidad de energía radiante (en Joule/seg por unidad de área) emitida por la superficie de un cuerpo, aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Kelvin) del cuerpo, es decir, $W=ET^4$. Desde el punto de vista de medición de temperaturas industriales, las longitudes de onda térmicas abarcan desde 0,1 micras para las radiaciones ultravioletas, hasta 12 micras para las radiaciones infrarrojas.

Puede observarse que la radiación visible ocupa un intervalo entre la longitud de onda de 0,45 micras para el valor violeta hasta 0,70 micras para el rojo.

Los pirómetros ópticos miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de la radiación. Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo a distancia en función de la radiación luminosa que éste emite, se denominan pirómetros ópticos de radiación parcial o pirómetros ópticos y los que miden la temperatura captando toda o gran parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.

Pirómetro de Ópticos

Los pirómetros ópticos manuales se basan en la desaparición del filamento de una lámpara al compararlo visualmente con la imagen del objeto enfocado. Pueden ser de dos tipos: a) de corriente variable en la lámpara y b) de corriente constante en la lámpara con variación del brillo de la imagen de la fuente.

Los pirómetros ópticos automáticos consisten en un disco rotativo que modula desfasadas la radiación del objeto y la de una lámpara estándar que inciden en un fototubo multiplicador. Este envía una señal de salida en forma de onda cuadrada de impulsos de corriente continua que convenientemente acondicionada modifica la corriente de alimentación de la lámpara estándar hasta que coinciden en brillo la radiación del objeto y la de la lámpara. En este momento, la intensidad de corriente que pasa por la lámpara es función de la temperatura.

En algunos modelos, el acondicionamiento de señal se realiza con un microprocesador, lo que permite alcanzar una precisión de $\pm 0,5\%$ en la lectura, con la posibilidad adicional de trabajar en modo continuo. Un juego de lentes permite efectuar la lectura de objetos tan pequeños como de 0,4 mm de diámetro.

El coeficiente de emisión de energía radiante (medida de la característica relativa del cuerpo para emitir energía radiante) depende del estado de la superficie del cuerpo emisor; para un metal como el cobre pasa de 0,1 a 0,85 si el metal perfectamente pulido se recubre bruscamente con una capa de óxido, y lo mismo sucede con un baño metálico líquido.

El pirómetro dirigido sobre una superficie incandescente no dará su temperatura verdadera si la superficie no es perfectamente negra, es decir, que absorba absolutamente todas las radiaciones y no refleje ninguna.

En los casos generales es preciso hacer una corrección de la temperatura leída para tener en cuenta el valor de absorción (o de emisión ϵ) de la superficie.

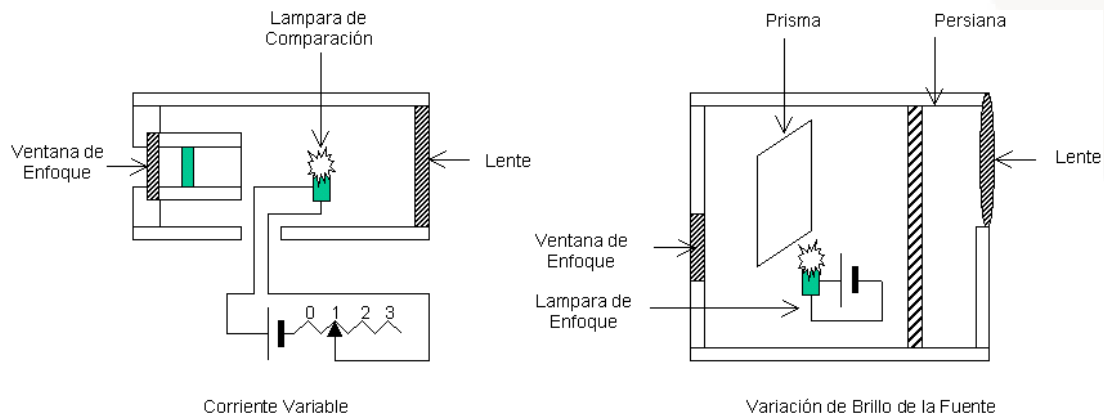


Figura 184

Pirómetros Ópticos.

Pirómetro Infrarrojo

El pirómetro de infrarrojos capta la radiación espectral del infrarrojo, invisible al ojo humano, y puede medir temperaturas menores de 700 °C, supliendo al pirómetro óptico que sólo puede trabajar eficazmente a temperaturas superiores a 700 °C, donde la radiación visible emitida es significativa.

La lente filtra la radiación infrarroja emitida por el área del objeto examinado y la concentra en un sensor de temperatura (termocupla o termistor), ver Figura 185. La distancia focal de la lente varía entre 500 y 1500 mm. Análogamente al pirómetro óptico, debe considerarse el coeficiente de emisión del cuerpo. El aparato dispone de un compensador de emisividad que permite corregir la temperatura leída, no sólo para la pérdida de radiación en cuerpos con emisividad menor que uno, sino también cuando hay vapores, gases, humos o materiales transparentes que se interponen en el camino de la radiación. La precisión es de $\pm 0,3\%$.

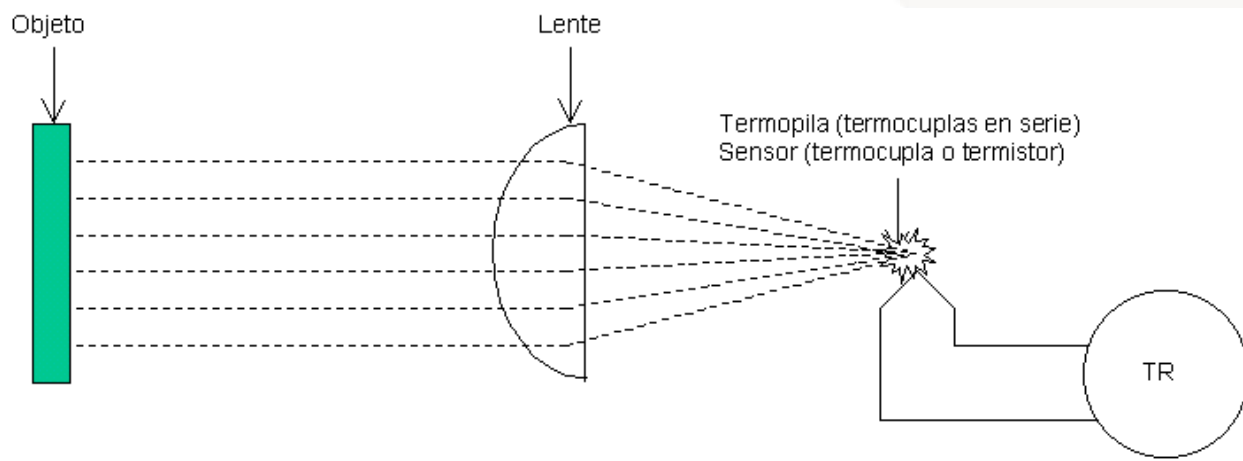


Figura 185

Pirómetro de Infrarrojos.

El pirómetro puede disponer de los siguientes accesorios:

Lente posterior para enfocar correctamente la radiación de la termopila.

Dispositivo de refrigeración por aire, que protege el lente contra un calentamiento excesivo y lo mantiene limpio de gas o vapor que pueden estar en contacto con el tubo de mira.

Dispositivo de refrigeración por agua. Este accesorio impide que el cuerpo del pirómetro se caliente excesivamente por conducción a lo largo del tubo de mira, o por radiación de otras fuentes.

Dispositivo automático de seguridad para aislar el lente del proceso y proteger el pirómetro en el caso de que una llama lo alcance directamente.

Tubos de mira con extremo abierto, se utilizan para proteger el lente, o para impedir la llegada de radiación de otras fuentes extrañas a la que está apuntando.

Tubos de mira con extremo cerrado, se emplean en hornos con atmósferas a presión, o con gases agresivos y en las medidas de temperatura de metales fundidos en los que el tubo de mira debe estar sumergido. El fondo del tubo es la fuente de radiación, y las paredes laterales tienen poca influencia. Al ser el tubo cerrado, las condiciones se aproximan a las de cuerpo negro.

Los tubos pueden ser metálicos o cerámicos. Los primeros son de acero inoxidable o aleaciones metálicas resistentes al calor y a la corrosión y se emplean en temperaturas que no superan los 1100 °C. Permiten una respuesta más rápida a los cambios de temperatura que los tubos cerámicos. Los tubos cerámicos se utilizan hasta 1650 °C y pueden ser de carburo de silicio, sillramic, sílice, etc.

Características de los Termómetros Ópticos según su Longitud de Onda

Longitud de Onda (micrones)	Rango de T° (°C)	Detector	Lentes	Aplicación
0,65	700-3500	Silicio	Cristal	Acero y Vidrio Derretido
0,7-1,08	550-3000	Silicio	Cristal	Fundición de Acero y Fierro
0,9-1,08	300-2800	Silicio	Cristal	Molinos,
0,91-0,97	400-2000	Silicio	Cristal	Semiconductores
0,7-1,08 Dos Colores	700-3500	Silicio	Lentes Especiales	Hornos con Polvo, Humo
1,64	250-1400	Germanio	Cristal	Metales no Ferrosos
2-2,6	80-800	Sulfuro de Plomo	Cristal	Propósito General Plástico Grueso, Goma, Alimentos
3,4	0-800	Arseniuro de Indio	Fluoruro de Calcio	Cintas Delgadas, Pinturas, Ceras y Aceites
3,9	300-1300	Termopila	Fluoruro de Calcio	Hornos de Fundición
4,8-5,3	50-2500	Termopila	Sulfuro de Zinc	Vidrio, Sellado
7,9	20-400	Termopila	Sulfuro de Zinc	Semiconductor, Vidrio Ampolleta
8-14	-50-500	Termopila	Sulfuro de Zinc	Propósito General Papel, Textil, Alimentos

Tabla 26

Calibración

Para la calibración de instrumentos de temperatura se emplean baños de temperatura (calibradores de bloque metálico, de baño de arena y de baño de líquido), hornos y comprobadores potenciométricos.

El calibrador de bloque metálico consiste de un bloque metálico calentado por resistencias con un controlador de temperatura de precisión (± 2 °C) adecuado para aplicaciones de alta temperatura (-25 a 1200 °C). El control de temperatura se realiza con aire comprimido, lo que permite reducir la temperatura desde 1200 °C a la ambiente en unos 10-15 minutos. En el calibrador hay orificios de inserción para introducir una termocupla patrón y la sonda de temperatura a comprobar. Puede programarse las temperaturas y la pendiente de subida o bajada y comunicarse a un computador.

El calibrador de baño de arena consiste en un depósito de arena muy fina que contiene tubos de inserción para la sonda de resistencia o la termocupla patrón y para las sondas de temperatura a comprobar. La arena caliente es mantenida en suspensión por medio de una corriente de aire, asegurando así la distribución uniforme de temperaturas a lo largo de los tubos de inserción.

El calibrador de baño líquido consiste en un tanque de acero inoxidable lleno de líquido, con un agitador incorporado, un termómetro patrón sumergido y un controlador de temperatura que actúa sobre resistencias calefactoras y sobre un refrigerador mecánico dotado de una bobina de refrigeración.

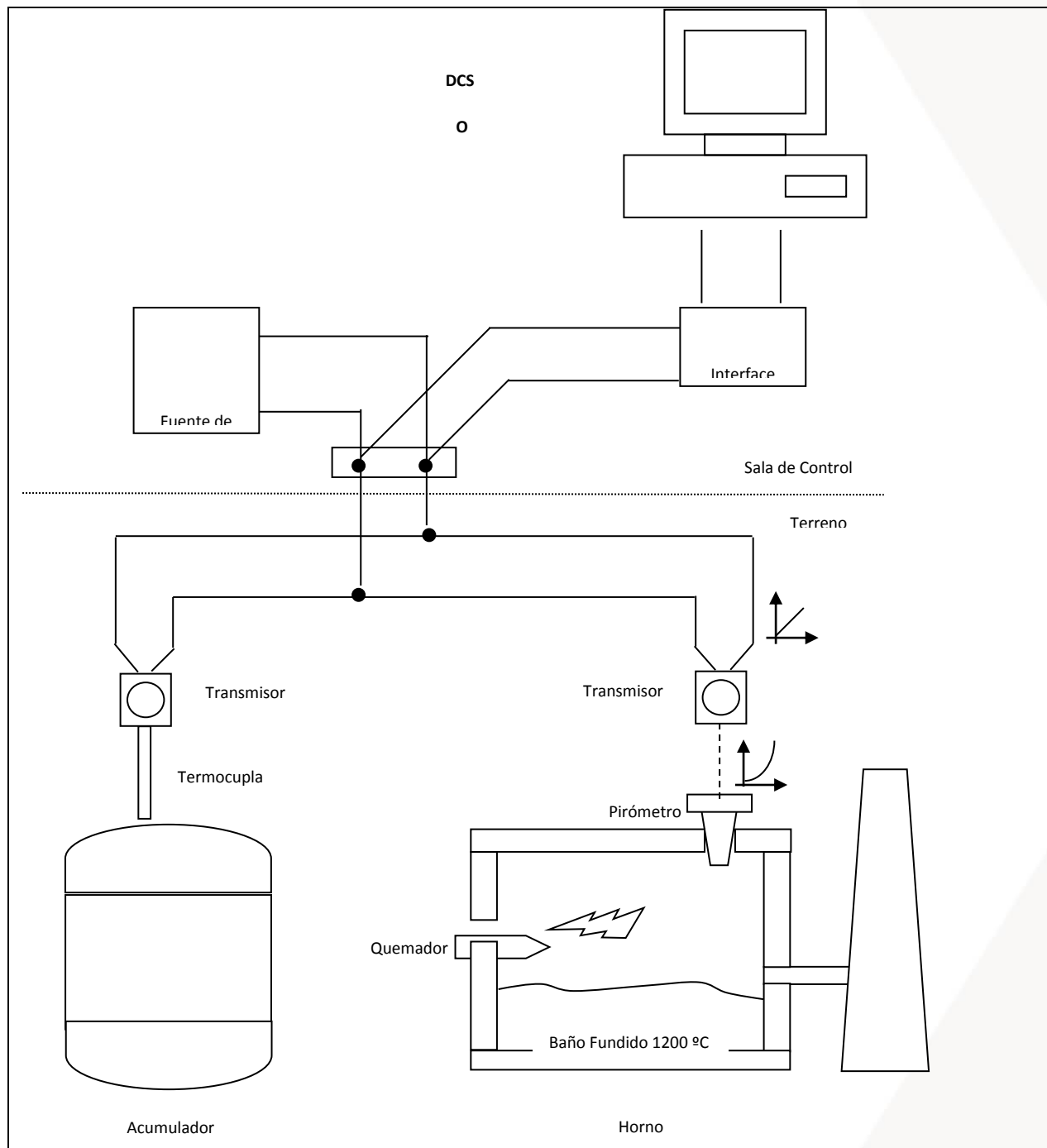


Figura 186

Configuración con Sistema de Supervisión

El agitador mueve totalmente el líquido, disminuye los gradientes de temperatura en el seno del líquido y facilita la transferencia rápida de calor; el termómetro patrón es de tipo de laboratorio, con una gran precisión; el controlador de temperatura puede ser on/off, proporcional o proporcional más integral.

Los fluidos empleados en el baño son varios, dependiendo del campo de temperatura de trabajo.

Los hornos de temperatura son hornos de crisol calentados por resistencias eléctricas y con tomas adecuadas para introducir los elementos primarios del instrumento a comprobar.

Si bien estos hornos son de temperatura controlada disponiendo de indicador-controlador, una termocupla de precisión y resistencias de calentamiento, una calibración muy precisa se conseguirá disponiendo en el horno crisoles con materiales específicos que funden a temperaturas determinadas.

Los comprobadores potenciométricos se emplean para comprobar las características f.e.m. – temperatura de las termocuplas, para medir la temperatura con una termocupla y para calibrar los instrumentos galvanométricos y potenciométricos. Constan de un galvanómetro, un elemento de estandarización de tensión y reóstatos de selección de f.e.m., combinados con un selector.

Esencialmente, el aparato puede medir y generar f.e.m. en corriente continua con varios márgenes que van de 0 - 0,182 a 0 – 182 mV, y con tensiones por división de 0,0001 V a 0,1 mV respectivamente. La precisión es del orden de 0,2 %.

Cabe señalar que debe tenerse en cuenta el efecto de autocompensación de temperatura del instrumento que se está verificando. Para ello se coloca un termómetro de vidrio en la caja del instrumento y se procede del siguiente modo:

Se determina la temperatura de la unión fría del instrumento por lectura del instrumento de vidrio.

En las tablas de f.e.m. (referidas a 0°C) se determinan los mV correspondientes a la temperatura de la unión fría y los correspondientes a la temperatura a verificar del instrumento.

La diferencia algebraica entre los dos valores anteriores se sitúa en el comprobador debiendo el instrumento leer la temperatura a verificar.

Si se desea comprobar el estado de una termocupla los pasos a seguir son los anteriores, pero sumando los valores en mV de la temperatura ambiente y la generada por la termocupla. Los mV resultantes se pasan a temperatura mediante la tabla de f.e.m.

Los comprobadores potenciométricos con microprocesador ahorran muchos de los pasos de calibración al disponer de compensación automática de la unión fría, y al tener incorporadas en memoria las tablas de mV – temperatura de los diferentes tipos

de termocupla utilizados o bien los polinomios que definen la f.e.m. en función de la temperatura. De modo análogo ocurre en el comprobador de puente de Wheatstone.

El comprobador de puente de Wheatstone, se emplea para comprobar las características de resistencia – temperatura de las sondas de resistencia (RTD). La resistencia desconocida X equivale a:

$$X = R1 * \frac{R2}{R3}$$

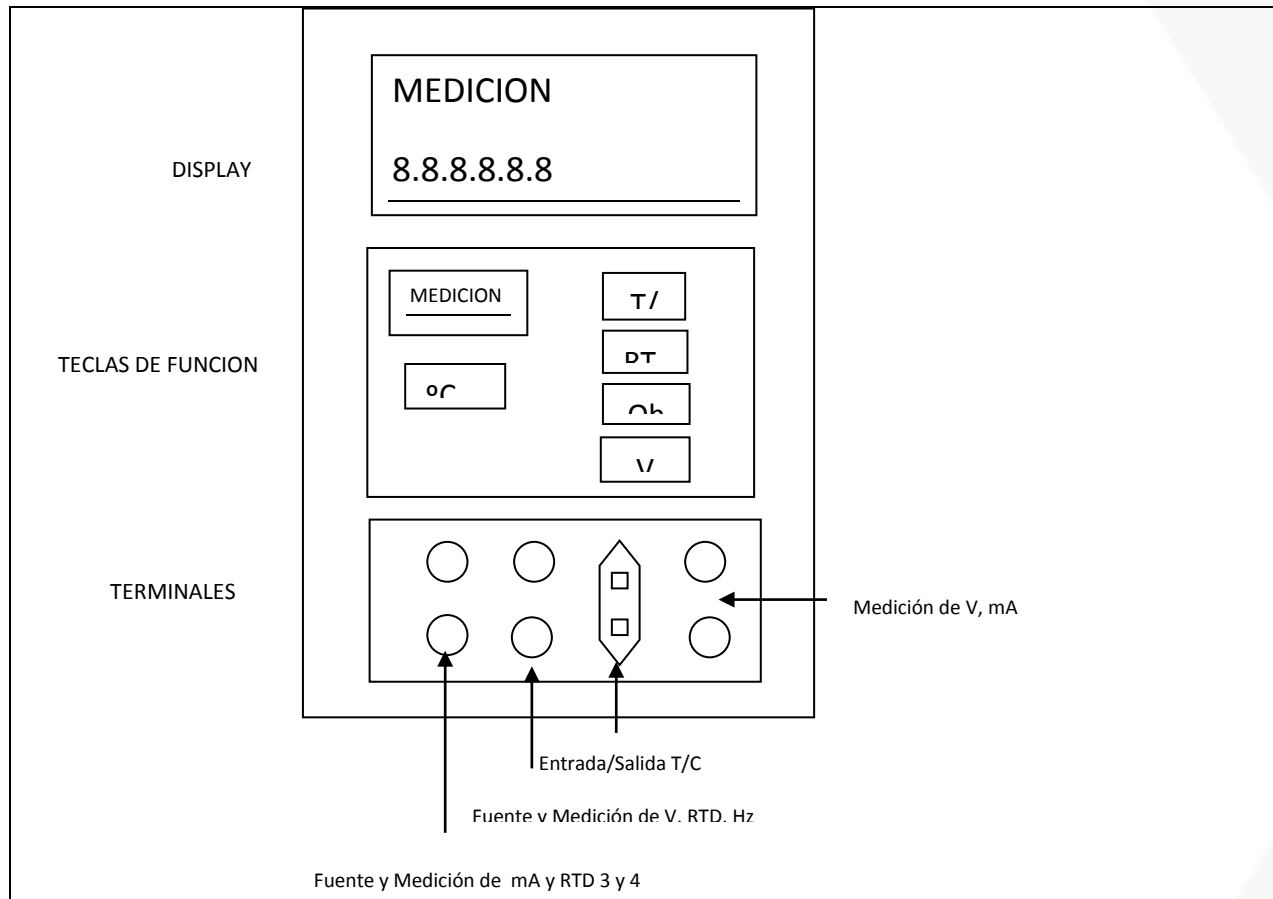


Figura 187

Calibrador de Procesos Multifunción.

En la que R1 es una resistencia que se hace variar en múltiplos de 10 (9 X 1, 9 X 10, 9 X 100, 9 X 1000) y la relación R2/R3 varía desde 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10, 100, 1000. Aquí la temperatura ambiente no tiene influencia y la única precaución a adoptar es hacer las conexiones con cable de sección suficiente para que no presente resistencia. La comprobación de los instrumentos de puente de Wheatstone se lleva a cabo conectándoles cajas de resistencias patrones que, de acuerdo con las tablas correspondientes, equivalgan a las temperaturas deseadas.

La precisión es elevada, del orden de 0,01 a 0,2 %, según sea el rango de medida.

Los calibradores universales de temperatura reúnen en un solo aparato las características de los comprobadores potenciométricos y de puente de Wheatstone descritos, midiendo y generando señales de termopar, termorresistencia, ohm, milivolt, volt y miliamperes. Son muy precisos (+/- 0,02 %) y pueden estar dotados de capacidad de comunicación RS232 con un computador. Un programa de calibración guía directamente al operador proporcionándole las instrucciones de calibración necesarias. Los resultados documentados cumplen los requisitos de la norma de calidad ISO 9000.

VARIABLE pH

DEFINICION

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Su expresión viene dada por el logaritmo en base 10, de la inversa de la concentración del ion H expresada en moles por litro.

$$pH = \log \left[\frac{1}{H^+} \right]$$

El agua pura neutra tiene una concentración de ion hidrógeno de 10^{-7} moles por litro. Luego el pH será:

$$pH = \log \left[\frac{1}{10^{-7}} \right] = 7$$

Valores de pH de varias soluciones.

pH de productos alimenticios comunes		pH de varios productos químicos a 25 °C
	0	← Acido sulfúrico 4,9% (1 N)
	1	← Acido Hidroclórico 0,37% (0,1 N)
Jugo limón →	2	
Jugo naranja →	3	← Acido acético 0,6% (0,1 N)
Cerveza →	4	
Queso →	5	← Acido hidrocianico 0,27% (0,1 N)
Leche →	6	
Agua pura →	7	
Huevos blancos →	8	← Bicarbonato sódico 0,84% (0,1 N)
Bórax →	9	← Acetato de potasio 0,98% (0,1 N)
Magnesia →	10	
	11	← Amoniaco 0,0017% (0,01 N)
	12	← Amoniaco 1,7% (1,0 N)
	13	← Soda cáustica 0,04% (0,01 N)
	14	← Soda cáustica 4% (1,0 N)

Tabla 27

Una disolución ácida tiene mayor concentración de ion hidrógeno que el agua pura y por lo tanto su pH será menor que 7. En una disolución básica ocurre lo contrario, entonces su pH será mayor de 7. Las medidas prácticas del pH se encuentran entre los valores 0 a 14. En la Tabla 27, son mostradas las concentraciones de varios tipos de soluciones con su pH correspondiente.

Principio de medición

En la medida del pH pueden utilizarse varios métodos, de entre los cuales el más exacto y versátil de aplicación industrial es el sistema de electrodo de vidrio.

El electrodo de vidrio consiste en un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior con una membrana de vidrio especialmente sensible a los iones hidrógeno del pH.

En la parte interna de esta membrana se encuentra una solución de cloruro tampón de pH constante, dentro de la cual está inmerso un hilo de plata recubierto de cloruro de plata.

Aunque el mecanismo, que permite que el electrodo de vidrio mida la concentración de ion de hidrógeno, no es exactamente conocido, está establecido que al introducir el electrodo en el líquido se desarrolla un potencial relacionado directamente con la concentración del ion hidrógeno del líquido. Es decir, si esta concentración es mayor que la interior del electrodo existe un potencial positivo a través de la punta del electrodo y si es inferior, el potencial es negativo.

Este potencial varía con la temperatura, por ejemplo, pasa de 54,2 mV a 0 °C a 74mV a 100 °C por unidad de pH. Para medir el potencial desarrollado en el electrodo de vidrio es necesario disponer en la solución de un segundo electrodo de referencia. Este, aparte de cerrar el circuito, suministra un potencial constante que sirve de referencia para medir el potencial variable del electrodo de vidrio. El electrodo de referencia contiene una célula interna formada por un hilo de plata recubierto con cloruro de plata en contacto con el electrólito de cloruro de potasio. Este electrólito pasa a la solución muestra a través de una unión líquida. De este modo, la célula interna del electrodo permanece en contacto con una solución que no varía de concentración y que por lo tanto proporciona una referencia estable de potencial

En la Figura 188, se muestra la disposición interna de los electrodos y los potenciales que miden:

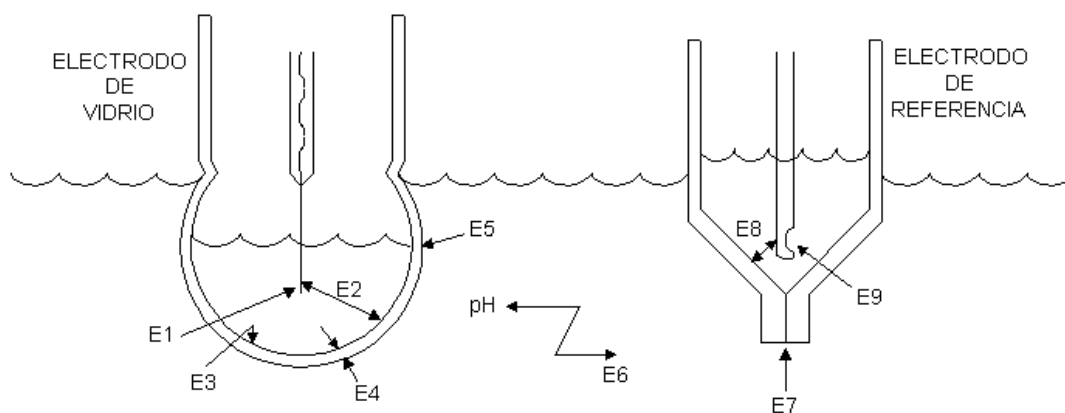


Figura 188

Electrodos y Potenciales en la medida del pH.

Los potenciales existentes son los siguientes:

E1: Potencial entre el electrodo metálico interior y la solución tampón que puede considerarse constante para una temperatura dada. Las temperaturas extremadamente altas pueden dar lugar a la disolución del revestimiento de cloruro de plata del electrodo.

E2: Caída de potencial entre el electrodo interior y la cara interna de la membrana de cristal que puede considerarse despreciable.

E3: Potencial entre solución tampón y superficie de la membrana de cristal que es constante gracias a la estabilidad de la solución tampón y de la membrana de cristal.

E4: Caída de potencial a través de la membrana que se mantiene constante en cortos períodos mientras la membrana de cristal no sufra alteraciones de origen

químico o mecánico. Si este potencial varía, se calibra con una solución tampón de pH conocido.

E5: Potencial entre superficie exterior de la membrana de cristal y la solución ensayada que varía con la concentración de iones hidrógeno (pH) de la solución ensayada.

E6: Caída de potencial a través de la solución ensayada que se considera despreciable, salvo si se trata de agua poco conductora o de soluciones no acuosas.

E7: Representa el potencial de la unión líquida entre la solución ensayada y la de referencia. Su valor es despreciable, aunque un atascamiento o un exceso de presión externa contra la unión pueden influir en la medición.

E8: La caída de potencial dentro del electrodo de referencia es despreciable.

E9: Potencial de contacto entre el electrodo de referencia y la solución y la solución de ClK que puede considerarse constante si dicha solución no está contaminada.

La ecuación de Nernst da la f.e.m. E₅, desarrollada en el electrodo de referencia es:

$$E = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln \left[\frac{(H^+) \text{ exterior al electrodo}}{(H^+) \text{ interior en el electrodo}} \right] = \frac{R \cdot T}{F} \cdot pH$$

Dónde:

E = Potencial
R = Constante de los gases perfectos
F = Constante de Faraday
T = Temperatura absoluta
(H⁺) = Concentración de iones hidrógeno

La medida del pH con el electrodo de vidrio se reduce a medir un potencial resultante entre los electrodos de E₁ – E₉ con una resistencia interna considerable.

En la medida pueden presentarse algunas dificultades. Las más comunes son:

Recubrimiento o abrasión de la membrana del electrodo de vidrio (influye en el potencial E₄ y/o en el E₅).

Soluciones no acuosas o de alta resistencia (influye en E₆ y E₅).

Taponamiento o fallo mecánico de la unión del líquido en el electrodo de referencia (influye en E₇) que impide el paso de ClK, quedando el circuito abierto. Si el taponamiento es parcial se desarrolla un potencial indeterminado.

Entrada de la solución de ensayo dentro de la solución interna del electrodo de referencia (influye en E_8 y de modo más importante en E_9 con lo que se destruye el potencial constante deseado).

Variación con el tiempo del potencial de asimetría que depende de la naturaleza del vidrio, del tipo de fabricación, de las impurezas, de la disolución gradual del vidrio en la solución, del desgaste por erosión de la punta del vidrio, etc. Los instrumentos de pH disponen de un ajuste para corregir este potencial.

Compensación

Como se mencionó anteriormente la variación de temperatura influye en la medida de pH. A pH constante alcanza los 0.2 mV por grado centígrado. Como en el instrumento final de indicación, registro o control, la medida se realiza en unidades de pH en lugar de mV, es necesario compensar la influencia de las variaciones de temperatura de la solución de ensayo.

Hay que señalar que el termocompensador o sonda de resistencia compensa solo la relación tensión-temperatura del electrodo de vidrio y que solo asegura la medida del pH real de la solución a su temperatura real. No detecta las variaciones con la temperatura propias del pH de cada solución, que siguen una ley distinta de una solución a otra y para las cuales habría que diseñar un compensador especial para cada una de ellas.

Así pues, la medida de pH es sólo válida a la temperatura a que se encuentra la solución.

Aunque la variación de la señal en mV por unidad de pH es relativamente grande (59 mV), la alta resistencia del circuito de los electrodos aconseja utilizar un amplificador de pH que por las características del circuito debe poseer una alta impedancia de entrada, un bajo nivel de ruido para disminuir los errores, y opcionalmente un aislamiento de señal entre la entrada y la salida para eliminar los bucles de masa ya que la unión de referencia está en el potencial de masa. El registro o el control del pH una vez amplificada la señal se realiza en un instrumento potenciométrico.

Es importante la utilización de un preamplificador debido a las siguientes razones:

A 25 °C un electrodo de pH produce aproximadamente 59 mV por unidad de pH.

La impedancia de un electrodo de propósitos generales de pH es aproximadamente 100 Megaohm.

Aplicando la ley de Ohm se obtiene una pequeña corriente (1×10^{-9} A)

Debido a esta baja corriente es necesario para obtener una señal estable el uso de un preamplificador.

En la medición del pH puede presentarse el recubrimiento de los electrodos, en cuyo caso el electrodo se comporta como si apreciara bajas concentraciones de (H^+) y por lo tanto el instrumento registrador leería altos valores de pH. En estos casos es necesario limpiar periódicamente el electrodo con una frecuencia que la experiencia determina en cada caso.

Los instrumentos de pH tienen una precisión de $\pm 0,25$ a $\pm 1\%$, o bien ± 0.03 pH.

El microprocesador aporta “inteligencia” al transmisor de pH, proporcionando insensibilidad a vibraciones, compensación automática de temperatura, autodiagnóstico y una precisión de $\pm 0,1\%$

Aparato de medida

Características Del Sensor

El sensor puede ser utilizado para medir el pH u ORP (redox) de soluciones acuosas en tuberías o estanques, el electrodo de prueba y el de referencia son combinados generalmente en una junta cerámica.

El sensor es encapsulado en un cuerpo de Tefzel químicamente resistente, y sellado con O-ring EPDM, para eliminar la posibilidad de que ingrese el fluido de proceso. La construcción simplificada, no requiere de reemplazo del electrolito ni de otro componente.

La medida se realiza a través de un preamplificador integrado, el cual convierte la señal de alta impedancia, en otra señal estable y libre de ruido. Este método ha llegado a ser el estándar industrial para medidas confiables. Además existen sensores asociados con un transmisor, el que entrega una señal de 4 a 20 mA proporcionales al pH. Por otra parte, para efectos de compensación de temperatura se tiene un sensor, y de esta manera automáticamente se realiza la compensación para variaciones de temperatura de proceso.

Consideraciones De Montaje

El montaje del sensor se realiza a través de las siguientes disposiciones:

Sumergido

Se usa el hilo MNPT que tiene en la parte posterior el sensor. Cuando el cuerpo del sensor es plástico, es recomendable el uso de teflón, y además debe ser chequeada frecuentemente esta unión. Para prevenir de la lluvia o condensación durante el funcionamiento dentro del sensor, es recomendable una caja de conexión a prueba de intemperie. El cable de conexión entre el electrodo y el preamplificador debe ser canalizado en tubería protegida para aislarlo de interferencia eléctrica o daño producido por el proceso. El sensor debe ser instalado formando un ángulo máximo de

80° con la vertical, con el electrodo hacia abajo. El cable del sensor no se debe colocar junto a los de fuerza o control.

En la dirección del flujo (flow through) o inserción

Se usa el hilo MNPT que tiene el sensor en la parte anterior, para conectarla a una “T”, o en la tubería directamente.

En unión

Se usa el hilo MNPT que tiene el sensor en la parte anterior, y se conecta directamente a la línea de proceso

Calibración

El procedimiento de calibración debe ser realizado cuando es puesto en servicio el instrumento por primera vez, o cuando es reemplazado el electrodo.

Para realizar la calibración se debe realizar el siguiente procedimiento.

Sacudir el sensor para remover alguna burbuja de aire que pudiera estar presente en la punta del bulbo de vidrio. En muchos casos, el sensor de pH puede ser simplemente instalado tal como viene embalado y pueden ser obtenidas lecturas con exactitud de ± 0.2 pH.

Para obtener una mayor exactitud o para verificar la operación apropiada, el sensor debe ser calibrado en un lazo con su compatible analizador/transmisor. Para calibrar el lazo sensor transmisor/analizador se debe sumergir el sensor en una solución “buffer” (solución estándar de pH conocido) o en una toma de muestra de proceso cuyo pH pueda ser chequeado en un laboratorio de calibración o por un medidor portátil de pH.

Es recomendable contar con tres o más soluciones “buffer”. Posteriormente se grafican los pares (pH, mV, Figura 189) obtenidos y de este gráfico se obtiene la pendiente para lo cual se deben tener las siguientes consideraciones:

La pendiente disminuye con el tiempo, recubrimiento del electrodo y la operación a temperatura elevada.

La pendiente aumenta con la erosión debido a la abrasión del vidrio.

La relación aceptable mV/pH debe estar dentro de los rangos 47 mV/pH a 60 mV/pH, siendo el valor teórico de 59.16 mV/pH

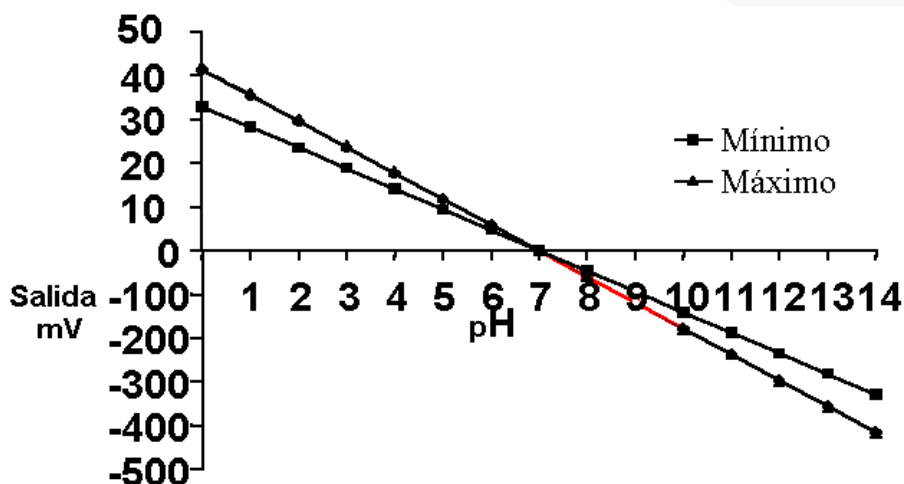


Figura 189

Relación entre pH y mV

Soluciones Buffer

Son soluciones cuyo pH es conocido y que pueden soportar contaminación o dilución moderada sin afectar significativamente su pH. Típicamente, son veinte veces más resistentes a la dilución que la contaminación ácida o base.

Generalidades

Alimentación eléctrica

El sensor puede ser conectado tanto a un analizador como a un transmisor. El cable de señal debe ser canalizado separadamente (preferentemente en una tubería metálica puesta a tierra), además se deberá alejar de líneas de alimentación de C.A.

El cable de conexión está compuesto en general por siete conductores apantallados. El cable debe ser manejado cuidadosamente y mantenido seco y libre de químicos corrosivos en todo momento.

No se debe conectar el cable del sensor a líneas de alimentación eléctrica, puede provocar serios daños.

Usos de los medidores de PH

¿Por qué medir el pH?

El pH es necesario medirlo por diferentes motivos como por ejemplo:

El rango de muchas reacciones es controlado por la disponibilidad de ion H. La calidad del producto es controlada por pH.

La corrosión está relacionada con el pH.
El crecimiento de bacterias es sensible al pH.

Aplicaciones

Protección de entrada en tratamientos de aguas servidas
Torres de enfriamiento
Alimentación de agua en calderas
Neutralización de efluentes
Refinación de azúcar
Remoción de cromo y cianuro

La medida de pH, la que puede ser realizada “on-line” u “off-line”, es usada como un indicador en diversas situaciones, como el “sabor esperado” en productos alimenticios, control de calidad en industrias químicas y papeleras, control de corrosión en calderas, y la efectividad de procesos de neutralización en tratamiento de aguas servidas. En algunas aplicaciones en procesos de alimentos, farmacéuticas y químicas. El electrodo medidor de pH, es posicionado automáticamente, permitiendo de esta manera realizar la limpieza del electrodo, y además realizar la calibración sin la necesidad de detener el proceso que está siendo monitoreado. En la actualidad, el analizador automáticamente envía la señal para la realización de la limpieza. Retrayendo el electrodo, para que pueda ser automáticamente limpiado, enjuagado, y aplicada una solución “buffer”. Después de realizada la limpieza y recalibración, el electrodo es reinsertado en el proceso. El posicionador es operado por aire, y usa dos límites de carrera para asegurar que el dispositivo haya sido completamente insertado o retraído.

Mantenimiento

Generalmente el sensor es desechable y por lo tanto requiere una mínima mantención. El sensor deberá mantenerse limpio y libre de partículas y sedimentos en todo momento. La frecuencia de la limpieza por enjuague o cepillado, es determinada por la naturaleza de la solución que está siendo medida. El sensor debe ser removido desde el proceso periódicamente y chequeado en soluciones “buffer” de pH 7 semanalmente. En soluciones “buffer” de pH 4, 7,9 mensualmente. Además anualmente se debe recargar la solución de referencia y cada dos años se debe cambiar el electrodo.

Limpieza del electrodo

Si el sensor está cubierto o sucio, para su limpieza se debe realizar lo siguiente:

Remover el sensor desde el proceso (antes de remover el sensor se debe tener la seguridad que la presión del proceso ha sido reducida a 0 psi, y que la temperatura ha disminuido a un valor seguro).

Limpiar el bulbo de vidrio con un paño suave, limpio y sin pelusas o hilachas. Si con esto no se remueve la cubierta o suciedad, ir al paso 3 (limpieza con detergente para remover aceite o grasa).

Lavar el bulbo de vidrio en una solución con detergente, y enjuague con agua limpia. Si con este paso no se consigue limpiar el bulbo de vidrio, se debe realizar el paso 4.

Lavar el bulbo de vidrio en una solución de ácido hidroclicórico al 5% y enjuagar con agua limpia. Esta solución ácida debe ser manejada cuidadosamente, siguiendo las instrucciones del fabricante. Además se debe usar el equipo de protección apropiado, y evitar que esta solución tome contacto con la cara o ropas. Si esta solución cae en los ojos se deben lavar inmediatamente con agua limpia. Dejar el sensor en remojo durante la noche en la solución ácida para que la acción de limpieza pueda desarrollarse. Finalmente se debe reemplazar el sensor si no se logra limpiar aplicando los pasos anteriormente descritos.

5.7 Transmisores

Conceptos básicos de un transmisor

Introducción

En la actualidad, al observar la industria moderna se encontrará que la presencia humana en las actividades de producción, se ha minimizado a medida que evoluciona la tecnología. Más aún, existen procesos que se encuentran totalmente automatizados y que la única vez que el operario interviene el proceso es cuando se ha producido un desperfecto en alguna máquina, cambiar la estrategia de funcionamiento, o para los casos en que se presenta el proceso de mantenimiento periódico del sistema.

Además, se podrá apreciar que la operación y control de gran parte de los procesos, se efectúa en forma remota, desde salas o centros de control, lugar donde se conoce perfectamente el estado de las variables que se manejan, permitiendo con ello, un mejoramiento en la supervisión, control y operación de los distintos procesos que se manejan al interior de la planta.

Para poder lograr las actividades anteriormente expuestas, se hace necesaria la presencia de sensores, los cuales se han convertido en verdaderos “ojos” artificiales del proceso. Pero, a pesar del gran avance que evidencian estos sensores, muchas veces el verdadero problema se presenta cuando es necesario transmitir la señal que entregan estos instrumentos a gran distancia, más específicamente, hacia la sala de control. Por este motivo se ha tenido que acoplar junto a los sensores, un transmisor o acondicionador de señal, el que es capaz de “reforzarla y acondicionarla”, con el fin de evitar los problemas de comunicación que se pudiesen provocar entre la emisión de la información que está asociada al transmisor (el que suele estar en terreno), y la trayectoria final de esa información ubicada en el receptor (que suele ser la sala de control).

En esta unidad, se describirán algunos de los aspectos considerados más importantes, en lo que se refiere a Transmisores y Convertidores de señal.

Tipos de transmisores

Al inicio de la era de instrumentación industrial, los primeros instrumentos utilizados en la medición de variables de proceso, correspondían solamente a elementos locales e independientes. Este tipo de instrumentos básicamente fueron de tipo mecánico, electromecánico o en base a servomecanismos tipo relojería y contaban con un elemento sensitivo tipo diafragma que reflejaba algún tipo de deformación, la cual finalmente se transformada en un movimiento de puntero. Este puntero o señalador, actúa como indicador, registrador o como parte de un mecanismo más complejo como es el caso de un controlador. Algunos de estos equipos aún no han encontrado un sustituto técnico y económicamente equivalente, por lo que siguen siendo utilizados, como por ejemplo, termómetros bimetálicos, registradores mecánicos, manómetros, etc.

Un ejemplo particular puede ser un manómetro, el cual está compuesto por un elemento sensor de presión, típicamente un tubo de Bourbon, que por acción de la presión se deforma. Esta deformación, se traduce en movimiento que es acondicionado por un servomecanismo, de tal forma de representar la presión medida por medio del movimiento de un puntero sobre una escala.

El deseo de centralizar la información en un lugar, o de visualizar el estado de una variable a una cierta distancia del punto de medición, ha creado la necesidad de dividir este proceso en dos:

Un elemento **Transmisor** (que puede incluir al sensor), y

Un elemento **Receptor** (indicador, controlador, registrador, etc.).

Ambos instrumentos se vinculan entre sí, por medio de una señal física, que representa la variable medida. Esta variable se conoce como “Señal de Proceso”, y de ella se puede decir que es la portadora de información correspondiente al fenómeno físico que se quiere sensor.

Esta señal debe cumplir ciertas condiciones que la hagan apropiada para su uso, para que la información transmitida mantenga su confiabilidad, además de que debe ser fácil de manejar, poseer inmunidad al ruido y que su transmisión a distancias de varios centenares de metros no presente inconvenientes. Por otra parte, como consecuencia de que el transmisor y el receptor puedan ser de distintos proveedores, es deseable que esta señal sea normalizada por algún organismo competente.

En función de la tecnología usada para la transmisión de señal, los transmisores se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Transmisores Fluídicos (neumáticos).

Transmisores Eléctricos.

Para el caso de los *Transmisores Neumáticos*, estos transmiten una señal neumática en función de la variable medida. Los valores comunes o estándar de presión de esta señal son 3 a 15 [psi, libras por pulgada cuadrada] en presión.

Para el caso de los *Transmisores Eléctricos*, esta señal es de tipo eléctrico, ya sea en términos de tensión, corriente o frecuencia. La señal eléctrica más usada en instrumentación, supervisión y control, es la de corriente de 4 a 20 [mA. milésimas de amperes], regida por la norma ISA-50.1 de la Sociedad Americana de Instrumentación (Instrument Society of America, ISA), uno de los principales motivos por los cuales se usa esta señal, es que ella presenta una gran inmunidad al ruido.

A la vez, dentro de la categoría de Transmisores Eléctricos, se pueden distinguir dos subclases, unos son los Transmisores Convencionales que basan su funcionamiento principalmente en componentes analógicos, como resistores, capacitadores u otros, y los Transmisores Inteligentes o Digitales, en los cuales su principio de funcionamiento radica en un microprocesador, y por ende su funcionamiento está basado en la electrónica digital. Este tipo de instrumentos se empezó a usar a principios de los '80, llegando a ser de uso generalizado en estos últimos años.

Los transmisores digitales, al principio solamente se les utilizaban en aplicaciones especiales, donde se justificaban sus costos, varias veces mayor al de un transmisor convencional. Actualmente, los transmisores inteligentes han disminuido su precio, debido en gran parte al bajo precio de los componentes electrónicos que usan, llegando a alcanzar un alto grado de difusión en la industria.

Características generales de un transmisor

Se debe entender de antemano que en muchas ocasiones, el sensor y el transmisor pueden ser adquiridos como si fueran un solo instrumento, cumpliendo ambas funciones en forma simultánea y en un mismo paquete o envoltura. En este caso, el operador podría pensar, equivocadamente, que el sensor es el que mide y transmite la señal, cuando en realidad ambas funciones son realizadas por distintos instrumentos.

Sin embargo, existen otras ocasiones en que el elemento sensor es un instrumento y el transmisor es otro. En estos casos, el operador podrá apreciar en forma clara las diferencias que existen entre ambos instrumentos y la función que desempeña cada uno de ellos.

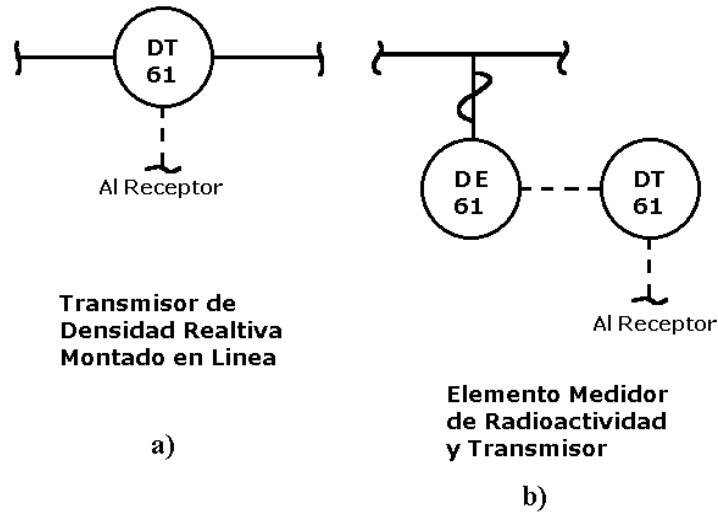


Figura 190

Diferencias entre Transmisores con un elemento sensor Integral y Remoto.

Esta diferencia se nota claramente en el manual de la norma ISA, ya que en ella se puede observar que hay casos en los cuales el elemento primario del sensor se encuentra en el interior del transmisor, como se muestra en la Figura 190.a) y otros casos en que el sensor se encuentra totalmente separado del transmisor, como se muestra en la Figura 190.b)

Es por este motivo, que en general se habla casi indistintamente de Sensor y Transmisor, como si fueran un sólo elemento y entendiendo que en la mayoría de los casos el sensor viene unido al transmisor del equipo, es decir, ambos elementos son en realidad uno solo (Figura 190a).

Tomando en cuenta lo anterior, y tratando de ser lo más claro posibles, se entenderá de aquí en adelante que un Transmisor está compuesto principalmente por dos partes, un Sensor y un Transductor y ambos elementos se encuentran totalmente integrados al transmisor.

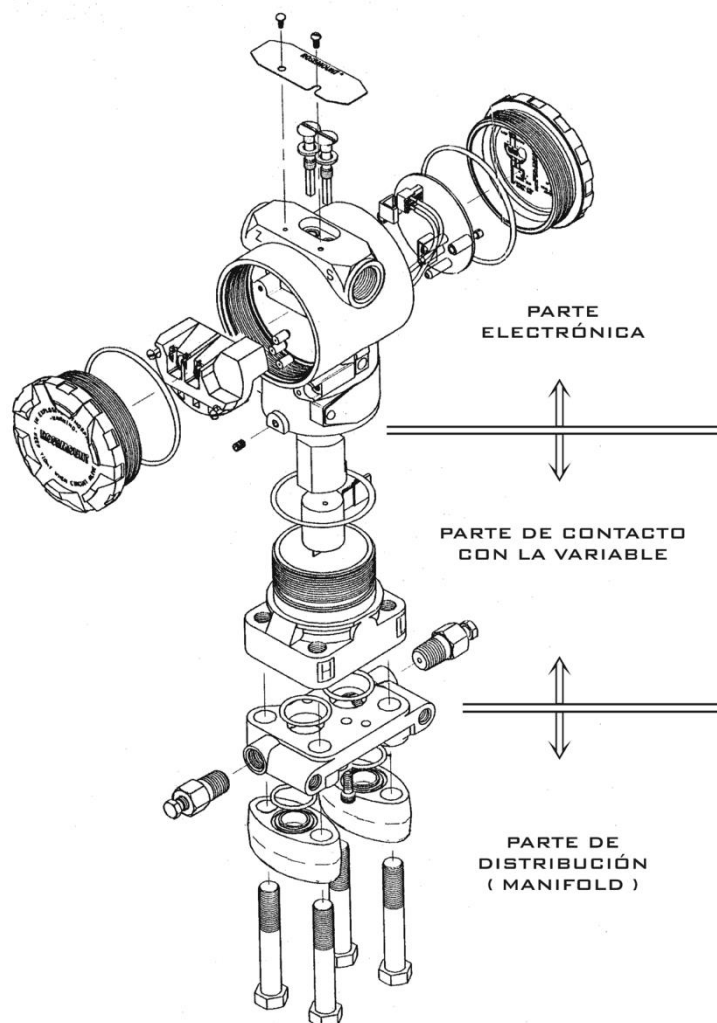


Figura 191

Componentes de un transmisor convencional.

Por este motivo, se puede considerar que el sensor genera una señal relacionada con la variable medida, mientras que el transductor toma esta señal, y la acondiciona según un estándar, en una señal normalizada.

En la Figura 191, se puede ver cada pieza de un transmisor eléctrico de presión diferencial, en el que se ve el módulo electrónico, el sensor y los demás componentes del conjunto, como carcasa, uniones y otros componentes.

Algunos aspectos relevantes dentro de los transmisores, es el lenguaje que se usa para diferenciar algunas de sus principales propiedades en las mediciones efectuadas por los Transmisores, por ejemplo, el alcance, el rango y otras. Con el fin de uniformar criterios dentro del tema de los Transmisores y Convertidores, se presentan las siguientes definiciones que son acompañadas por la Figura 192.

En esta Figura, se muestran las características típicas de las medidas que se pueden expresar en la instrumentación industrial. Esta información se usará como una base para posteriores análisis.

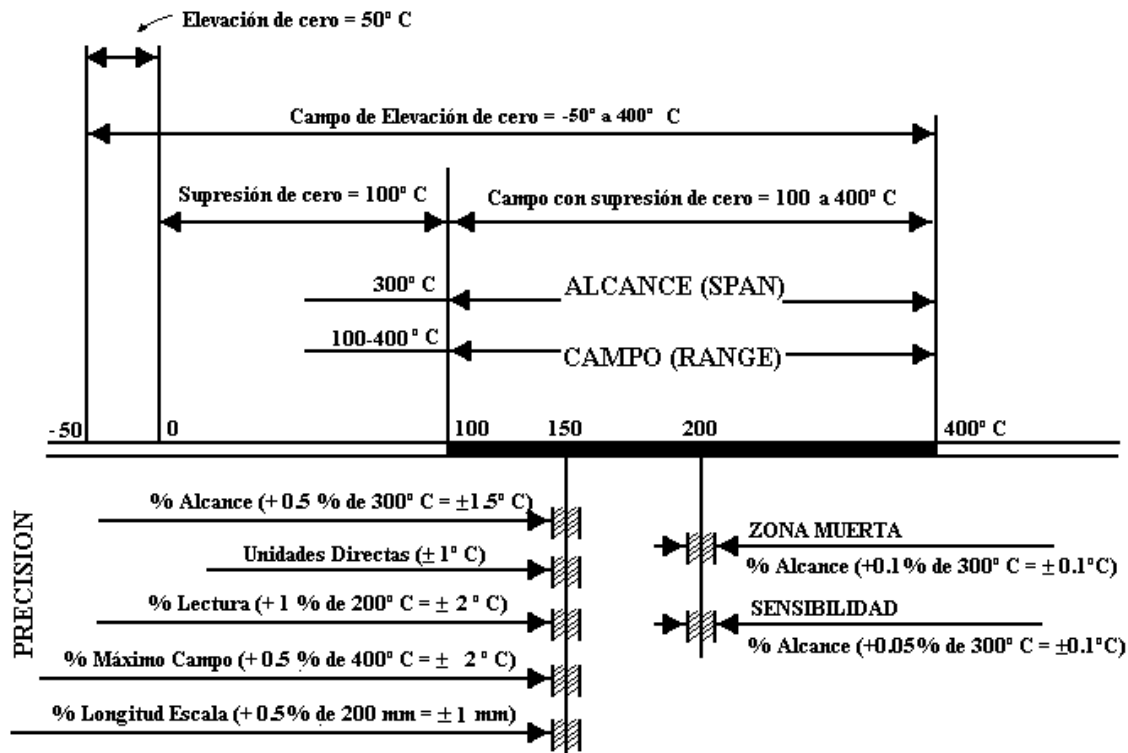


Figura 192

Características de una Medida.

Alcance (Span)

El alcance (o "*span*" en inglés), es la diferencia algebraica entre los valores máximos y mínimos del rango del instrumento (ver punto anterior). Según la Figura 192, el "*span*" es de $400 - 100 = 300^{\circ}\text{C}$.

Campo De Medida (Range)

El campo de medida (o "*range*" en inglés), es el rango de posibles valores que el instrumento es capaz de captar con un porcentaje de error aceptable, donde su magnitud está comprendida entre el máximo y mínimo detectables por un sensor (transmisor). Para el ejemplo expuesto en la Figura 191, el rango será de 100 a 400° C.

En algunos textos, el rango también se conoce como la “*dinámica de medida*” o “*rangeabilidad (rangeability)*”, que resulta ser el cociente entre el valor máximo y mínimo que permita medir el instrumento. Para el caso anterior, la rangeabilidad sería de $400/100 = 4$.

Precisión (Accuracy)

La precisión (o “*accuracy*” en inglés), se define como la desviación máxima entre lo obtenido por el sensor (transmisor) en determinadas condiciones y el valor teórico de dicha salida que debería tener, todo lo anterior considerando idénticas condiciones de medición.

Existen ciertas formas en las que se puede expresar la precisión, como por ejemplo:

Tanto por ciento del alcance, donde según el ejemplo de la Figura 192, para una lectura de 200°C y una precisión de $\pm 0.5\%$ el valor real de la temperatura estará comprendido entre $200 \pm 1 * 300 / 100 = 200 \pm 3$, es decir entre 197 y 203°C .

Directamente en unidades de la variable medida. Por ejemplo; el instrumento posee una precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

En un cierto porcentaje de la lectura efectuada. Por ejemplo; para una precisión de $\pm 1\%$ de 200°C , es decir, a 200°C en instrumento posee una precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

En un cierto porcentaje del máximo valor del campo de medida. Por ejemplo; para una precisión de $\pm 0.5\%$ de $400^{\circ}\text{C} = \pm 2^{\circ}\text{C}$.

En un cierto porcentaje de la longitud de la escala. Por ejemplo; si la longitud de la escala del instrumento (Figura 192) es de 200 [mm] , la precisión de $\pm 0.5\%$ representará $\pm 1.0\text{ [mm]}$ en la escala.

Repetibilidad (Repeatability)

La repetibilidad (o “*repeatability*” en inglés), es la capacidad de poder reproducir la misma señal entregada por el instrumento al medirla repetidamente y en idénticas condiciones de servicio siguiendo el mismo sentido de variación de la variable sensada. En la repetibilidad, se considera un valor máximo (repetibilidad máxima) y esta se expresa como un porcentaje del alcance. Notar que en la repetibilidad no se considera al ciclo de histéresis (ve Figura 194).

Resolución

Indica la capacidad para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Esta variable, se mide por la mínima diferencia que es capaz de discriminar el instrumento, la que se puede indicar en términos del *Valor Absoluto* de la variable física de medida o en *Porcentaje* con respecto a la de escala empleada (no confundir Resolución con Precisión).

Linealidad

Se dice que un elemento es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de entrada, en todo el campo de medida. La NO Linealidad se mide por una máxima desviación entre la respuesta lineal y la característica puramente lineal, referida al fondo de escala.

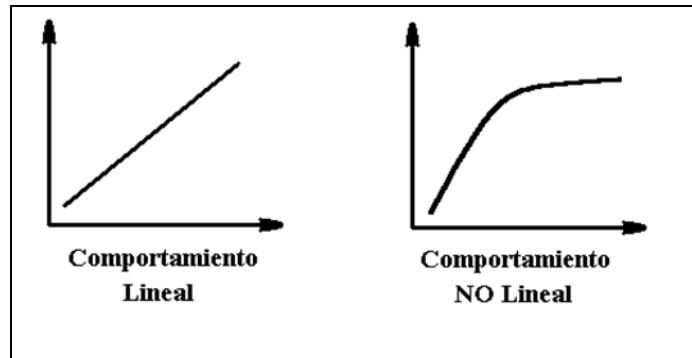


Figura 193

Respuestas de los Sistemas.

Sensibilidad (Sensitivity)

La sensibilidad (o "*sensitivity*" en inglés), es la característica que indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada. Un sensor (transmisor) es tanto más sensible cuanto mayor sea la variación de entrada. La sensibilidad se mide por la relación:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\Delta_{\text{magnitud de salida}}}{\Delta_{\text{magnitud de entrada}}}$$

Donde Δ representa la diferencia entre dos valores de una misma variable.

Obsérvese que para transductores lineales esta relación es constante en todo el campo de medida, mientras que en transductores NO lineales, depende del punto en que se mida.

Ruido

Se entiende por "*ruido*" cualquier perturbación aleatoria del propio instrumento o del sistema, que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico.

Histéresis (Histéresis)

Se dice que un transductor presenta histéresis (o "*hysteresis*" en inglés), cuando, a igualdad de la magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o decreciente de la señal medida. Se suele medir en términos del valor absoluto de la variable física o en porcentaje (%) sobre el alcance del instrumento. Notar que la histéresis puede no ser constante en todo el rango de medida (ver Figura 194).

Observar la clara diferencia entre los términos Resolución, Precisión, Repetitividad y Sensibilidad, términos que suelen confundirse muchas veces, incluso en algunas bibliografías.

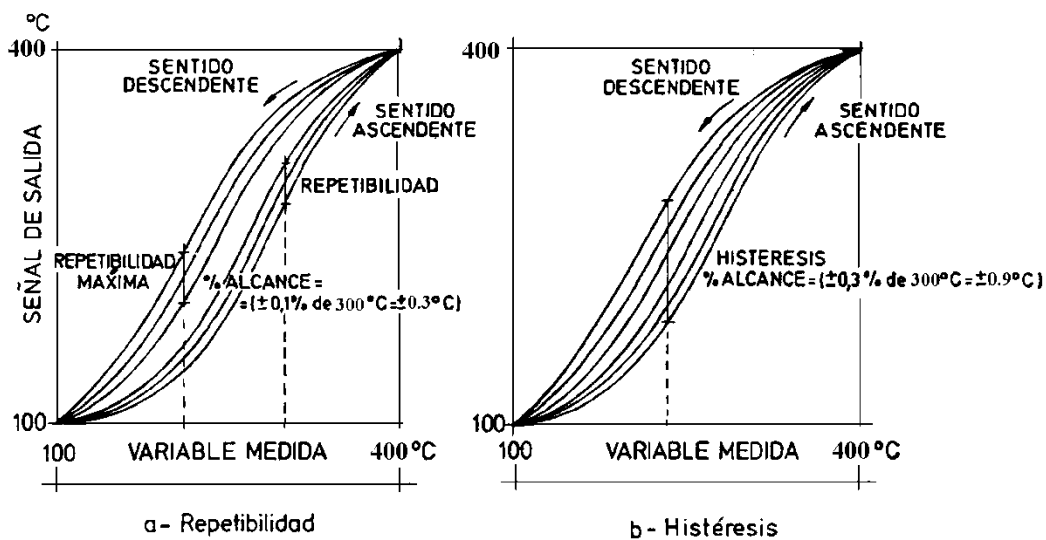


Figura 194

Ciclo de Repetitividad y de Histéresis.

Zona Muerta (Dead Zone o Dead Band)

Es el rango de valores de la variable medida, que no logra hacer variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, no afecta su respuesta. Suele estar dada en porcentaje (%) del alcance. Por ejemplo: en el instrumento de la figura 192, la zona muerta es de $\pm 0.1\%$, o sea, es de $0.1 \cdot 300 / 100 = \pm 0.3^{\circ}\text{C}$.

Elevación De Cero

Es el rango de valores que está comprendido entre el mínimo que entregue el instrumento y el cero del mismo (ver figura 192), todo lo anterior siguiendo una escala ascendente de valores. Esta magnitud puede expresarse en unidades de la variable de medida o en cierto porcentaje (%) del alcance.

Supresión De Cero

Es el rango de valores que está comprendido entre el cero y el mínimo valor que entregue el instrumento (ver figura 192), todo lo anterior siguiendo una escala ascendente de valores. Esta magnitud puede expresarse en unidades de la variable de medida o en cierto porcentaje (%) del alcance.

Principios básicos de los transmisores

Teniendo presente los conceptos anteriormente descritos, ahora se podrá empezar a describir lo que es en realidad un Transmisor y algunas de sus posibles clasificaciones.

A continuación, se expondrán algunos aspectos que sirven para diferenciar los transmisores desde el punto de vista de las señales que intervienen en la medida y los dispositivos que se asocian a estas señales o variables. Cabe destacar, que una señal física, que matemáticamente se conoce con el nombre de variable dinámica (debido a que cambian en el tiempo), es la expresión de un objeto físico, como por ejemplo, un dispositivo de medida, como sería el caso del sensor de flujo másico.

Variable primaria

Lo primero que se debe identificar desde el punto de vista del control e instrumentación, es lo referente a la variable que el instrumento medirá y por ende transmitirá. Esta variable es el motivo del instrumento en la aplicación de terreno. Por ejemplo, si se desea monitorear la temperatura de un sistema de descanso en un molino del proceso de Molienda, con el fin de informar cuando existan valores fuera de rango, será necesario usar un termómetro tipo RTD o similar, ya que lo que se busca es medir la evolución que sufre la temperatura. Posteriormente se considerará un transmisor de temperatura para poder enviar esta señal a distancia y finalmente colocar un indicador si es necesario y una bocina o baliza que presente la alarma, en otras palabras, la unidad receptora. Esta variable es conocida en el ambiente de control como “Variable Primaria”.

Por mencionar otros ejemplos de variable primaria, se podrían mencionar los casos en los cuales es necesario sensar las siguientes variables: la conductividad, la densidad o peso específico, la tensión, el caudal, el calibre (o grosor), la corriente eléctrica, la potencia, el tiempo, el nivel, la humedad, la presión o vacío, la cantidad, la velocidad o frecuencia, la viscosidad, el peso o fuerza y la posición, por mencionar las más importantes.

Claramente los transmisores se podrían clasificar de acuerdo a la *variable primaria*, porque cuando se habla de captar una señal de temperatura, se sabrá inmediatamente a lo que se está refiriendo y el tipo de transmisor que se requerirá para medirla. Por ejemplo, si se trata de medir y después transmitir la presión que posee cierta tubería

del sistema, se sabrá de acuerdo a las necesidades del sistema, del ambiente y de la factibilidad técnico económico, el tipo de sensor de presión a ocupar.

Elemento primario

Por otra parte, el dispositivo encargado de medir la variable propiamente tal, es el “Elemento Primario”. Este, por lo general se encuentra en contacto con la variable a medir y utiliza o absorbe la energía del medio medido, para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable medida.

El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc. Por ejemplo, en los elementos primarios de sensores de temperatura, que funcionan basados en el principio de bulbo y capilar, el efecto producido, es la variación de la presión del fluido que la llena (tipo Bourbon), mientras que en los de sensores Termopar se representa por la variación de una fuerza electromotriz.

Como se ve, al describir en forma clara el medio por el cual se obtiene la señal de proceso, resulta ser un método válido para la clasificación de los transmisores.

Se debe considerar que como este elemento primario suele estar en contacto con la variable a medir, se debe proteger adecuadamente para de esta forma alargar su vida útil. Es por este motivo que otra forma de poder clasificar los transmisores es por medio de las condiciones ambientales bajo las cuales debe operar.

Condiciones ambientales de servicio

Al revisar una gran gama de instrumentos, se podrá apreciar que muchas veces existen ciertas diferencias entre ellos, pese a pertenecer a la misma familia (fabricante y modelo del producto). Ello se debe a que al momento de ser diseñados, se piensa en distintos requerimientos ya sea de seguridad, tamaño y resistencia al medio ambiente donde trabajará.

Es por este motivo que según las distintas normas existentes hoy en día (SAMA, ISA, NEMA, IEC, ANSI, DIN, etc.), existe una sección que especifica claramente las condiciones ambientales bajo las cuales, el instrumento trabajará sin ningún problema. De esta manera, se puede asegurar una mayor vida útil del instrumento en sí, junto con la seguridad de la planta y del operador.

Aplicación

Este punto es de vital importancia, ya que es donde se decidirá la utilización del sensor (transmisor) y el lugar donde se instalará finalmente. Por ejemplo, si se desea un transmisor que se encuentre en terreno, para que el operario pueda informarse inmediatamente del estado de la variable medida y de esta forma tomar alguna decisión que afecte (o corrija) el comportamiento del sistema, es necesario que este instrumento posea algún medio por el cual se pueda visualizar el estado de la variable

medida en el mismo lugar. Mientras que si se desea que solo el operador de la sala de control sea quien supervise dicha variable, solo se necesitará la parte transmisora del sensor, y no una etapa de visualización en terreno.

Con ello se están clasificando los instrumentos en base a la utilización desde el punto de vista del operador en terreno o del operador en la sala de control. También se clasificarán en base a la utilización que tendrá el instrumento, por ejemplo, se podrá decir si será solo de observación o será de observación y control.

Rango de trabajo

El rango de trabajo es el intervalo en el cual el sensor (transmisor) está capacitado para trabajar en óptimas condiciones. En él, se especifican claramente las condiciones que el instrumento es capaz de resistir sin sufrir daño. La importancia del rango de trabajo, radica en el lugar y la magnitud de la señal que se espera entregue el transmisor (sensor), ya que una mala elección de él, podría afectar seriamente al instrumento, y en su defecto, el valor que este se entregue no sea el correcto.

Para tener una mejor idea, basta imaginarse lo que pasaría en el caso de la temperatura, si en vez de colocar una Pt-100 (usada normalmente para medir rangos de temperatura que van desde 0 a 100 °C), se colocara un Pirómetro de infrarrojo, que usualmente se coloca para medir temperaturas de miles de grados centígrados, o viceversa, ya que pese a que ambos instrumentos son capaces de medir la temperatura, su rango de trabajo es muy distinto (revisar campo de medida).

Requerimientos de montaje

Al revisar las hojas de datos de los instrumentos (Data Sheet), se verá, igual que en el punto anterior, existen ciertas condiciones bajo las cuales este instrumento trabajará sin ningún inconveniente. Generalmente, los aspectos más usados en lo referente a los requerimientos de montaje, están referidos al lugar donde operará el instrumento (inclinación, vibraciones, etc.), los requerimientos energéticos necesarios para una correcta utilización del mismo (24 o 220 [volt] C.A. ó C.C.) y las condiciones ambientales que soportan (humedad, presión atmosférica, contra agua, etc.).

En todo caso, esto ya se encuentra normado por las entidades especialmente dedicadas a ello, de tal manera de uniformar criterios.

Continuando con la idea, la forma y precio de un instrumento que tendrá que trabajar en un ambiente limpio de impurezas (por ejemplo una oficina al interior de un edificio inteligente), será y es totalmente distinto a otro que tendrá que operar en el interior de la planta, ello debido principalmente al hecho de que las condiciones ambientales bajo las cuales debe operar son muchas veces adversas, sucias, contaminadas y de difícil acceso.

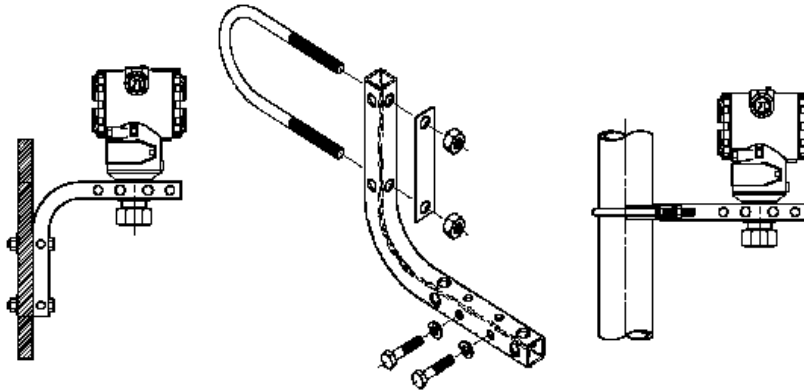


Figura 195

Accesorios para montaje (fitting)

Además, muchas veces los instrumentos requieren de ciertos elementos adicionales para su correcto funcionamiento, como es el caso conversores I/P (o P/I) los que suelen requerir brazos especiales para su montaje, o los transmisores neumáticos que requieren del fitting especial para el transporte de la señal. En la Figura 195, se muestran algunos de los elementos más usados en la implementación de los transmisores y convertidores.

Clases de transmisores

Además de las clasificaciones basadas en la naturaleza de las señales expuestas en la unidad anterior, los transmisores también se pueden clasificar según el medio de expresión de la misma, o sea, el funcionamiento que este posee, y bajo los principios en los cuales se basa su propio funcionamiento.

En la Figura 196, se puede apreciar en forma clara y evolutiva en el tiempo, el uso de este medio, donde en el comienzo de la Instrumentación Industrial y el Control Automático, década de los años 30 y que por conveniencia llamaremos año 0, la única forma de transmitir las señales capturadas de los procesos físicos con el fin de manejar una planta industrial era a través de medios Neumáticos (aire) e Hidráulicos (agua o aceites).

La desventaja de los medios neumáticos es el transporte de la señal, donde es necesario implementar un sistema de generación, transmisión y tratamiento de aire a lo largo de la planta bajo estándares internacionales con el fin de cumplir las normas establecidas para la seguridad de las personas, del proceso y del sistema de medida, además, de evitar las pérdidas que se producirían al transportar las señales de esta naturaleza. Quizás esta forma es la menos recomendable para la instrumentación actual, pero aún existen procesos en los medios industriales que consideran este tipo de instrumentación y por ende, aún existen los transmisores neumáticos.

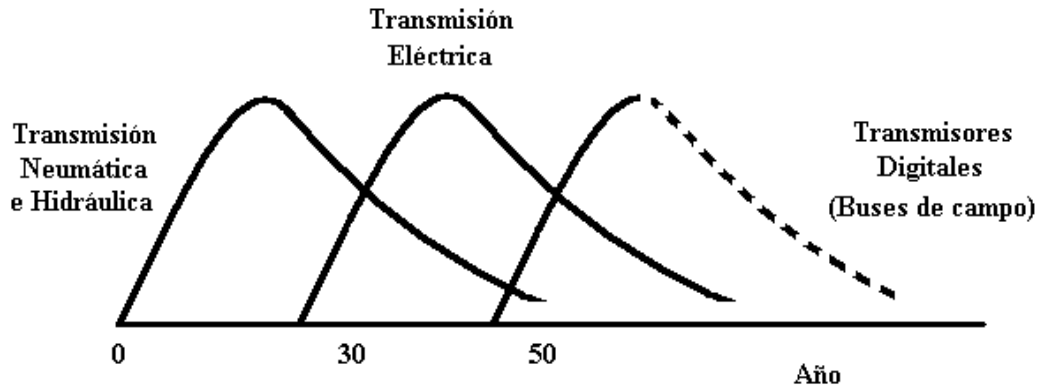


Figura 196

Evolución de las señales de control

Posteriormente, a medida que se empezaron a desarrollar los sistemas basados en señales eléctricas, los instrumentos neumáticos empleados en la industria empezaron a ser reemplazados por otros que funcionaran bajo principios eléctricos, ya que estos últimos presentan ventajas considerables frente a sus predecesores.

Tan solo basta mencionar que para transportar una señal eléctrica de un lugar a otro, solo se necesita montar y canalizar él o los cables en cuestión, lo que tiene un costo asociado menor, que si se implementa a través de medios neumáticos.

En el caso neumático, ante la necesidad de modificar el destino o camino que han de recorrer las tuberías, el proceso se hace extremadamente engorroso y lento, mientras que al estar manejando señales eléctricas las implementaciones y posibles modificaciones son mucho más sencillas de efectuar. Todo lo anterior, sin considerar la reutilización que presentan ambos medios de transporte de señal.

Pero con el avance de la tecnología, en este momento se han comenzado a desarrollar instrumentos que basan su funcionamiento en microprocesadores (transmisores digitales o inteligentes), mediante los cuales, es posible transformar las señales de entrada y/o salida de un proceso industrial, en información digital, la que puede ser introducida a un bus de datos, el que se encargará de llevar esta señal a la sala de control o al terreno.

No está de más mencionar, que este bus de datos tiene la característica de poder llevar varias señales en forma simultánea, por lo cual el costo en materiales se ve considerablemente disminuido, especialmente en lo referente a cables y conductores.

Debido a los constantes cambios tecnológicos que se han presentado en los últimos años, se podría considerar perfectamente que los transmisores digitales puedan ser reemplazados en un futuro no muy lejano por una nueva tecnología, la cual supere en

confiabilidad y prestaciones a esta última, tal como sucedió con los transmisores neumáticos y está sucediendo con los transmisores eléctricos.

En la Figura 197, se muestra la forma de representar la clase de señal que transmiten los transmisores según la norma ISA.



Figura 197

Señales estandarizadas según la norma ISA

Transmisores eléctricos

Los Transmisores Eléctricos tienen la cualidad de que basan su funcionamiento, como su nombre lo dice, en principios eléctricos, pese a que muchas veces se utilizan implementos mecánicos para efectuar la medición de la variable deseada.

A continuación se explicará el funcionamiento de los *Transmisores Eléctricos*, junto con algunas de sus principales características.

Transmisores Eléctricos De Equilibrio De Fuerzas

Los Transmisores Eléctricos son muy usados en la industria y generalmente basan su funcionamiento en cierto equilibrio de fuerzas producido en su interior. En la figura 198, se muestra un Transmisor Eléctrico típico de Equilibrio de Fuerzas, desde donde su puede distinguir la presencia de una cierta barra rígida apoyada en un solo punto y sobre la que actúan diversas fuerzas para lograr el equilibrio. Estas fuerzas son:

La fuerza ejercida por el elemento primario de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle, etc.).

La fuerza electromagnética de una unidad magnética (fuerza magnética).

Al existir un cierto desequilibrio entre dos fuerzas, se producirá una variación en la posición de la barra, excitando a un transductor que hace las veces de detector de inductancia (transformador diferencial). Adicionalmente, un circuito oscilador alimenta a una unidad magnética, volviendo a colocar en equilibrio la barra en cuestión.

Debido a su mismo diseño mecánico, estos equipos presentan un gran inconveniente a la hora de realizar un ajuste del cero y del alcance, además de una alta sensibilidad a vibraciones mecánicas. La magnitud de su precisión suele ser del orden del 0,5 a 1 %.

Detector De Posición De Inductancia

Otra clase de transmisor eléctrico es el de Detector de Posición de Inductancia, el que está formado por dos piezas de ferrita, una en la barra móvil y la otra fijada en el chasis del equipo, la que contiene una bobina conectada a un circuito oscilador. Al variar el “entrehierro”, también varía la inductancia de la bobina detectora cuyo cambio de magnitud es detectado por el oscilador. En la Figura 198.puede verse un diagrama de este tipo de instrumento.

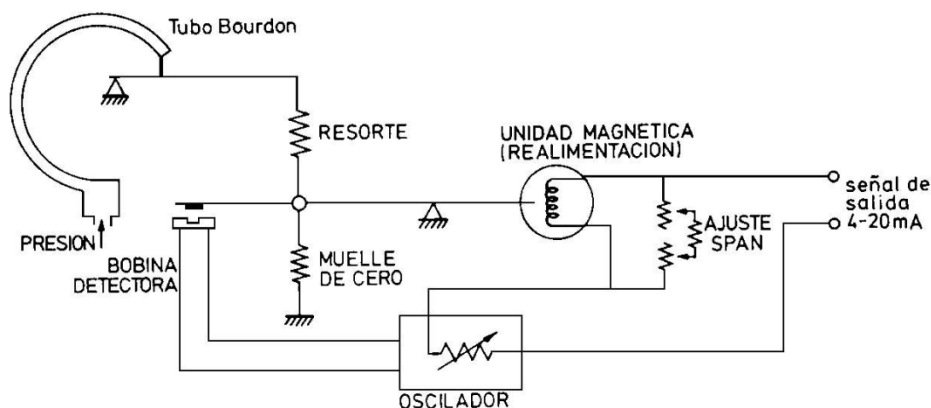


Figura 198

Detector de posición de inductancia.

El Transformador Diferencial

Siguiendo con los transmisores eléctricos, existe una tercera alternativa de implementación, la que basa su funcionamiento en un Transformador Diferencial (LVDT - *Linear Variable Differential Transformer*), como el de la Figura 199, donde se puede apreciar la presencia de un núcleo magnético con tres polos bobinados. El bobinado central está conectado a una línea de alimentación estabilizada y se denomina "arrollamiento primario". Los otros dos bobinados son iguales entre sí, con el mismo número de espiras y en la misma disposición. El transformador se cierra magnéticamente con la barra de equilibrio de fuerzas.

Al variar la presión cambia la posición de la barra induciendo distintas tensiones en las dos bobinas, mayor en la bobina arrollada en el polo con menor entrehierro y menor en la opuesta. Las bobinas están conectadas en oposición y la señal de tensión diferencial producida es introducida en un amplificador transistorizado que alimenta la unidad magnética de reposición de la barra.

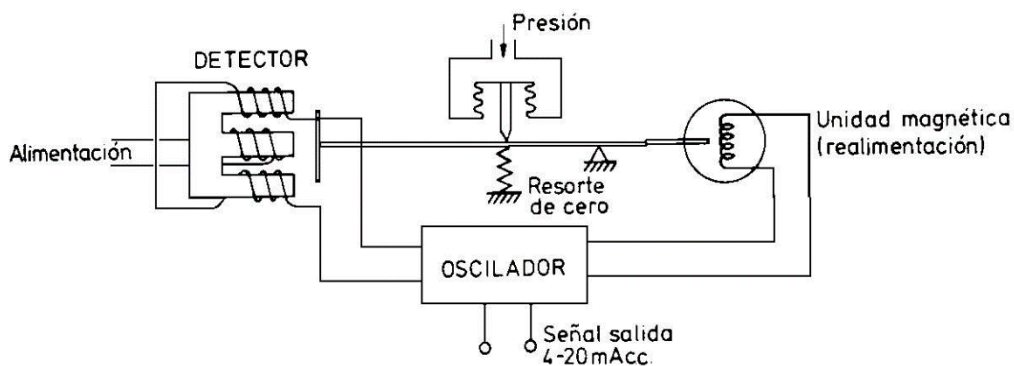


Figura 199

Transformador diferencial.

Como se ve, estos transmisores basan su comportamiento en el cambio que presentan ciertos elementos mecánicos que influyen finalmente en la medida, pero estos cambios ocurren en forma analógica, por lo que este tipo de instrumentos suelen ser conocidos como Transmisores Convencionales.

Transmisores De Dos, Tres Y Cuatro Hilos

Una vez que se obtiene la señal del proceso, será necesario transmitir la información generada, en algunas ocasiones, este proceso se hace bastante engorroso, llegando incluso a perder toda la precisión ganada en la adquisición de los datos. También, en ciertas ocasiones prácticas, se ha detectado que al transmitir de un lugar a otro una señal cualquiera, lo que se recibe no siempre es lo mismo que lo que se envía, y ello se debe casi exclusivamente al medio de transporte empleado.

Por este motivo, con el fin de hacer más entendible la transmisión de la información, a continuación se describirán los aspectos relacionados con los Transmisores de Dos Tres y Cuatro alambres (o hilos), usados comúnmente para el transporte de dichas señales eléctricas.

No está de más mencionar que se analizarán los transmisores que funcionan en base al cálculo y transmisión del valor que posee una resistencia dada, la que cambia su valor al variar el estado de la variable que se desea medir, y por ende posee un comportamiento analógico. Esta clase de instrumentos no se deben confundir con aquellos sensores de funcionamiento discreto (de proximidad, tipo On / Off de tres hilos), ya que ellos no serán considerados dentro del presente texto.

Para explicar en forma más coherente lo relacionado con los transmisores de más de dos hilos, se considerará el caso de las RTD, donde queda bastante bien representado el funcionamiento de los transmisores de 2, 3 y 4 hilos. En este caso, el objetivo de la medición es calcular y transmitir el valor de una cierta Resistencia Designada de antemano, por medio de la caída de voltaje que posee.

Basándose en lo anterior, existen varias técnicas para medir la resistencia existente en los sensores. Los puentes de precisión son una alternativa bastante común y

confiable, ya que permiten medir valores de resistencia con un amplio rango, así como los cambios que pueda sufrir por efecto de las modificaciones en la variable medida. En todo caso, el uso de este tipo de puentes se encuentra restringido a ambientes que no sean muy agresivos.

También se ha de considerar, que existen instrumentos de medida que poseen un comportamiento No Lineal, ya sea, por sus principios de medida o por el comportamiento del fenómeno a medir, un ejemplo de esta situación son los "Termistores", los cuales deben ser conectados en serie con un "linealizador", de tal manera de corregir sus no linealidades, dejando el valor final de salida como si tuviese un comportamiento lineal. De esta manera, la no-linealidad pasa a ser transparente al usuario y lo que se observa es tal como si el instrumento tuviera un comportamiento lineal en todo su rango de medida.

¿Por qué 2, 3 ó 4 Hilos?

Algunos fabricantes emplean el método de medir la resistencia, universalmente aplicable a una gran gama de instrumentos medidores. Vale recordar, que es común encontrar aparatos transmisores que incluyen la unidad sensorial en su interior.

Una gran cantidad de sensores resistivos, incluyendo las RTD y los Termistores, funcionan calculando el valor de cierta resistencia y transmitiendo este valor por medio de un cierta diferencia de potencial. La resistencia del instrumento es determinada por la simple aplicación de la Ley de Ohm ($R_s = V_s / I$), donde R_s es la resistencia al interior del sensor, V_s es el voltaje que existe en este e I es la corriente de excitación.

Por otra parte, es bien conocido que los conductores eléctricos (excepto los superconductores) poseen cierta resistencia eléctrica, y que la magnitud de ella está en directa relación con el material del conductor, su diámetro y longitud, como lo demuestra la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\text{Resistencia}_{\text{del Conductor}} \cdot \text{Longitud}_{\text{del Conductor}}}{\text{Area}_{\text{del conductor}}}$$

Cuando pasa la corriente a través del conductor, la resistencia eléctrica del material a lo largo del conductor, produce una diferencia de voltaje. Este voltaje es llamado *Perdida en el Conductor*. Notar que la perdida producida en el conductor se incrementa a medida que se incrementa el largo del conductor.

Si la distancia que existe entre la fuente de excitación y el sensor es pequeña, entonces, puede ser usada sin ningún problema un conductor simple de 2 hilos, sin comprometer la precisión de la medida. Pero a medida que la distancia vaya en aumento, la precisión de la medida se irá reduciendo considerablemente debido a los aspectos recién vistos, ver Figura 200.

Transmisores De Dos Hilos

En la Figura 200, se muestra esquemáticamente lo que sucede con un cable de 2 hilos. En este caso, el conductor T produce una pérdida cuya magnitud está dada por:

$$V_T = V_1 - V_2 = I \cdot R_T$$

Mientras que la pérdida producida por el conductor B está dada por:

$$V_B = V_3 - V_4 = I \cdot R_B$$

La resistencia del sensor, producirá el voltaje que se desea adquirir, ya que esta es el valor deseado que se quiere medir. Este está dado por:

$$V_S = I \cdot R_S = V_2 - V_3$$

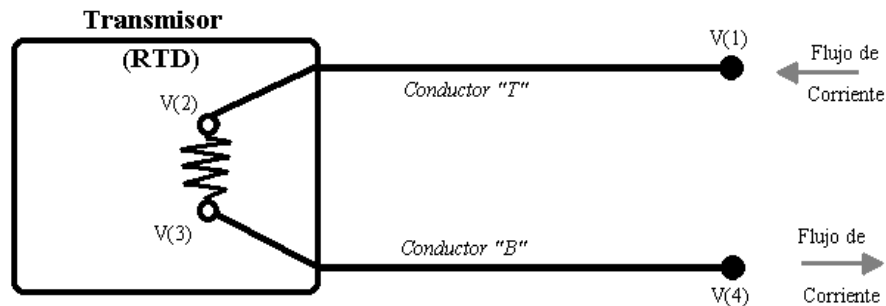


Figura 200

Transmisor de dos hilos.

Los errores por pérdidas ocurren cuando la longitud del conductor es suficientemente larga, como para afectar las medidas obtenidas al ser la caída de voltaje en el conductor un valor a considerar.

Ello se debe ya que al hacer circular una corriente eléctrica por el mismo cable que transmite la señal y al aplicar la ley de Ohm, se verá que existe cierta caída de voltaje en el conductor, y para los efectos del receptor, éste entenderá que la señal transmitida es la suma de los voltajes de la parte sensorial del transmisor, más el voltaje de pérdida en los conductores. Referido a la Figura 200, se tiene que:

$$R_{Medida} = V_S / I + V_T / I + V_B / I = R_S + R_T + R_B$$

En este momento, puede parecer que la medida de la resistencia se incrementa con el largo del conductor, y corresponde a los valores de R_T y R_B , reduciendo la precisión de la resistencia designada para la medición. Tal error puede llegar a ser inaceptable cuando se hable de pequeños valores en la resistencia de medición, como sería el caso de considerar las RTD.

Evitando Errores Por Pérdidas

Existen dos métodos clásicos para evitar los errores por pérdida en los conductores. En algunos casos los errores por pérdidas pueden ser aceptables dentro de un rango especificado previamente, pero ello suele ocurrir siempre y cuando los conductores no sean muy largos y los diámetros de los conductores sean de gran tamaño. Como en muchas ocasiones esto no es muy práctico, una forma alternativa de eliminar las pérdidas es agregando uno o más conductores a los transmisores, llevando de esta forma la señal por tres, cuatro o más hilos. En tales configuraciones, el objetivo es separar la excitación y el voltaje medido en conductores diferentes.

Caso General De Transmisores De 2 Hilos.

Al referirse a transmisores de dos hilos, no solo se están identificando los relacionados con la medición de la temperatura, ya que no son los únicos que existen en el mercado. También se pueden encontrar los transmisores de presión, nivel, flujo, etc., que su forma de transmitir la información es por medio de los dos hilos que salen desde él.

Estos transmisores usan ambos hilos para adquirir su alimentación, y en forma simultanea transmitir la señal que se encuentran midiendo. Un ejemplo básico de su forma de funcionamiento es el que se muestra en la Figura 201, desde donde se puede apreciar que el transmisor transmite su señal por medio de corriente y a la vez se alimenta por los mismos cables.

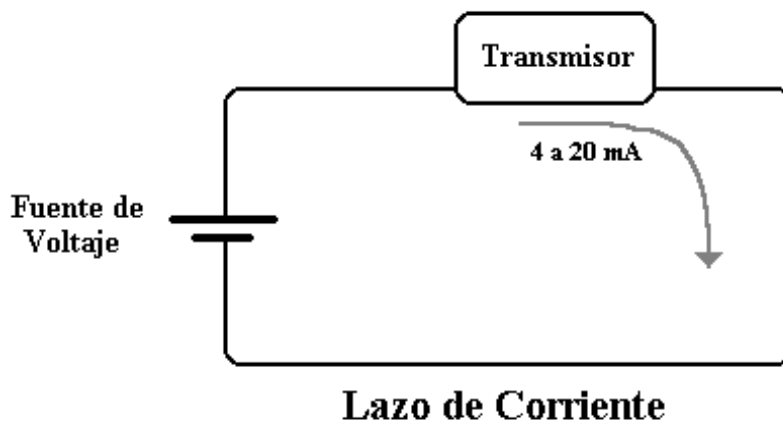


Figura 201

Transmisor de 2 hilos, caso general.

Como se ve en la Figura 201, el transmisor es energizado por los mismos cables que transportan la señal. Ello es más seguro desde el punto de vista de trabajar en ambientes altamente explosivos porque se logra disminuir la cantidad de cables que transportan energía y además de que todo el sistema puede ser más compacto. Por lo general esta configuración suele alimentarse por una fuente de 24 [volt] c.c.

Transmisores De Tres Hilos

En un circuito de tres hilos, como el de la Figura 202, se reducen las pérdidas de transmisión en aproximadamente un 50 % (en comparación con uno de dos hilos). El tercer hilo puede ser conectado en el extremo superior de la resistencia designada, como también se puede conectar en el extremo inferior. Del lugar donde se conecte es la clasificación del transmisor, ya que este en algunas ocasiones puede ser PNP o NPN, (como lo que pasa con los transistores).

La ventaja de usar el tercer conductor es que sólo la corriente fluye a través del conductor *T* (asumiendo una alta impedancia en los terminales de entrada) y de esta forma el conductor *P* solo transmite la señal en voltaje sin pérdidas asociadas.

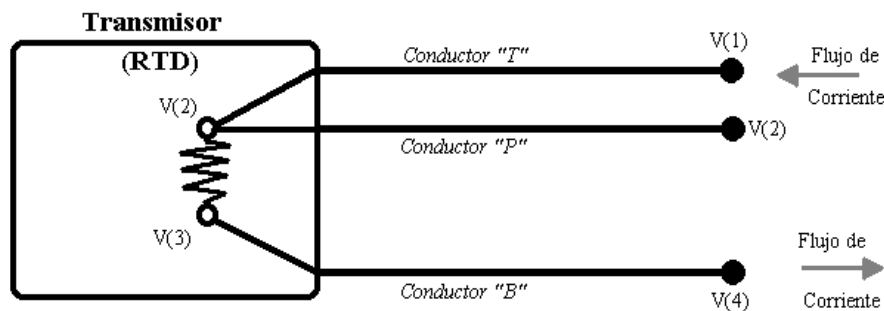


Figura 202

Transmisor de 3 hilos.

Si uno asume que el conductor *T* y *B* tienen idéntica resistencia, los errores por pérdidas pueden ser eliminados realizando dos medidas y con un simple cálculo. Primero, se deben medir las pérdidas debidas al conductor *T*, donde $V_T = V_1 - V_2$. Paso siguiente, medir la resistencia que aparece en los otros terminales ($V_S = V_2 - V_4$). Como todos los terminales se suponen que poseen la misma resistencia, las pérdidas en el conductor *T*, serán las mismas que experimente el conductor *B*, obteniendo para la resistencia designada un valor de:

$$R = (V_S - V_T) / I.$$

Debido a la propia configuración de este tipo de transmisores, se deben efectuar dos medidas cada vez para obtener el valor real de la variable. Generalmente se debe sumar un canal de medida para efectuar la segunda medición. A la vez, cualquier ruido o no-linealidad es arreglado por efecto de ambas medidas.

Transmisores De Cuatro Hilos

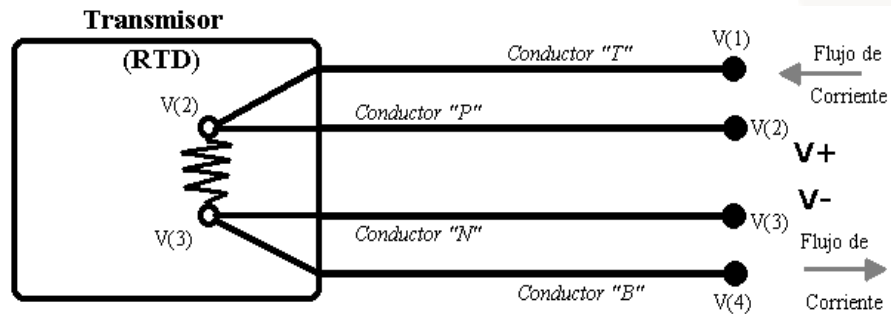


Figura 203

Transmisor de 4 hilos.

En los circuitos de cuatro hilos, se eliminan completamente los errores de pérdidas porque posee dos terminales de excitación y dos de medida. El motivo por el cual se eliminan los errores de pérdidas, es que en los terminales de medida no existe un flujo de corriente, por lo que no hay caída de tensión en ellos y el valor que se obtiene de ellos es la magnitud verdadera de la resistencia designada.

En los transmisores de cuatro hilos, solo una medida puede ser realizada ($V_s = V_2 - V_3$), ver Figura 203. De esta simple medida se obtiene el valor de la resistencia $R_s = V_s / I$. Además, debido a su propio principio es necesaria tan solo una medida para obtener el valor real de la resistencia designada. Solo un canal de medida es usado y el error debido a las no linealidades es reducido considerablemente.

Caso General De Transmisores De 4 Hilos

Por otra parte, también existe la posibilidad de energizar en forma externa al transmisor, de manera tal que existan cuatro cables que salgan hacia el exterior del instrumento, dos de los cuales son los que transportan la señal y los otros dos son para obtener la alimentación requerida por el instrumento.

En la Figura 204, se puede observar que el transmisor posee cuatro alambres de salida, dos de los cuales van a una fuente externa de energía (como por ejemplo la red de 220 volt c.a. monofásica), y los otros dos cables son los que transportan la señal con la información (lazo de corriente).

Este tipo de transmisor es muy parecido al de dos hilos, solo se diferencian en la forma de obtener su alimentación, ya que mientras uno lo hace directamente de los mismos cables de alimentación, el otro lo hace desde una fuente externa.

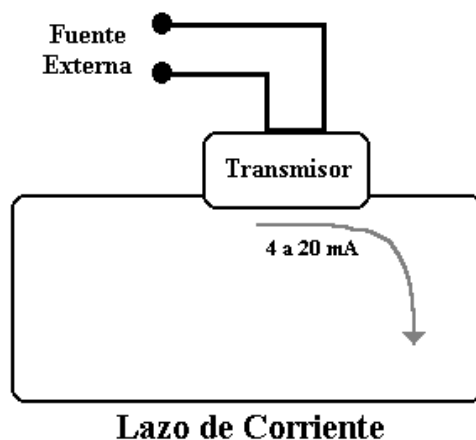


Figura 204

Transmisor de cuatro hilos, caso general

A modo explicativo, se podría decir que el transmisor de 4 hilos posee en su interior una fuente conmutada, la que baja el voltaje de alimentación desde 220 [volt] c.a. hasta 24 [volt] c.c., y por medio de ella adquiere la alimentación necesaria para su correcto funcionamiento.

Distintos Tipos De Transmisores De Presión

Al consultar un catálogo de algún fabricante, se verá que existe una gran variedad de alternativas para medir, sensor o transmitir presión, pero esta gran variedad de instrumentos se debe al tipo de presión que mide cada uno de ellos, ya que al interior de la industria los requerimientos de conocer una presión u otra varían de un lugar a otro.

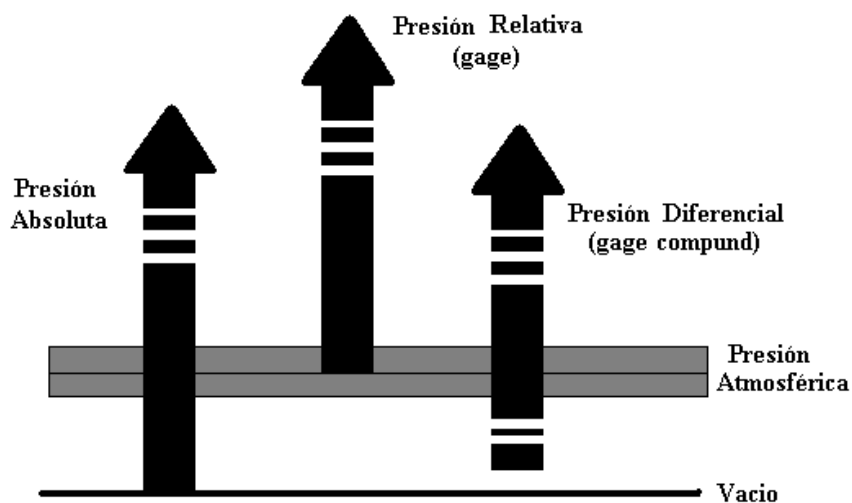


Figura 205

Distintos tipos de presión

Los distintos tipos de presión se pueden apreciar mejor en la Figura 205, donde se ve claramente la diferencia entre cada uno de ellas.

Presión Absoluta

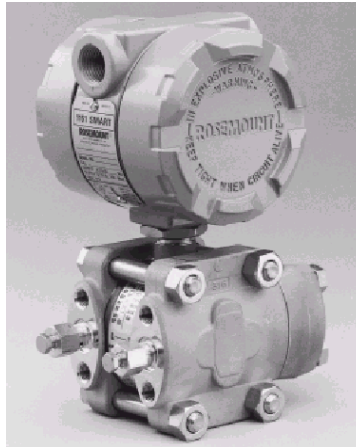


Figura 206

Transmisor de Presión Absoluta

En este caso, la Presión Absoluta se mide con relación al vacío absoluto, ver Figura 205, mientras que en la Figura 206, se muestra un transmisor (sensor) de presión absoluta. Este instrumento sensor se usa mucho en ambientes químicos e industrias de ambientes corrosivos, por ejemplo, donde sea necesario medir la presión de un gas con respecto al vacío. También se acostumbra emplear en las empresas de alimentos, donde se suelen envasar algunos productos al vacío para disminuir su deterioro por el correr de los tiempos.

Presión Relativa

Para los casos en que se hable de Presión Relativa, se está refiriendo a la presión que se encuentra referenciada con la presión atmosférica, ver Figura 205. Este tipo de instrumentos, se suelen emplear en casos que es necesario calcular la altura de un estanque que se encuentra abierto al exterior, en donde se acostumbra colocar un transmisor-sensor de presión relativa que genere una señal de 4 a 20 [mA], indicando la mínima y máxima altura del estanque respectivamente.

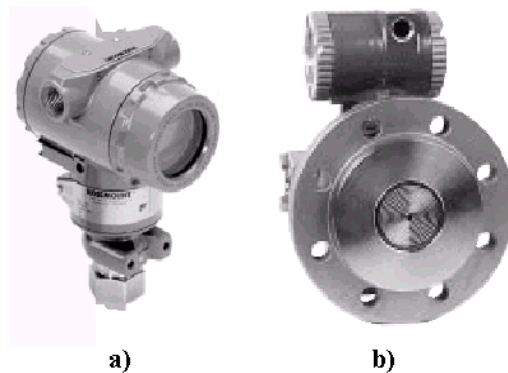


Figura 207

Transmisor de a) Presión Relativa (gage), y b) de nivel.

Estos instrumentos suelen estar calibrados a nivel del mar, por lo que es recomendable que en los trabajos que se realicen a gran altura, éstos se vuelvan a calibrar o simplemente se use otro tipo de transmisor. En la Figura 207a), se muestra un transmisor (sensor) de presión relativa.

Presión Diferencial

A pesar de lo anterior, en algunas aplicaciones es necesario medir la diferencia de presión que existe entre dos sistemas, para lo cual se han de ocupar los elementos que son capaces de medir una determinada presión, basándose en una presión de referencia que no es el vacío ni tampoco la atmósfera, ver Figura 205.

En la Figura 207.b), se muestra un transmisor de Nivel de Líquido de diafragma. Este instrumento suele operar bajo el principio de operación de presión diferencial o relativa.

Requerimientos energéticos

Se debe tener presente que este es quizás uno de los puntos más importantes en lo que se refiere a la correcta mantención de los equipos usados en la industria, ya que de no cumplirse alguno de ellos, el instrumento podría sufrir de un daño permanente que afectará notablemente su comportamiento y rendimiento.

Por ejemplo, bastaría mencionar lo que ocurrirá si un instrumento que requiera ser alimentado con 220 [volt], se conecta a una red de 24 [volt]. Lo más probable es que el instrumento ni siquiera tenga la energía suficiente para funcionar, pero por el contrario, si el mismo instrumento funciona a 24 [volt] y es conectado a una red de 220 [volt], lo más probable es que ni siquiera se alcance a desconectar el equipo antes de que sufra de un gran daño, muchas veces irreversible.

Transmisores neumáticos

Para el correcto funcionamiento y mantenimiento de este tipo de instrumentos, se debe tener en cuenta que el aire con el cual se trabajará, deberá estar libre de impurezas y no poseer mucha humedad, ya que de esta manera se podrán evitar posibles daños por corrosión a la unidad. Debido a ello, a los equipos que trabajan con esta clase de aire se les suelen colocar filtros limpiadores, como forma de asegurar la correcta mantención y suministro que el instrumento requiere.

Además de adicionar los correspondientes hilos de conexión, de tal manera de poder lograr una conexión segura y durable en el tiempo. Una de las conexiones más usadas es la de NPT, donde a medida que más se aprieta, menos posibilidades de fugas de aire existen (Figura 208).

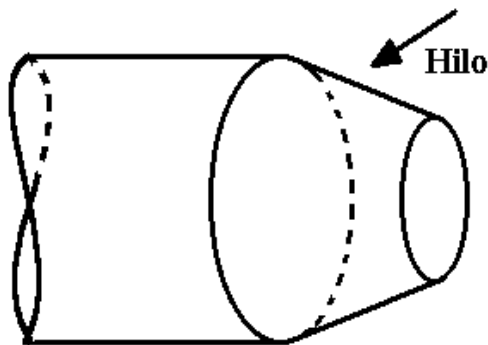


Figura 208

Hilo NPT (Nipple Piping Terminal), mientras más se atornilla, más entra.

En todo caso, se debe asegurar en todo momento que el suministro de aire no falle, ya que es de vital importancia en lo que se refiere al manejo de válvulas finales de control. Además, se debe tener presente que los equipos que trabajen a una determinada presión, por lo general se les necesita asegurar una mayor presión para su correcto funcionamiento.

Por ejemplo, están los convertidores I/P, que trabajan en el rango de 4 a 20 [mA] en corriente y de 3 a 15 [psi] en presión. Para asegurar que la presión que entreguen sea siempre la correcta, será necesario que sean alimentados por una presión mayor, por ejemplo 20 [psi], la que deberá ser suministrada en todo momento al aparato.

Transmisores eléctricos

Por otra parte, los requerimientos eléctricos que ocupan estos instrumentos y todos los de control, deben estar separados de los elementos que trabajen con una gran potencia, ya que estos últimos suelen ocasionar ciertas perturbaciones en la red de energía eléctrica que en algunas ocasiones pueden llegar a ser nefastos en los elementos electrónicos, como computadoras, PLC's, sensores e instrumentos varios, además de producir ciertas interferencias (ruido eléctrico) en el suministro normal de la red.

Adicionalmente, se debe saber que casi todos los equipos de electrónica que se encuentran al interior de la planta, trabajan con voltajes ya estandarizados (24 [volt] c.c.), y por ende se necesita una red especial que sea capaz de suministrar tal alimentación en toda la planta. Por ejemplo, la mayoría de los conversores *P/I* o *I/P* trabaja con una alimentación de 24 [volt] c.c., tal como lo hace una gran gama de sensores de presencia, sensores inductivos, etc. y en algunos casos estando conectados como si fuera un Transmisor de Dos Hilos.

Transmisores digitales

En los instrumentos digitales los requerimientos básicos son los mismos que para los instrumentos eléctricos, ya que también poseen componentes eléctricos que necesitan ser energizados. Pero además se debe tener en cuenta que como las señales que suelen manejar son bastante pequeñas (± 12 , 0 a 5, 0 a 10, ± 10 [volt]), cualquier interferencia electromagnética podría afectar seriamente los resultados del proceso.

Además si se considera que muchas veces estos transmisores inteligentes trabajan de la mano con un bus de datos (Fieldbus), es prácticamente un requerimiento de suma importancia que los cables que transportan este tipo de señal estén debidamente protegidos contra los ruidos eléctricos producidos por fuentes externas, en otras palabras, es necesario que los cables de control se encuentren blindados y apantallados para evitar que ocurra todo lo anterior.

No está de más mencionar que también se han de considerar los conectores físicos necesarios para hacer interactuar las comunicaciones, como por ejemplo los tipos "RJ-45", "RJ-122", etc.

Afortunadamente, pese a que no existe una red universal de información que sea capaz de soportar todos los instrumentos creados por los distintos fabricantes, sí existe una normalización en lo que se refiere a cada una de las conexiones físicas de ellas. El organismo encargado de crear las normativas en cuanto a la implementación de redes es la IEEE.

Características específicas de los transmisores

Comunicación de los transmisores

Este procedimiento es sumamente rápido, más aún, puede llevarse a cabo desde cualquier punto del lazo de 4 a 20 [mA], sin necesidad de llegar hasta el transmisor. Debe considerarse que la calibración es la única forma de alcanzar con certeza la exactitud especificada para un transmisor. Normalmente, el fabricante entrega el equipo calibrado, utilizando para ello instrumentos de alta precisión.

Pero gracias a los avances que se han producido en la electrónica e informática, hoy ya no es necesario llevar el transmisor para que sea recalibrado, porque en prácticamente todos los transmisores inteligentes, es posible establecer una comunicación con el instrumento, para de esta forma volver a calibrarlo o cambiarle el rango de trabajo cuando se estime necesario, todo ello sin necesidad de trasladar el equipo de un lugar a otro. Con ello queremos destacar que estas ventajas se deben a la capacidad de poder entablar una comunicación directa con el elemento en cuestión.

Métodos de comunicación en los transmisores

De todas las cualidades de los transmisores digitales, una de las que más ha llamado la atención de los usuarios, es la comunicación con los sistemas de control. Esta característica es propia de este tipo de instrumentos, por la alta tecnología que requiere para su correcto funcionamiento. Es interesante recordar que los primeros transmisores digitales transmitían la variable de proceso hacia el sistema de control únicamente mediante una señal de 4 a 20 [mA], mientras que la disponibilidad de un protocolo digital, estuvo reservada para la comunicación del transmisor con el dispositivo de configuración.

A mediados de los '80, se empezaron a presentar diversos protocolos propietarios (propios de cada fabricante) para la comunicación de transmisores digitales. La ausencia de una norma para las comunicaciones de transmisores digitales llevo a que cada proveedor intentará imponer su propio protocolo. Pero a pesar de ello, se pueden distinguir en términos generales dos modos de trabajo y estos son los siguientes:

El primero permite la transmisión de la variable de proceso por medio de una señal de 4 a 20 [mA], y la configuración del transmisor desde un dispositivo de configuración. No necesariamente se ha de desconectar el transmisor al momento de configurarlo, ya que puede transmitir la señal de control aun cuando se este revisando el correcto funcionamiento del equipo (Figura 209). De este modo se pueden combinar transmisiones y recepciones de distintos proveedores, ya que la señal de 4 a 20 [mA],

está normalizada por la norma ISA SP 50.1, no así el proceso de configuración que es propio de cada fabricante.

Mientras que el segundo método, permite la transmisión de las variables del proceso utilizando el protocolo digital (por medio de buses de campo), que es específico del proveedor de transmisión. Por lo tanto, el sistema de control deberá utilizar este protocolo para recibir las variables del proceso, así como para configurar el transmisor.

En muchos casos se utiliza el transmisor inteligente (digital) con señal analógica de 4 a 20 [mA], ya que el sistema de control no es digital, o no cuenta con el protocolo de comunicaciones requerido (por ejemplo, en el caso de los buses de campo).

Este es el caso de PLCs, controladores unilazo, sistemas electrónicos analógicos, etc. En ellos se presenta la necesidad de establecer una comunicación digital con el dispositivo de configuración (único modo de configurar o realizar rutinas de mantenimiento del transmisor), no con la sala de control, donde al mismo tiempo se transmite la señal de proceso por medio de esta misma señal.

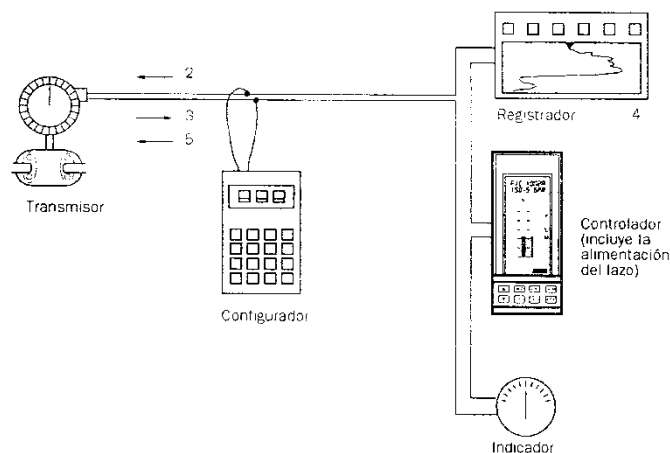


Figura 209

Conexión del Hand Held.

En todos los casos anteriores, se supone que la única forma de configurar los equipos ya mencionados, es por medio de la forma directa, esto quiere decir que es absolutamente necesaria la presencia del operador en el mismo lugar del instrumento.

Para solucionar este problema (el de la comunicación), hoy en día se ofrecen 3 métodos, donde se ha de tener presente que el configurador de mano se conecta en paralelo al lazo de corriente, como se puede apreciar en la figura 209.

Primer Método

En este caso los ceros y unos del protocolo digital se representan por medio de señales de 4 y 20 [mA] respectivamente. Claramente se puede ver, que mientras el

configurador se comunica con el transmisor, el sistema de control se encuentra con una señal de proceso que varía en forma brusca y excesivamente rápida, pudiendo provocar un grave daño a los equipos conectados al transmisor, como los mostrados en la figura 209. Por tal motivo, es necesario pasar el lazo de control a manual. Este método se utiliza en el protocolo de Honeywell.

Segundo Método

En este caso los ceros y unos se representan modificando la señal de 4 a 20 [mA] en ± 0.5 al 2 %. Esto permite al sistema mantener un valor (aunque sea aproximado) de la variable de proceso. Sin embargo, este método es muy susceptible a señales ruidosas, como es el caso de caudales. Además, tampoco es aceptable para lazos de control, ya que el “ruido” generado por los pulsos de comunicación perturbará al controlador.

Tercer Método

En este método se trabaja sobre imprimiendo una señal de alta frecuencia a la señal analógica, utilizándose para ello una señal de alta frecuencia (sobre 1 kHz), para representar los ceros y unos del protocolo de comunicación. Aquí se presenta la ventaja de que en estas señales de alta frecuencia son invisibles al sistema de control, por lo que las dos comunicaciones (analógica y digital) no interfieren entre sí, pese a compartir el mismo medio físico. Esta técnica se conoce como “*Frequency Shift Key (FSK)*”, y es utilizada por el protocolo “**HART**” de Rosemount, y el protocolo para Transmisores Inteligentes de Foxboro.

La comunicación con el sistema de control

La integración digital entre un transmisor y un sistema de control se lleva a cabo utilizando un protocolo de comunicaciones. Este protocolo permite la transmisión de la variable de proceso, así como la transmisión de las demás variables del transmisor, y su configuración. En relación a las variables de proceso, podemos describir dos técnicas utilizadas para su transmisión al sistema de control.

Transmisión Por Ráfagas (Burst Mode)

El transmisor envía en forma periódica un mensaje que contiene la variable de proceso. Este mensaje es escuchado por todos los dispositivos que se encuentran conectados a la red. La comunicación es simple, no existiendo acciones en las que el sistema requiera de las variables que maneja el transmisor (ver figura 209).

Esta metodología es utilizada por los protocolos DE de Honeywell y HART (bus mode) de Rosemount. Ambos envían mensajes actualizando la variable de proceso con una frecuencia un poco mayor a las 3 veces por segundo.

Comunicación Maestro – Esclavo

En este caso el transmisor y el receptor integran una red **Maestro-Esclavo**. Este método es utilizado en el protocolo **HART**, permitiendo la actualización de dos variables por segundo. También es usado por el protocolo para transmisores

inteligentes de Foxboro, con una frecuencia de actualización de la variable de proceso de 10 veces por segundo. Algunas características generales de este método son:

Se utiliza la técnica FSK, en la que unos y ceros son representados por tonos de alta frecuencia.

La red es “**multi-maestro**”, permitiendo la existencia de dos maestros en la red; uno es el receptor (sistema de control), y el otro es el dispositivo de configuración.

La posibilidad de tener dos maestros en la red se logra definiendo ventanas de tiempo. En una ventana el maestro ocupa la red para efectuar su consulta o comando, y el resto del tiempo lo usa para recibir la respuesta correspondiente. Toda esta transacción puede tomar unos 35 [mili-segundos] aproximadamente.

El protocolo puede prever que este maestro emitirá un mensaje cada 100 [ms], por lo que quedarán 65 [ms] disponibles para que el segundo maestro emita su mensaje y reciba la respuesta.

La red del protocolo HART puede ser “**multidrop**”, permitiendo la conexión de más de un transmisor en la red. Esta característica permite el ahorro de cableado, aunque presenta varios inconvenientes, como por ejemplo:

Disminuye la velocidad de actualización de las variables de proceso, si la velocidad de comunicación es demasiado lenta.

Por ejemplo, la implementación maestro-esclavo del protocolo HART permite la actualización de sólo dos variables por segundo. En una red con 6 transmisores, las variables de proceso se actualizarán una vez cada tres segundos, lo que es incompatible con la mayoría de las aplicaciones de control automático.

Otro inconveniente está relacionado con la seguridad del proceso en caso que se corte el bus de comunicación (cable de conexión), ya que en este caso aumentará el número de señales afectadas por un eventual problema en el cableado.

Cierta dificultad técnica que está asociada a la alimentación de numerosos dispositivos por medio del mismo par de conductores, y las limitaciones definidas para instalaciones intrínsecamente seguras. En efecto, si se pretende alimentar un número importante de instrumentos por medio de un único par de conductores, se deberán exceder los límites de energía aceptados para este tipo de instalaciones.

Por otra parte, la salida digital comprende los siguientes puntos:

Encabezado del mensaje.

Byte de estatus, indicando falla de la alimentación en transmisores energizados por conductores independientes de la señal (transmisión de 4 hilos), diagnóstico de error, inicialización requerida (la base de datos se modificó localmente), estado del dispositivo (en línea, fallo, etc.).

Medición primaria (variable de proceso) y secundaria (temperatura del sensor).

Chequeo de redundancia cíclico (CRC).

5.8 Transductores

Convertidores I/P e P/I

En las aplicaciones de Control e Instrumentación, uno de los elementos más conocidos y usados, son los convertidores o transductores. Estos dispositivos tienen el propósito de realizar una conversión de señal o información desde un ambiente a otro, por ejemplo, de una variable de naturaleza fluidica a otra de tipo eléctrico, o viceversa, también, existe convertidores de tipo digital a continuo.

Dentro de los convertidores más conocidos, están aquellos que convierten una señal fluidica a una presión dada en una señal eléctrica, ya sea, en términos de corriente o de voltaje a valores normalizados. La conversión más común es la que está relacionada con milésimas de amperes, ya que ella presenta grandes ventajas en comparación con señales de voltajes.

Dentro de los diversos convertidores que existen en el mercado, los más conocidos son los “**P/I**” (o convertidor Presión/Corriente). También existen los convertidores que efectúan la función inversa, donde su rol consiste en transformar una señal eléctrica en una de tipo fluídico, llamados conversores “**I/P**” (o convertidor Corriente/Presión), como se muestra en la Figura 210.

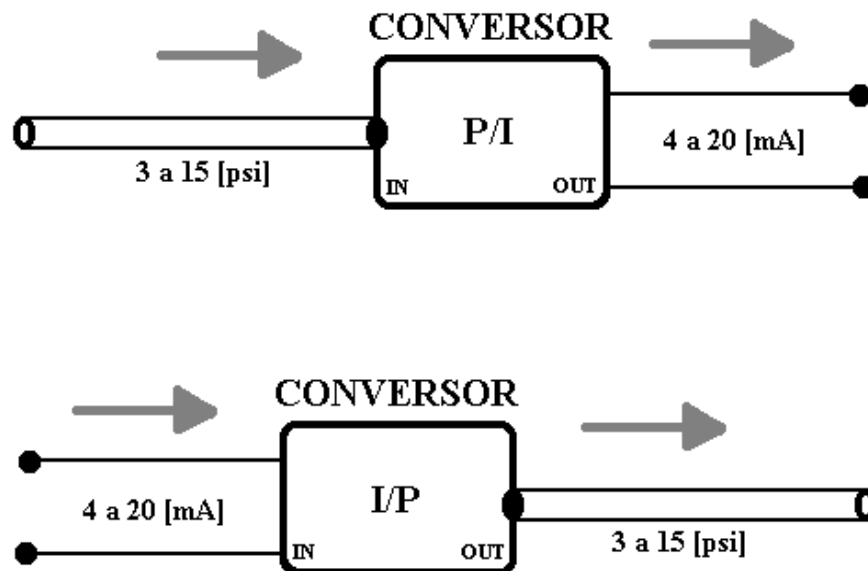


Figura 210

Transformación de señal.

Los rangos de trabajo de ambas señales (presión y corriente), suelen no estar estandarizados al interior de la industria, por ejemplo, si consideramos el caso de la

presión, se verá que se hace necesaria la presencia de acondicionadores o reguladores de presión para normalizar dichos valores, donde los más frecuentes de detectar, son de 3 a 15 [psi] en presión y de 4 a 20 [mA] en corriente. Para ambos casos, los requerimientos energéticos suelen ser de 20 [psi] para cuando es un conversor I/P y de 24 [volt] para el caso de conversores P/I.

Notar que siempre los requerimientos energéticos suelen ser un poco mayores que la señal que entrega el instrumento. Ello se debe principalmente al hecho de que el instrumento en cuestión posee cierto consumo energético de las variables con las cuales trabaja.

Además, se debe considerar para el caso neumático, que la calidad del aire que estos equipos emplean debe ser controlada en lo referente a impurezas y humedad relativa, ya que de no ser así, el instrumento podría acortar su vida útil o simplemente sufrir constantes daños que mermarán la calidad de la señal entregada.

En la Figura 211, se muestran algunos conversores comercializados actualmente por la empresa Foxboro, que son de uso frecuente al interior de la empresa.

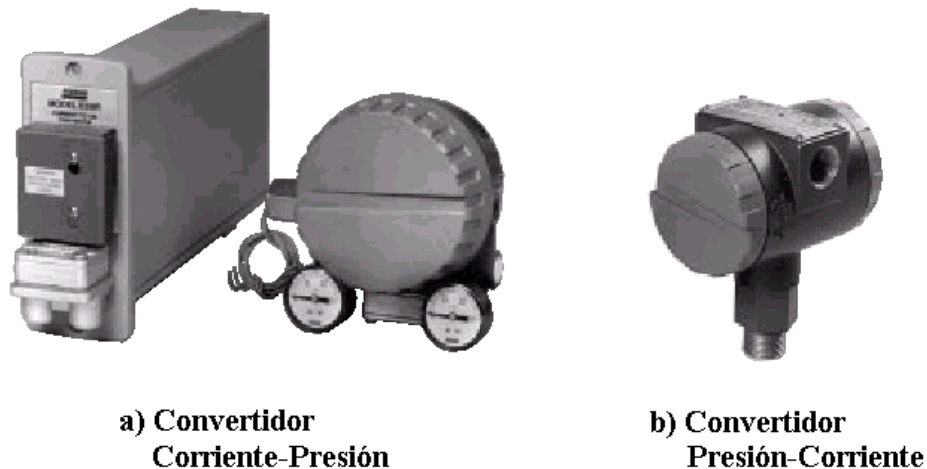


Figura 211

Algunos conversores usados en la empresa.

Principio de funcionamiento de un P/I

Una vez solucionado el problema de contaminación del medio ambiente en el cual trabajará el conversor, se tendrán que revisar los manuales del instrumento, ya que en la mayoría de estos casos la posición que ocupe el conversor, sí tiene relevancia en cuanto a la medición que se efectuará. Esto se debe a que en algunos conversores existen elementos mecánicos, los cuales son afectados por la fuerza de gravedad, y por ende, afectan directamente la conversión (o transmisión) que realiza el equipo.

En el mercado actual, existe una gran diversidad de esta clase de instrumentos, donde los principios de operación suelen variar de fabricante en fabricante y muchas veces de modelo en modelo. Esto afecta directamente al consumidor, ya que ante la necesidad de adquirir alguno de ellos los precios y marcas son variados, dependiendo básicamente de las condiciones de operación normal, el tipo de funcionamiento del instrumento, el fabricante, la certificación, etc.

El funcionamiento básico de uno de estos instrumentos (*Rosemount*), es el siguiente: Se ingresa el aire al interior del equipo (Figura 212), para que este actúe sobre un lado del “*diafragma*” que se encuentra en su interior, mientras que la presión atmosférica es introducida al otro lado del diafragma como una señal de referencia, esto es en el caso de los conversores (o transmisores) que trabajen con la presión relativa, ver unidad 2). Por acción de esta diferencia de presión, el diafragma sufrirá de un desplazamiento máximo de 0.004 [in] (ó 10 [mm]).

Para detectar estas pequeñas variaciones, el método empleado puede variar de un instrumento a otro, pero por lo general están basados en la captación de cierta “*capacitancia eléctrica*” o el flujo magnético producido por una bobina (revisar unidad 2).

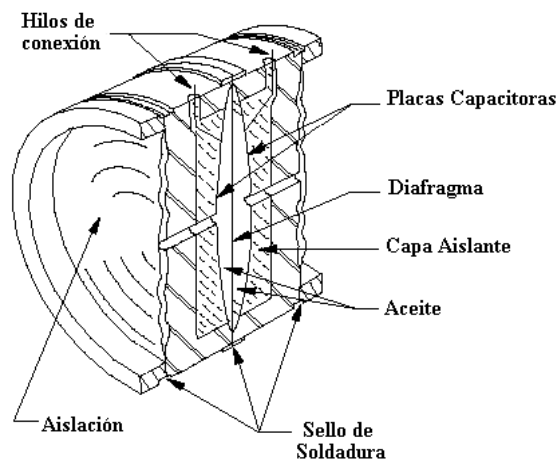


Figura 212

Elemento primario tipo capacitivo.

Pero en general, para los casos en que usa un diafragma se suelen colocar unas placas metálicas a los costados y de esta forma saber con precisión el desplazamiento producido por medio del cambio de la capacidad del sistema (como si fuera un condensador de placas variables).

Principio de funcionamiento de un I/P

Otro método bastante usado por la empresa “*Rosemount*”, pero en lo que se refiere a conversores Corriente → Presión (I/P), se muestra en la Figura 213. Este método, está basado en la interrupción de un cierto flujo de aire que circula a través de unas toberas ubicadas una frente a la otra. El sistema funciona de manera tal que al circular una corriente eléctrica por una determinada bobina, se producirá el movimiento de una barra la que interferirá la normal circulación de aire entre las toberas. De esta manera se logra controlar la cantidad de aire que atraviesa hasta la otra tobera, y por lo mismo se logra controlar la cantidad de aire que sale del convertidor.

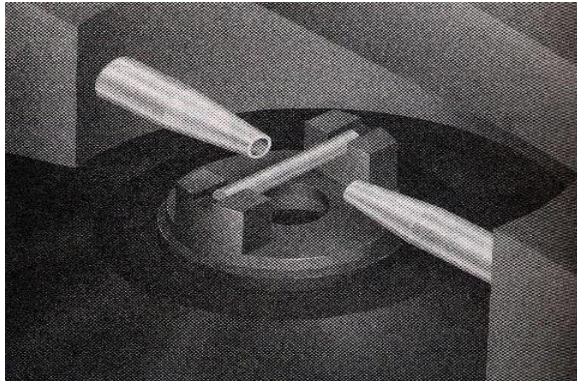


Figura 213

Convertor I/P.

No está de más mencionar que la mayoría de este tipo de instrumentos funciona en base a principios magnéticos.

Reconocimiento de fallas

Por lo general, una de las señales de control más empleadas es la que forman los lazos de corriente, es especial las de 4 a 20 [mA], por las ventajas que ella ofrece. Ello se debe principalmente a que este tipo de señal puede ser transmitida a gran distancia sin que pierda su grado de confiabilidad (o certeza).

Por otra parte, los transmisores de voltaje, que envían señales de control en el rango de 1 a 5 ó 0 a 10 [volt], tienen la gran desventaja de que para poder transmitir la información (una gran distancia), se han de colocar **regeneradores** de señal, ya que los cables de conducción suelen tener pérdidas (poseen cierta resistencia y por ende cierta caída de voltaje), y la señal enviada no siempre será la misma que la señal recepcionada. Ante mayores dudas, consultar la unidad 2.

En todo caso, la pregunta que se ha de responder es: ¿Por qué la señal ha de ser de 4 a 20 [mA], y no de 0 a 16 [mA]?

La respuesta es muy sencilla, ello se debe a que al colocar el mínimo valor posible en 4 [mA], se está asegurando que en caso de corte del cable de conducción el sistema será capaz de detectar esto como un error en la transmisión de la señal, ya que para el sistema cualquier señal menor a 4 [mA], indicará un valor no válido, y al romperse el conductor la señal que se enviará será de 0 [mA].

Además se ha de considerar que muchas veces por efectos electromagnéticos, la señal puede sufrir modificaciones en cuanto a su magnitud, por lo que se recomienda que los cables usados para la transmisión de señales de control estén debidamente protegidos (blindados) y así poder despreciar errores por esta causa.

Escalamiento de la señal

Con el fin de aclarar un poco más el funcionamiento de este tipo de instrumentos, a continuación, se muestra la "**Escabilidad**" que sufre la señal de entrada referenciada con la señal de salida.

Como se muestra en la Figura 214, al momento de usar un conversor Presión → Corriente, e ingresarles una determinada presión, este instrumento convertirá la señal de entrada en una señal analógica de corriente. El valor entregado por el conversor deberá ser único para cada valor de entrada, asegurando de esta manera que a cada valor de la entrada, le corresponde un solo valor en la señal de salida.

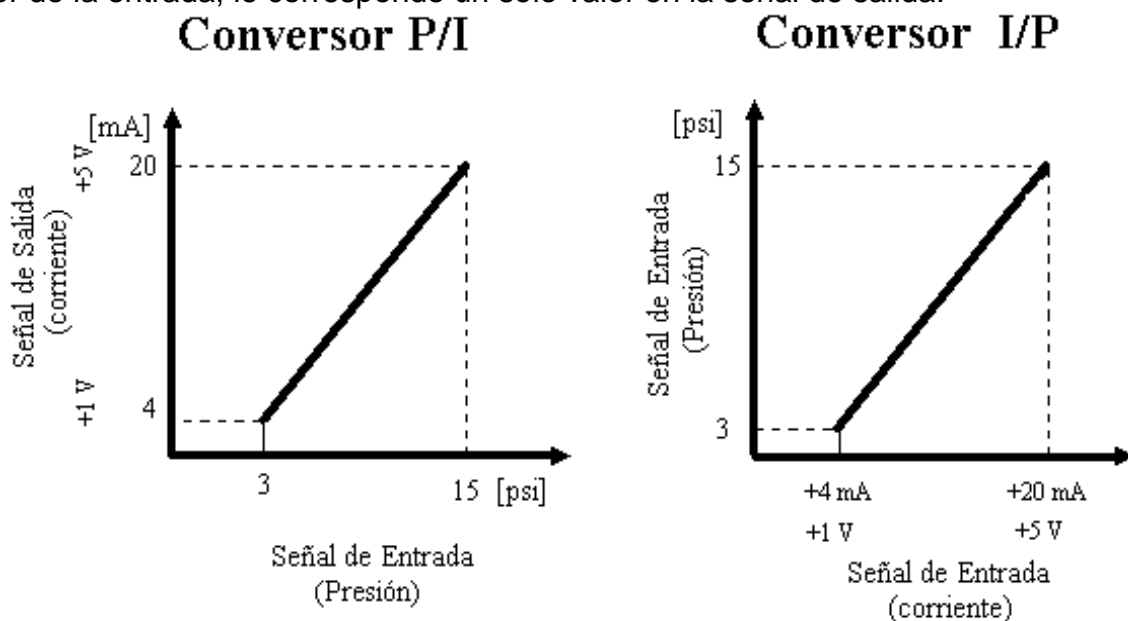


Figura 214

Escalamiento de los conversores I/P e P/I.

Adicionalmente, en algunas ocasiones existe la posibilidad de poder convertir la señal de salida (o entrada) en otro tipo de variable (como por ejemplo voltaje en vez de corriente), como se muestra en la figura 214, donde se puede apreciar que a la señal

de entrada (o salida) se le pueden asociar distintos tipos de salida, con diferentes magnitudes y escalas. En el caso que se requiera transformar una señal de corriente en voltaje (o viceversa), tan solo se requerirá de una resistencia de $250\ \Omega$, y la simple aplicación de la Ley de Ohm.

Además, los conversores tipo Presión \rightarrow Corriente, se han ido adaptando al correr de los tiempos, ya que en muchos de ellos la salida de corriente ha sido reemplazada por una salida digital (o de información binaria), la que puede ser introducida directamente a un bus de datos, como por ejemplo Profibus.

Ello se suele realizar solo en los convertidores P/I, ya que en ellos la señal de salida suele ser usada como una señal que le servirá al operador para indicarle, en el sistema de monitoreo, el verdadero estado del proceso, mientras que los conversores I/P se suelen emplear para manejar el comportamiento de la variable manipulada, por lo que no suelen necesitar una señal digital.

Otra clase de convertidores

Además de los convertidores recién vistos, también existen en el mercado otra clase de convertidores, que cumplen una función similar a la descrita anteriormente (ver figura 215). En ellos la transformación suele ser solo de magnitud, para el caso de la presión, o simplemente de medida eléctrica, de voltaje a corriente (o viceversa).

La utilización de ellos, se debe principalmente al hecho de que no todos los equipos existentes al interior de la planta, trabajan en el mismo rango de señal. Esto suele suceder especialmente en los equipos eléctricos, ya que algunos de ellos solo tienen entradas de voltaje, pero los instrumentos con los cuales interaccionan, entregan una señal de corriente. Para poder hacer trabajar ambos equipos en conjunto, es necesario usar un conversor que sea capaz de recoger una señal de corriente en cierta magnitud proveniente de un sensor dado, para entregar una señal de voltaje, de tal forma que el receptor pueda interpretarla sin ningún inconveniente.

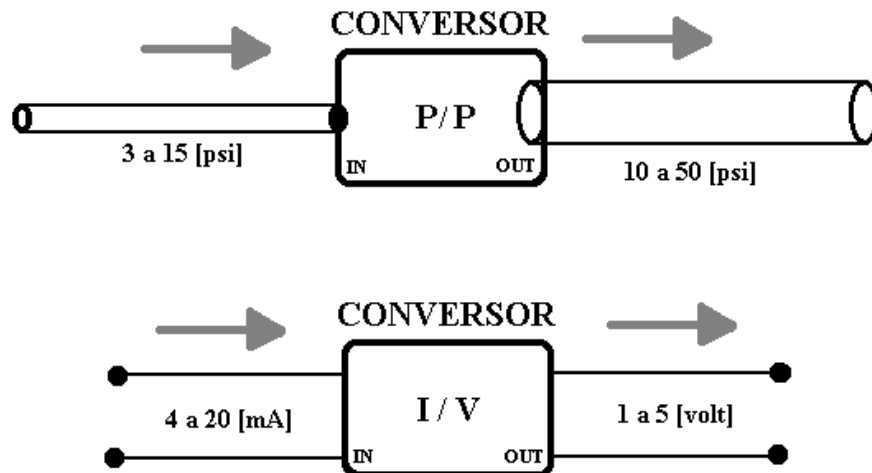


Figura 215

Otra clase de conversores.

Lo mismo ocurre con los casos que sea necesario manejar una válvula de gran envergadura, ya que en ellas se acostumbra usar entradas que no están en el rango de 3 a 15 [psi], por lo que se hace necesaria la presencia de un convertidor que sea capaz de cumplir con tal función. Ver Figura 215

5.9 Válvulas de control

Generalidades

Este manual tiene como principal objetivo la presentación de los tipos básicos de válvulas de control y los actuadores asociados a ellas, así como las configuraciones típicas que se aplican en la industria.

También se presentan los accesorios más utilizados en válvulas y actuadores, tales como convertidores I / P, posicionadores, transmisores de posición, etc.

Posteriormente, se exponen las prácticas recomendadas para la correcta instalación, operación y mantención de válvulas de control.

La selección y el uso de una válvula para cada aplicación específica requiere una atenta consideración de varios detalles, tanto constructivos como de funcionamiento.

Los distintos fabricantes incorporan a las características clásicas de válvulas y actuadores su propio sello, que las distingue de los demás, teniendo así modelos más precisos para aplicaciones particulares.

De acuerdo a lo anterior, el presente manual no puede abarcar todas las situaciones individuales que pueden producirse durante el empleo de la válvula, ni tampoco todos los accesorios o variantes que cada fabricante incluye a sus válvulas o actuadores.

Sin embargo, es posible distinguir siempre los modelos típicos de válvulas, actuadores y accesorios, de acuerdo a su construcción y principio de funcionamiento, según sea el caso, independientemente del fabricante.

Por lo tanto, se presentan los tipos más representativos tanto para válvulas como para actuadores y accesorios.

Definición de válvula de control

Para definir una válvula de control, se aplicará una definición estándar de la Sociedad de Instrumentación de América (ISA: Instrument Society of America) que es una institución que establece los estándares, procedimientos y definiciones utilizados en instrumentación y control.

ISA define la válvula de control como “un elemento final de control que modifica la razón de flujo del fluido en un sistema de control de proceso. Consta de una válvula conectada a un mecanismo actuador que es capaz de cambiar la posición de un elemento controlador de flujo en la válvula, como respuesta a una señal del sistema controlador”.

En otras palabras, una válvula de control responde automáticamente a alguna realimentación desde un elemento sensor que mide una variable en el lazo de control. La variable puede ser la temperatura, presión, flujo o nivel del fluido del proceso.

El elemento sensor envía una señal, a un controlador, el cual ya sea directamente o a través de instrumentación intermedia, entrega la señal de control al actuador. El actuador que es operado automáticamente, responde a la señal y ajusta la posición del obturador de la válvula.

Válvulas de control comparadas con válvulas ON-OFF

La definición de ISA implica las principales diferencias entre las válvulas de control y las que no son de control. Las válvulas no controladas son generalmente dispositivos on-off, operadas manualmente y diseñadas para servicio liviano o intermitente. Por otro lado, una válvula de control que responde automáticamente a los cambios frecuentes en el lazo de control puede obturar o ciclar muy frecuentemente; desde varias veces al día a varias veces en un minuto.

Consecuentemente, las válvulas control deben ser resistentes con el fin de proporcionar una operación consistente y confiable día a día en el servicio de alta cantidad de ciclos.

A medida que se comparan con las válvulas on-off, las válvulas de control usan generalmente materiales de grados más altos, partes internas más pesadas y tolerancias más precisas. Otra diferencia de diseño básica entre los vástagos de válvulas on-off y de control son los propósitos específicos cada una.

Una válvula on-off se usa generalmente tanto para abrir una tubería al flujo directo, o cerrar una tubería para paralizarla o para emergencias. Por lo tanto, la válvula on-off debería ofrecer poca restricción cuando se abra y un cierre hermético cuando se cierre. Esta es la función para la cual está diseñada.

Por el contrario, una válvula de control se usa para absorber la energía desde un proceso imperfecto. Así, incluso cuando está completamente abierta, la válvula de control absorbe una cantidad fraccional de energía de modo que pueda proporcionar un efecto inmediato al sistema en el primer incremento del cierre. En cambio, las válvulas on-off pueden moverse desde un 15% a un 20% del desplazamiento disponible antes que ocurra un impacto significativo del sistema. Por lo tanto, una válvula de control proporciona una respuesta inmediata, mientras que una válvula on-off podría introducir una demora inaceptable si se usa en una aplicación modulante.

Durante el desarrollo siguiente en el presente Manual, se dará mayor importancia a las Válvulas de Control y sus principales características, pues son las de mayor relevancia en los procesos industriales, al ser utilizadas como elemento final de control.

Comparación de los atributos de la válvula.

Comparación entre características de válvulas on-off versus válvulas de control.

CARACTERISTICA	VALVULA ON-OFF	VALVULA DE CONTROL
Fabricación resistente para servicio de alto N° ciclos	NO	SI
Siempre proporciona cierre hermético	SI	NO
El diámetro interior de la válvula se aproxima al tamaño de la línea	SI	NO
Proporciona efecto sobre el sistema en el primer incremento del cierre	NO	SI
Usada para alterar el flujo como respuesta a la señal de entrada.	NO	SI

Su diámetro está dimensionado con el flujo máximo a controlar	NO	SI
---	----	----

Tabla 28

Descripción general de una válvula de control

Una válvula de control se puede considerar como un conjunto de 2 partes mayores: *válvula y actuador*.

Más en detalle se puede decir que consta de 3 componentes principales: el cuerpo de la válvula, el bonnet y el actuador.

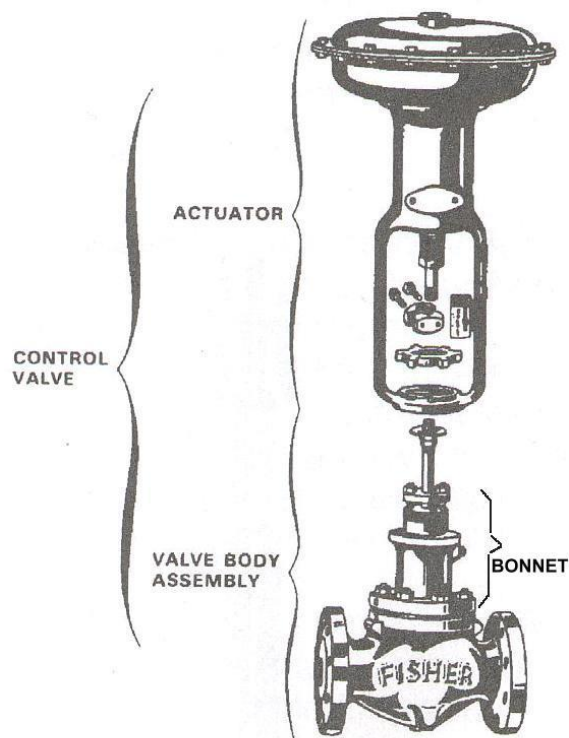
El cuerpo de la válvula contendrá una serie de elementos internos, los cuales pueden variar en forma y tamaño de acuerdo al tipo de válvula que se trate. Sin embargo, cualquier tipo de válvula básicamente constará de un vástago o eje, el cual permitirá mover un elemento obturador, el cual opone una restricción al flujo del fluido a través del cuerpo de la válvula.

En la siguiente sección se describe en detalle los componentes de una válvula de control.

Las válvulas de control se pueden clasificar de acuerdo al tipo de movimiento que realiza el vástago, en:

- Válvulas de vástago deslizante (*desplazamiento lineal*).
- Válvulas de desplazamiento giratorio.

En la siguiente Figura, se aprecia en forma general y genérica el conjunto de los tres componentes principales, debe aclararse que sólo constituye un ejemplo, pues tanto el cuerpo de la válvula como el actuador y el sistema mecánico de interconexión pueden variar de acuerdo al tipo de válvula o actuador.



**RELATIONSHIP OF
MAJOR COMPONENTS**

Figura 216

**Ejemplo de los Componentes principales de una válvula de control.
(En este ejemplo el actuador es de tipo diafragma neumático).**

Detalle de las principales partes de una válvula de control

Cuerpo

El cuerpo de la válvula contiene flujo directo a través de la válvula, presión de proceso y componentes internos de posición. Tienen conexiones terminales de diversos tipos para instalar la válvula en la tubería.

Existen, de acuerdo a su aplicación, cuerpos de válvulas de 3 vías, cuerpos inclinados y cuerpos en ángulo.

Un cuerpo convencional es de 2 vías, y un cuerpo de 3 vías se utiliza para unir dos flujos en uno, o para separar un flujo en dos.

Los cuerpos en ángulo se utilizan cuando se desea una acción de auto-limpieza o cuando calza mejor en un diseño de conductos.

Los cuerpos inclinados se utilizan para mayor capacidad para una caída de presión dada.

Bonnet

El Bonnet es apernado o atornillado al cuerpo de la válvula. Su trabajo es contener la presión, localizar y guiar el vástago de la válvula y proporcionar un lugar para el empaque y el sello.

Los Bonnets también proporcionan un lugar para montar el actuador. Los bonnets también aseguran las jaulas a presión en su lugar.

Existen Bonnets de extensión que se utilizan para proteger los empaques de la válvula de temperaturas muy altas o muy bajas, aumentando la distancia entre la válvula y el fluido del proceso.

Empaque

El empaque se utiliza para mantener un sellado entre el vástago de la válvula y el alma del empaque. Se pueden utilizar diversos tipos de empaques y configuraciones de empaques.

Internos de la Válvula

Los internos consisten en las partes internas reemplazables, que se utilizan para controlar el flujo a través de la válvula de control. Los internos incluyen: obturador, vástago, asiento y en válvulas guiadas por jaula, la misma jaula. Las condiciones del proceso determinarán qué interno es mejor para cierta aplicación.

Entrada Superior

La mayoría de las válvulas de bola y globo poseen entrada superior, lo que permite la mantención y el reemplazo de todas las partes internas de la válvula a través de la abertura del bonnet, con la válvula permaneciendo en el conducto.

Actuador

Es un dispositivo que proporciona fuerza y movimiento al miembro de cierre de la válvula.

Es el equipamiento que permite generar el movimiento del vástago de la válvula, para llevar el obturador a una posición específica, de acuerdo a la señal que entrega el elemento controlador del lazo de control del proceso.

Los actuadores para válvulas de control más característicos son, de acuerdo a su principio de funcionamiento: Los de resorte y diafragma neumático, Pistón neumático, Motor eléctrico y Electro-hidráulico.

La mayoría de los diseños de actuadores está disponible para ser usado tanto como para cuerpos de válvulas con *ejes deslizantes como para ejes rotatorios*.

El más básico es el actuador manual, el cual se utiliza sólo en condiciones de operación manual o para realizar mantenciones, su fin no es para utilizarlo en control regulatorio.

Válvulas de control

Generalidades

El objetivo fundamental de esta Unidad consiste en conocer, diferenciar e Identificar las válvulas de control según *el cuerpo de la válvula*, en sus tres tipos más representativos: de globo, de bola y mariposa.

Para tal efecto, se presenta una descripción de cada tipo de válvulas y su principio de funcionamiento, para luego detallar las variantes que se pueden presentar para cada uno de estos tipos.

Tal como se aclaró en la Unidad 1, el presente Manual tiene como objetivo el presentar las características típicas y representativas de las válvulas de control, sin adentrarse en las variantes particulares que cada fabricante agrega a sus modelos.

En general, las válvulas se pueden clasificar en 2 tipos, según el *movimiento de su obturador*: en válvulas de movimiento deslizante (o lineal) y válvulas de movimiento rotatorio (o giratorio).

La selección de qué tipo de válvula es la más apropiada, dependerá de una serie de factores y variables, por lo cual existirán válvulas que pueden ser usadas o son más recomendadas para ciertas aplicaciones, pero que en otras condiciones de operación son un fracaso.

A continuación, se presenta un detalle de los tres tipos de válvulas más comunes: de globo, de bola y de mariposa.

Válvulas globo

Descripción general

Se denominan válvulas globo debido a la forma globular de la cavidad a través de la cual pasa el flujo. Estas válvulas resistentes usan un obturador para cerrar el flujo en el asiento de la válvula y controlarlo a través de los pasos del cuerpo.

Todas las válvulas de globo incluyen un número común de componentes; entre los cuales destacan cuerpos de válvula, bonnets, empaques y piezas internas.

El obturador se adhiere al vástago de la válvula el cual sale a través del bonnet. El bonnet retiene la presión en el cuerpo de la válvula y contiene el empaque que previene la filtración del fluido del proceso en el vástago de la válvula. Debido a que el obturador se posiciona por medio del *movimiento lineal* del vástago del obturador de la válvula, estas válvulas también son llamadas *válvulas de vástago deslizante*.

La mayoría de las válvulas globo o de vástago deslizante se dividen en dos categorías generales: las válvulas guiadas por jaula y las válvulas de vástago o con refuerzo en el vástago.

Esto se explica porque los internos de la válvula se encuentran expuestos a la fuerza de los fluidos y a la presión de cierre. Por lo tanto, el obturador de la válvula debe ser guiado por algún medio para mantener la estabilidad del obturador.

El estilo de guiar utilizado establece una mayor distinción entre los dos tipos de válvulas de globo; las guiadas por jaula y las guiadas con refuerzo en el vástago.

Valvulas guiadas por jaula

Funciones de la Jaula

La jaula tiene dos funciones principales: primero, proporciona alineamiento y control positivos del obturador; segundo, debido a que el flujo es dirigido mediante aberturas o “ventanas” en la pared de la jaula, la jaula puede modificar o “caracterizar” la forma en que los medios fluyen a través del cuerpo de la jaula. Las diferentes características de flujo se logran mediante la variación de la forma de las ventanas. En muchos diseños, se usa también la jaula para sujetar el anillo asiento en el cuerpo de la válvula.

Guiaje Masivo

La característica de diseño principal de las válvulas guiadas por jaula es el guiaje masivo que proporciona la jaula. En el servicio, las fuerzas dinámicas del flujo en las piezas internas de la válvula pueden producir fuerzas de vibración o flexión que pueden producir inestabilidad del obturador de la válvula y desgaste prematuro. Al guiar el obturador sobre el diámetro interno de la jaula a través de la completa longitud del desplazamiento del obturador, el guiaje de la jaula minimiza los efectos negativos de vibración e inestabilidad. Ninguna otra válvula proporciona un área de guiaje de superficie tan grande como la válvula guiada por jaula.

Intercambiabilidad del Internos

Otra característica importante del diseño es la intercambiabilidad de internos. Debido a que el obturador, la jaula y el asiento (o set de internos) pueden reemplazarse por juegos o sets de internos para diferentes condiciones de servicio, la válvula guiada por jaula es extremadamente versátil.

Entrada Superior

El diseño de “entrada superior” permite el reemplazo de todas las piezas internas a través de la abertura del bonnet con la válvula permaneciendo en la línea.

Interno Desbalanceado

Con el interno desbalanceado, todas las fuerzas asociadas con el flujo del fluido del proceso se aplican directamente a la parte inferior del obturador. Esto produce una presión diferencial entre la parte superior e inferior del obturador. Si la dirección del flujo es tal que el efecto de éste empuja el obturador hacia arriba (flujo ascendente), se

pueden requerir actuadores muy grandes para asentar la válvula en aplicaciones de alta presión. La ventaja primaria de los internos desbalanceados es un asentamiento o cierre muy hermético del obturador.

Interno Balanceado

El interno balanceado usa un acceso a través del eje vertical del obturador de la válvula para permitir que los medios del proceso ingresen a la cavidad sobre el obturador. Esto equilibra las fuerzas aplicadas por el fluido de proceso sobre y bajo el obturador y produce una reducción de la fuerza del actuador requerida para mover la válvula.

Aplicaciones Comunes

Debido a su resistencia, excelente control modulante e internos fácilmente intercambiables, las adaptaciones de las válvulas guiadas por jaulas se encuentran virtualmente en toda la industria. Aunque son adecuadas para una amplia gama de servicios generales con fluidos limpios, se usan también en servicios difíciles que involucran fluidos corrosivos, altas presiones y temperaturas extremas. Las únicas aplicaciones donde no son usadas comúnmente son aquellas que incluyen fluidos de procesos viscosos o erosivos donde no se aplican piezas guiadas estrechamente.

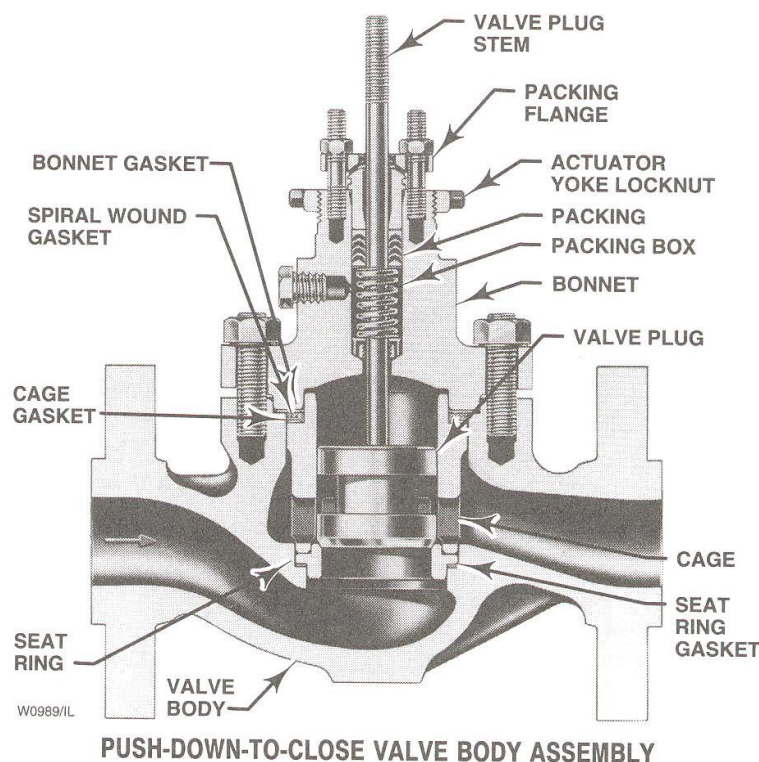


Figura 217

Esquema típico de Fisher: Válvula globo guiada por jaula desbalanceada; ésta tiene la ventaja del asentamiento muy hermético o cierre del obturador.

Limitaciones

La tortuosa trayectoria del flujo que común a todas las válvulas globo produce menos capacidad por tamaño de válvula comparadas con la mayoría de las válvulas de eje giratorio. Las tolerancias estrechas que acompañan al guiaje por jaula pueden excluir su uso con lodos o con fluidos de procesos extremadamente grasos o sucios. Son más costosas que las válvulas giratorias en tamaños sobre las seis pulgadas. Debido a su fabricación resistente, son grandes y pesadas y pueden necesitar de la ayuda de montacargas o grúas para su movilización o instalación. Los diseños desbalanceados pueden necesitar actuadores grandes.

A continuación se presentan esquemas en corte de ambos tipos de cuerpos de válvulas tipo Globo, guiadas por jaula.

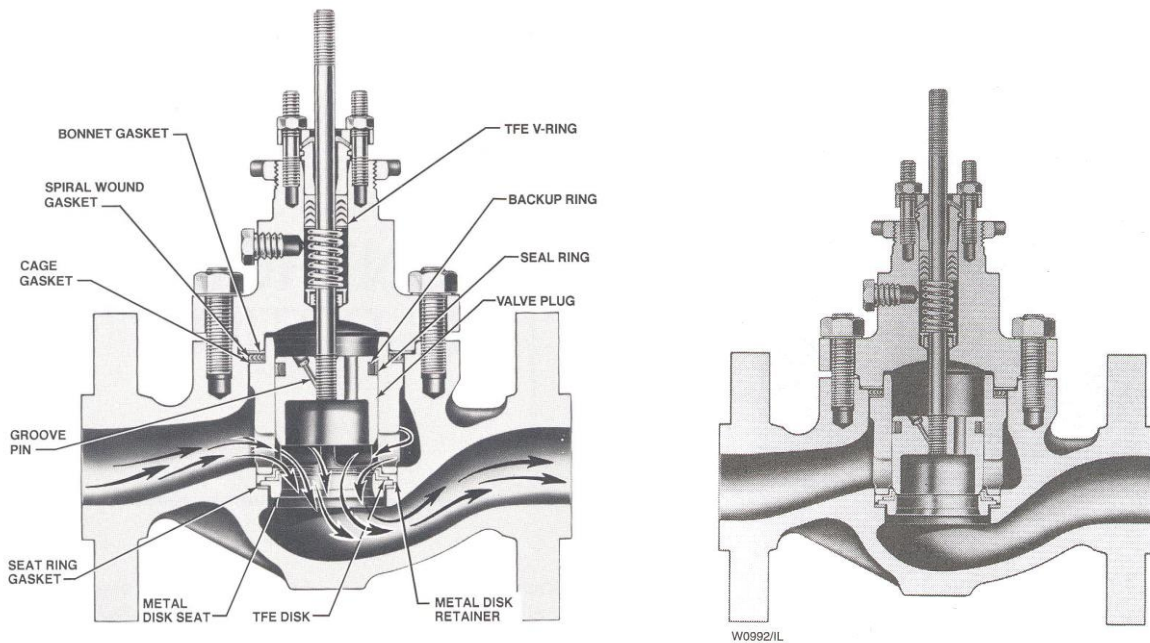


Figura 218

Cuerpo de válvula guiada por jaula balanceada, tipo ET de Fisher; debido a los orificios en el obturador, la presión ascendente se aplica a la parte superior e inferior del obturador, reduciendo la diferencia de presión a lo largo del obturador

Resumen

Características del Diseño	Beneficios para el Usuario
Guiaje masivo del obturador de la válvula	Durabilidad, estabilidad modulante larga duración, mantención mínima.
Interno intercambiable	Versatilidad. Anticavitación, reducción de ruido e interno de capacidad reducida disponibles.
Entrada superior	Fácil mantención con válvula en línea.
Amplia gama de estilos y tamaños	Útil en varias y diferentes aplicaciones.

Tabla 29

Aplicaciones Comunes

Aplicaciones de servicio general con fluidos limpios.

Servicios difíciles en que están envueltos fluidos corrosivos, alta presión, alta temperatura, ruido y cavitación.

Limitaciones

No se usan generalmente con lodos o procesos grasosos o sucios.

Menos capacidad en un tamaño dado comparado con las válvulas de eje giratorio.

Más costosas comparadas con muchos otros tipos de válvulas.

Más grandes y pesadas que la mayoría de las válvulas de eje giratorio.

Diseños desbalanceados que pueden necesitar grandes actuadores.

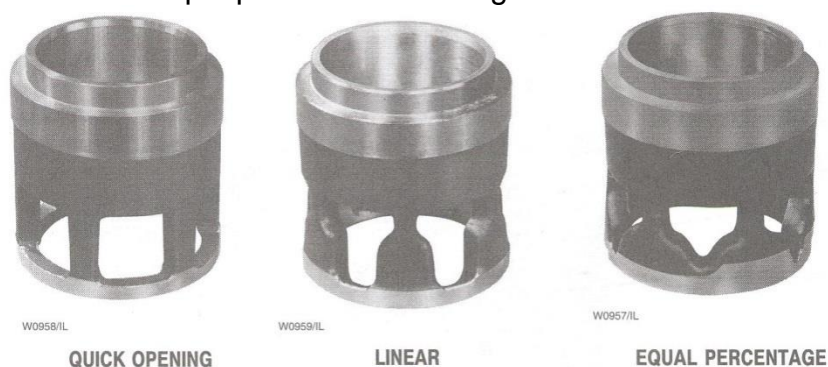


Figura 219

**Tipos característicos de jaulas (Fisher) para cuerpos de válvulas de estilo Globo.
De rápida apertura, lineal de igual porcentaje.**

Válvulas guiadas en el vástago

Guía en el Vástago

Como en el caso de las válvulas guiadas por jaula, las válvulas de vástago o con refuerzo en el vástago, también usan un obturador para controlar el flujo de los fluidos del proceso. En estos diseños, el obturador de la válvula es guiado por bujes alrededor del vástago o refuerzo del vástago.

Paso de Flujo Abierto

Estas válvulas proporcionan un paso de flujo más abierto que las válvulas guiadas por jaula de modo tal que se usan frecuentemente en aplicaciones con lodos o con medios viscosos o pegajosos que podrían tender a atascar una válvula guiada por jaula. Comúnmente también se aplican a servicios corrosivos.

Para su Utilización con Medios Difíciles

Una característica de diseño de la válvula de vástago o con refuerzo en el vástago es que los bujes guía generalmente están fuera de la corriente del flujo. Debido a que las superficies de guiaje están protegidas de los efectos del flujo; estos diseños a menudo se usan en aplicaciones viscosas y erosivas o en servicio con medios grasos que tenderían a aglutinarse e interferir con el guiaje de la jaula.

Entrada Superior

Como en el caso de las válvulas guiadas por jaula, las parte internas y otras se pueden reemplazar o mantener fácilmente mientras la válvula permanece en la línea.

Configuraciones Básicas

Las válvulas de vástago y pasador se encuentran en un número de aplicaciones. Se pueden establecer las siguientes distinciones básicas:

Primero, para las aplicaciones de servicio general fáciles que requieren válvulas más pequeñas, las construcciones económicas de este diseño pueden proporcionar una solución de control costo-efectiva.

Segundo, para los servicios químicos cuando se deben usar aleaciones exóticas, este tipo de válvula se puede fabricar de barras obteniendo ahorros considerables sobre un cuerpo de válvulas forjado o fundido.

Tercero, se han desarrollado adaptaciones de los diseños para trabajos pesados.

Servicios que implican fluidos de procesos de lodos y viscosos.

Servicios corrosivos encontrados en aplicaciones químicas y otras industrias.

Finalmente, se dispone de construcciones especiales para controlar los servicios difíciles con presiones que llegan de hasta 50.000 psi.

Aplicaciones Típicas

Las válvulas económicas se encuentran en una variedad de servicios que implican generalmente fluidos limpios (aire o agua) a temperaturas y presiones moderadas. Todas las otras configuraciones se aplican en servicios más difíciles que implican fluidos de procesos erosivos, corrosivos, arenosos o viscosos. Por ejemplo, los diseños estándares para trabajos pesados se usan comúnmente con lodos en una amplia gama de condiciones de presión y temperatura. Los diseños de barras y de servicios químicos se utilizan comúnmente en producción química y de especialidad

química. Los diseños de alta presión se usan en servicios tales como producción de petróleo y gas, fabricación de plásticos y aplicaciones menores.

Limitaciones

Al compararlas con las válvulas guiadas por jaula, las válvulas de vástago y con refuerzo en el vástago poseen menos opciones de internos disponibles para aplicaciones especiales tales como servicios que implican ruido o cavitación. En algunos diseños desbalanceados, la presión de proceso se aplica completamente a la parte inferior del obturador, así la tendencia de flujo sirve para abrir la válvula. Por lo tanto, las aplicaciones de alta presión pueden requerir una fuerza considerable del actuador para asentar el obturador de la válvula. Las válvulas económicas no proporcionan una gran superficie de guiaje, de este modo la inestabilidad del obturador puede limitar la capacidad de manipulación de presión. Así como las válvulas guiadas por jaula, son grandes, pesadas y costosas si las comparamos con muchas válvulas rotatorias. En un tamaño de válvula dado, poseen menos capacidad que las válvulas de eje giratorio.

A continuación se presentan esquemas típicos de válvulas guiadas con refuerzo en el vástago.

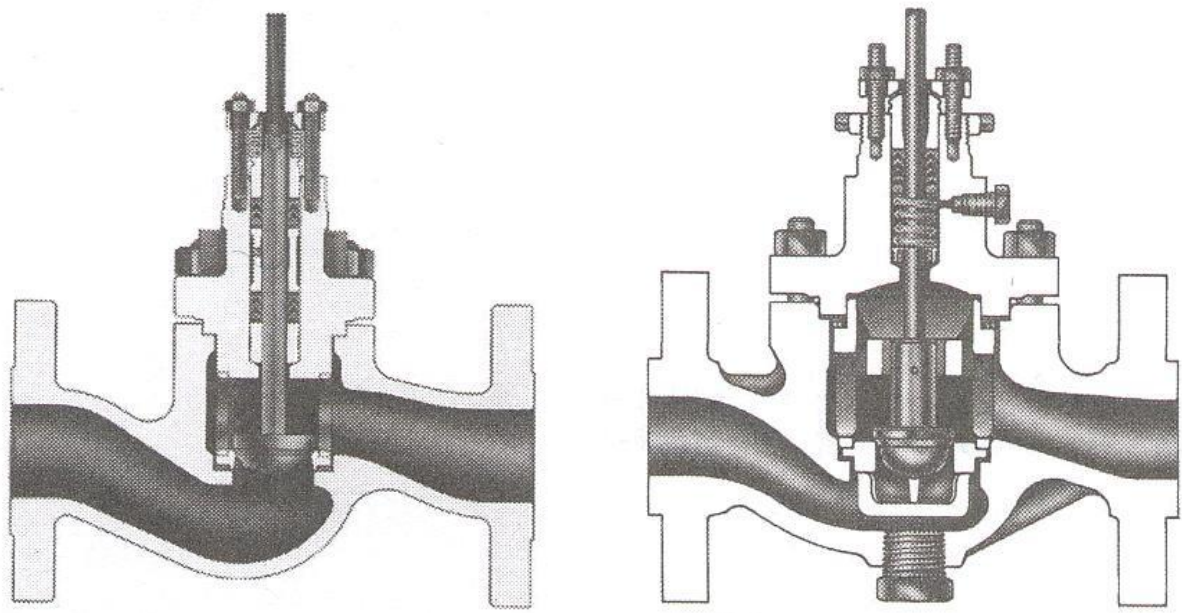


Figura 220

Cuerpos de Válvulas de Globo (Fisher), orificio simple, las más populares y simples

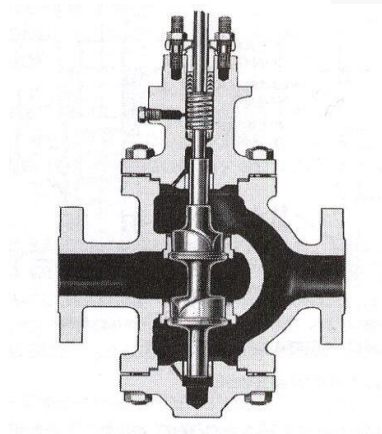
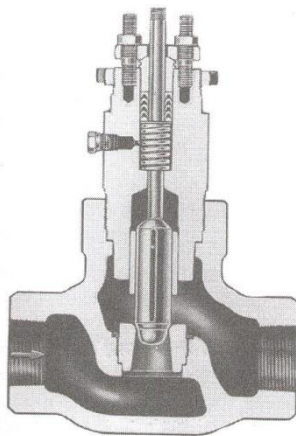


Figura 221

Cuerpo de Válvula de Globo (Fisher), con refuerzo en el vástago, orificio simple, para alta presión.

Cuerpo de Válvula de Globo (Fisher), con refuerzo en el vástago, de doble orificio, acción reversa.

Resumen

<i>Características de Diseño</i>	<i>Beneficios para el Usuario</i>
Paso de flujo abierto	Adecuadas para medios viscosos, pegajosos y arenosos; y lodos.
Buje guía protegido del flujo	Adecuado para muchas aplicaciones erosivas.
Se puede fabricar de barras	Enfoque económico para construcciones especiales; para aplicaciones tales como productos químicos.
Entrada superior	Fácil mantención con válvula en línea.

Tabla 30

Aplicaciones Típicas

Excelentes para medios que sean pegajosos, densos, sucios, corrosivos o erosivos. Válvulas económicas usadas comúnmente en servicios generales con presiones y temperaturas moderadas.

Construcciones estándares disponibles para usarse con pastas acuosas.

Construcciones estándares y especiales disponibles para aplicaciones químicas.

Construcciones disponibles para usarse en aplicaciones de temperatura muy altas y/o altas presiones que incluyen producción de petróleo y gas, fabricaciones menores y de plástico.

Limitaciones

Susceptibles a la inestabilidad del obturador y a la capacidad reducida de control de presión en válvulas económicas.

Menor capacidad en un tamaño dado comparadas con las válvulas de eje giratorio.

Opciones limitadas de internos para aplicaciones especiales comparadas con las válvulas guiadas por jaula.

Diseños desbalanceados pueden requerir actuadores grandes para asentar el obturador de la válvula.

Más costosas comparadas con muchos otros tipos de válvula.

Más grandes y pesadas que la mayoría de las válvulas con ejes giratorios.

Válvulas de bola

Las válvulas de bola usan una esfera completa o una parte de un componente de la misma forma para controlar el flujo a través de un paso del cuerpo. Las tres categorías más comunes son: las de bola de paso reducido, de bola con ranura en v y de obturador giratorio.

Válvulas de bola de paso reducido

Bola de Venturi

Las válvulas de bola de paso reducido controlan el flujo con una bola completa giratoria. El diámetro interior de la bola se reduce del tamaño de la línea de modo que la válvula puede comenzar a controlar el flujo al momento de moverse lejos de la posición completamente abierta; lo cual es comprobado por la definición de una válvula de control entregada anteriormente. Debido a esta característica, esta válvula también son conocidas con válvulas de “bola de Venturi” para distinguirlas de los diseños de válvulas que no son de control de paso completo.

Pérdida Mínima de Presión

Una característica principal de diseño es que existe una obstrucción mínima al orificio o diámetro interior de la bola. Como resultado, estas válvulas comúnmente se usan en aplicaciones de alta capacidad, de presión mayor cuando se desea una pérdida mínima de presión en la válvula.

Modulando a Alta Presión

Son fabricadas resistentemente debido a que se someten a presiones y flujos considerables. Las conexiones de los ejes, sellos y actuadores son todas sobredimensionadas para satisfacer los requerimientos de servicio de modulación a alta presión.

Aplicaciones Típicas

Debido a que estas válvulas combinan el cierre hermético y la pérdida mínima de presión con la habilidad para responder a las desviaciones del sistema, se usan comúnmente las válvulas de bola de paso reducido para regular la presión y flujo en las líneas de transmisión de gas, servicio de distribución del mismo y tuberías de líquidos.

Limitaciones

Al compararlas con otros tipos de válvulas, vemos que las válvulas de bola de paso reducido tienden a ser caras y a poseer capacidades limitadas de temperaturas. Generalmente se aplican en servicios con temperaturas bajo los 300 grados Fahrenheit.

La siguiente figura muestra la válvula de Bola completa giratoria, en corte:

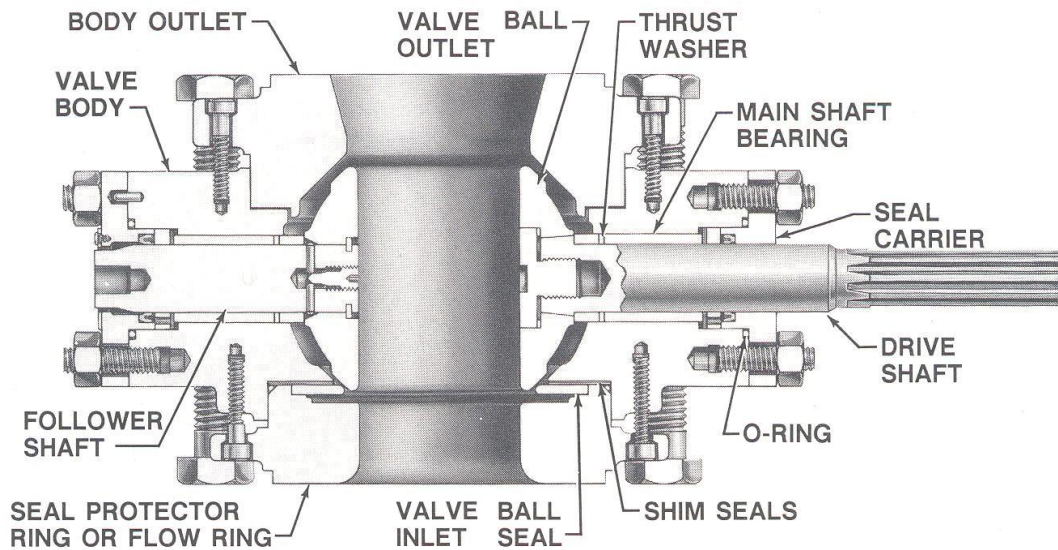


Figura 222

Válvula de bola completa giratoria, para alta presión, Tipo V250 de Fisher. Este modelo es conveniente para caídas de presión de hasta 2220 psi.

Resumen

Características de Diseño	Beneficios para el Usuario
Obstrucción mínima para reducir el flujo cuando están totalmente abiertas	Alta capacidad, pérdida mínima de presión en la válvula. Paso fácil de sólidos y partículas en la corriente del flujo.
Cierre hermético	Control confiable de los procesos críticos.
Construcción extremadamente Resistente	Se pueden usar para regular a alta presión.

Tabla 31

Aplicaciones Típicas

Transmisión y distribución de gas.

Otras aplicaciones que requieren de alta capacidad a altas presiones, con mínima caída de presión.

Limitaciones

Limitada en términos de capacidad de manipuleo de temperatura.
Costosa cuando se compara con otras válvulas de eje rotatorio.
Alta recuperación, posibilidad de cavitación.

Se deben sacar de la línea para ejecutar mantención.

Válvulas con obturador giratorio excéntrico

Segmento Esférico

Las válvulas con obturador giratorio excéntrico usan un segmento parcial de bola como componente controlador. Cuando la válvula está cerrada, el segmento se asienta contra un anillo de asiento, es un elemento “flotante” que se auto-centra sin el uso de lánas.

Paso Excéntrico

Este diseño básico se diferencia de las válvulas de bola con paso reducido y de las de bola con ranura V en que el segmento de la bola u obturador funciona en una trayectoria excéntrica de modo que no están en contacto con sus superficies sellantes (anillo asiento) durante la modulación. Este diseño ayuda a prevenir el desgaste del asiento y precisa de un menor torque de operación.

Cierre Confiable

Las superficies de asentamiento metal – metal proporcionan un cierre confiable en aplicaciones erosivas, de alta temperatura y alta presión. El método de asentamiento proporciona un efecto de “auto-lapping” de modo tal que la hermeticidad tiende a mejorar con el tiempo.

Paso Aerodinámico del Flujo

El paso de flujo está diseñado de modo tal que los efectos dañinos del flujo de alta velocidad y el choque de los medios arenosos sean dirigidos lejos del cuerpo y hacia las piezas endurecidas y fácilmente reemplazables. Cuando se fabrican con materiales internos duros tales como estelita (stellite) o carburo tungsteno, este tipo de válvula es muy adecuado para condiciones de servicio extremadamente erosivas.

Aplicaciones Típicas

Esta válvula se usa comúnmente en procesos mineros, de producción minera, de refinería y otros extremadamente erosivos donde la vida prolongada del interno de la válvula es difícil de mantener. Debido a su éxito en estos servicios difíciles, las válvulas de obturador excéntrico han aumentado notoriamente su utilización en aplicaciones no erosivas donde son requisitos la economía y la extensa vida del interno (comparadas con las válvulas globo).

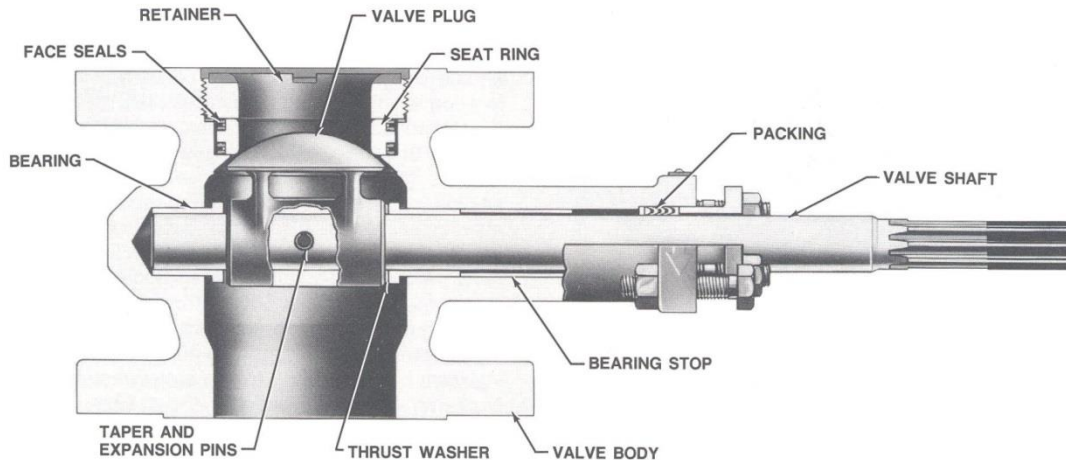


Figura 223

La válvula de obturador excéntrico rotatorio Tipo V 500 de Fisher, está especialmente diseñada para severas aplicaciones rotatorias. Sus características: obturador estrecho con asiento estilo válvula globo y excelente resistencia al uso abrasivo y erosión inducida por flashing.

Limitaciones

La capacidad de manejo de caídas de presión disminuye rápidamente con el aumento de tamaño. Generalmente, están disponibles en una gama limitada de tamaños, comúnmente hasta ocho pulgadas. Debido a que son válvulas de alta recuperación, existe la posibilidad de cavitación bajo algunas condiciones de servicio.

En la Figura 223, se presenta un esquema de la válvula de bola con obturador excéntrico rotatorio, en corte.

Resumen

<i>Característica de Diseño</i>	<i>Beneficios para el Usuario</i>
Cuerpo e interno diseñados para resistir los efectos de la erosión.	Vida duradera en aplicaciones extremadamente erosivas.
El movimiento excéntrico remueve el obturador del asiento durante la modulación.	Desgaste reducido del asiento, menor torque de operación requerido.
Asientos autocentrantes.	Cierre confiable, mantenimiento reducido.
Recto a través del paso del flujo.	Alta capacidad. Compatible con fluidos erosivos.

Tabla 32

Aplicaciones Típicas

Servicios moderados extremadamente erosivos donde se encuentren medios arenosos y pastas acuosas.

Uso frecuente en aplicaciones de minería y minerales. Adecuada para su utilización con pastas acuosas de piedra caliza y manipulación de licor no aclarado.

Usada frecuentemente en aplicaciones de plantas de poder, para servicios con flashing y en aplicaciones erosivas tales como: servicio scrubber.

Servicios generales que requieren cierre confiable y vida prolongada del interno.

Limitaciones

Capacidad de caída de presión limitada en tamaños mayores comparada con otros tipos de válvulas.

Disponible en un rango limitado de tamaños.

Alta recuperación, posibilidad de cavitación.

Se debe remover de la línea para la mantención.

Válvulas de mariposa

Las válvulas de mariposa están disponibles en dos tipos básicos: válvulas de mariposa para trabajos pesados y válvulas de mariposa de alta performance (alto desempeño).

Válvulas de mariposa para trabajos pesados

Miembro de Cierre de Disco Giratorio

Este tipo de válvulas usa un disco giratorio para controlar el flujo a través de la línea. Los discos generalmente son operables a través de 90 grados de rotación, de este modo estas válvulas también son denominadas válvulas de “cuarto de giro”.

Diseños Estándares

Las válvulas estándares de mariposa se pueden denominar como válvulas de “giro completo” debido a que no hay sellos en las superficies de asentamiento. La falta de sellos produce sólo un cierre moderadamente hermético.

Válvulas Revestidas

Algunas variaciones de las válvulas mariposa utilizan revestimientos blandos de elastómeros y/o discos revestidos. Estas se denominan válvulas “revestidas” y se pueden usar con el fin de proporcionar tanto cierre hermético como resistencia a algunos fluidos del proceso corrosivo.

Alta Capacidad

Debido a que el disco de la válvula impone una obstrucción relativamente pequeña a la trayectoria del flujo, estas válvulas proporcionan una capacidad muy alta al compararlas con diversos tipos de válvulas.

Diseño Económico

El pequeño número de piezas y el diseño recto proporcionan la mayor capacidad por dólar de inversión al compararlas con otros tipos de válvulas. Esta ventaja de costo aumenta dramáticamente en los tamaños de más de doce pulgadas.

Aplicaciones Típicas

Las válvulas mariposa estándares se usan en una variedad de servicios cuando el punto a considerar es la economía y el cierre hermético no es un requerimiento. Se pueden usar con una variedad de líquidos y gases incluyendo aquellos que son arenosos (erosivos), pegajosos o tienden a producir acumulación de partículas sólidas en las piezas internas de la válvula. Se pueden usar los productos revestidos en servicios que requieran del cierre hermético o de resistencia a la corrosión.

Limitaciones

Debido a que la gran superficie del disco actúa como una palanca al aplicar las fuerzas dinámicas de los medios de flujo hacia el eje de mando, las válvulas mariposas se consideran generalmente limitadas en la capacidad de manipulación de presión al compararlas con diversos tipos de válvulas. Ya que son válvulas de alta recuperación, existe una gran probabilidad de cavitación bajo ciertas condiciones de servicio. Los diseños estándares son limitados en sus capacidades de cierre. Las válvulas revestidas se consideran generalmente limitadas para servicios con fluidos limpios de proceso y necesitan de un torque de operación mayor para el asentamiento y desasentamiento del disco.

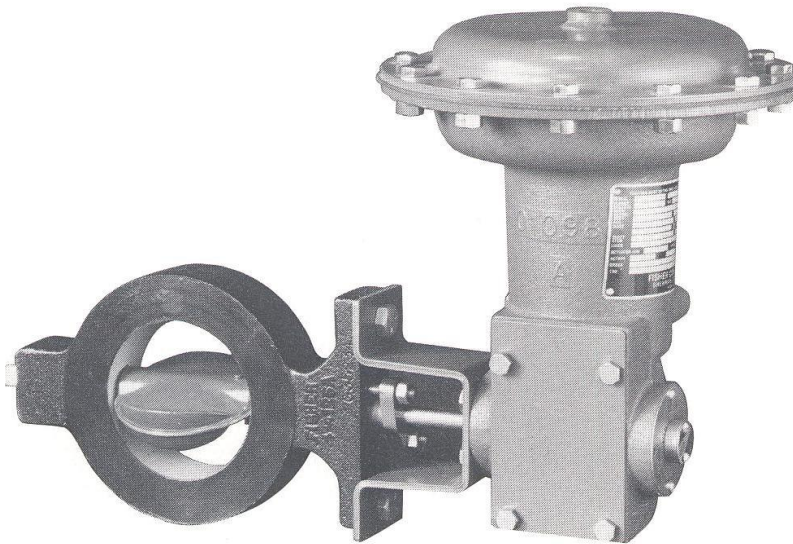


Figura 224

Típica Válvula mariposa, de Fisher. Proporciona una solución económica para aplicaciones con velocidades de flujo altas. La filtración es mayor que en otros tipos de válvulas, pues no emplean sellos.

Resumen

<i>Características de Diseño</i>	<i>Beneficios para el Usuario</i>
Recto a través del paso flujo.	Capacidad muy alta. Fácil paso de sólidos, medios viscosos.
Diseños simples, pocas piezas.	El menor costo por capacidad dada de todos los tipos de válvulas.
Disponibles con revestimientos, discos revestidos.	Enfoque económico para cierre hermético y protección contra la corrosión.

Tabla 33

Se deben remover de la línea para la mantención.

Válvulas estándares: habilidad de cierre limitada.

Válvulas revestidas: Requerimientos incrementados de torque para asentar y desasentar.

5.10 Actuadores

Introducción

En esta Unidad se estudian los actuadores típicos para válvulas de control, por lo cual se pretende dar una visión general de los conocimientos básicos que permitan al operario distinguir y comprender las principales diferencias entre los distintos actuadores para válvulas.

Actuadores para válvulas de control

Existen disponibles en el mercado muchos tipos y variantes de actuadores para válvulas de control; sin embargo, se pueden dividir de acuerdo a su principio de funcionamiento en 4 categorías generales, las cuales permiten distinguir los actuadores con sus rasgos típicos, independientemente del fabricante, y de las características adicionales que éste incluya en cada uno de sus modelos. Estas 4 categorías generales de actuadores son:

Resorte y diafragma neumático.

Pistón neumático.

Motor eléctrico.

Electro-hidráulico.

Debe notarse que también existen los Actuadores Manuales, aunque su uso no es para ejercer control regulatorio.

Cada tipo de actuadores tiene su lado fuerte y sus debilidades y está diseñado para usos óptimos.

La mayoría de los diseños de actuadores está disponible para ser usado tanto como para cuerpos de válvulas con ejes deslizantes como para ejes rotatorios. Ellos diferirán sólo por la unión de transferencia de movimiento, pero las fuentes de poder básicas son idénticas.

La mayoría de los actuadores rotatorios emplean uniones, engranajes, o manivelas para convertir el movimiento lineal directo de un diafragma o pistón en un movimiento de salida rotatorio de 90°, requerido por válvulas rotatorias.

La más importante consideración para actuadores de válvulas de control es el requerimiento para un diseño que limite al mínimo el valor del movimiento perdido en la unión interna y en el acoplamiento de la válvula.

Los actuadores de válvulas de control operados neumáticamente son los más populares y usados; sin embargo, los actuadores eléctricos, hidráulicos, y de pistón, también son usados extensamente.

El actuador de resorte y diafragma neumático es el más comúnmente especificado, debido a su confiabilidad y a su simplicidad de diseño.

Los actuadores de pistón operados neumáticamente, proveen una capacidad integral del posicionador y una salida de alta fuerza en el eje para condiciones de servicio exigentes.

Adaptaciones de ambos tipos de actuadores, resorte - diafragma neumático y pistón neumático, son utilizables para aplicación y directa utilización en válvulas de control de eje rotatorio.

Los actuadores eléctricos y electro-hidráulicos son más complejos y más costosos que los actuadores neumáticos.

Ellos ofrecen ventajas comparativas cuando no hay disponible una fuente de aire, donde las bajas temperaturas ambiente pueden condensar agua dentro de las tuberías de la fuente neumática, o donde se necesitan fuerzas del eje inusualmente grandes.

Actuadores de diafragma

Son muy simples y se encuentran a un bajo costo y una alta confiabilidad.

Son operados neumáticamente, usan una fuente de baja presión desde un controlador, posicionador u otra fuente. Normalmente operan en los rangos de señales estándar de 3 a 15 psi o de 6 a 30 psi.

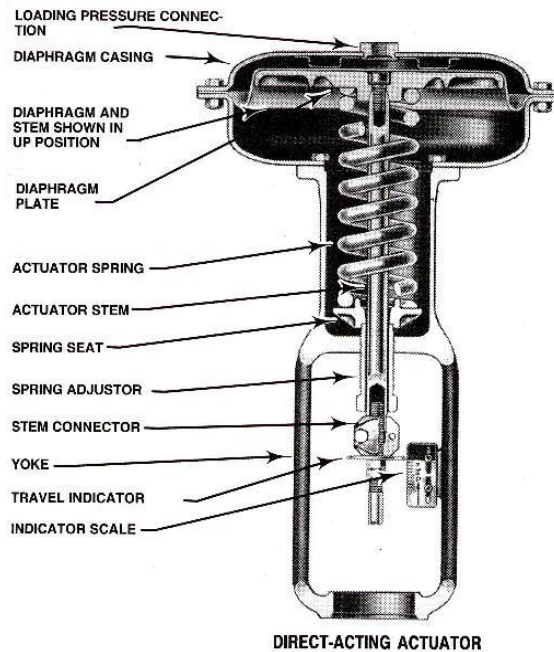


Figura 225

Actuador de resorte y diafragma neumático de acción directa.

Incluyen varios estilos:

Actuación Directa

Incrementan la presión de aire empujando abajo el diafragma y extendiendo el eje del actuador, éste se muestra en la Figura 225.

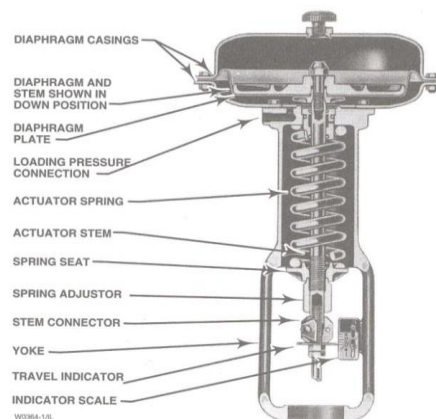


Figura 226

Actuador de resorte y diafragma neumático de acción inversa.

Actuación Reversa

Incrementan la presión de aire empujando hacia arriba el diafragma y retractando el eje del actuador, Figura 226.

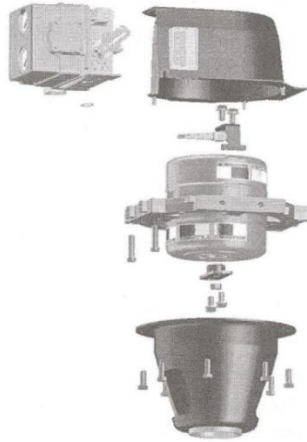


Figura 227

Esquema de un actuador reversible, de acuerdo al montaje, se puede usar para acción de tipo directa o inversa

Reversible

Actuadores que pueden ser ensamblados para ambas direcciones, directa e inversa, Figura 227.

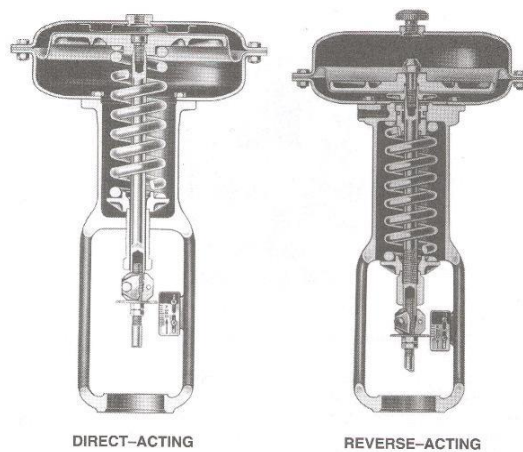


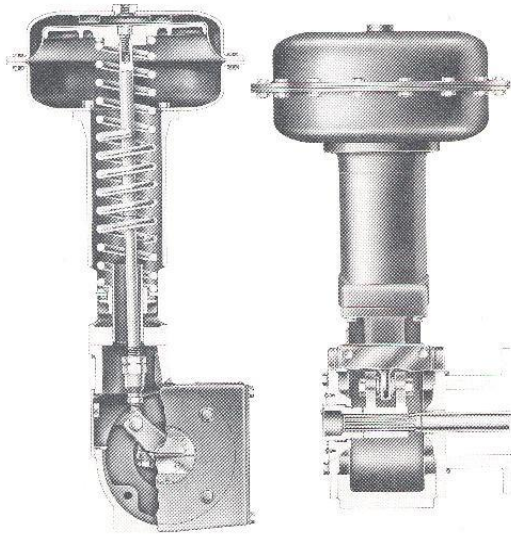
Figura 228

Comparación visual entre actuadores de diafragma de acción directa y de acción inversa.

Acción directa para válvulas rotatorias

Incrementan la presión de aire empujando abajo el diafragma, el cual puede abrir o cerrar la válvula, dependiendo de la orientación de la palanca del actuador sobre el eje de la válvula, Figura 229

La salida neta de empuje es la diferencia entre la fuerza del diafragma y la fuerza opuesta del resorte.



El actuador Tipo 1052 de Fisher es un actuador de resorte y diafragma, diseñado para válvulas rotatorias, posee muchas características que permiten obtener un control más preciso.

Figura 229

Diafragmas moldeados proveen una actuación lineal e incremento de movimientos.

Actuadores de pistón

Los actuadores de pistón son operados neumáticamente usando aire de planta a alta presión, a 150 psi, frecuentemente eliminando la necesidad de una fuente regulada de presión.

Los actuadores de pistón proporcionan un empuje de salida máximo y rápidas velocidades de movimiento.

Los actuadores de pistón tienen doble acción para dar una máxima fuerza en ambas direcciones, o resorte de retorno para proveer operación de falla abierta, o falla cerrada (Figura 230).

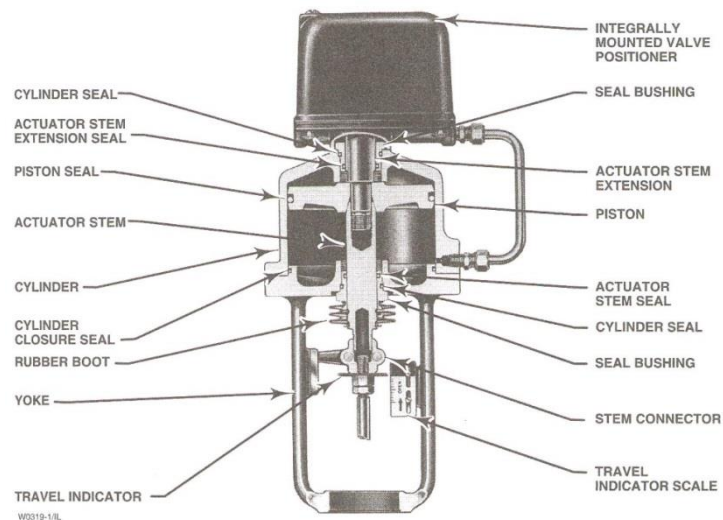


Figura 230

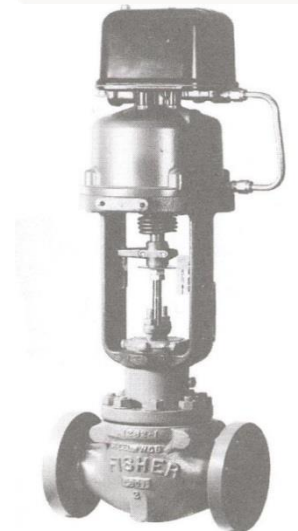


Figura 231

Esquema típico de un actuador tipo pistón de doble acción. Válvula de control con actuador tipo pistón de doble acción.

Varios accesorios pueden ser incorporados para posicionar un pistón de doble acción en el evento de una falla de la fuente de presión. Estos incluyen disparadores neumáticos y sistemas de bloqueo de la válvula.

También disponen de amortiguadores hidráulicos, volantes manuales, y unidades sin uniones, los cuales pueden ser usados para operar válvulas mariposa, persiana y equipamiento industrial similar.

Otras versiones para servicio en válvulas de control con eje rotatorio, incluyen un sello deslizante en la parte más baja del cilindro. Estas permiten al eje del actuador para mover lateralmente como arriba y abajo, sin escape de presión del cilindro. Esta característica permite la directa conexión del eje del actuador a la palanca del actuador montada en el eje de la válvula rotatoria, eliminando de este modo una unión o fuente de pérdida de movimiento (Figura 232).

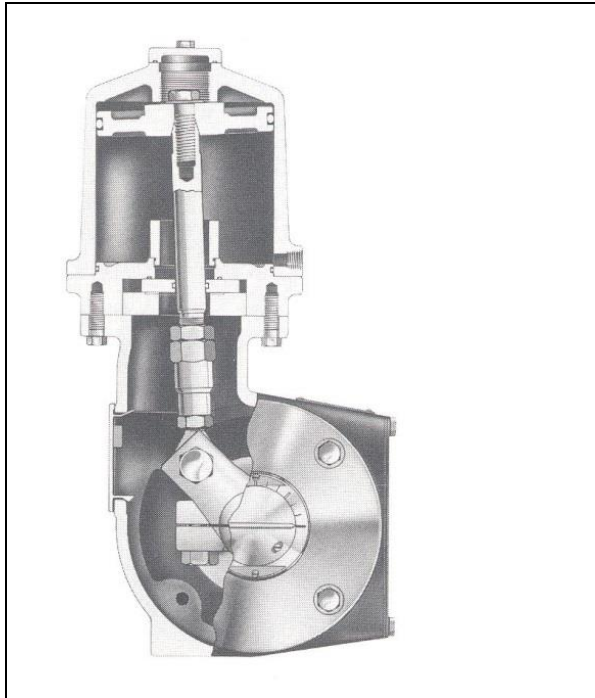


Figura 232

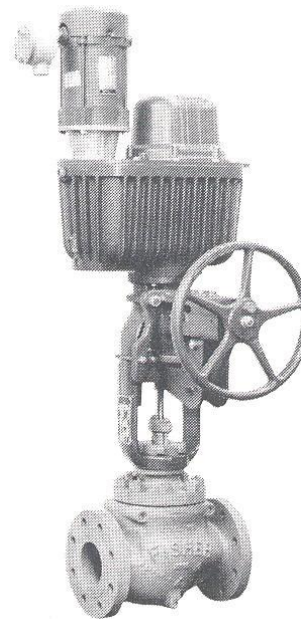


Figura 233

Este es el actuador Tipo 1061 de Válvula de control con actuador Fisher, que es un actuador de pistón electrohidráulico autocontenido Tipo para válvulas rotatorias, entrega las 350, esta unidad contiene bomba mismas ventajas de precisión que el hidráulica y reservorio. Tipo 1052.

Actuadores electrohidráulicos

Los Actuadores Electrohidráulicos requieren solo potencia eléctrica para el motor y una señal eléctrica de entrada desde el controlador (Figura 233).

Son ideales para ubicaciones aisladas donde no hay disponible una fuente de presión neumática, pero donde se necesita un control preciso de la posición del tapón de la válvula de control.

Las unidades son normalmente reversibles haciendo ajustes menores y podrían ser autosuficientes (incluyendo el motor, bomba, y pistón de doble acción operado hidráulicamente), dentro de una cubierta impermeable o a prueba de explosión.

Actuadores eléctricos

Los diseños de actuadores eléctricos tradicionales usan un motor eléctrico y algunas formas de engranajes de reducción para mover la válvula.

A través de esta adaptación, estos mecanismos han sido usados para control continuo con grados variables de éxito. A la fecha, los actuadores eléctricos han sido mucho más costosos que los actuadores neumáticos, para los mismos niveles de actuación.

Esta es un área de rápidos cambios tecnológicos, y los futuros diseños pueden causar un cambio hacia el uso mayor de actuadores eléctricos.

Actuadores manuales

Los actuadores manuales son utilizados donde no se requiere control automático, pero donde aún es necesario un buen control manual y facilidad de operación (figura 234).

Ellos son usados frecuentemente para actuar el lazo de desviación (bypass) alrededor de las válvulas de control, para control manual del proceso durante la mantención o cuando el sistema automático no está funcionando.

Los dispositivos con indicación en cuadrante están disponibles para algunos modelos para permitir recalibrar precisamente el tapón o el disco de la válvula.

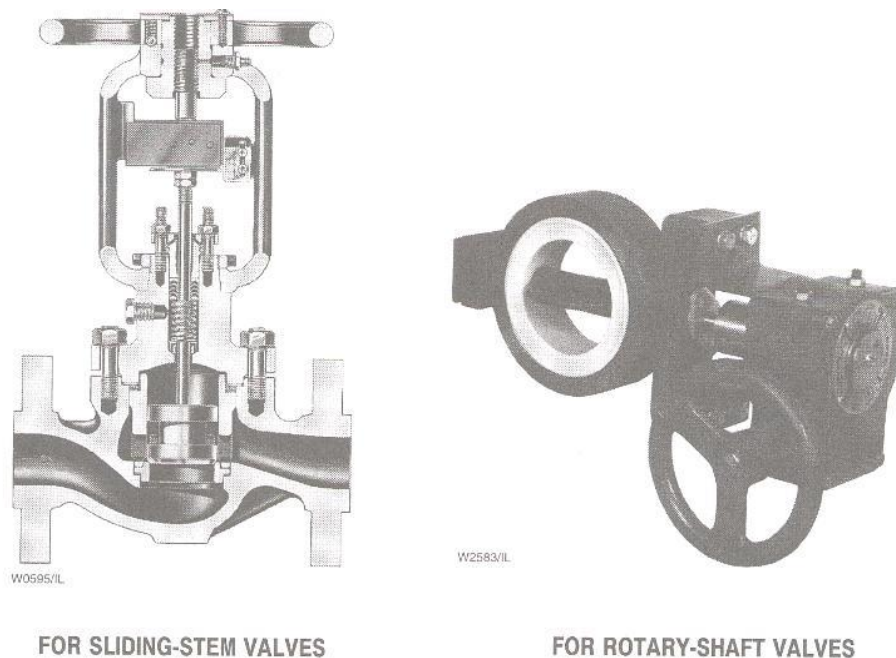


Figura 234

Esquema que muestra actuadores manuales tanto para uso con válvulas de vástago deslizante (tipo lineal), como para válvulas de tipo rotatorio. Están disponibles en varios tamaños, tanto para válvulas de movimiento lineal, como para válvulas rotatorias.

Los actuadores manuales son mucho menos costosos que los actuadores automáticos.

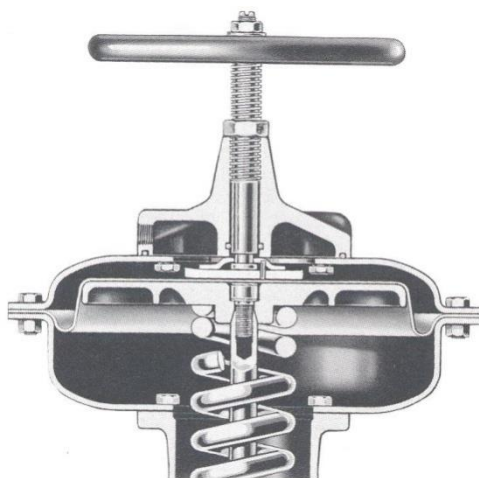


Figura 235

Esquema en corte de un actuador manual.

Conversor corriente a presión (I / P)

Los llamados conversores “I/P” (o transductor Corriente / Presión) tienen el propósito de realizar una conversión de señal o información desde un ambiente a otro; su objetivo consiste en transformar una señal eléctrica en una señal neumática, es decir, de corriente a presión, como se muestra en la Figura 236.

La conversión más común es la que está relacionada con milésimas de amperes (4-20 mA), ya que ella presenta grandes ventajas en comparación con señales de voltajes. Esta señal tendrá como salida del conversor I/P su equivalente en presión (de 3-15 psi generalmente).

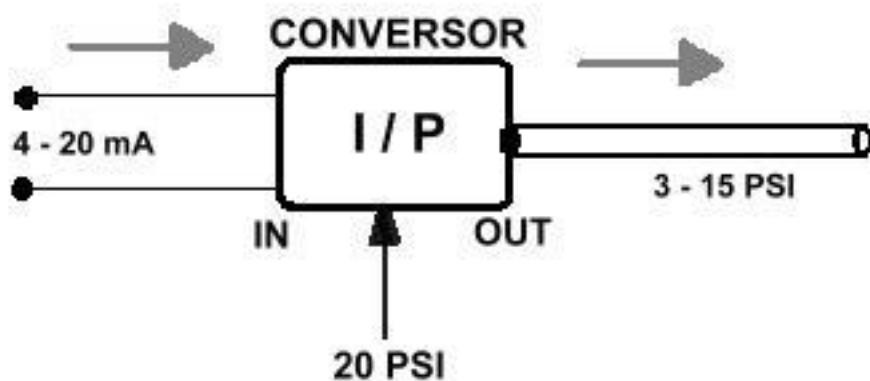


Figura 236

Tal como se muestra en la Figura 235, el conversor necesita para operar de una fuente fija de alimentación de aire de instrumentación (AI), que en este ejemplo es de 20 PSI.



Figura 237

Conversor I/P Tipo 846 montado en un actuador de diafragma Tipo 667 de Fisher.

Los rangos de trabajo de ambas señales (presión y corriente), suelen no estar estandarizados al interior de la industria, por ejemplo, si consideramos el caso de la presión, se verá que se hace necesaria la presencia de acondicionadores o reguladores de presión para normalizar dichos valores, donde los más frecuentes de detectar, son de 3 a 15 [psi] en presión y de 4 a 20 [mA] en corriente. Para ambos casos, los requerimientos energéticos suelen ser de 20 [psi] para cuando es un conversor I/P y de 24 [volt] para alimentar el lazo de corriente de entrada al conversor.

Además, se debe considerar para el caso neumático, que la calidad del aire que estos equipos emplean debe ser controlada en lo referente a impurezas y humedad relativa, ya que de no ser así, el instrumento podría acortar su vida útil o simplemente sufrir constantes daños que mermarán la calidad de la señal entregada; por lo tanto se requiere de una fuente de aire dedicada para instrumentación (AI).

Principio de funcionamiento de un I/P

Un método bastante usado por la empresa “Rosemount”, en lo que se refiere a conversores Corriente a Presión (I/P), se muestra en la figura 295. Este método, está basado en la interrupción de un cierto flujo de aire que circula a través de unas toberas ubicadas una frente a la otra. El sistema funciona de manera tal que al circular una corriente eléctrica por una determinada bobina, se producirá el movimiento de una barra la que interferirá la normal circulación de aire entre las toberas. De esta manera

se logra controlar la cantidad de aire que atraviesa hasta la otra tobera, y por lo mismo se logra controlar la cantidad de aire que sale del conversor.

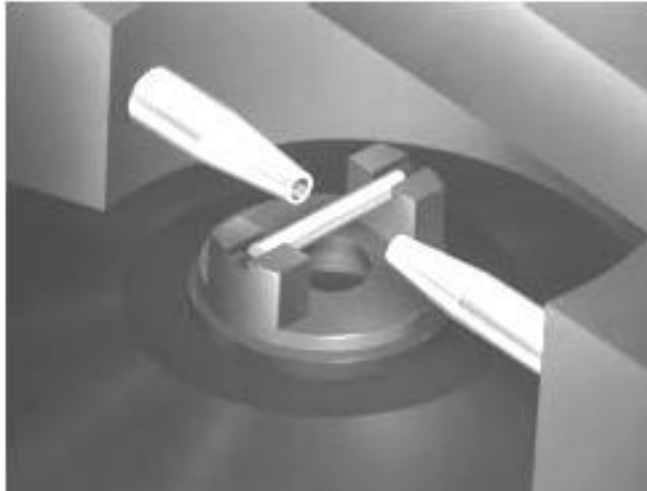


Figura 238

Principio de funcionamiento de conversor I/P Tipo 846 de Fisher Rosemount.

No está de más mencionar que la mayoría de este tipo de instrumentos funciona en base a principios magnéticos.

Reconocimiento de fallas

Por lo general, una de las señales de control más empleadas es la que forman los lazos de corriente, es especial las de 4 a 20 [mA], por las ventajas que ella ofrece. Ello se debe principalmente a que este tipo de señal puede ser transmitida a gran distancia sin que pierda su grado de confiabilidad (o certeza).

¿Por qué el rango de la señal ha de ser de 4 a 20 [mA], y no de 0 a 16 [mA]?

La respuesta es muy sencilla, ello se debe a que al colocar el mínimo valor posible en 4 [mA], se está asegurando que en caso de corte del cable de conducción el sistema será capaz de detectar esto como un error en la transmisión de la señal, ya que para el sistema cualquier señal menor a 4 [mA], indicará un valor no válido, y al romperse el conductor la señal que se enviará será de 0 [mA].

Además se ha de considerar que muchas veces por efectos electromagnéticos, la señal puede sufrir modificaciones en cuanto a su magnitud, por lo que se recomienda que los cables usados para la transmisión de señales de control estén debidamente protegidos (blindados) y así poder despreciar errores por esta causa.

Escalamiento de la señal

Con el fin de aclarar un poco más el funcionamiento de este tipo de instrumentos, a continuación, se muestra la "Escabilidad" que sufre la señal de entrada referenciada con la señal de salida.

Como se muestra en la Figura 239, al momento de usar un conversor Corriente/Presión e ingresarles una determinada entrada analógica de corriente, este instrumento convertirá la señal de entrada en una señal neumática de presión. El valor entregado por el conversor deberá ser único para cada valor de entrada, asegurando de esta manera que a cada valor de la entrada, le corresponde un solo valor en la señal de salida.

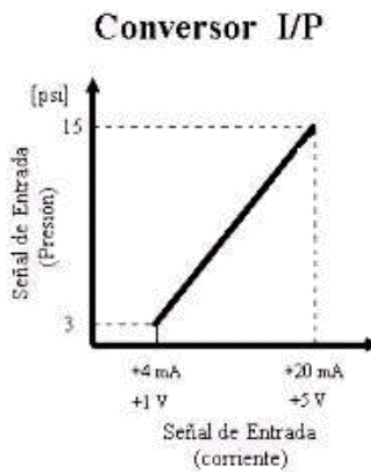


Figura 239

Escalamiento de los conversores I/P.

Adicionalmente, en algunas ocasiones existe la posibilidad de poder convertir la señal de salida (o entrada) en otro tipo de variable (como por ejemplo voltaje en vez de corriente), como se muestra en la Figura 239, donde se puede apreciar que a la señal de entrada (o salida) se le pueden asociar distintos tipos de salida, con diferentes magnitudes y escalas. En el caso que se requiera transformar una señal de corriente en voltaje (o viceversa), tan solo se requerirá de una resistencia de 250Ω , y la simple aplicación de la Ley de Ohm.

Transmisores de posición

Los transmisores de movimiento están disponibles para el uso con válvulas de control neumáticamente accionadas. Ellos se usan en conjunto con instrumentos de indicación o registro, para la indicación remota de posición del vástago de la válvula. Una salida de presión neumática es transmitida, la cual es directamente proporcional a la posición del vástago de la válvula.

Válvula solenoide múltiple

Una válvula solenoide múltiple puede ser usada en un actuador de pistón de doble acción para permitir la operación hidráulica del actuador. El montaje múltiple en la parte superior del cilindro del actuador y, mediante una señal de corriente eléctrica para encender o apagar (on-off), conecta la salida de una fuente hidráulica para poder subir o bajar el actuador de pistón. El control preciso de la posición del tapón de la válvula puede obtenerse con una unidad tal como la mostrada anteriormente

Regulador de la fuente de presión

Los reguladores de presión de la fuente son usados para reducir la fuente de aire de la planta a valores menores que puedan ser usados en posicionadores otros equipos de control. Comúnmente esta reducción de presión de la fuente de aire es de 20 y 35 psi. El regulador puede ser montado con nipples o atornillado al actuador.

En la Figura 240 se muestra un ejemplo de este tipo de regulador; y en la Figura 241 se muestra una aplicación del regulador y un conversor i/p montados en una válvula de control.



Figura 240

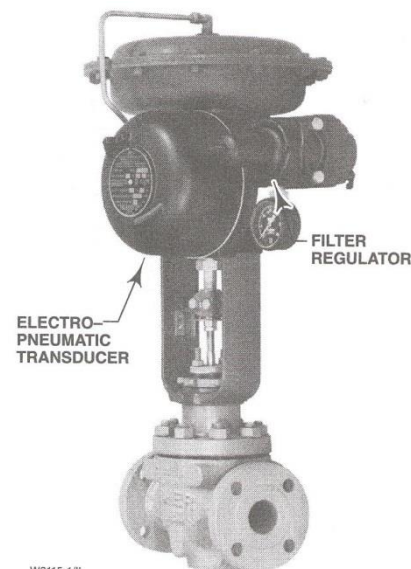


Figura 241

Filtro regulador de presión Tipo 67AFR, de Fisher.

Conversor I/P con regulador de fuente neumática para válvula operada por actuador tipo diafragma.

Sistemas de bloqueo neumático (lockedup)

Los sistemas de bloqueo neumático son usados con válvulas de control para bloquear la presión cargada en el actuador en el caso de que falle la fuente de presión. La operación normal se restablece automáticamente cuando la fuente de presión es

restituida. También hay disponibles sistemas funcionalmente similares para válvulas de control con actuador de diafragma neumático.

Sistema de seguridad contra fallas para actuadores de pistón

En estos sistemas de seguridad (fail – safe), el actuador de pistón es movido a la parte superior o a la parte inferior del cilindro cuando la presión de la fuente cae por debajo de un valor predeterminado. El tanque de volumen, que está cargado con una fuente de presión, provee la presión de carga para el actuador cuando falla la fuente de presión, moviendo el pistón a la posición esperada.

Cuando la fuente de presión se restablece a un valor normal, se restituye la operación automática y el volumen del tanque comienza a recargarse.

Límites de carrera

Los límites de carrera son usados para operar señales luminosas, pequeñas válvulas solenoides, relés eléctricos, o alarmas. El tipo operado por leva, está disponible con dos o hasta seis interruptores individuales operados por el movimiento del vástago de la válvula. Los interruptores son montados al lado del actuador. Cada interruptor es ajustable individualmente y puede ser alimentado tanto con corriente continua o con corriente alterna. Otros tipos de interruptores de carrera montados en la válvula están también disponibles para servicios donde las especificaciones eléctricas exceden las capacidades del diseño tipo operado por leva (cam-operated).

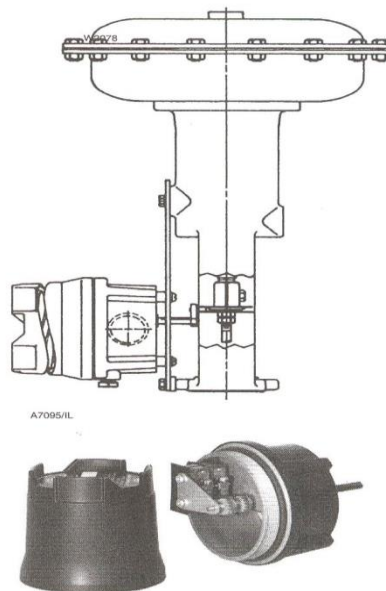


Figura 242

5.11 Instrumentos inteligentes

Principios básicos

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos.

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Las más empleadas en la industria son las primeras, las señales hidráulicas se utilizan ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia y las señales telemétricas se emplean cuando existe una distancia de varios kilómetros entre el transmisor y el receptor.

Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable linealmente de 3-15 psi (libras por pulgada cuadrada) para el campo de medida de 0-100 % de la variable.

Los transmisores electrónicos generan la señal estándar de 4-20 mA, a distancias de 200 m a 1 km, según sea el tipo de instrumento transmisor, ver Figura 243. La señal de 1-5 VDC es útil cuando existen problemas en el suministro electrónico. De todos modos, basta conectar una resistencia de 250 ohm para tener la señal electrónica de 4-20 mA.

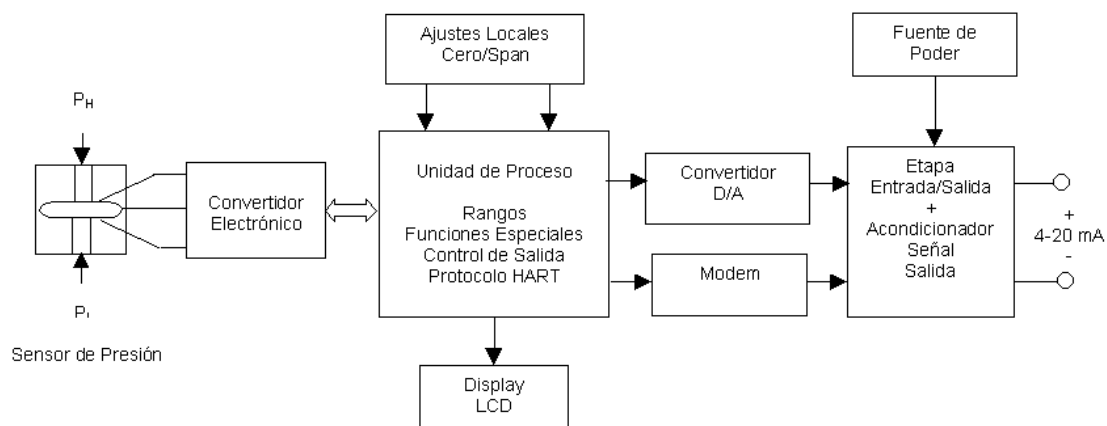


Figura 243

Diagrama Transmisor de Flujo Inteligente.

La señal electrónica de 4 a 20 mA tiene un nivel suficiente y de compromiso entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo. Al ser continua elimina la posibilidad de captar perturbaciones, está libre de corrientes parásitas y emplea sólo dos cables que no precisan blindajes. La alimentación de los transmisores puede realizarse con

una unidad montada en el panel de control y utilizando el mismo par de cables del transmisor.

El cero del instrumento, 4 mA, ofrece las ventajas de poder detectar una falla por corte de un cable (la señal se anula) y permite diferenciar el ruido de la transmisión cuando la variable está en el nivel más bajo.

En 1983 la firma Honeywell presentó en el mercado el primer transmisor digital denominado “inteligente”. Este término indica que el sensor tiene incorporadas funciones adicionales que se añaden a las propias de la medida exclusiva de la variable. Lógicamente dichas funciones son proporcionadas por un microprocesador.

Cabe señalar que la mayor parte de las comunicaciones entre instrumentos de proceso y el sistema de control se basan en señales análogas (neumáticas 3-15 psi y electrónicas 4-20 mA). Sin embargo, los instrumentos digitales capaces de manejar grandes volúmenes de datos y guardarlos en unidades históricas están aumentando día a día sus aplicaciones. Su precisión es unas diez veces mayor que la señal clásica de 4-20 mA. En lugar de enviar cada variable por un par de cables, transmiten en forma secuencial las variables a través de un cable de comunicaciones llamado bus.

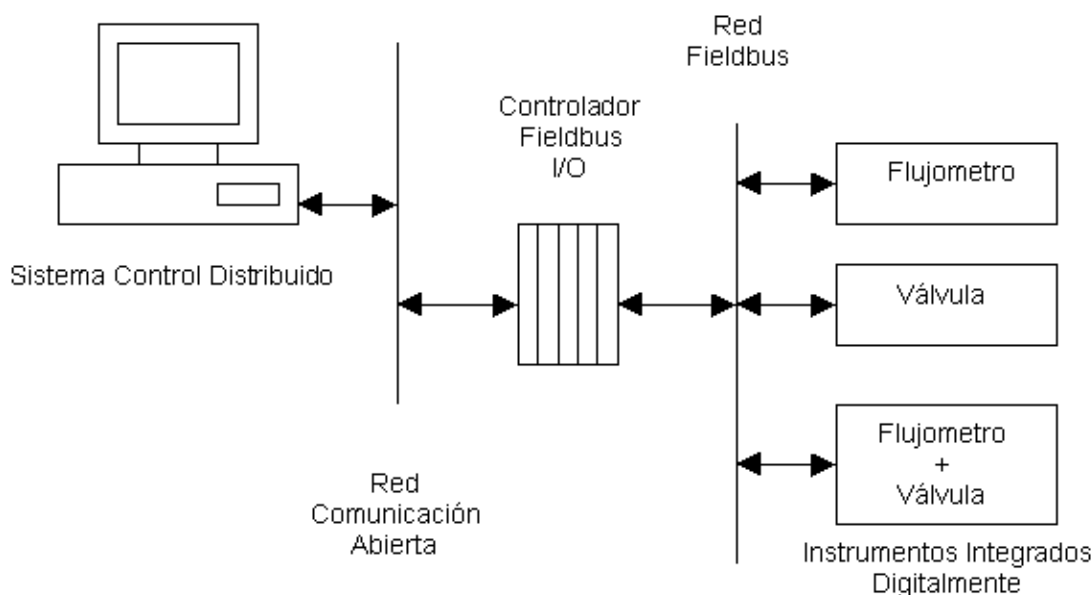


Figura 244

Diagrama Red Fieldbus.

La tecnología “fieldbus”, bus de campo, ver Figura 244, es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad que está camino de sustituir a la clásica señal análoga de 4-20 mA en todos los sistemas de control distribuido (DCS) y controladores lógicos programables (PLC), instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control. La arquitectura fieldbus conecta estos aparatos con computadores que pueden trabajar para muchos niveles en la dirección de la planta. Los protocolos patentados por los fabricantes no permiten al usuario final la intercambiabilidad o inter-operatividad

de sus instrumentos, es decir, no es posible sustituir un instrumento de un fabricante por otro similar de otro fabricante, ni intercambiar instrumentos de funcionalidad equivalente.

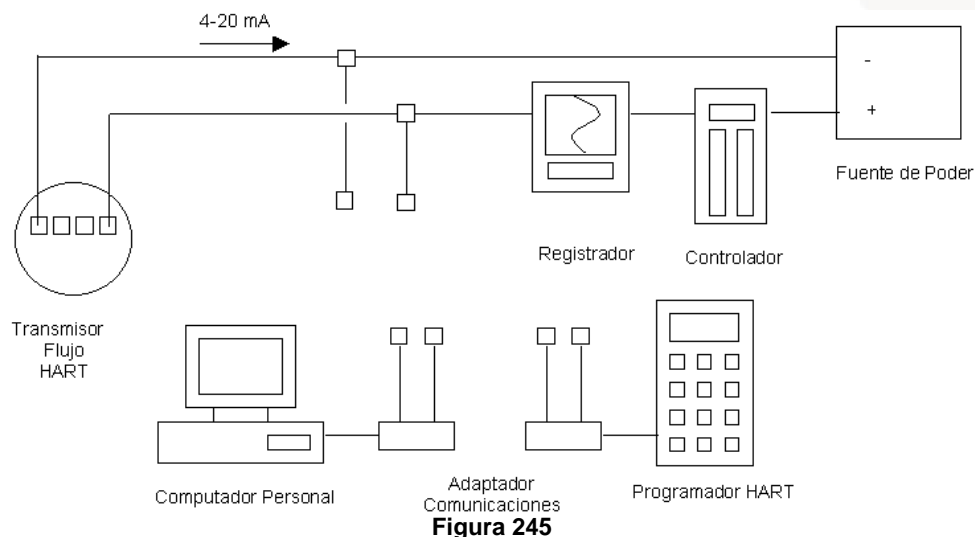


Figura 245

Cableado y Conexión.

Otro importante protocolo de comunicaciones abiertos es el HART (High way-Addressable-Remote-Transducer), desarrollado inicialmente por Rosemount, agrupa la información digital sobre la señal analógica clásica de 4-20 mA., ver figura 245. La señal digital usa dos frecuencias individuales, 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ninguna componente de corriente continua a la señal analógica de 4-20 mA. El protocolo HART permite soportar hasta 256 variables, los transmisores pueden conectarse entre sí a través de un bus y comunicarse con 15 equipos (PLC, DCS).

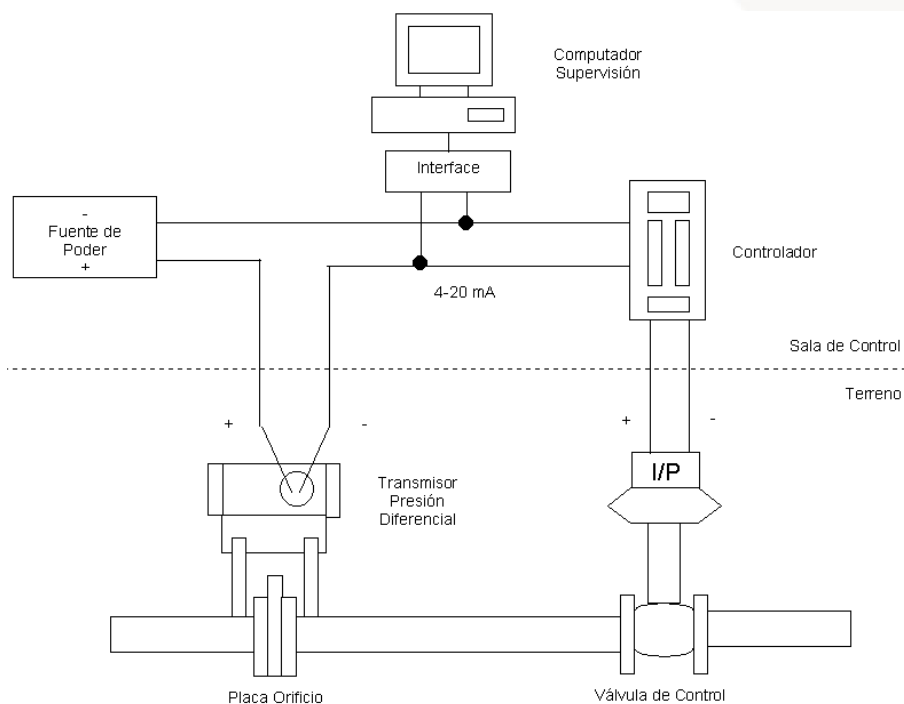


Figura 246

Diagrama Lazo de Control de Flujo.

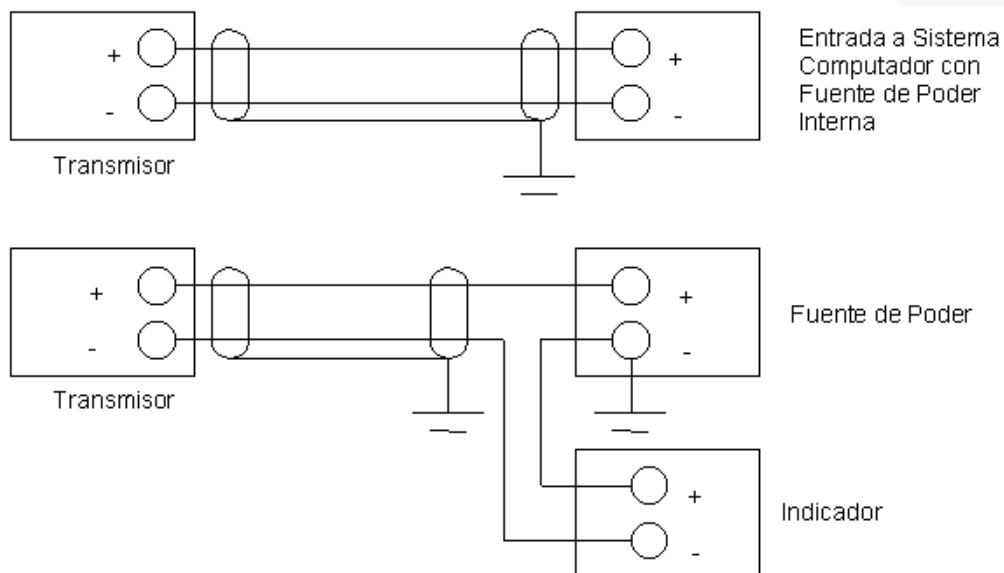
Comparación de transmisores

Tipo Transmisor	Señal	Precisión	Ventajas	Desventajas
Neumático	3-15 psi	+/- 0,5 %	Rapidez Sencillo	Aire limpio No guarda información Distancias limitadas Mantenimiento cara Sensible a vibraciones
Electrónico Convencional	4-20 mA	+/- 0,5 %	Rapidez	Sensible a vibraciones Deriva térmica
Electrónico Inteligente	4-20 mA	+/- 0,2 %	Mayor Precisión Intercambiable Estable, Fiable Campo de medida más amplio Bajo costo de mantenimiento	Lento (para variables rápidas puede presentar problemas)
Electrónico Inteligente Señal Digital	Digital	+/- 0,1 %	Mayor precisión Más estabilidad Fiable Autodiagnóstico Comunicación bidireccional Configuración remota Campo de medida más amplio Bajo costo de mantenimiento	Lento (para variables rápidas puede presentar problemas) Falta normalización de comunicaciones No intercambiable con otras marcas

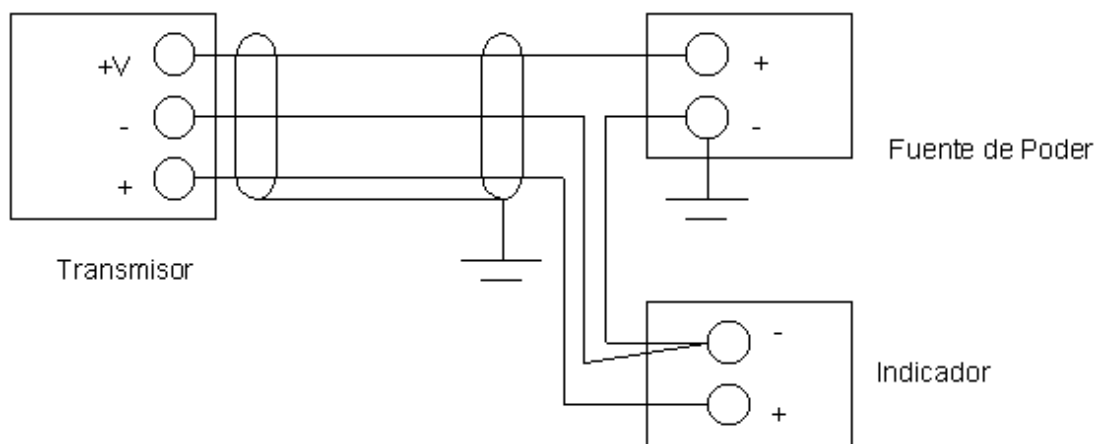
Tabla 34

Instalación eléctrica

El alambrado de terreno de un transmisor de flujo es típicamente de dos hilos, tres hilos o cuatro hilos.



Transmisores de Dos Hilos
Figura 247



Transmisor de Tres Hilos
Figura 248

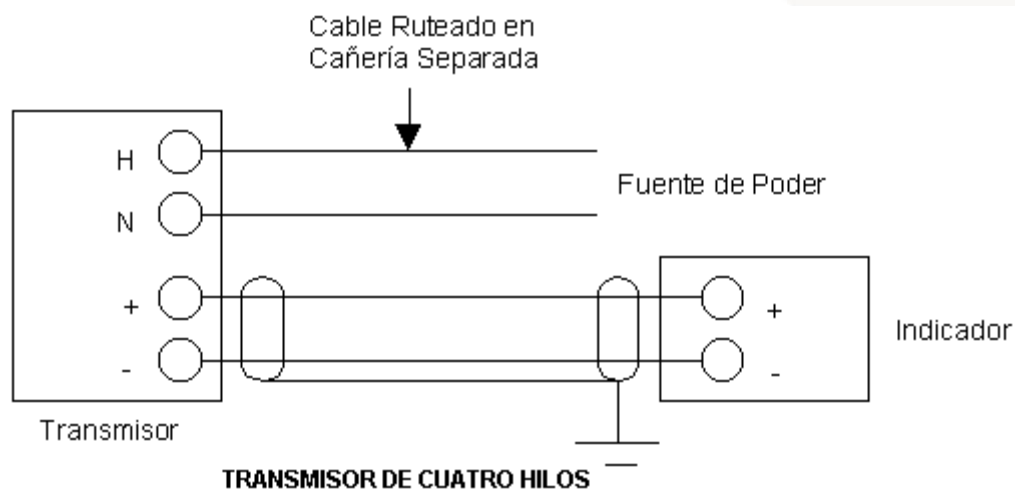


Figura 249

Actividad N° 4

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante aplique y refuerce conocimiento sobre sensores

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓

Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Implementación de circuitos eléctricos con sensores.

Objetivos del aprendizaje

- Aplicar características de sensores en un sistema eléctrico

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.

Solicitará a los participantes que construya con sensores de proximidad y/o sensores inductivos un circuito con inversión de giro de un motor

Materiales y Recursos

- Módulos LabVolt
- Sensores límites de carrera
- Sensores inductivos
- Multímetros digitales
- Motor AC y/o CC
- Equipo de protección personal

Desarrollo de la actividad

Los participantes realizarán un diagrama de fuerza y control con el V°B° del instructor e implementarán circuito propuesto, poniéndolo en servicio.

Cierre de actividad

A modo de cierre de actividad los participantes deberán exponer frente a instructor y sus compañeros la experiencia realizada.

Actividad N° 5

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante aplique y refuerce conocimiento sobre sensores

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Implementación de circuitos eléctricos con sensores.

Objetivos del aprendizaje

- Aplicar características de sensores en un sistema eléctrico

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.

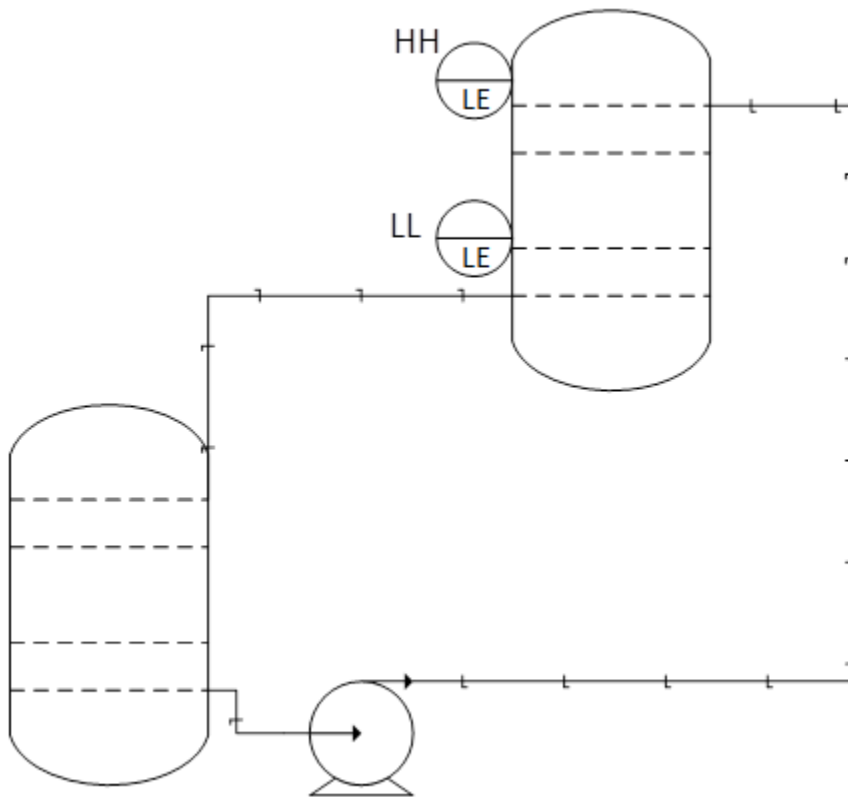
Solicitará a los participantes que construya con sensores de proximidad y/o sensores inductivos un circuito con inversión de giro de un motor.

Materiales y Recursos

- Módulos LabVolt
- Sensores límites de carrera
- Sensores inductivos
- Multímetros digitales
- Motor AC y/o CC
- Equipo de protección personal

Desarrollo de la actividad

Los participantes realizarán un diagrama de fuerza y control con el V°B° del instructor y implementarán circuito propuesto, poniéndolo en servicio.



Cierre de actividad

A modo de cierre de actividad los participantes deberán exponer frente a instructor y sus compañeros la experiencia realizada.

6. Calibración y ajuste de instrumentación industrial

6.1 La calibración de la instrumentación industrial

Competencia, regulación y normas de calidad, requieren la rigurosidad y documentación de la calibración de la instrumentación de procesos.

- ¿Qué es la calibración?
- ¿Cómo se logra tener equipos calibrados?
- ¿Cómo se hace la calibración?
- ¿Qué herramientas se utilizan?
- ¿Cada cuánto tiempo se debe efectuar calibraciones?

Aquí hay una rápida mirada a los elementos de la disciplina de un plan de calibración.

Comparación con Patrones

Calibración es la comparación de la salida de un instrumento con un patrón conocido. Siempre una calibración involucra ajustes en el instrumento para igualar su salida a la del patrón. En el mundo de procesos industriales, los instrumentos a ser calibrados forman parte de los lazos de medición y/o control (ver Figura 253).

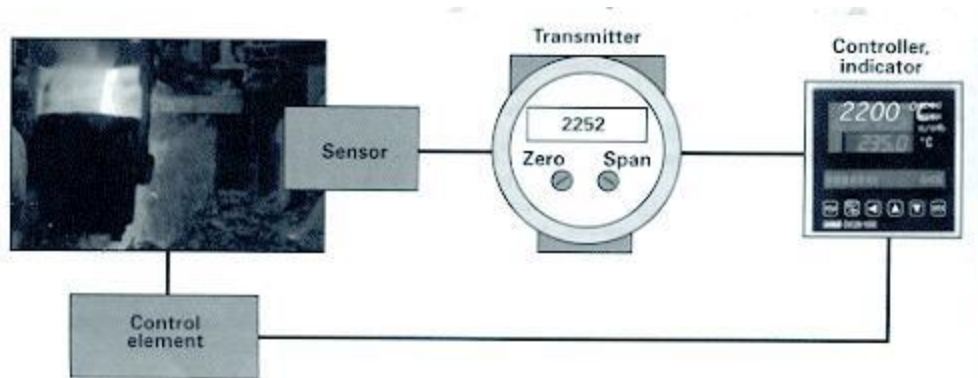


Figura 250

Lazo de control.

El Medio Ambiente Altera la Calibración

En el normal funcionamiento de la instrumentación industrial existen cambios en el tiempo debido a la exposición de los transmisores y/o elementos sensores primarios, a temperatura, humedad, uso intensivo, contaminación o vibración.

La programación de pruebas regulares, con apropiados patrones, permiten mantener las desviaciones bajo control y con un mejor control en sus procesos industriales; además de los siguientes beneficios:

Los costos son manejados de mejor forma como también la mantención se torna más proactiva y las fallas inesperadas son disminuidas.

La seguridad es incrementada ya que un buen programa de calibración en la planta es generalmente una buena inspección y un buen monitoreo de la planta.

Se cumple con los requerimientos legales, tales como la medición de masa.

Se satisface el requerimiento de programas de calidad (tales como la ISO 9000), normas ambientales, normas de seguridad ocupacional o de protección al consumidor. Chequeos regulares pueden detectar problemas debido a condiciones anormales en la instrumentación, tales como obstrucciones en líneas de flujo, o la instalación incorrecta de sensores, por ejemplo un tipo de termocupla.

Una gran variedad de dispositivos de temperatura, presión, flujo y nivel requieren ser periódicamente calibrados. En la Tabla 35, se listan varios instrumentos y el medio por el cual son contrastados y evaluados.

Medios de calibración.

Aplicación	Tipo de equipo	Simulación	Medición
Proceso de Temperatura	Transmisor de temperatura	Generación de mV (termocuplas) o Resistencia (RTD)	Corriente de salida
Alarma de temperatura	Switch de límite de temperatura	Generación de mV (termocuplas) o Resistencia (RTD)	Cierre de Contacto
Medición de nivel	Transmisor de presión	Generación de presión	Corriente de salida
Alarma de Presión	Switch de límite de presión	Generación de presión	Cierre de Contacto
Medición de flujo	Transmisor diferencial de presión	Generación de presión	Corriente de salida
Medición de flujo	Transmisor de flujo	Frecuencia	Corriente de salida

Tabla 35

Reportes de Calibraciones

Una completa calibración de un transmisor analógico tradicional, comienza con registrar su estado actual, probando en qué situación ha estado funcionando. Luego si es necesario, un ajuste que lleve al instrumento dentro de los márgenes de precisión y en conformidad al patrón. Finalmente se prueba para registrar como quedó el instrumento para completar el trabajo de calibración.

Considere la calibración de un transductor transmisor de Presión-Corriente (P/I). Considere que el transmisor convierte la señal de presión de entrada de 3 a 15 psi a una señal de salida de 4 a 20 mA. Esta señal es usada para el control de presión de un lazo de control.

El full de Span para la presión es de 12 psi (15 - 3 psi), con un full de Span de salida de 16 mA (20 a 4 mA). El máximo error permitido, o la tolerancia para esta aplicación son de 0,5% del Span. Pasos:

Aislar y despresurizar el transmisor. Conectar el transmisor al calibrador de presión. Conectar las puntas de prueba del calibrador al terminal de alimentación del transmisor y aplicar energía al lazo (ver figura 254)

Chequear la salida de cero del transmisor, aplicando una presión de 3 psi al transmisor y registrar la lectura en psi y mA. (Ver tabla 36).

Chequear el transmisor a la mitad de su Span, aplicando una presión de 9 psi al transmisor y registrar la lectura en psi y mA.

Chequear la salida del transmisor a full de Span, aplicando una presión de 15 psi al transmisor y registrando la lectura en psi y mA.

Con estos cuatro pasos se completa el proceso de registro de la situación en que se encuentra el instrumento. Usando las lecturas obtenidas se calculan los valores en curso del error en mA (medición de los mA menos el valor que debiera tener), y el error como un porcentaje del Span como se muestra en la Tabla 38.

Prueba de la situación encontrada en el equipo.

Fuente Presión (psi)	Medición Corriente (mA)	Patrón Corriente (mA)	Error (mA)	Error % del Span	Tolerancia	Resultados de las pruebas
P	i_m	$i_e = (P - 3) * (16/12) + 4$	$E = i_m - i_e$	$(E/16) * 100$		
3,00	3,96	4,00	-0,04	-0,25%	± 0,5 %	Ok
9,00	12,04	12,00	+0,04	+0,25%	± 0,5 %	Ok
15,00	20,12	20,00	+0,12	+0,75%	± 0,5 %	Falla

Tabla 36

Usando los valores de calibración se puede ver si el error de full de Span (15 psi), excede la tolerancia permitida de 0,5%. Esto será reflejado por la hoja de registro de la situación encontrada luego de completar el procedimiento.

Procedimiento de calibración

Si un ajuste es requerido, se inicia nuevamente el procedimiento en el segundo paso, detallado anteriormente; el cero del transmisor es ajustado hasta lograr 4 mA en la salida de corriente. Entonces el paso cuarto es ejecutado y el ajuste Span es efectuado hasta lograr 20 mA en la salida. Los pasos segundo y cuarto son alternadamente repetidos hasta que ambas salidas estén dentro de la tolerancia requerida (0,5% para 16 mA, o 0,08 mA). El paso tercero se ejecuta nuevamente para chequear la linealidad a mitad de escala.

La prueba de cómo queda el equipo luego de la calibración consiste en repetir el paso segundo al cuarto, registrando la lecturas obtenidas y calculando el error obtenido. Cuando todos los valores están dentro de los márgenes de tolerancia, la calibración está completa.

Luego de la calibración se debe despresurizar la línea, desconectar el calibrador de presión y reconectar el instrumento al proceso. No olvidar crear un archivo con el certificado de calibración, con la fecha, identificación del técnico responsable de la calibración, número de serie del instrumento calibrado, los resultados de la calibración y el equipo patrón utilizado. En la Figura 255, se muestra la forma de calibrar un transmisor de presión.

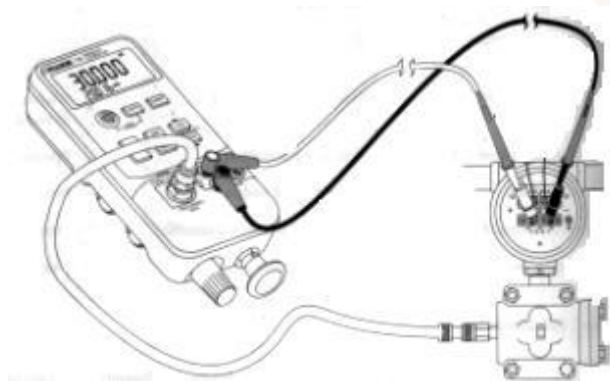


Figura 251

Revisión de la calibración de transmisor de presión.

Documentación de la Cadena de Trazabilidad

Como se ha señalado, un importante elemento de cualquier calibración es la trazabilidad. Una calibración trazable debe estar soportada por una cadena irrompible de documentación de la medición hecha por patrones incrementales de precisión, que tengan referenciados los equipos calibradores a un patrón de reconocimiento nacional.

Cada equipo calibrador usado, debe ser periódicamente verificado y certificado con un equipo que, a su vez, es periódicamente comparado con un patrón superior. En U.S.A., por ejemplo, este proceso finaliza cuando la documentación llega al Instituto Nacional de Standards y Technology (NIST), ver Figura 255.

Use un Equipo Calibrador Adecuado.

La precisión de un instrumento es el grado de conformidad de un valor indicado respecto de un reconocido patrón. La precisión puede ser establecida en unidades de ingeniería, en porcentaje de escala o, como es siempre hecho en los procesos industriales, en porcentaje de Span.

Un equipo calibrador debiera ser significativamente más preciso que el instrumento a ser calibrado con éste. Muchos fabricantes de instrumentos consideran una prueba de razón de incerteza de 4:1 como un buen nivel con el cual operar. Por ejemplo, si un transmisor de temperatura tiene una precisión de 0,40 %, entonces el calibrador debiera tener una precisión de un cuarto de ésta, o sea 0,10 %. El calibrador debiera también exhibir suficiente precisión (repetibilidad), y resolución (capacidad para detectar pequeñas variaciones), para el instrumento bajo calibración.



Figura 252

Jerarquía del NIST.

Plan de Calibraciones

Se debe contar con una apropiada definición de la periodicidad de tiempo entre calibraciones y del intervalo de calibración, con un mínimo de gasto pero preservando la seguridad y la calidad. El intervalo de calibración está determinado de varias formas:

Mantenimiento Reactiva: Reparar y calibrar un instrumento cuando falle.

Mantenimiento Preventiva Programada: Calibrar dentro de un intervalo de tiempo establecido. Los instrumentos que son más importantes, en términos de que una falla de estos provoca un problema mayor en la calidad del producto o la seguridad del proceso industrial, son verificados con mayor frecuencia, como por ejemplo cada 30 o 60 días. Instrumentos menos críticos pueden ser verificados cada 90 días o anualmente. Los instrumentos indicadores pueden ser verificados cada uno dos años. Estos intervalos pueden ser ajustados con la experiencia de una particular marca y modelo.

Mantenimiento Predictiva: Calibrar sólo cuando las observaciones de seguridad, durante un largo periodo de tiempo, indican que el funcionamiento del instrumento ha comenzado a degradarse.

Software de Coordinación de Mantención

Muchas plantas de procesos industriales, tienen cientos de instrumentos bajo su administración. Para esta carga de trabajo se requiere de sofisticadas herramientas, como bases de datos de instrumentos, que potencian la eficiencia para la

administración de la instrumentación. En la Tabla 37, se muestran algunos de los más conocidos software.

Software de administración de Calibración.

Suministro	Software de administración de instrumentación	Contacto
Applied System Technologies	Cornerstone	(954)735-2507
Beamex	QM6	www.beamex.com
Blue Mountain Quality Resources	Quality Manager	www.coolblue.com
Fisher Rosemount	Asset Manager Solutions	www.frco.com/fr/solutions/ams
Fluke Corporation	DPC/Track	www.fluke.com
Honeywell	DocuMint	www.hi-specsolutions.com/assetmax/@ssetools/documint.htm
On Time Support	ProcessTrak	www.ontimesupport.com

Tabla 37

Usted puede seleccionar los instrumentos a los cuales dar servicio en un día particular, pre-programar los procedimientos a ser ejecutados, emitir la orden de trabajo al departamento técnico, enviar procedimientos y recibir resultados de los calibradores de terreno, generar reportes y certificados de calibración y demostrar trazabilidad nacional en la calibración de los instrumentos.

6.2 Instrumentación, calibración y errores

Servicios a Instrumentos o Equipos

En los procesos industriales es necesario controlar algunas variables, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, etc.

El sistema de control es aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor requerido (set-point), y efectúa una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente, en forma automática.

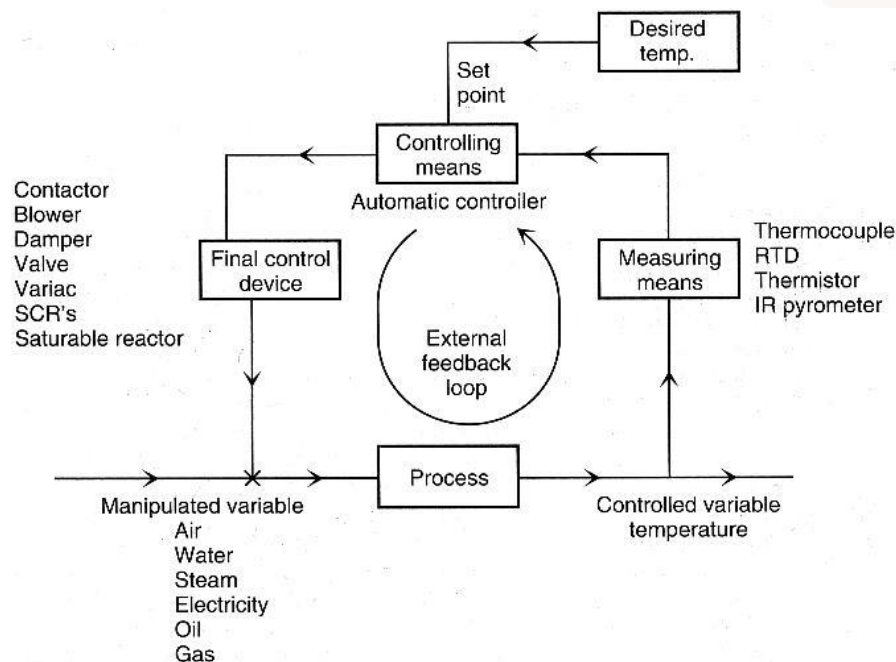


Figura 253

Lazo de control automático.

En la Figura 257, se presenta un lazo de control en que es posible identificar la unidad censora, el transmisor, el controlador, el indicador, el registrador, un elemento final de control y el proceso a controlar. A este sistema se le denomina "Bucle" o "Lazo de Control".

Clases de Instrumentos

Podemos clasificar los instrumentos de acuerdo a su función dentro del lazo de control o medición, de la variable del proceso. De esta forma se tendrá:

- Elementos Primarios (PT100, termocupla,... etc.).
- Transmisores de Señal Normalizada (de presión, temperatura,... etc.).
- Transmisores Inteligentes (HART, Field Bus,.. etc.).
- Instrumentos Indicadores (digitales, análogos,... etc.).
- Registradores (de carta circular, papel continuo,... etc.).
- Controladores (PID, Fuzzy,... etc.).
- Transductores (I/P, P/I,... etc.).
- Elementos Finales de Control (válvulas, variadores Hz,... etc.).

Ahora, según la variable de proceso se tiene instrumentación para:

Flujo.
Temperatura.
Nivel.
Presión.
Peso y Densidad.
Humedad.
Análisis, etc.

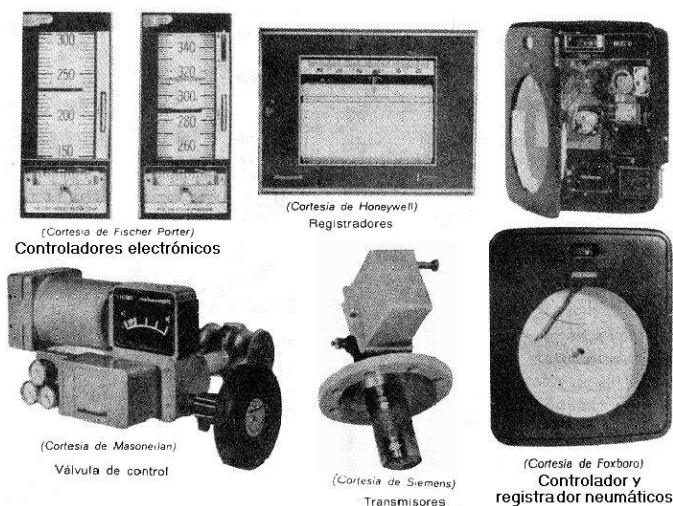


Figura 254

Diferentes tipos de instrumentos.

Ejemplo de Instrumentación.

TRC

2A

Primera Letra	Letras Sucesivas	Número del Lazo	Sujijo (no muy usado)
Identificación Funcional		Identificación del Lazo	

Tabla 38

Simbología de Instrumentación.

1ª Letra

Letras Sucesivas

Variable Medida	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A Análisis	.....	Alarma	.....	.....
B Llama (quemador)	.....	Libre	Libre	Libre
C Conductividad	.....	.....	Control	.....
D Densidad o peso específico	Diferencial	.....	.....	.....
Tensión (f.e.m.)	.....	Elemento Primario	.....	.....
F Caudal	Relación	.....	.....	.....

1ª Letra
Letras Sucesivas

Variable Medida	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
G Calibre	Vidrio	.....	.....
H Manual	Alto
I Corriente	Indicación o Indicador	.....	.....
J Potencia	Exploración	.....	.....	.....
K Tiempo	Estación de control	.....
L Nivel	Luz Piloto	.....	Bajo
M Humedad	Medio o Intermedio
N Libre	Libre	Libre	Libre
O Libre	Orificio	.....	.....
P Presión o vacío	Punta de Prueba	.....	.....
Q Cantidad	Integración	.....	.....	.....
R Radiactividad	Registro	.....	.....
S Velocidad o Frecuencia	Seguridad	.....	Interruptor	.....
T Temperatura	Transmisor o transmisión	.....
U Multivariable	Multifunción	Multifunción	Multifunción
V Viscosidad	Válvula	.....
W Peso o Fuerza	Vaina	.....	.....
X Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y Libre	Relé o computador	.....
Z Posición	Elemento Final de control sin clasificar	.....

Tabla 39

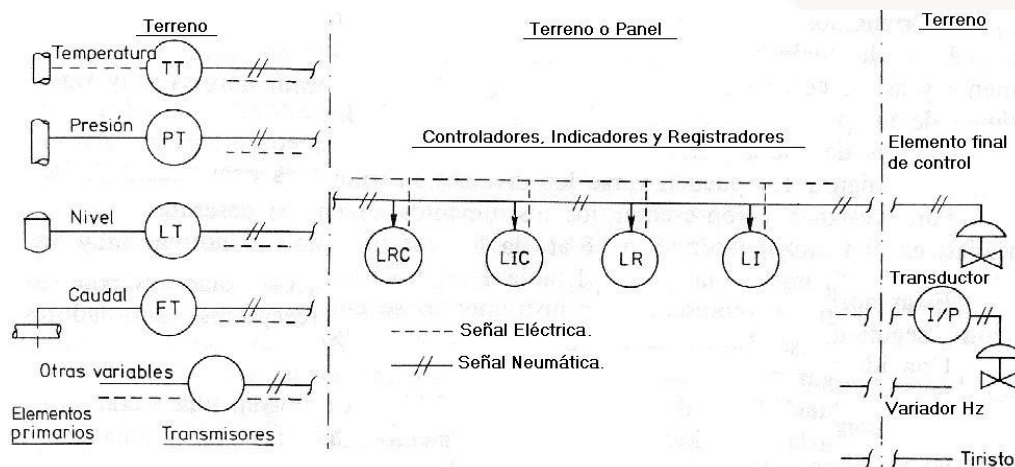


Figura 255

Uso de la simbología en planos de procesos.

Calibración Y Error

Un instrumento de medición industrial debe indicar el valor de una variable en alguna unidad de medida, para conocer su valor o informar si se encuentra dentro de un rango requerido. Para esto el instrumento hace un proceso de conversión, en el que se aprovecha algún principio de funcionamiento o ley, para dicha conversión. Sin embargo, el proceso de conversión, está sujeto a otras condiciones o variables que determinan la calidad de la medición; y en la práctica, al hacer varias mediciones bajo condiciones que se asumen idénticas, nunca estas serán iguales. De lo anterior, se deduce, que una medición siempre está sujeta a error. Cuando hay dos mediciones idénticas se debe a que el (o los) instrumento (s) no poseen la precisión suficiente para indicar las diferencias reales existentes.

Errores en los Instrumentos

En la instrumentación industrial se identifican, principalmente, tres tipos de error: error de cero, error de rango y error de angularidad. Por esto, los instrumentos industriales, habitualmente, vienen diseñados con los elementos necesarios para corregir dichos errores. Se puede tener un tornillo de corrección de cero, y otro para la corrección de rango. También se encuentran mecanismos de ajuste del largo de varillas, para eliminar los errores de angularidad. La corrección del error de medición de un instrumento será más complejo en proporción a la precisión de este último, sin embargo el procedimiento de calibración es relativamente similar, para uno u otro instrumento.

Para ver el comportamiento de los diferentes tipos de error, se utiliza un gráfico de la medición v/s la variables real. Con el gráfico se puede describir la forma de cada uno de los errores mencionados.

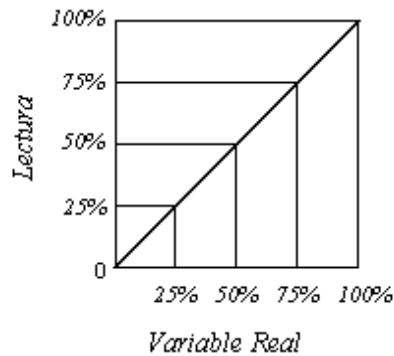


Figura 256

Gráfico de lectura v/s valor real, para un instrumento ideal.

Error de Cero

Se presenta en todo el rango de medición, pudiendo estar por sobre o bajo el valor real de la variable medida. En la Figura 261 se puede apreciar el gráfico representativo de este error, en donde se denota su paralelismo con la variable medida (mismo ángulo de inclinación o pendiente), pero con un desplazamiento positivo o negativo.

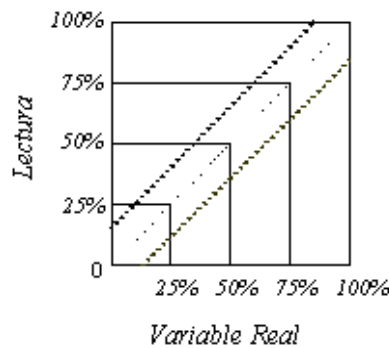


Figura 257

Gráfico lectura v/s valor real, con error de cero (negativo y positivo).

Error de Rango

En el gráfico de este error, (figura 262) la medición o indicación del instrumento, se presenta en forma de curva divergente o convergente, respecto de la variable real.

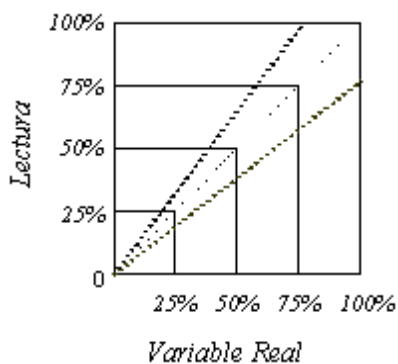


Figura 258

Gráfico lectura v/s valor real, con error de Rango.

Error de Angularidad

La medición coincide en sus puntos extremos, presentando una desviación progresiva en el resto de la escala, acentuándose en el 50% del rango, como se ve en la Figura 320. Este error se presenta en instrumentos con mecanismos de pivote a través de varillas o links, como, por ejemplo, en la instrumentación neumática; y no existe en la instrumentación electrónica.

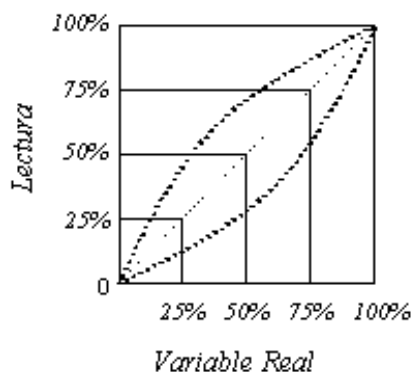


Figura 259

Gráfico lectura v/s valor real, con error de angularidad

Errores Comunes del Observador

Hay errores que son imputables al observador del instrumento, que son el error de paralaje y el error de interpolación.

El error de paralaje se produce cuando el observador no posiciona la vista en forma correcta, o sea, en ángulo recto respecto de la línea imaginaria de la aguja, o cursor, con la graduación de escala.

El error de interpolación es provocado por un posicionamiento de la aguja o índice, en un punto intermedio de la graduación mínima de escala, redondeando la lectura el observador, por sobre o bajo el valor real.

Los errores de paralaje e interpolación, no se presentan en las indicaciones digitales.

Método General de Calibración

Se deben generar las señales patrones al instrumento procediendo, en primer lugar, a registrar la situación encontrada en una tabla con los valores a los diferentes porcentajes de medición, que normalmente son el 0%, 50% y el 100% del rango. Luego se debe analizar qué tipo de error que presenta el instrumento.

Se recomienda corregir la angularidad, como primer paso, para el caso de la instrumentación con mecanismos de varillas. Esto se logra dejando un ángulo de 50° entre las varillas de transmisión, al 50% del rango de medición. Para esto se manipula el largo de dichas varillas.

La calibración consiste en ir generando la señal de cero y de rango, con el generador patrón, procediendo a una iteración que se inicia con la corrección del tornillo o ajuste de cero, en primer lugar, y luego con el tornillo o ajuste de rango. En cada paso se deben ir chequeando ambos puntos. Se finaliza esta iteración cuando no se presentan errores significativos a lo largo del rango de medición.

Este procedimiento se puede esquematizar de la siguiente forma:

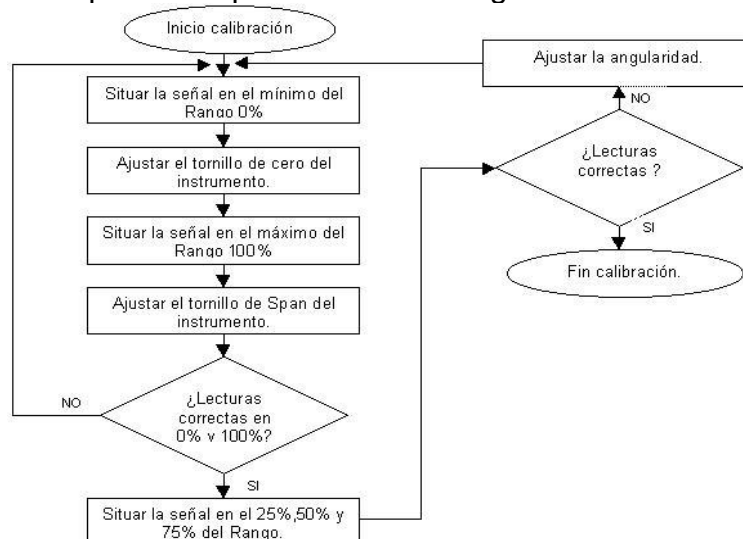


Figura 260

Diagrama de flujo general de calibración.

El objetivo principal de la calibración en la instrumentación industrial, es tener instrumentos sin error, que entreguen una información confiable respecto de la variable medida.

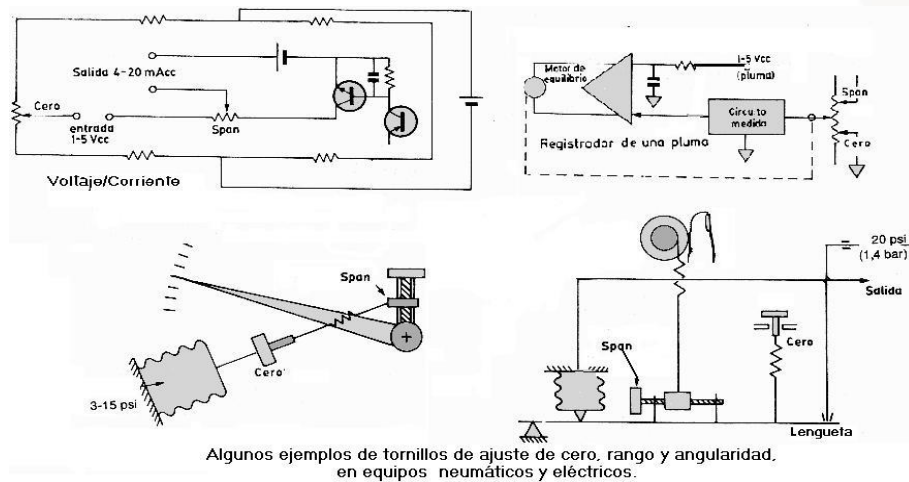


Figura 261

Algunos ejemplos de mecanismos de ajuste.

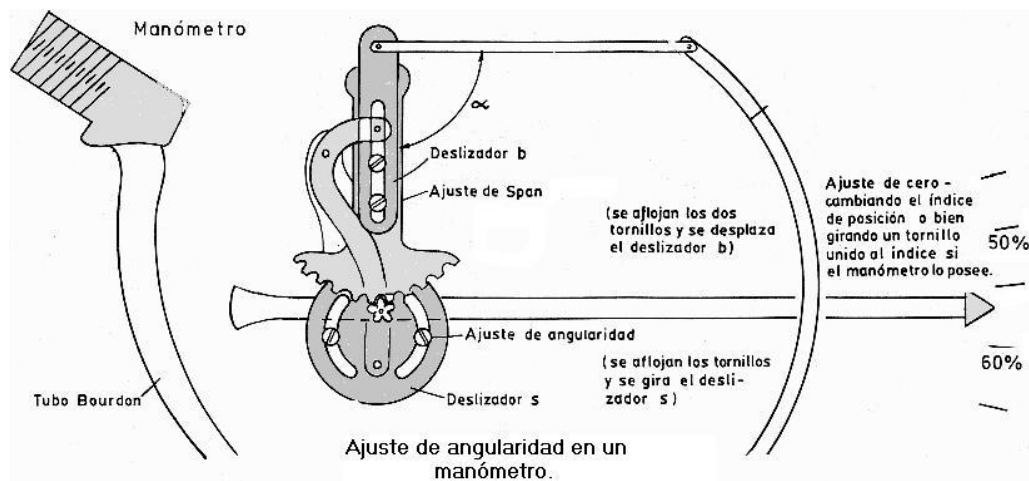


Figura 262

Ajuste de angularidad en un manómetro.

Definiciones características de instrumentos industriales

Rango de Medida

Espectro de valores de medida del instrumento, considerando intervalo de medición con un valor mínimo y un valor máximo. Los valores mínimo y máximo comprenden los límites respectivos en que se puede mover la variable medida. Por ejemplo, un instrumento medidor de presión con un rango de 10 a 150 [bar], tendrá sus valores mínimos y máximos de 10 y 150 [bar], respectivamente.

Span

Es el valor que resulta de restarle el valor mínimo al valor máximo, del rango de medición. Para el caso del ejemplo anterior, el Span sería igual a 140 bar (150 a 10 [bar]).

Precisión

Es el margen de error presente en la indicación de un instrumento, que entrega los límites dentro de los cuales se moverá el error en la indicación del instrumento, bajo condiciones normales de funcionamiento. La precisión dependerá de la combinación de los errores de no linealidad, repetibilidad e histéresis.

La precisión de un instrumento, es una especificación dada por el fabricante del instrumento, como una característica de éste. Además, un instrumento puede tener diferente precisión a lo largo de su rango de medición, por ejemplo: una precisión de $\pm 0,5\%$, a lo largo del rango; y una precisión de $\pm 0,3\%$, en el centro del rango.

Para una aplicación en particular es de suma importancia conocer las tolerancias del error permitido, de modo de que la instrumentación utilizada, posea una precisión igual o superior a la requerida. La precisión se puede expresar de las siguientes formas:

Como porcentaje del máximo del rango, o full escala: La precisión se obtiene de la siguiente forma: precisión de $\pm 0,5\%$, límite máximo 150 bar, error = $\pm 0,5 \times 150 / 100 = \pm 0,75$ bar.

Como un porcentaje del Span: Esta es una forma habitual de presentar la precisión. Por ejemplo una precisión de $\pm 0,5\%$ del Span, con un Span de 140 [bar], y si tenemos una medida de 95,0 [bar] $\pm 0,5 \times 140 / 100$; o sea $\pm 0,7$ [bar], por lo tanto la medición estará entre 94,3 y 95,7 [bar].

Un porcentaje de la Lectura: Al valor leído del instrumento se le calcula el error de la siguiente forma: precisión de $\pm 1\%$, Lectura de 95,0 [bar] $\pm 95,0 \times 1 / 100 = 95,0 \pm 0,95$ [bar]; o sea la medición estará entre 94,05 [bar] y 95,95 [bar].

En unidades de ingeniería: Se dará un valor de precisión en las unidades de la variable medida, por ejemplo: $\pm 0,7$ [bar].

Normalmente, la precisión que entrega el fabricante del instrumento, en la hoja de datos de éste, es garantizada para un año de funcionamiento, bajo condiciones normales de operación. En el control de calidad de fabricación del instrumento, se exigirá una precisión mayor, al igual que en las bodegas. Por ejemplo para una precisión de $\pm 0,5\%$ se tendrá una exigencia de control de calidad de $\pm 0,3\%$, una exigencia en bodega de $\pm 0,4\%$.

Histéresis

Se entiende como la máxima diferencia entre las salidas leídas en un mismo punto de medición, cuando la variable sensada incrementa su valor desde cero, hasta llegar a dicho punto; y cuando la variable disminuye su valor desde el full de escala, hasta llegar a dicho punto, en un mismo ciclo continuo de medición. Su valor es expresado como un porcentaje del full de escala. Por ejemplo: para $\pm 0,4\%$ y el full de escala de 150 [bar], la histéresis sería $\pm 0,4 \times 150 / 100 = \pm 0,6$ [bar].

Repetibilidad

Es la habilidad de un instrumento, de reproducir su salida (o lectura), cuando el mismo valor de la variable sensada es aplicado a él consecutivamente, bajo condiciones idénticas y en el mismo sentido de variación. La repetibilidad es expresada como la diferencia máxima entre las salidas leídas, como un porcentaje del full de escala. Un valor habitual es $\pm 0,1\%$.

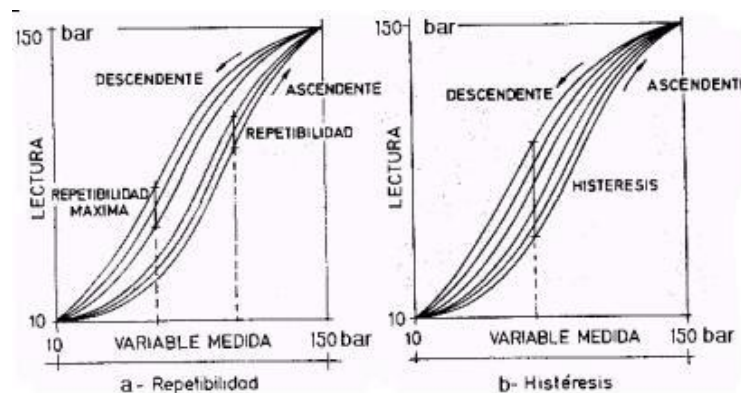


Figura 263

Gráficos de repetibilidad e histéresis.

Sensibilidad

Es un valor que viene dado por un porcentaje del Span, calculado por la razón de cambio en la salida del instrumento (o medición), y el cambio en el valor de la variable que lo provoca, bajo régimen permanente. Una sensibilidad de $\pm 0,5$, con un Span de 140 [bar], implica $\pm 0,5 \times 140 / 100 = \pm 0,7$ [bar].

Banda Muerta

Es el intervalo de variación de la variable medida, dentro del cual no existirá respuesta en la salida del instrumento de medición; o sea no se tendrá respuesta del instrumento. Viene dada por un porcentaje de Span, de modo tal que si, por ejemplo, se tiene una banda muerta de $\pm 0,09\%$, tendrá un valor de $\pm 0,09 \times 140 / 100 = \pm 0,126$ [bar].

Análisis de Error

El error que representa la diferencia entre el valor dado por el instrumento y el valor real de la variable sensada, se le denomina "*Error Absoluto*". El error absoluto indica el valor de la desviación de la medición, respecto del valor real. Sin embargo, este dato no nos informa la real magnitud del problema. Por ejemplo, supongamos un error de medición de -2 [bar]; si el Span del instrumento es de 20 [bar], este error es inaceptable (10%); pero si se tiene un Span de 2000 [bar], es un error despreciable (0,1%). Una mejor información la entrega el error relativo o error absoluto por unidad, que es el cociente entre el error absoluto cometido y el valor real de la variable sensada. Ahora, como el valor real de la variable sensada es desconocido, se le reemplaza por el valor de full de escala de medición. Por esto, en la práctica, para la medición de instrumentos se consideran los errores relativos a full de escala.

Error absoluto = Valor real – Valor medido

Error relativo = Error absoluto / Valor real

O bien:

Error relativo = Error absoluto / Full de escala.

Un instrumento siempre tendrá un tiempo de respuesta asociado a su salida o indicación, que provocará un error en la medición en condiciones de régimen transiente. Este error se llama error dinámico, o error de velocidad, y es la diferencia del valor instantáneo de la variable sensada y el valor instantáneo indicado por el instrumento. Este error dependerá del tiempo de respuesta del instrumento en cuestión, junto a las condiciones de proceso y de instalación de su etapa sensora.

En un lazo de medición de una variable de proceso, pueden participar varios elementos, como por ejemplo: el sensor presión, el transmisor de presión y el indicador de presión de panel. El máximo error final en la medición, será la suma de cada uno de los errores relativos máximos, de los instrumentos del lazo. Por ejemplo si se dan los

valores $\pm 0,1\%$, $\pm 0,5\%$ y $\pm 0,4\%$; para el sensor, el transmisor y el indicador, respectivamente, tendremos lo siguiente:

$$\text{Error máximo lazo} = \pm(0,1 + 0,5 + 0,4)$$

Pero, por la improbabilidad de que los errores sean máximos en todos los elementos al mismo tiempo, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo del error del lazo:

$$\text{Error total de lazo} = \pm\sqrt{(0,1)^2 + (0,5)^2 + (0,4)^2}$$

Por lo tanto: Error total del lazo $\cong 0,65\%$

6.3 Calibración de instrumentos de presión

Banco de Pruebas y Maletas de Comprobación

En la calibración de instrumentos de presión se utiliza un generador de presión, y un instrumento medidor patrón, además del instrumento a calibrar. El generador debe tener las propiedades de estabilidad y rango adecuadas, que entreguen una presión constante y con un nivel de sensibilidad superior al del instrumento a calibrar.

Habitualmente se utilizan manómetros patrones, para efectuar la comparación en la calibración. Dichos manómetros son de alta precisión como un $0,2\%$ de full de escala. Poseen una amplia escala, con una aguja índice muy fina, y la escala con reflejo, para evitar el paralaje en el observador. También tienen compensación de temperatura ambiental por Bimetal y Bourdon de varias espiras. En la Figura 264, se muestra un manómetro de precisión típico, con sus características.

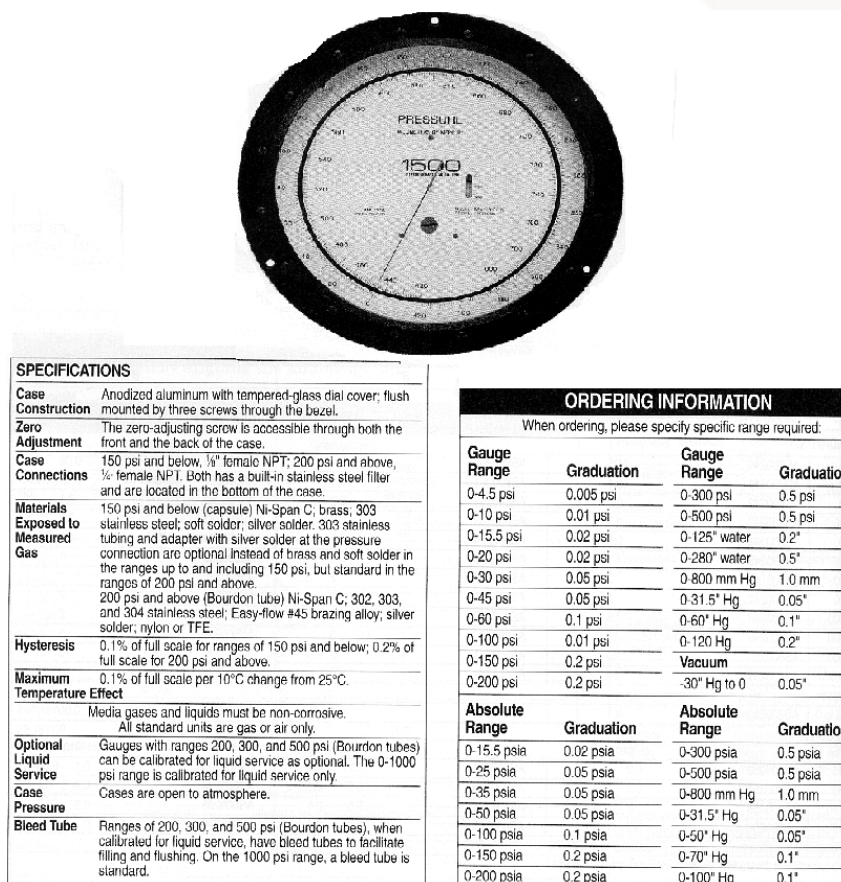
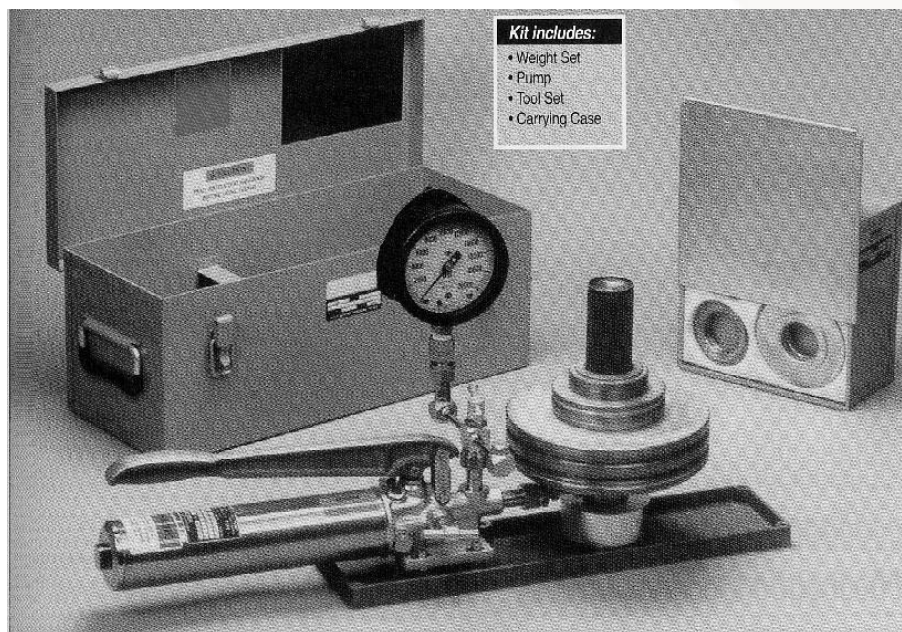


Figura 264

Manómetro de precisión y sus principales características.

Estos manómetros patrones son periódicamente comprobados con máquinas de peso muerto. Las máquinas de peso muerto están formadas por un sistema hidráulico con una bomba manual, y con dos conexiones de salida, una para el manómetro a calibrar y la otra, para poner los pesos patrones. Durante el proceso de calibración, se genera presión con la bomba manual, hasta que los pesos patrones flotan sobre un pistón de sección calibrada, de modo tal de lograr el equilibrio entre el peso y la presión generada. El equilibrio se percibe al girar con las manos los pesos sobre el pistón, demostrando así, la flotación de los pesos en equilibrio y sin roce. En la Figura 265, se muestra una máquina de peso muerto típica.



Kit includes:

- Weight Set
- Pump
- Tool Set
- Carrying Case

These hydraulic deadweight testers offer superior accuracy for the calibration of gauges, recorders and indicators. The accuracy is $\pm 0.01\%$ of indicated value and is traceable to NIST.

Type T

For use with distilled water or other fluids compatible with 300 series stainless steel or monel. Suspended weights of a hard, non-magnetic die cast alloy.

SPECIFICATIONS

Accuracy	Standard— $\pm 0.1\%$ of indicated pressure traceable to NIST. Calibration to $\pm 0.03\%$ is available with data furnished certified traceable to NIST. Calibration data is determined by cross floating against a laboratory standard traceable to NIST.
Test Fluid	Type T—distilled water Type R—AAA tester oil
Operating Pressure	Type T—15,000 psi max. Type R—10,000 psi max.
Wetted Parts	Type T—300 series SS and Monel Type R—10,000 psi max.
O-Rings	Standard—Buna N; Optional—Viton, EPT
Test Connections	Union type— $\frac{1}{2}$ " NPT, $\frac{1}{2}$ " NPT, $\frac{3}{8}$ "-20 UNF male and female
Weights	Type T & R—Hard, non-magnetic cast alloy. Type TQ & RQ—forged brass; conforming to material requirements of NIST Class Q
Dimensions	Overall operating dimension—31 $\frac{1}{4}$ " long x 9" wide x 19 $\frac{3}{8}$ " high max.
Reservoir Capacity	75 cubic inches
Approximate Weight	Tester & Carrying Case: 50 lbs.
Weight Sets	#1: 65 lbs., #2: 110 lbs., #3: 165 lbs.

Type R

For use with oil as hydraulic fluid. Suspended weights of a hard, non-magnetic die cast alloy.

Features

- Hand operated hydraulic pump, with manual dual volume control valve, delivers high volume to rapidly build pressure and low volume for ease of pumping and a gradual approach to the point of calibration.
- Suspended weights—suspended on a carrier tube to lower center of gravity and reduce side thrust on the measuring piston and cylinder assembly.
- Re-entrant type measuring piston and cylinder assembly—maintains accuracy as test pressures increase. Piston/cylinder assembly is completely enclosed in a unique column design, reducing the possibility of accidental damage.
- Pressure vernier—Auxiliary screw type piston permits fine adjustment of pump pressure.

ORDERING INFORMATION

Catalog No.	Model	Ranges	Increments
AM900990	Type T-50	100—500 psi 100—5000 psi	5 psi 50 psi
AM900991	Type R-50	100—500 psi 100—5000 psi	5 psi 50 psi
AM900992	Type T-100	100—1000 psi 100—10,000 psi	5 psi 50 psi
AM900993	Type R-100	100—10,000 psi 100—10,000 psi	5 psi 50 psi
AM900994	Type T-150	100—1500 psi 100—15,000 psi	5 psi 50 psi

Figura 265

Máquina de peso de muerto.

Este equipo, tiene una válvula de alivio que permite disminuir la presión generada, por exceso o para cambiar los pesos en forma decreciente, durante una calibración. También poseen una válvula de ajuste fino de presión.

Varios juegos de pesas y dos tipos de pistones (para alta y baja presión) permitan manejar un amplio margen de rangos de calibración, por ejemplo: 0-20, 2-100, 30-150, 70-350, 140-700 [bar], con una precisión del $\pm 0,1\%$. Se puede llegar a una precisión del $\pm 0,06\%$ y las pesas y pistones pueden certificarse hasta $\pm 0,008\%$. Este equipo se

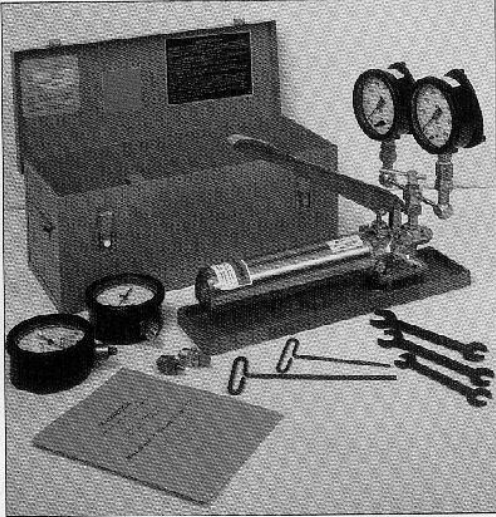
debiera recertificar en forma periódica en un laboratorio nacional, ya que el uso permanente provoca una degradación de $\pm 0,0015\%$ de su precisión por año. Un instrumento similar a la máquina de peso muerto es la bomba con manómetros patrones portátiles. El mecanismo es similar, pero en vez de pistones y pesos calibrados, se utilizan manómetros como elemento patrón (ver Figura 266).

The comparator is a pressure calibrating system using a source of controllable pressure and a "test" gauge of known accuracy. "Test" gauges are variously known as "transfer standard" or "inspection" gauges. The pressure source is connected to a manifold which directs pressure equally to the "test" gauge and the instrument system to be calibrated. The reading on the "test" gauge is then compared to the indication given by the instrument system.

Dual Volume Pump Features

- Hand operated hydraulic pump, with manual dual volume control valve, delivers high volume to rapidly build pressure and low volume for ease of pumping and a gradual approach to the point of calibration. Test manifold with pressure vernier for fine adjustment of pump pressure.
- Supplied with four U.S. Gauge 4 1/2" Test Gauges.
- NIST Certification included.

SPECIFICATIONS	
Accuracy	$\pm 0.25\%$ of gauge span (10,000 psi gauges, $\pm 0.5\%$ of gauge span)
Test Fluid	Type T: Distilled Water Type R: AAA test oil
Operating Pressure	10,000 psi max.
Wetted Parts	Type T—300 series SS; Type R—Aluminum, 300 series SS, copper alloy, Ni-Span C (Temperature compensated gauges only), carbon steel
O-Rings	Buna N; Optional—Viton, WPT
Test Connections	Union type 1/2" NPT, 1/2" NPT, 3/8" 20 UNF (male or female)
Gauge Connections	Type T: 1/4"-18 UNF-3A; Type R: 1/2" NPT. All gauges supplied with union type connections
Operating Dimensions	20 3/8" long x 11" wide x 16" high
Approximate Weight	55 lbs.



ORDERING INFORMATION		
Catalog No.	Model	Range
AM900801	Type T-3	0—160, 600, 5000, 10,000 psi
AM900802	Type R-3	0—160, 600, 5000, 10,000 psi
AM900803	Type T-3A	0—30, 600, 3000, 5000 psi
AM900804	Type R-3A	0—30, 600, 3000, 5000 psi
AM900805	Type R-4	0—160, 600, 5000, 10,000 psi

Figura 266

Máquina de calibración de presión con manómetros típica.

Para rangos de presión inferiores a 1 [bar] se utilizan manómetros de columna. Estas pueden ser portátiles o para fijar en pared. Para columnas de mercurio se encuentran rangos de 0-1000 [mmHg], que disponen de tomas de entrada de presión en la parte superior e inferior, para medir vacío o presión, respectivamente. Las columnas de agua tienen rangos de 0-1 pulgadas de agua, en columnas inclinadas; y de 0-10 pulgadas de agua, en columnas verticales.

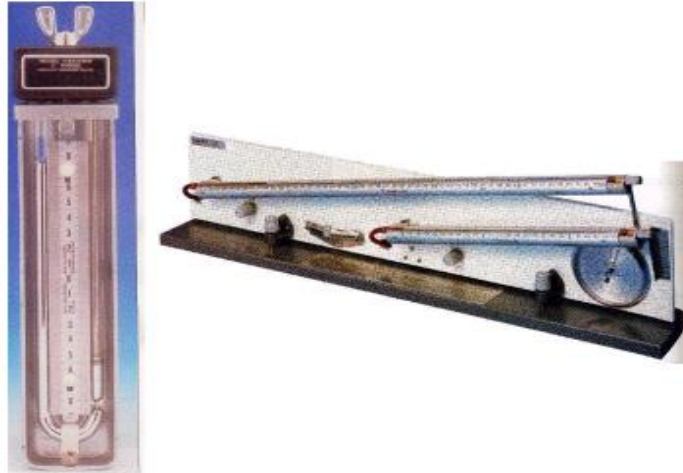


Figura 267

Columnas de medición de presión.

Los medidores de columna líquida con líquido de densidad conocida, sirven como estándar primario, en condiciones de laboratorio pueden manejar con exactitud, presiones de 1 parte en 10.000.

Con columnas de mercurio y de agua descritas y con un juego de manómetros patrón, se requieren para un panel o *banco de pruebas de instrumentos*; Además requiere de aire comprimido para instrumentación, y reguladores de presión de aire de precisión, para diferentes rangos, como también, una bomba de vacío para vacuómetros. En la Figura 268, se presenta un banco de pruebas típico

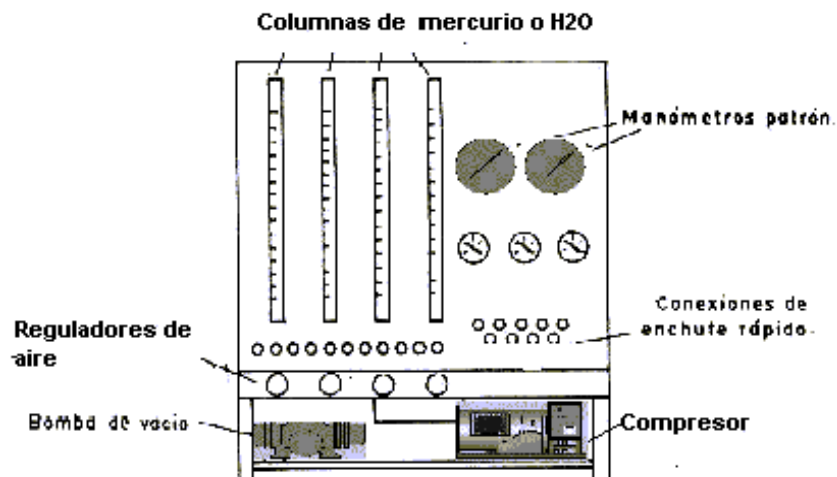


Figura 268

Banco de pruebas de instrumentos neumáticos.

Las maletas de calibración son una muy buena alternativa para el trabajo en terreno, teniendo muy buena precisión y resistencia para el trabajo de campo. Poseen opciones similares al panel de pruebas y calibración, pero requiere aire de alimentación (air supply), a pesar de ello es bastante versátil. En la Figura 270, se muestra una de ellas.

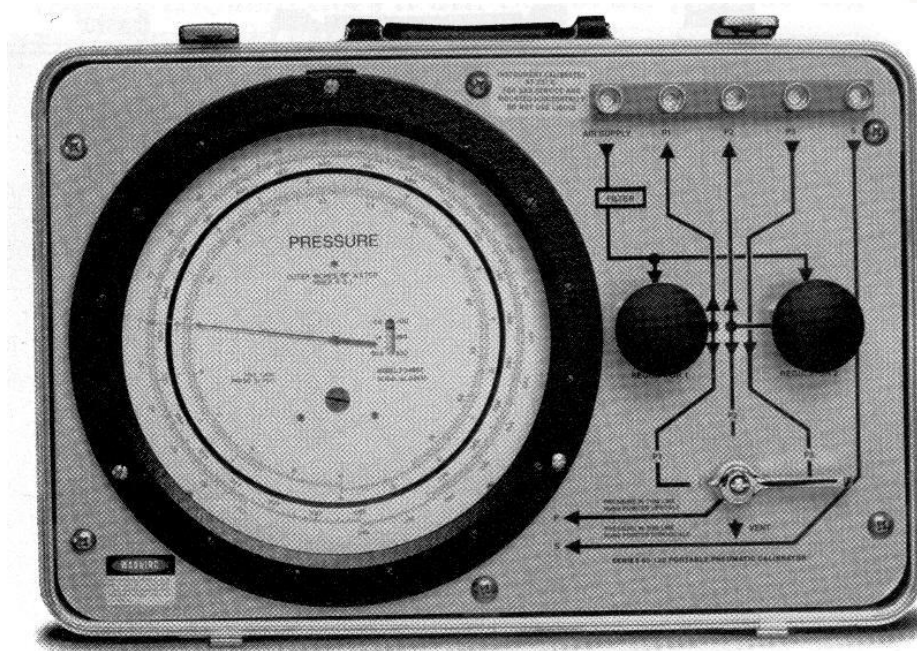


Figura 269

Maleta portátil de calibración de instrumentos de presión.

Para calibraciones en terreno se puede tener una maleta con los manómetros patrones, de diferentes rangos, y las tuberías (de PVC, cobre o acero, dependiendo del rango de presión), además del fitting patrón y accesorios. Para la presión de alimentación se puede trabajar con una toma a la red de aire comprimido; o bien, con un compresor portátil, o en último caso, con un tanque de nitrógeno con sus válvulas reguladoras.

Para las conexiones, el instrumentista debe tener en cuenta que en los instrumentos normalmente se sigue la norma NPT y no la norma Gas (la primera tiene hilo cónico tanto en la conexión macho como en la hembra). Las conexiones más comunes son las de 1/4" NPT en las señales neumáticas y la de 1/2" NPT para proceso.

Existen calibradores portátiles con microprocesador (como el de la figura 324) que integran la generación y medición para la calibración, con rangos de precisión que va de los $\pm 0,05\%$ F.S. para 1 a 500 [psi]; y de $\pm 0,15$ F.S. para 900 a 10.000 [psi].

Además de las funciones de generación y medición de presión, incorporan fuente de poder regulable de 10 a 24 [VDC] para alimentación de lazos "Two Wire", o de uso general. Pueden leer presión en varias unidades de ingeniería seleccionables, además leer voltaje hasta 200 [VDC], y corriente hasta 30 [mA]. Se genera presión con una bomba manual hasta 300 [psi], que además, posee un ajuste fino para efectuar pequeñas variaciones de la presión generada. Incorporan baterías recargables con un cargador portátil, con enchufe a la red. Es una alternativa práctica para calibraciones en terreno o laboratorio, existiendo versiones para ambiente clasificado como explosivo.

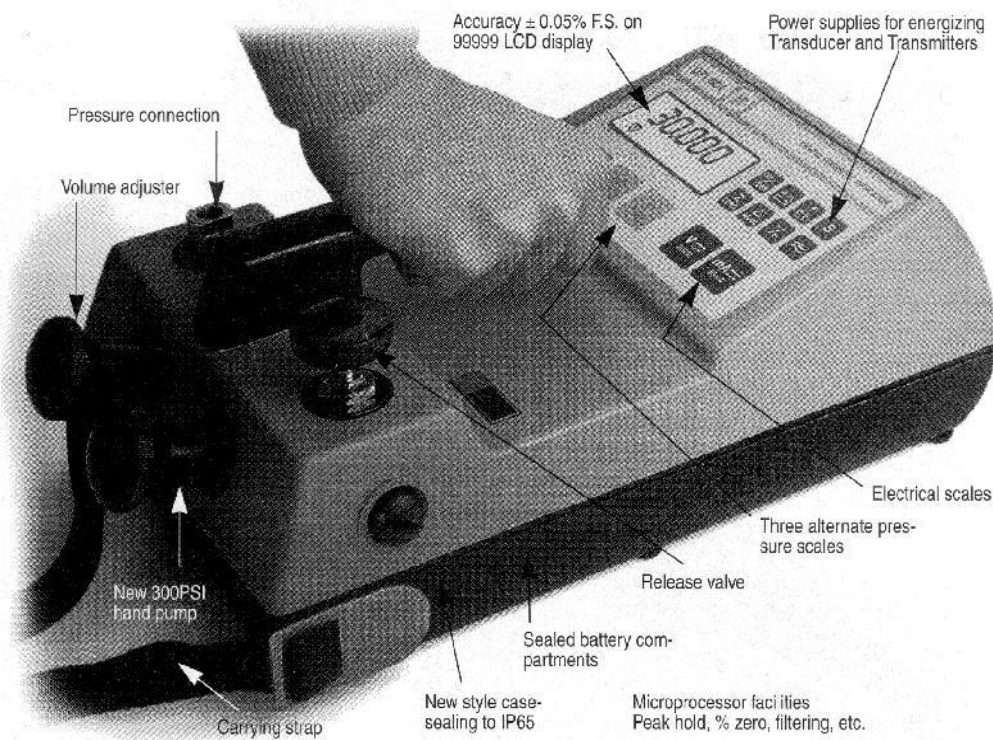


Figura 270

Equipo portátil para generar y calibrar presión.

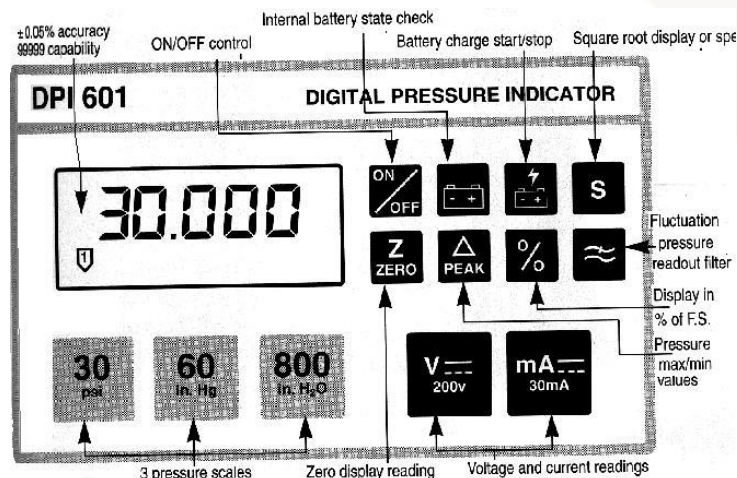


Figura 271

Pantalla de equipo portátil de calibración de instrumentos de presión.

Otros elementos generadores de presión son las bombas manuales con manómetro. Las hay de diferentes tipos y rangos. Las neumáticas trabajan hasta alrededor de 300 [psi], mientras que las hidráulicas pueden llegar hasta los 3000 [psi], tal como se puede apreciar en la Figura 272.

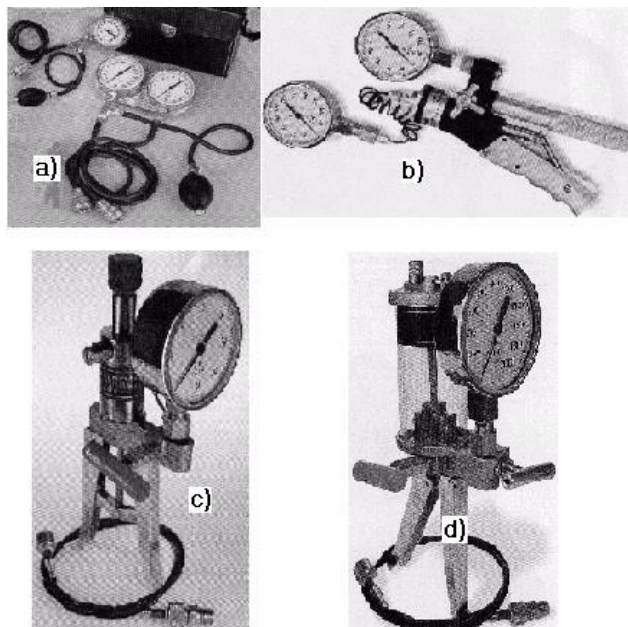


Figura 272

Bombas manuales calibradores de presión y/o vacío: a) Kits de baja presión (0-30 [psi]); b) Bomba para 200 [psi] máximo, ó 0-25" Hg vacío; c) Bomba de 200

[psi] máximo, o 0-32" Hg vacío; b) Bomba hidráulica manual de 3000 [psi] máximo.

Para la calibración de los manómetros se requiere extraer el aguja para reposicionarla ajustando el cero, a no ser que el propio manómetro disponga de un tornillo de accionamiento exterior que modifique de posición la aguja. Es una operación de mucho cuidado, ya que se puede dañar la aguja y los mecanismos internos de movimiento. En la Figura 273, se muestran las herramientas necesarias para este procedimiento.

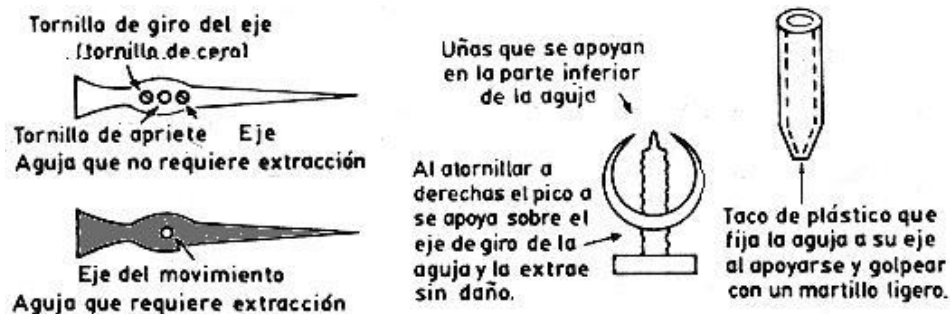


Figura 273

Herramientas y mecanismo de ajuste aguja de manómetros.

Los procedimientos generales de calibración ya se vieron en la unidad 1, pero, en general, bastará simular la presión requerida para iniciar la calibración del aparato. Esta simulación puede realizarse en terreno en el propio proceso, lo cual no siempre es cómodo, es preferible efectuarla en el propio taller de instrumentos.

El circuito general de calibración de un instrumento medidor de presión, puede verse en la Figura 274, las situaciones particulares de cada aplicación dependerán del tipo de instrumento (presión, presión diferencial o vacío), y del rango en que se esté trabajando.

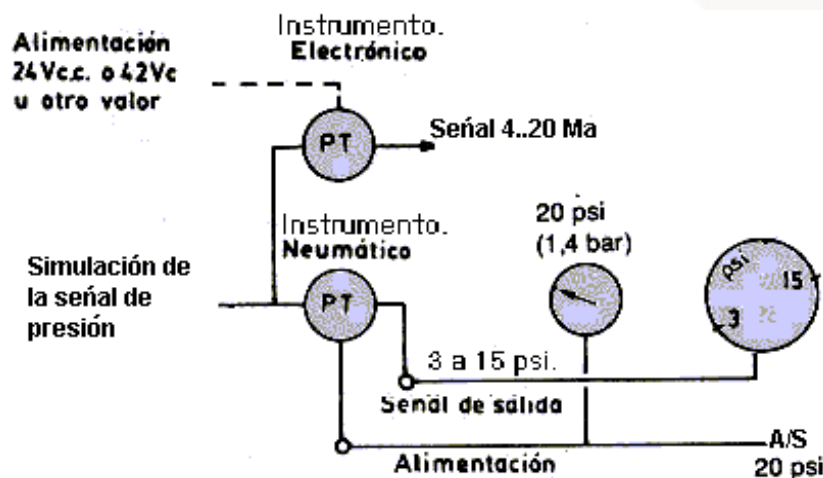


Figura 274

Circuito general de calibración de instrumentación electrónica o neumática.

6.4 Calibración de instrumentos de flujo y nivel

Las bombas volumétricas de precisión y los indicadores de flujo de precisión sirven como estándares para flujos pequeños y moderados de líquido, vapores o gases.

Medidores Magnéticos de Caudal

El servicio a los **Flujómetros** magnéticos es mínimo, ya que vienen calibrados de fábrica; por esto, una vez montado y cumpliendo las especificaciones requeridas para estos equipos, se debe verificar el cero del equipo. Esto se realiza llenando las tuberías de fluido y procurando un estado estacionario de funcionamiento.

En estado estacionario el conjunto "*sensor-convertidor-indicador*", debe indicar 0 % de medición (u otra señal dada por el fabricante, como flujo cero), de no obtener esta indicación se deben realizar algunos ajuste menores, en el sensor o el convertidor. Cabe destacar que la calibración del sensor está muy ligada a su diseño, por lo que generalmente no requiere de cambios; de ser así, se necesitan las curvas de fabricación del fabricante y un conocimiento acabado del equipo.

La calibración entre el convertidor y el indicador es diferente, ya que se puede simular la señal del sensor con equipos fabricados para ese propósito; que generan las señales de una amplia gama rango de estos elementos.

Los sensores magnéticos de flujo, son calibrados en fábrica con precisiones del orden de $\pm 0,1\%$, pudiendo lograr precisiones del orden del $\pm 1\%$, en el conjunto "*sensor-convertidor-indicador*". Sin embargo, esta precisión se puede mejorar con una calibración especial, y manteniendo una buena conductividad del fluido. En la Figura 275, se muestra el principio básico de funcionamiento de uno de estos equipos.

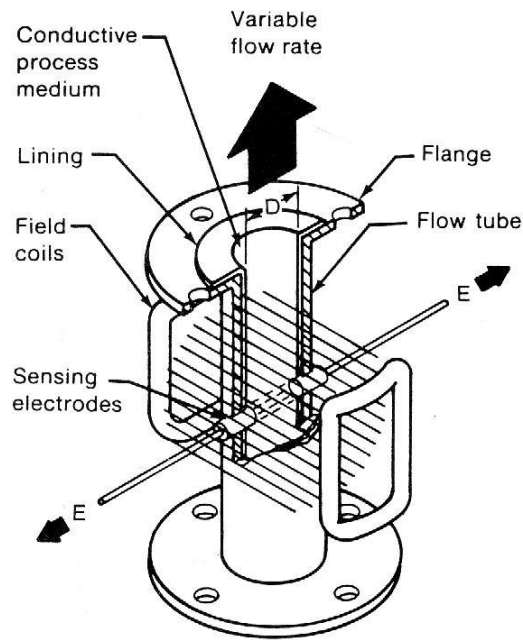


Figura 275

Flujómetro magnético.

Medidores de Desplazamiento Positivo

Su comprobación es semejante a la de los rotámetros para líquidos (que se verá más adelante). La comparación con un patrón conocido es una opción recomendable, ya que es un procedimiento muy práctico, claro está que, el resultado de la comprobación y/o calibración, quedará sujeto a la calidad del patrón utilizado.

Medidores de Flujo Másico

Los **Flujómetros Másicos de Coriolis** explotan la existencia de fuerzas ejercidas por la "*aceleración de coriolis*" de un fluido. La medición de flujo consiste en la vibración del tubo con lo que se crea y mide la aceleración de coriolis.

El medidor debiera ser instalado de modo tal que permanezca lleno de líquido, y que no permita que el aire quede atrapado dentro del equipo. Para diseños sanitarios, el medidor debiera ser instalado de modo tal que pueda drenar todo el líquido del sensor, para efectos de limpieza. Generalmente, la mejor instalación será en tubería vertical con el flujo en dirección hacia arriba. No obstante, el medidor puede ser instalado en una línea horizontal si la aplicación lo permite. Siempre trate de evitar un flujo en dirección de caída vertical.

El aire debiera ser purgado del tubo sensor cuando se realiza el comisionamiento del equipo antes de calibrar su cero. Para esto, usualmente se requiere un flujo correspondiente a la velocidad de aproximadamente seis pies por segundo por

algunos minutos. Si el flujo es intermitente (on/off), esto puede ser mejor a instalar el medidor para que permanezca lleno a cero flujo, para evitar el repurgar el aire del medidor.

El medidor debiera ser instalado de forma tal de que pueda ser calibrado su cero, sin flujo, y lleno de líquido. La bomba de flujo debe estar en funcionamiento para que su ruido pueda ser considerado en la operación de calibración de cero, para un óptimo funcionamiento. Esto puede ser conseguido en muchos casos con la localización de válvulas de corte en la salida del medidor. No obstante, esto puede no ser aceptable para bombas de desplazamiento positivo y otras bombas que no pueden operar con flujo nulo. Para estos casos se puede poner un "by-pass" para poder direccionar el flujo, manteniendo un flujo nulo en el sensor, pero con las bombas en funcionamiento y de esta forma realizar la operación de calibración de cero.

Distinto a otros flujómetros, el funcionamiento del medidor de coriolis casi tiene el mismo comportamiento en terreno que en un laboratorio con condiciones ideales. A continuación se entrega los más comunes errores que se cometen cuando se instala un medidor de coriolis que provocan problemas en su posterior desempeño:

Incorrecto cableado entre el sensor y el transmisor.

Colocación de soportes rígidos en la cubierta del sensor.

Incorrecta configuración del transmisor.

No purgar el sensor del aire interior, antes de la calibración de cero.

Inadecuada operación de calibración de cero.

La instalación del medidor en una línea horizontal, o en una línea vertical con flujo descendiente con entrada de aire.

Instalación del medidor en una línea horizontal que drena el líquido en operaciones intermitentes (on/off), y además no desaira el tubo después de la partida.

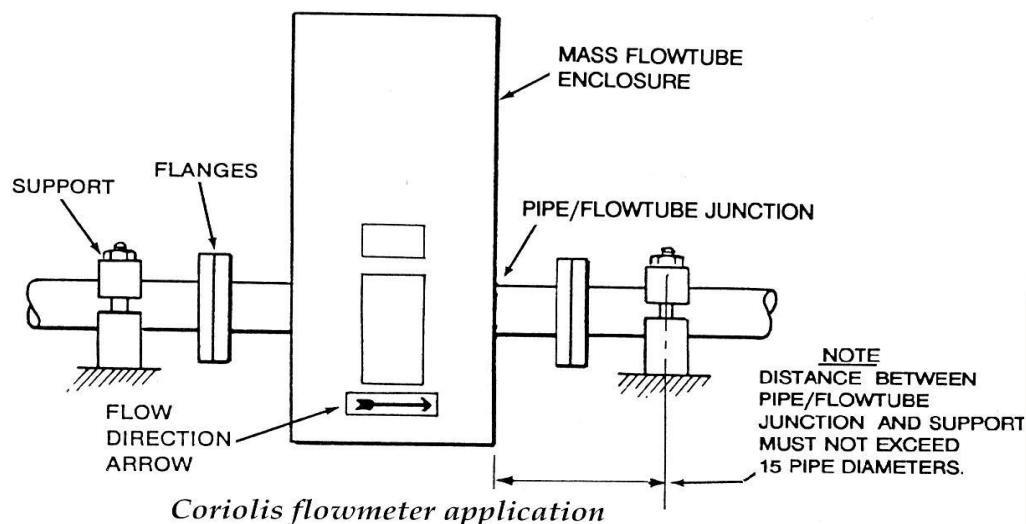


Figura 276

Flujómetro de Coriolis.

Vertedero

Se debe comprobar el nivel de variación por flujo, con una varilla graduada. Habitualmente la comprobación principal, corresponde al instrumento transmisor de nivel que se utiliza en los vertederos.

Medidores de Turbina

Las hélices o rotor del medidor de turbina está en contacto directo con el fluido, esto implicando su desgaste cuando se utilizan fluidos abrasivos. Por esto se recomienda verificar las especificaciones y el fluido que se esté utilizando. Para evitar los sólidos en suspensión, habitualmente se utilizan filtros. Todo lo anterior afecta directamente a la medición, ya que con un rotor gastado, los ciclos por unidad de volumen se desviarán de su diseño. En este caso el servicio a estos instrumentos se reduce a verificar la indicación para el rango de flujo del medidor. De tener desgastada su rotor, se debe proceder a su reemplazo. De encontrarse el rotor del medidor de turbina en buenas condiciones, la calibración corresponde al ajuste del Cero y Span, conforme se requiera respecto del patrón.

Medidor de Ultrasonidos

Su calibración sigue las pautas generales de ajuste de Cero y Span. Los fabricantes detallan los aspectos idóneos para la calibración de estos instrumentos.



Figura 277

Medidor de flujo ultrasónico.

Medidor de Placa

Se simula la fuerza que ejerce el fluido sobre el sensor, utilizando la siguiente fórmula para el cálculo de dicha fórmula:

$$F = k \left(\frac{\gamma V^2}{2g} \right) A_{\text{placa}} \quad \begin{array}{l} \text{y } Q = A_{\text{tubería}} \cdot V \\ \text{o } W = A_{\text{tubería}} \cdot V \cdot \gamma \end{array}$$

con:

γ = peso específico fluido
 V = velocidad del fluido
 Q = caudal volumétrico
 W = caudal en peso
 A_{placa} = área de la placa
 $A_{\text{tubería}}$ = área de la tubería

Las constantes de la formula, son datos de fabricación. Se utiliza un peso calibrado a la fuerza que provoca el flujo sobre el sensor al full de rango. Dicho peso es colocado sobre el elemento sensor, debiendo tener una salida del 100%, en el medidor de flujo. Para la comprobación del cero, se deja el sensor libre de carga, debiendo tener el instrumento una señal correspondiente al 0%, en su salida. De no tener los valores mencionados, se debe proceder al procedimiento convencional de ajuste de cero y Span.

Medidor de Torbellino

Es un proceso de calibración general, con los ajustes convencionales de Cero y Span para los flujos mínimos y máximos respectivamente. Los fabricantes pueden recomendar un procedimiento idóneo para estos equipos.

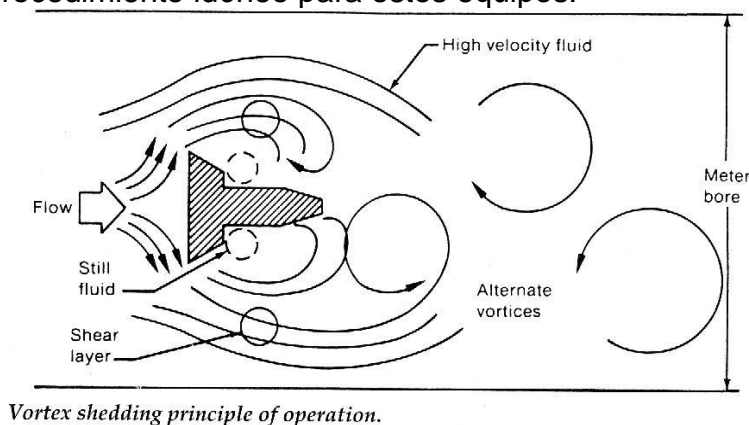


Figura 278

Flujómetro de Vortex.

Rotámetros

Un Rotámetro no puede calibrarse, pudiendo sólo comprobar su estado, con excepción de transmisores que pudiera tener incorporado.

La comprobación de rotámetros para medición de líquidos se realiza haciendo fluir agua a través de él, procurando mantener una lectura constante; así se puede comprobar su estado de calibración, por volumen, por peso o por comparación con un flujómetro calibrado en serie. Las formulas aplicables para cada caso se entregan junto a su esquema respectivo.

$$Q_1 = Q_{\text{agua}} \sqrt{\frac{\rho_f - \rho_1}{\rho_1 (\rho_f - 1)}}$$

Donde :

Q_1 = caudal medido en unidades de volumen por unidad de tiempo.

Q_{agua} = caudal equivalente en agua = volumen de la bureta/tiempo.

ρ_f = peso específico flotador.

ρ_1 = peso específico del fluido en placa característica del rotámetro.

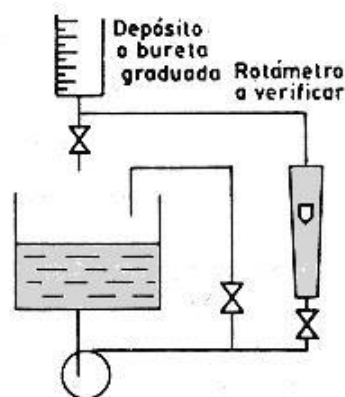


Figura 279

Comprobación de rotámetro por volumen.

En las aplicaciones de líquidos, se hace pasar agua en forma constante, través del rotámetro a comprobar, hacia un depósito graduado o bureta de precisión. Se toma el tiempo de llenado con un cronómetro de precisión y se calcula el caudal por división del volumen de la bureta por el tiempo.

En la Figura 280, el valor Q_1 debe coincidir con la posición que el flotador ha adoptado durante toda el proceso de calibración.

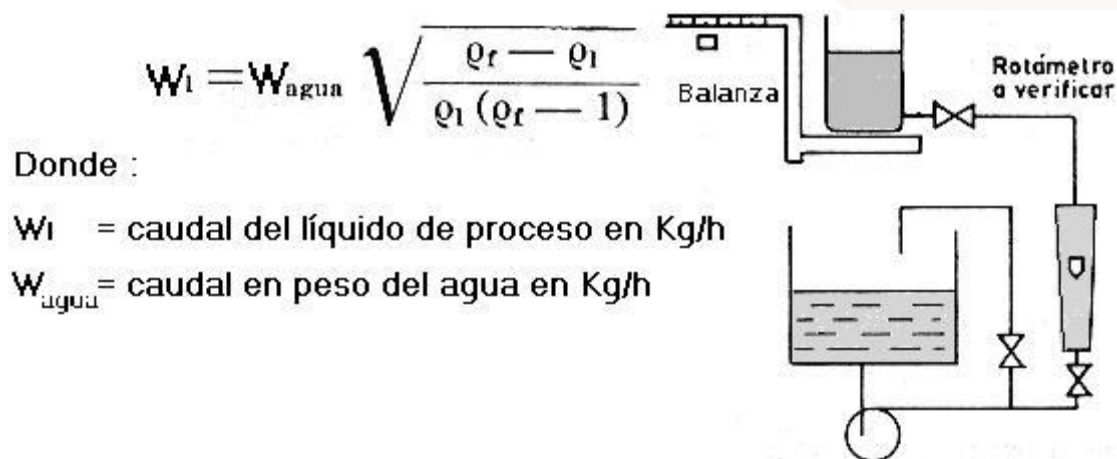


Figura 280

Comprobación de rotámetro por peso.

Para el método por peso se llena de agua un depósito de peso conocido, colocado sobre una balanza, con el flotador del rotámetro en posición constante (flujo constante), tomando el tiempo transcurrido con un cronómetro de precisión. La fórmula a aplicar es igual a la del método volumétrico, pero el valor es calculado en unidades de peso. Igual que en el método anterior, debe coincidir W_1 con el valor marcado por la posición del flotador.

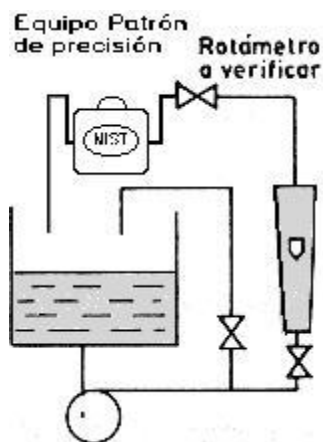


Figura 281

Comprobación de rotámetro por comparación.

El método de comprobación por comparación, es el más sencillo, dependiendo la calidad de la calibración, del patrón utilizado.

Para aplicaciones de rotámetros en gas, se pueden verificar utilizando un gasómetro volumétrico graduado. El procedimiento consiste en pasar un gas (aire, nitrógeno u otro similar), con un flujo constante a través del rotámetro hacia el gasómetro, tomando

el tiempo de subida del gasómetro, con un cronómetro (hay que considerar las condiciones de temperatura y presión, en el proceso de calibración).

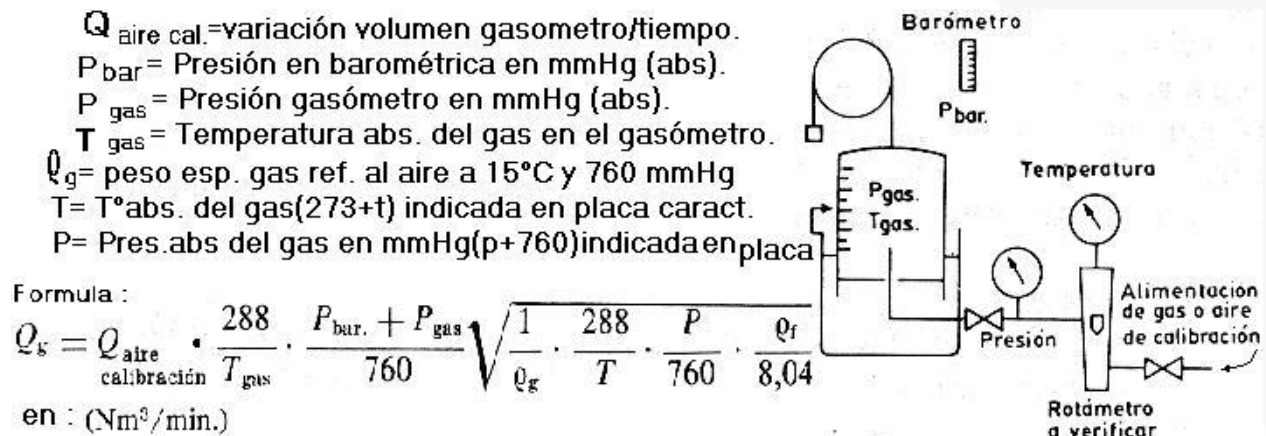


Figura 282

Comprobación de rotámetro para gas, con gasómetro.

Para verificar un rotámetro para medición de vapor, se utiliza un esquema similar al de gas, utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{vapor}} \text{ (kg/min.)} = Q_{\text{aire}} \text{ (Nm}^3\text{/min.)} \cdot 0,39 \sqrt{\frac{Q_f}{V_g}}$$

Con :

Q_f = peso específico del flotador
 V_g = volumen específico del vapor de agua en las condiciones de servicio

Figura 283

Calibración de Instrumentos de Nivel

Medición de Nivel por Presión Hidrostática

Estos instrumentos miden fundamentalmente presión. Por lo tanto para su comprobación se deben seguir pautas similares a las de la instrumentación de presión. La comprobación de los medidores de membrana y los de burbujeo se realiza en forma similar a la de los instrumentos de presión, vistos en el capítulo anterior, mientras que la de la altura de la columna del líquido simulada, debe ser calculada en términos de la siguiente ecuación:

$$\text{Presión simulada} = h\gamma / 10 \quad [\text{bar}]$$

Con: h = altura de líquido en [m].

γ = Densidad del líquido en [g/cm³].

La medición de nivel con instrumentos de presión diferencial, se comprueba de igual forma que para los de flujo: la conexión de alta se conecta a un regulador de presión o bomba manual y a una columna en “U” u otro patrón similar, generando las presiones correspondientes al rango requerido, a su vez, se debe dejar la toma de baja abierta a la atmósfera. La presión diferencial que se simula corresponde a la altura de nivel de líquido, según la fórmula anterior.

Se debe considerar la situación particular del instrumento, es decir, si trabaja en un estanque abierto a la atmósfera, o cerrado bajo presión. Para el ajuste de supresión o de elevación, o corregir la condensación en el lado de baja presión del instrumento o compensar su instalación en un punto de cota muy inferior a la base del tanque, se usa el cero del instrumento. Dicho ajuste se recomienda hacerlo en terreno, una vez instalado. De no ser posible, a lo anterior se le pueden considerar los valores respectivos de presión por supresión o elevación, en el ajuste en laboratorio.

Instrumentos Basados en las Características Eléctricas del Líquido

Los instrumentos de este tipo son los conductivos, capacitivos, ultrasónico y de radiación. Estos, normalmente se comprueban en el mismo lugar de operación, ajustando sus tornillos correspondientes de Cero y Span, de acuerdo al medio de comparación patrón.

Todos estos equipos trabajan en base a principios sofisticados, por lo que su comprobación se debe efectuar siguiendo cuidadosamente las instrucciones dadas por el fabricante.

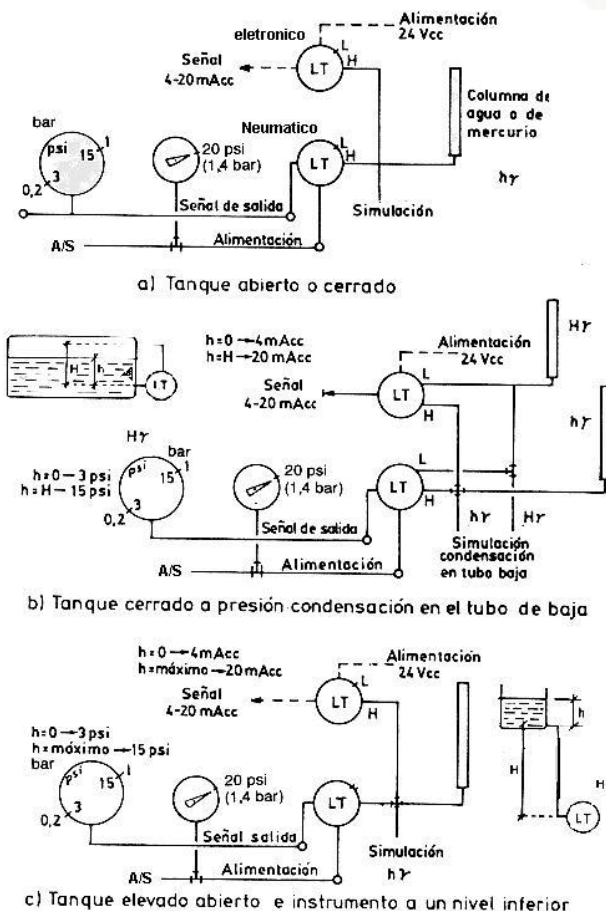


Figura 284

Circuitos de comprobación y/o calibración de instrumentos de medición de nivel, basados en presión hidrostática.

Medidores de Nivel de Sólidos

Para este propósito se usan medidores de peso móvil, balanzas, ultrasonidos y radiación. Estas usualmente requieren una comprobación en campo, siendo necesario ajustarse a lo indicado en el manual del fabricante, en forma similar al punto anterior.

Instrumentos de Nivel de Lectura Graduada

Los medidores de lectura graduada, poseen mecanismos que trasladan las variaciones del nivel a una indicación de escala. La complejidad de estos instrumentos radica en el tipo de mecanismo, pero normalmente son muy simples. Los hay de lectura directa, a través de un vidrio, los más simples; o con un sistema de transmisión de movimiento para el caso de los más complejos. De cualquier forma, su comprobación se reduce a la comparación con una varilla graduada u otro medio, y su calibración dependerá del tipo de mecanismo que usa.

6.5 Calibración de instrumentos de temperatura

En los instrumentos de temperatura existen equipos para la calibración del medidor, como también los hay para chequear los sensores. Para esto se utilizan baños de temperatura (como baños líquidos), block secos, o también hornos. Estos generan el calor necesario para elevar la temperatura a los valores deseados de calibración. Los calibradores pueden ser del tipo puente de Wheatstone, potenciómetros o unidades electrónicas.

Para realizar calibraciones por comparación se requiere de un ambiente de temperatura controlada. Los **Baños de Temperatura** básicamente consisten en un recipiente lleno de líquido, un termómetro patrón sumergido con un agitador incorporado y un controlador de temperatura que actúa sobre un juego de resistencias calefactoras. En algunos modelos existen unidades de refrigeración como los que se muestran en la Figura 285

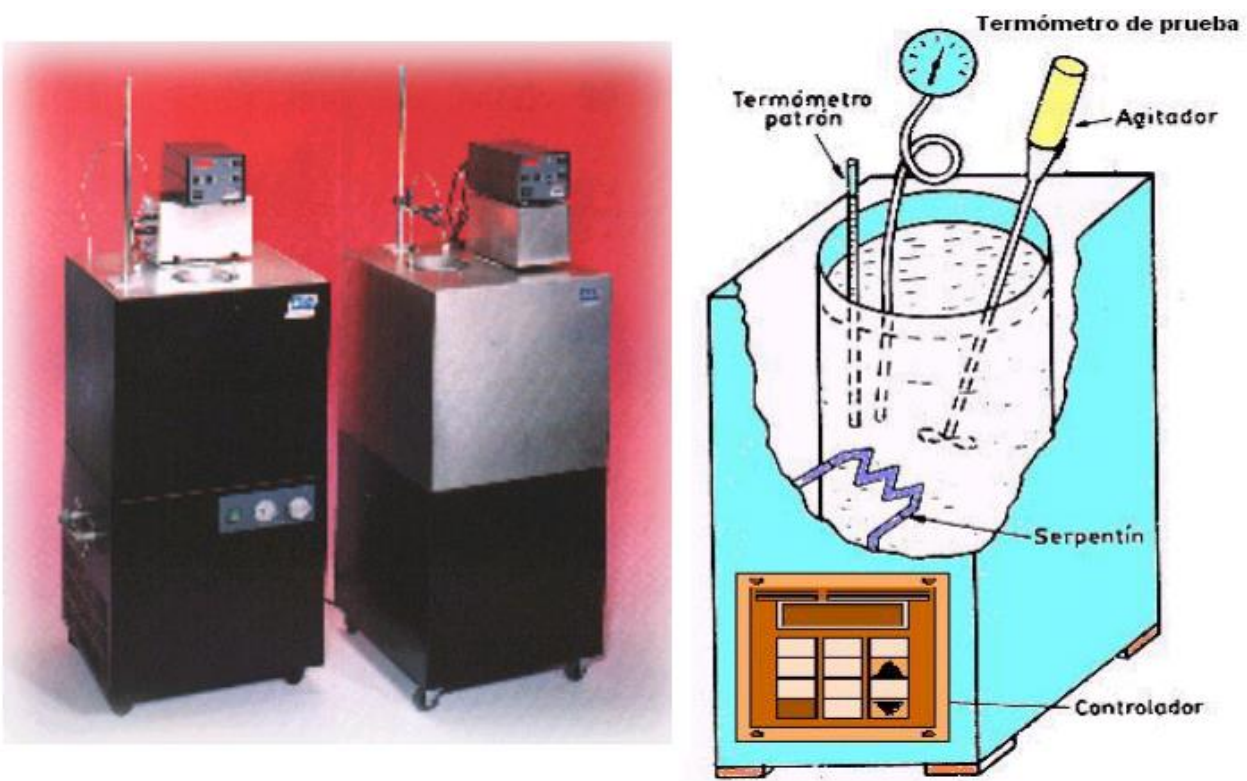


Figura 285

Baños líquidos.

Recipiente

Este contiene el líquido de transferencia de calor y se elige dependiendo del intervalo donde se quiera trabajar. El material con el que se construye éste baño, se selecciona de acuerdo con las propiedades del líquido y generalmente se utiliza acero inoxidable porque es el más compatible con la mayoría de los líquidos ya que no es atacado por éstos y es resistente a altas temperaturas. Las dimensiones se han dado de acuerdo a las necesidades y diseños del baño. Es importante señalar que el pozo debe estar aislado térmicamente para evitar pérdidas de calor por el efecto del ambiente externo.

Agitador

La función del agitador es distribuir uniformemente la temperatura de todo líquido, esto quiere decir que disminuye los gradientes de temperatura en el seno del líquido y facilita una transferencia rápida de calor

Calentador

Los calentadores generalmente son resistencias eléctricas controladas por un termostato, el cual permite regular la potencia de calentamiento. Dependiendo del diseño del baño, el calefactor puede colocarse directamente en el pozo haciendo contacto con el líquido o en la parte externa.

Termómetro Patrón

Sensor de comparación con el termómetro de prueba. El termómetro patrón es del tipo usado en los laboratorios con una gran precisión.

Sensor del Control

Este sensor es el que indicará la temperatura del baño. Esta prueba es necesaria para el control de temperatura. El sensor puede ser de distinto tipos como un termistor, un RTD o termopares. El controlador de temperatura puede ser on-off, proporcional o proporcional más integral.

Refrigeración

Algunos baños, principalmente aquellos que trabajan a bajas temperaturas (cerca de la temperatura ambiente), tienen un sistema de refrigeración. Este generalmente opera con un compresor y algún refrigerante que permita alcanzar temperaturas bajo cero.

Líquido

El líquido de trabajo se selecciona de acuerdo al intervalo que se quiere trabajar, se puede utilizar agua (destilada) en el intervalo de 5 a 90° C, o algún tipo de aceite en el

intervalo de 40 a 350° C. A temperatura de 350 a 500° C es posible trabajar con algunas sales. Para bajas temperaturas se puede utilizar metanol o algún otro alcohol.

Tipos de Baños Líquidos

Si las oscilaciones del voltaje de la red son tan altas que no se puede ajustar con suficiente precisión, el ritmo necesario para el cambio de temperatura debe ser lo más uniforme posible, para ello se recomienda usar un estabilizador de voltaje de potencia adecuada para el instrumento.

Por otra parte, los reguladores automáticos de temperatura sólo se pueden emplear para la determinación de las correcciones de indicación cuando las oscilaciones de regulación sean despreciablemente pequeñas.

Baño María

En la zona de temperaturas desde unos 0° C hasta 99° C el agua resulta adecuada como líquido de baño. El refrigerador que se requiere para los ensayos por debajo de la temperatura ambiente, a través del cual pasa agua corriente o un líquido enfriado, es oportuno instalarlo en el tubo que contiene el agitador, ya que así se garantiza mejor una distribución regular de la temperatura en el ámbito de medida.

Baño de Aceite

Para la zona de temperaturas desde unos 90° C hasta 250° C se utilizan como baños líquidos, por ejemplo, aceites minerales y aceites de silicona. Los aceites minerales no deben ser muy espesos. El punto de inflamación, por motivos de seguridad, debe estar por lo menos 50° C por encima de la temperatura de empleo más alta. Los baños de aceite se deben instalar en lo posible en una vitrina con ventilación directa al exterior.

Baño de Sal

Para temperaturas desde unos 180° C hasta unos 630° C ha resultado adecuada como líquido de baño, una mezcla de peso de 55,2 % de nitrato potásico (KNO_3) y un 44,8 % de nitrato sódico (NaNO_2). En ese baño, al igual que en los baños semejantes, no puede penetrar nada inflamable por el peligro de incendio. En los baños de sal se deben colocar placas de amianto o en cubetas metálicas.

Para la instalación de los termómetros se deben prever tubos de protección con paredes delgadas, cerrados en el extremo inferior, hechos de acero resistente al calor y a la corrosión.

Baños para Bajas Temperaturas

Como recipiente del baño se utilizan un recipiente Dewar, donde el líquido del baño se enfría mediante un refrigerador (evaporador) introducido en el líquido de baño, en el cual se deja evaporar nitrógeno líquido. El nitrógeno líquido que suministra el refrigerador, se hace desde un depósito especial, por medio de un sifón con doble pared y un serpentín de calefacción directamente sumergido en el nitrógeno líquido. Además, al depósito está conectado a un tubo de vidrio, por medio de una manguera que está sumergido en un recipiente largo lleno de agua en el que se puede desplazar verticalmente. Mediante variación de la potencia de calentamiento y desplazamiento del tubo se puede ajustar la cantidad de nitrógeno líquido que fluye al evaporador, de modo que se obtenga la temperatura deseada del baño, con una tasa de cambio suficientemente pequeño. Para un calentamiento rápido del líquido se ha instalado, además, un elemento eléctrico de calentamiento en el recipiente de baño.

Los fluidos empleados en el baño son varios, dependiendo del campo de temperaturas de trabajo. Es posible también calibrar instrumentos de temperatura de forma sencilla utilizando en lugar del baño descrito, un pote lleno de agua o de aceite según la temperatura a alcanzar y teniendo la precaución de agitar bien el líquido para asegurar una buena distribución de temperaturas y que no se presenten diferencias entre la indicación del termómetro patrón y la del instrumento a comprobar.

Este último punto es muy importante, ya que en muchos casos lo que aparenta ser un instrumento descalibrado es en realidad un instrumento que funciona correctamente, pero con su elemento primario sometido a condiciones de transmisión de calor del fluido distintas de las de la sonda del termómetro patrón o de otro instrumento de referencia. Esto suele ocurrir cuando se indica y se registra una misma temperatura en dos aparatos distintos, donde es casi seguro que los dos valores no coincidirán exactamente por la propia precisión de cada aparato o por las distintas condiciones térmicas de cada sonda. Precisamente, para unificar las condiciones térmicas de cada elemento de temperatura se acostumbra introducir los dos elementos en una sola sonda (sonda doble).

Bloques Metálicos de Calibración de Temperatura (baños secos).

Los bloques metálicos son calentados por resistencias eléctricas y con tomas adecuadas para introducir los elementos primarios (sondas de resistencias, termocuplas, etc.) del instrumento a comprobar. Si bien estos bloques son de temperatura controlada que disponen de un “Indicador-Controlador”, una termocupla de precisión y de un juego de resistencias de calentamiento, se conseguirá una calibración muy precisa disponiendo en el interior del horno crisoles con sales específicas que funden a temperaturas determinadas. Como es lógico, la utilización de estas sales se reserva para la calibración de termómetros patrón, o en algún caso muy particular de un instrumento en el que interesa una gran precisión en la lectura.

El bloque seco no constituye por sí solo un sistema de calibración, este es solo una fuente estable de temperatura. Siempre debe estar acompañado de un termómetro de

precisión más un sensor calibrado. La precisión del sistema debe ser mayor que la del instrumento a calibrar. Por lo general la relación de precisión es de 4 a 1.

Estos hornos pueden trabajar por encima de los 600° C, donde se utilizan de bloques metálicos calentados eléctricamente, con el bloque en posición vertical según lo muestra la figura 286, el bloque metálico puede estar provisto de unos 30 [cm] de profundidad, para la recepción de los termómetros situados equidistantes de las caras externas del bloque y paralelos a su eje. El diámetro del bloque debe ser de por lo menos de unos 10 [cm] y su longitud de unos 40 [cm]. El diámetro de los agujeros debe ser solo ligeramente superior al diámetro de los termómetros. Según las temperaturas de empleo, los bloques deben estar contruidos, de cobre, níquel puro o acero resistente al calor. Para disminuir la influencia de los extremos del bloque en la difusión de la temperatura en el interior del bloque, el alambre de calefacción debería estar arrollado de forma cada vez más compacta hacia los extremos del bloque. Se recomienda instalar calefactores adicionales sobre y por debajo del bloque.

Antes del primer empleo de un horno de bloques metálicos, hay que medir la distribución de la temperatura en el bloque metálico a una temperatura lo más alta posible. También hay que comprobar si existen diferencias de temperatura entre los distintos orificios a las mismas profundidades de inmersión. Para el ensayo solo se puede utilizar la zona del bloque metálico en la que la temperatura no dependa de la profundidad de inmersión ni de la elección especial del agujero. Por lo demás, para el funcionamiento del horno de bloques metálicos se aplican las mismas directrices que para los baños líquidos. En la actualidad también se utilizan bloques metálicos con el principio descubierto por Seebeck en 1821, con un rango de trabajo de -30 a 700° C como el de la siguiente Figura 286.

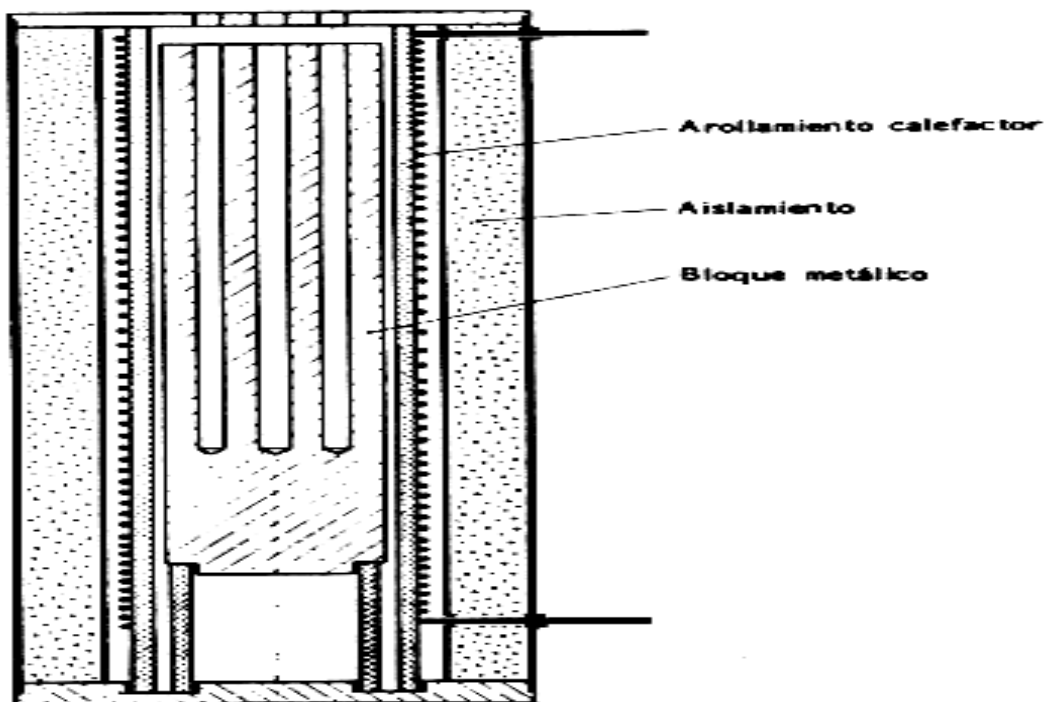
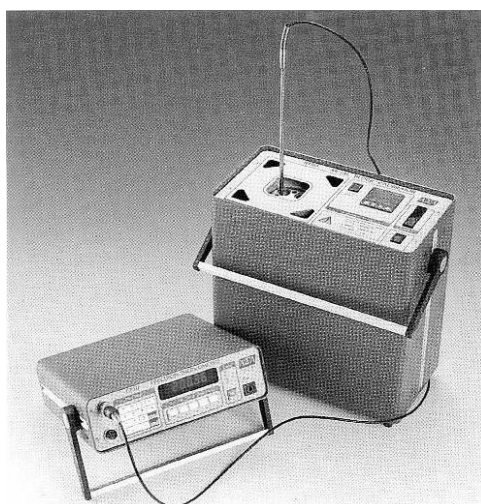


Figura 286

Baño metálico (seco).



- Ranges cover: -30°C to 700°C
- Stability: Up to $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$
- Unique designs for uniform temperature distribution
- Standard and custom inserts, to match your probe diameters and to comply with ISO9000
- Optional built-in indicator
- RS485 interface option
- Ideal for use with ASL's F250 Precision Thermometer

Figura 287

Block seco de calibración con un termómetro de precisión y sensor.

Calibración de los Termómetros de Vidrio.

Los termómetros de vidrio son indicación local de temperatura y por la característica de construcción no son posibles de calibrar, sino sólo comprobar si su lectura resulta correcta, si son incorrectas deben ser sustituidos. En todo caso, si su error es del cero, puede desplazarse la escala para corregirlo. Es recomendable que los termómetros de líquido en vidrio se mantengan en posición vertical, tanto al realizar la calibración como al hacer las mediciones. Tomar lecturas con el termómetro en posición horizontal genera un error aleatorio.

Calibración de los Termómetros Bimetálicos

Los termómetros bimetálicos disponen únicamente de ajuste de cero.

Calibración de los Termómetros Tipo Bulbo

Para la calibración de este tipo de termómetro, se tiene ajuste cero y span (multiplicador). Estos termómetros están rellenos de líquido, gas o mercurio. Dependiendo del tipo de bulbo empleado, hay que revisar la linealidad de la escala y el hecho de que los termómetros actuados por vapor presentan una diferencia de alturas de líquido condensado entre el bulbo y la caja donde está la espiral térmica, esto se puede apreciar mejor en la Figura 285

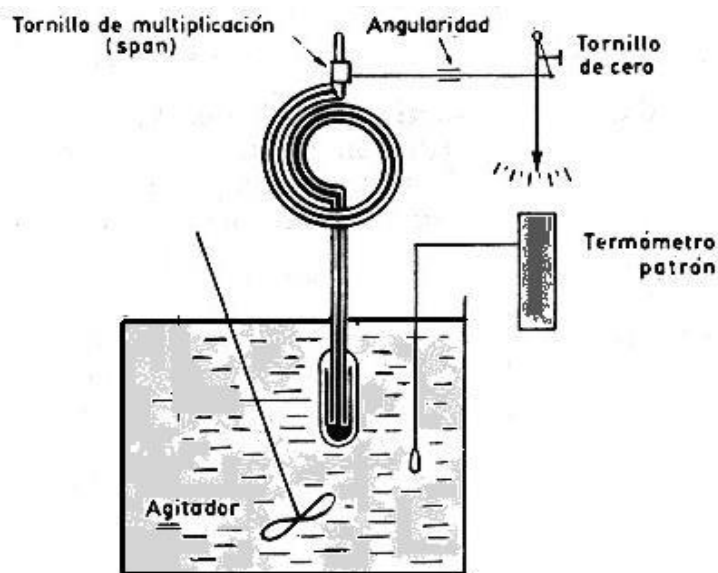


Figura 288

Calibración de un termómetro tipo bulbo

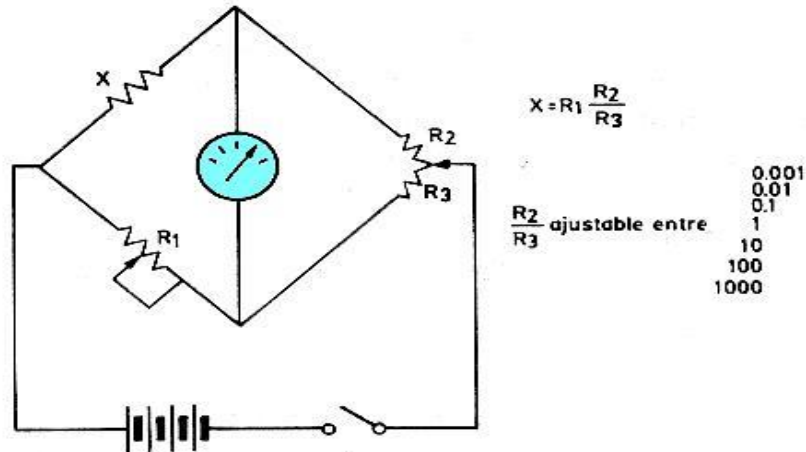
Calibración de termómetros de resistencia.

En la calibración de los termómetros de resistencia hay que chequear el sensor y el instrumento que mide la resistencia y la transforma en una señal eléctrica estandarizada o en una medición de temperatura. Para chequear el sensor se puede emplear un calibrador de puente de Wheatstone, como el que se muestra en la Figura 288. La sonda de resistencia desconocida que se está midiendo equivale a:

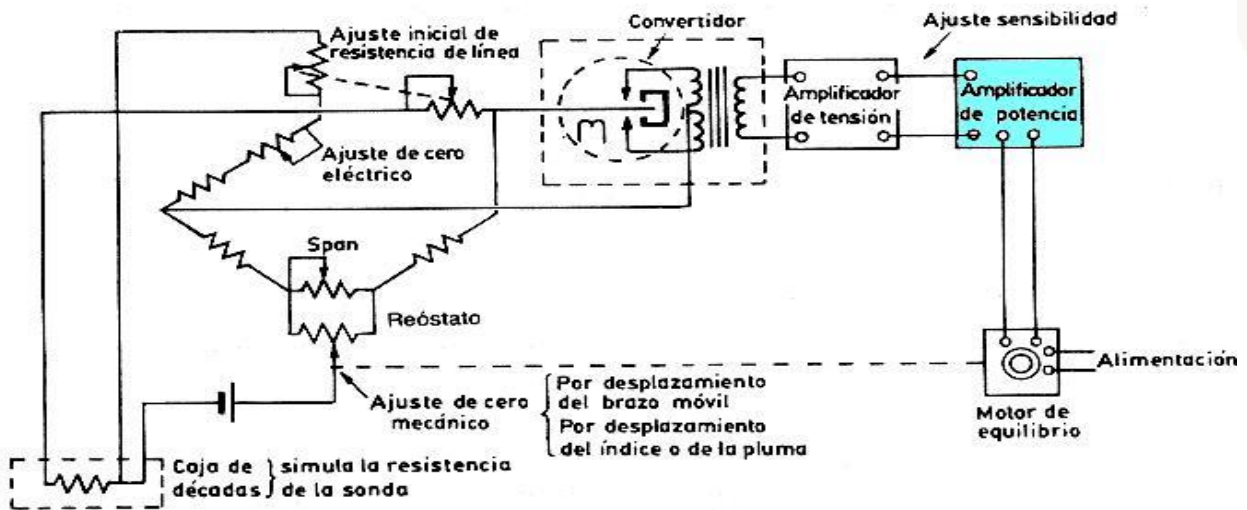
$$X = R1(R2/R3)$$

Aquí no existe compensación de temperatura ya que la temperatura ambiente no tiene influencia y la única precaución a adoptar es hacer las conexiones con cable de sección adecuada para que no presente resistencia que pueda influir significativamente en la lectura. R1, es una resistencia que puede variarse en forma continua entre múltiplos de 10 (9 X 1, 9 X 10, 9 X 100, 9 X 1000), y la relación R2/R3 varía desde 0,001, 0,01, 0,1, 1, 10, 100, 1000.

En el caso del equipo de medición del sensor se emplean cajas de décadas (cajas de resistencias patrones) que simulan los valores resistivos del sensor, usando ampliamente la tabla de ohm. El procedimiento de calibración es actuar sucesivamente sobre los tornillos de cero y de multiplicación (span) del instrumento y como comprobación se verifica la indicación del aparato para el 50 % del campo de medida. La precisión correspondiente a las cajas de resistencias patrones es elevada, del orden del 0,01 al 0,2 % del campo de medida. Cuando se tiene el ajuste 0,50 y 100 %, se verifican los valores 25 y 75 %.



a) Comprobador de puente Wheatstone



b) Puente de Wheatstone autoequilibrado

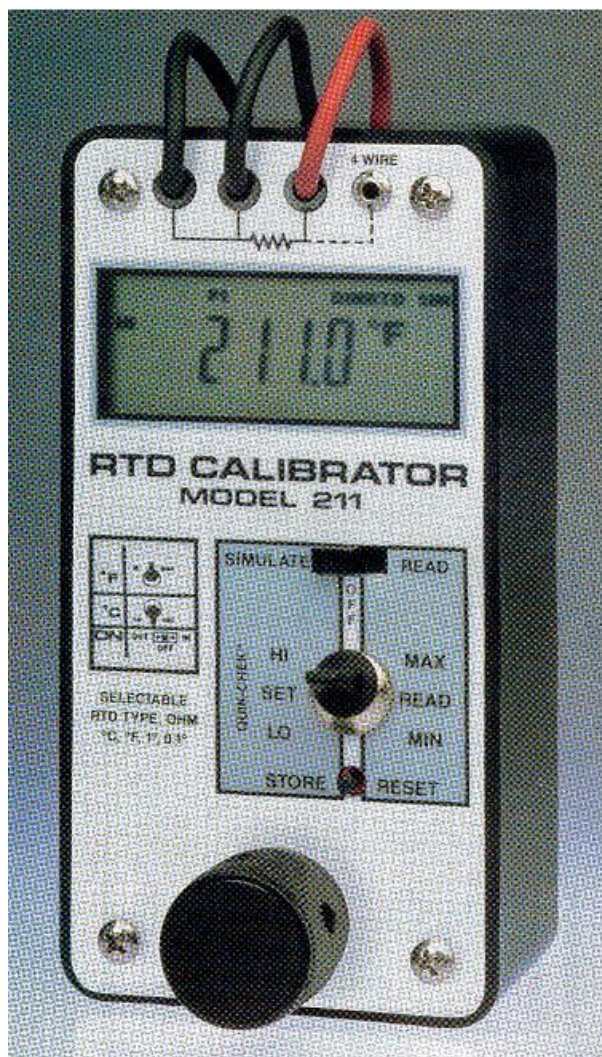
Figura 289

Calibración de un termómetro de resistencia.

Al señalar que los pasos anteriores de comprobación de las sondas de resistencia o de los instrumentos de puente de Wheatstone, se ven facilitados por el uso de aparatos con microprocesador incorporado, se puede decir que estos instrumentos disponen en memoria de los valores de las tablas de características de sonda de resistencia o de las fórmulas de cálculo.

Calibradores de lazo

Los calibradores electrónicos tienen la opción de calibrar el sensor como el instrumento de medida de temperatura.



SPECIFICATIONS

(Unless otherwise specified, specifications are in % of Span in degrees or Ω at 1.0mA excitation current at 25°C)

General

Accuracy $\pm 0.04\% \pm 1 \text{ LSD}$

Temperature Drift $\pm 0.01\% / ^\circ\text{C}$

Low Battery "BAT" indication on LCD at 7 volts nominal, approximately 10 hours left

Carrying Case Included, zippered with belt loop

Source Mode (Simulation Of Resistance Output)

Output

Resistance Range 0.10 to 47.1 Ω

Allowable External Excitation Current 0.175 to 2.000mA, DC

Smart Transmitter Compatibility Accepts intermittent excitation with minimum 125msec fixed current at minimum repetition rate of 1/sec

Figura 290

Calibrador electrónico de termómetro de resistencia.

Calibración de Termocupla e Instrumentos con Termocuplas.

Aquí se pueden presentar dos casos:

Revisión de la termocupla.

Calibración de un instrumento de temperatura.

Hay que tomar en cuenta el efecto de variación de la f.e.m. de la termocupla al cambiar la temperatura de la unión fría contenida en la caja del instrumento, sea éste el propio calibrador potenciométrico o el aparato, y además debe considerarse el efecto de autocompensación de las variaciones de temperatura de la caja del instrumento que se está verificando (la mayoría de aparatos disponen de compensación de temperatura ambiente).

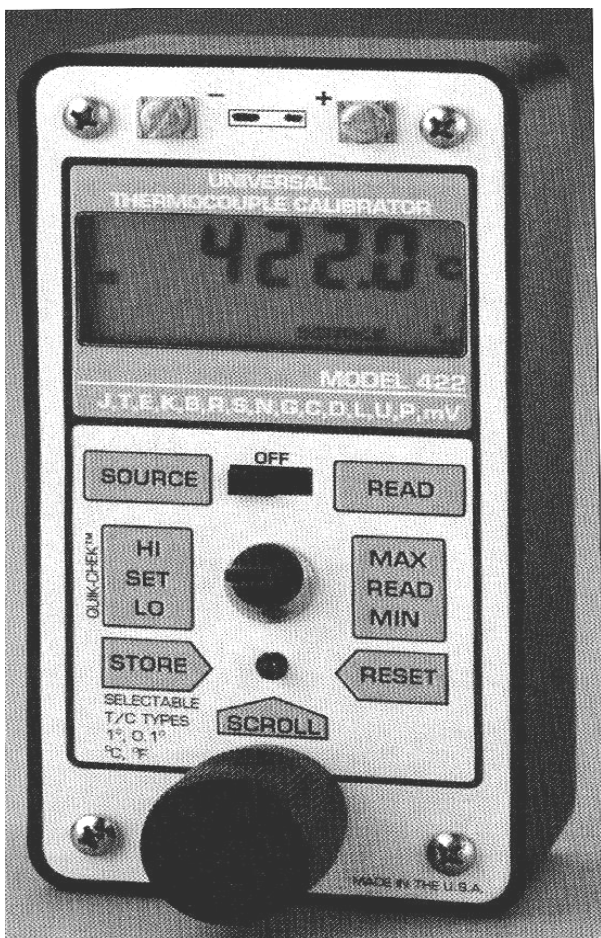


Figura 291

Calibrador electrónico para termocuplas.

SPECIFICATIONS

GENERAL	
General accuracy	$\pm 0.007\%$ of 200 millivolt span @ 25°C.
Cold junction compensation	Built-in for specified thermocouple type, characterized to T/C curve.
Cold junction temperature effect	within 0.05 % change in ambient temperature over operating range.
Operating temperature range	5° to +140°F (-20° to +60°C).
Storage temperature range	22° to +175°F (-30° to +80°C).
Relative humidity	10 to 90%, non-condensing.
Zero stability	included in cold junction effect.
Warm up time	1 minute to rated accuracy.
Overload protection	120 volts AC/DC for 30 seconds on connecting leads, in any mode.
Battery life	9 volt alkaline; 40 hours.
Low battery	"bat" indication on LCD at 7 volts nominal, approximately 10 hours left.
Reference drift	<10 ppm/c.
Overall size.	2½ x 2½ x 5¼ inches (63.5 x 66.7 x 130 mm).
Weight	10.9 oz. (0.31kg).
Carrying case	Included, zippered with belt loop and shoulder strap.
SOURCE MODE	
Output impedance	<0.1Ω.
Source current	Up to 8 ma (drives 80mv into 10 Ω).
Output noise	4 microvolts p-p for frequencies of 10 Hz or below.
Overload	indicates over and blanks digits
READ MODE	
Input impedance	>10 MΩ.
Open thermocouple detection	450 millisecond check pulse. Nominal threshold, 10 kΩ. Displays "—" for open circuit
Normal mode rejection	50/60 Hz, 50 db.
Common mode rejection	50/60 Hz, 120 db.

Calibración de Pirómetros de Radiación

La calibración de los pirómetros de radiación puede realizarse captando la radiación de un cuerpo negro de temperatura conocida. El cuerpo puede situarse dentro de un horno de temperatura y enfocar el pirómetro hacia el cuerpo a través de un agujero practicado previamente en el horno. El cuerpo estará en condiciones de cuerpo negro, ya que absorberá todas las radiaciones y no emitirá ninguna (la pequeña abertura del horno es despreciable) y, por tanto, su coeficiente de emisión será la unidad. Si el cuerpo no es negro, su emisividad puede variar según sea el material y el estado de su superficie (ver Tabla 40) el cual no siempre es conocido, por lo que no interesa tomarlo para la calibración,

Sea, por ejemplo, un pirómetro de radiación con lente de pyrex que enfoca un objeto dentro de un horno (condiciones de cuerpo negro - emisividad = 1).

En los bornes de salida del pirómetro se leen 5,3 [mV]. En la tabla de f.e.m. de los pirómetros se leen por interpolación:

1070° C para 5,21 [mV]

10800° C para 5,43 [mV] o sea, $0,22/10 = 0,09/x; \quad x = 4^{\circ} \text{C}$

Y la temperatura es de 1074° C.

F.e.m de los pirómetros de radiación.

Lente de pyrex							
°C	400	500	600	700	800	900	1000
MILIVOLTIOS							
0	0,04	0,13	0,29	0,65	1,29	2,31	3,81
10		0,14	0,32	0,70	1,37	2,43	3,99
20	0,05	0,15	0,35	0,75	1,46	2,57	4,17
30		0,16	0,38	0,81	1,55	2,71	4,35
40	0,07	0,17	0,41	0,87	1,64	2,85	4,55
50		0,19	0,44	0,93	1,74	2,99	4,77
60	0,09	0,21	0,48	0,99	1,85	3,14	4,99
70		0,23	0,52	1,06	1,96	3,30	5,21
80	0,11	0,25	0,56	1,13	2,07	3,46	5,43
90		0,27	0,60	1,21	2,19	3,63	5,65
100	0,13	0,29	0,65	1,29	2,31	3,81	5,89

°C	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
MILIVOLTIOS							
0	5,89	8,79	12,66	17,57	23,66	30,95	39,54
10	6,14	9,13	13,10	18,13	24,34	31,74	40,48
20	6,40	9,49	13,55	18,70	25,02	32,54	41,43
30	6,67	9,85	14,01	19,28	25,71	33,37	42,39
40	6,95	10,22	14,49	19,86	26,41	34,22	43,36
50	7,24	10,60	14,97	20,46	27,13	35,08	44,34
60	7,54	10,99	15,47	21,08	27,87	35,94	45,34
70	7,84	11,40	15,98	21,70	28,63	36,82	46,34
80	8,15	11,82	16,50	22,34	29,39	37,71	47,36
90	8,47	12,24	17,03	22,99	30,17	38,62	48,38
100	8,79	12,66	17,57	23,66	30,95	39,54	49,40

Lente de sílice fundida							
°C	400	500	600	700	800	900	1000
MILIVOLTIOS							
0	0,16	0,38	0,79	1,53	2,69	4,39	6,72
10		0,41	0,85	1,62	2,83	4,59	7,00
20	0,20	0,44	0,91	1,72	2,97	4,79	7,29
30		0,47	0,97	1,82	3,13	5,00	7,59
40	0,24	0,51	1,04	1,93	3,29	5,22	7,89
50		0,55	1,11	2,04	3,45	5,46	8,20
60	0,28	0,59	1,19	2,16	3,63	5,70	8,52
70		0,64	1,27	2,28	3,81	5,94	8,84
80	0,33	0,69	1,35	2,41	3,99	6,19	9,18
90		0,74	1,44	2,55	4,19	6,45	9,52
100	0,38	0,79	1,53	2,69	4,39	6,72	9,88

°C	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
MILIVOLTIOS							
0	9,88	13,99	19,20	25,64	33,41	42,53	53,07
10	10,25	14,46	19,78	26,36	34,26	43,51	54,19
20	10,63	14,94	20,37	27,08	35,13	44,53	55,33
30	11,01	15,44	20,99	27,82	36,00	45,55	56,49
40	11,41	15,94	21,62	28,57	36,88	46,58	57,66
50	11,81	16,45	22,26	29,35	37,76	47,62	58,86
60	12,23	16,97	22,90	30,13	38,68	48,66	60,08
70	12,66	17,51	23,56	30,92	39,62	49,74	61,31
80	13,10	18,07	24,24	31,73	40,59	50,84	62,55
90	13,54	18,63	24,94	32,56	41,56	51,95	63,80
100	13,99	19,20	25,64	33,41	42,53	53,07	65,06

Lente de fluoruro de calcio						
°C	100	200	300	400	500	600
MILIVOLTIOS						
0	0,02	0,11	0,31	0,67	1,26	2,16
10		0,13	0,34	0,72	1,34	2,27
20		0,14	0,37	0,77	1,42	2,38
30	0,04	0,16	0,40	0,82	1,50	2,51
40		0,18	0,43	0,88	1,58	2,64
50	0,06	0,20	0,47	0,93	1,67	2,77
60		0,21	0,50	1,00	1,76	
70	0,07	0,24	0,54	1,06	1,86	
80		0,26	0,58	1,12	1,96	
90	0,10	0,28	0,63	1,19	2,06	
100		0,31	0,67	1,26	2,16	

Tabla 40

Los calibradores con microprocesador ahorran muchos de los pasos de calibración anteriores al disponer de compensación automática de la unión fría y al tener

incorporadas en memoria las tablas “mv-temperatura” de los diferentes tipos de termocuplas utilizados.

Coeficientes de emisión monocromáticos de metales y cuerpos corrientes a 0,65 micras y para distintas temperaturas

<i>Cuerpos</i>	<i>Temperaturas °C</i>	<i>Coeficiente de emisión</i>
Cobre sólido	—	0,11
Cobre líquido	1100	0,15
	1200	0,13
Hierro sólido	1050	0,39
	1530	0,36
Hierro líquido	1535	0,36
Níquel	—	0,37
Platino sólido	—	0,31
Platino líquido	—	0,35
Tungsteno	1000	0,45
	2000	0,43
	3400	0,40
Carbono (grafito)	1000	0,85
	2000	0,90
	3000	0,95
Acero fundido (promedio)	—	0,40
Cupro-níquel fundido (55/45)	—	0,28
Nichrom	600	0,95
	1200	0,80
Óxido de cobre	1000	0,80
	1100	0,60
Óxido de hierro	800	0,98
	1200	0,92
Óxido de níquel	800	0,96
	1300	0,85
Óxido de níquel fundido	—	0,68
Óxido de aluminio puro	900	0,15
	1600	0,15
Óxido de magnesio puro	900	0,20
	1700	0,45
Sílice (briquetas industriales) (promedio)	1000 a 1500	0,52
Silicio-aluminosos (briquetas)	1000 a 1500	0,60-0,80
Carborundum (briquetas)	1000	0,86

Tabla 41

Variable peso

Definición

Atracción De Dos Partículas

Toda partícula de masa m_1 en el universo atrae a toda otra partícula de masa m_2 con una fuerza de gravitación F , la cual, es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas, y actúa a lo largo de la línea recta que las une.

Atracción De Dos Cuerpos

Dado que un cuerpo es un sistema de partículas y las fuerzas de atracción entre estas partículas dentro del cuerpo están en equilibrio, la fuerza de gravitación F de dos cuerpos de masas m_1 y m_2 , es también directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de sus centros de masa y actúa a lo largo de la línea recta que une sus centros. Ver figura 292

La Fuerza de gravitación F es definida analíticamente como:

$$F = G * \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Dónde: r = Distancia entre dos partículas (cuerpos) en m
 m_1, m_2 = Masa de las partículas (cuerpos) en Kg
 G = Constante universal de gravitación en (N-m²/Kg²)

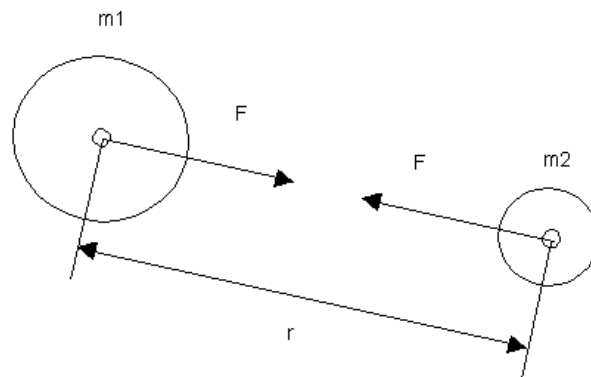


Figura 292

Fuerza de Atracción de Dos Cuerpos

Peso De Un Cuerpo (W)

Es la fuerza de atracción de la tierra a un cuerpo a su superficie. Se define analíticamente como:

$$W = G \frac{M \cdot m}{R^2} = m \cdot g$$

Dónde: M = masa de la tierra en Kg

m = masa del cuerpo en Kg
R = radio de la tierra en m
g = aceleración debido a la gravedad m/s²
G = Constante de gravitación Universal.

Aceleración De Gravedad (G)

Es un valor experimental que varía con la localización geográfica. En tecnología se asume como constante,

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2 = 32,17405 \text{ ft/sec}^2$$

A 45° de latitud y nivel del mar.

Masa De Un Cuerpo

Es determinado experimentalmente como:

$$m = \frac{W}{g}$$

Dónde: W = aparente peso del cuerpo, pesado en una balanza de resorte calibrada fijada a la superficie de la tierra.

Unidades De Masa

En el Sistema Internacional la unidad de masa es 1 Kilogramo, designada como kg, y definida como la masa de un cilindro de una aleación particular de platino – iridio, llamado prototipo internacional de kilogramo, el cual es guardado en Francia por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas.

Los múltiplos y fracciones de 1 kg usados en ingeniería son 1 ton = 1 tonelada y 1 g = 1 gramo:

$$1 \text{ ton} = 1000 \text{ kilogramos} \qquad 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kilogramo}$$

Unidades De Fuerza

En el Sistema Internacional la unidad de fuerza es 1 Newton, designada como 1 N, y definida como la fuerza que ejerce la masa de 1 kg a la aceleración de 1 m/s².

$$1 \text{ newton} = 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} - \text{m/s}^2$$

Los múltiplos y fracciones de 1 N usados en ingeniería son:

$$1 \text{ kilogramo} - \text{fuerza} = 1 \text{ kgf} = 9,807 \text{ N} \qquad 1 \text{ dina} = 10^{-5} \text{ N}$$

Cálculo De Masa

Si el peso de un cuerpo W y la aceleración de gravedad g son valores dados. Entonces la masa del mismo cuerpo es calculada como:

$$m = \frac{W}{g}$$

Cálculo De Peso

Si la masa de un cuerpo m y la aceleración de gravedad g son valores dados. Entonces el peso del mismo cuerpo es calculado como:

$$W = m \cdot g$$

METODOS DE MEDICION

Existen varias formas para medir el peso, algunas de ellas son:

Comparación con otros pesos patrones (balanzas y básculas)

La balanza clásica está constituida por una palanca de brazos iguales llamada cruz que se apoya en su centro y de cuyos extremos cuelgan los platillos, que soportan los pesos. Puede medir desde unos pocos gramos hasta 300 Kg.

La báscula clásica consiste de una palanca apoyada en punto de la que cuelga en un extremo el peso a medir y en el otro que tiene la forma de un rectángulo, dos pesos móviles uno para ajuste grueso y otro para ajuste fino, un indicador determina cuando la báscula está ajustada. La báscula automática consiste de una palanca en ángulo apoyada en su centro con un peso conocido en un extremo y desconocido en el otro. La báscula alcanza siempre una posición de equilibrio marcando directamente en una escala graduada y se le puede adaptar fácilmente una máquina impresora o transmisora de peso.

Las balanzas y las básculas son sencillas y de gran precisión pudiendo alcanzar las primeras del +/- 0,002 al 0,05 % y las segundas el +/- 0,1 %. Sin embargo, presentan los inconvenientes de su lenta velocidad de respuesta, la posible corrosión que ataca el juego de palancas en particular en los puntos de apoyo y que es debida a la suciedad, al polvo, al vapor y humedad presente en ambientes industriales y al desgaste de piezas móviles, lo que redundo en perjuicio de la precisión de las pesadas.

La celda de carga extensiométrica (strain gauge) consiste de una celda que contiene una pieza de elasticidad conocida (por ejemplo acero de módulo de elasticidad $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$) capaz de soportar la carga sin exceder de su límite de elasticidad. A esta pieza está cementada una celda extensiométrica formada por varias espiras de hilo pegado a un soporte de papel o de resina sintética. La tensión o la comparación a que el peso somete a la celda de carga, hace variar la longitud del hilo metálico y modifica por lo tanto su resistencia eléctrica.

La temperatura influye mucho en la medida, por lo cual es necesario utilizar acondicionadores de señal que son puentes de Wheatstone que captan pequeños cambios en la resistencia y compensan los efectos de la temperatura. La adición de un microprocesador eleva la precisión de la medida mediante la utilización de algoritmos de corrección de errores y facilita el ajuste y la calibración.

Las celdas están protegidas contra la humedad y el polvo, tiene una precisión de $\pm 0,2 \%$, admiten indicación a distancia y puede medir pesos de 20 Kg a más de 150 t. Necesitan compensación de temperatura del hilo de resistencia y de la pieza de acero deformable y son relativamente caras.

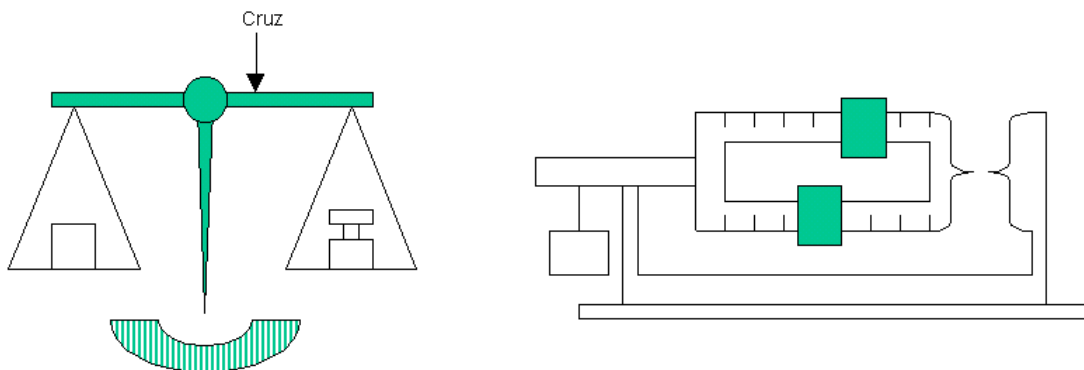


Figura 293

Balanza y Báscula Clásica.

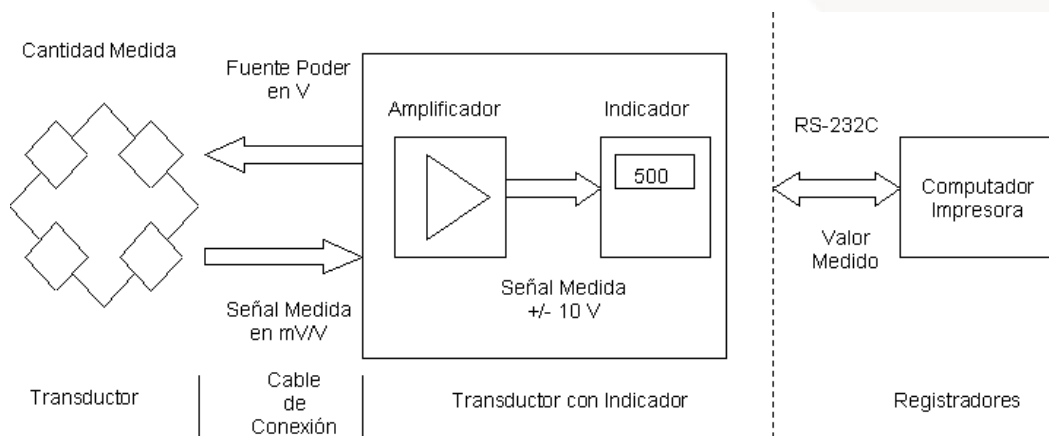


Figura 294

Diagrama Básico de un Sistema de Medición con Celdas de Carga.

La celda de carga hidráulica consiste de un pistón sobre el que se apoya la carga, que ejerce presión sobre un fluido hidráulico. Según la carga y de acuerdo con el área conocida del pistón se crea una presión en el aceite que puede leerse en un manómetro y que por lo tanto refleja directamente la carga. Sumando las presiones hidráulicas de varias celdas de carga y aplicándolas en un transmisor electrónico de equilibrio de fuerzas se obtiene una señal eléctrica que puede leerse en un indicador digital y utilizarse en sistemas de pesaje electrónicos.

El sistema adopta una posición de equilibrio gracias al conjunto tobera-obturador y a la cámara de realimentación del transmisor. La presión del aire alcanzada en esta cámara indica el peso. La capacidad de carga de las celdas neumáticas varía de 10 Kg a 10 t, poseen una precisión de $\pm 0,2 \%$ y se adaptan fácilmente al control neumático con el inconveniente de necesitar aire comprimido.

Las celdas de carga hidráulicas se fabrican para capacidades de carga de 40 Kg hasta 90 t, son de respuesta rápida (menos de 2 segundos), su precisión es de $\pm 0,2 \%$, admiten sobrecargas hasta el 40 %, pueden fabricarse a prueba de explosión y son resistentes a vibraciones.

Las celdas de carga neumáticas consisten en un transmisor neumático de carga en el que el peso situado en la plataforma de carga se compara con el esfuerzo ejercido por un diafragma alimentado a una presión de tarado ajustable.

Comparación de sistemas de medida de peso

Sistemas de medida de peso.

Sistema	Capacidad	Precisión %	Ventajas	Desventajas
Balanza	Gramos a 300 Kg	0,002-0,05	Simple, precisa, barata	Lenta, corrosión local
Báscula	Gramos a Toneladas	0,1	Simple, precisa, barata	Lenta, corrosión local
Celda de Carga Extensiométrica	20 Kg-400 t	0,02-0,2	Instalación simple, indicación a distancia, protegida contra corrosión	Caras, compensación de temperatura
Celda de Carga Hidráulica	40 Kg-90 t	0,2	Instalación simple, resistente a vibración, admite 40 % de sobrecarga, a prueba de explosión, indicación a distancia	Caras, transmisor electrónico para sumar señales de varias celdas, afectada por la temperatura, calibración frecuente
Celda de Carga Neumática	10 Kg-10 t	0,2	Se adapta bien al control neumático, indicación a distancia	Aire de instrumentación, afectada por la temperatura, calibración frecuente

Tabla 42

Basculas para correas transportadoras

Son utilizadas para pesaje continuo y automático de materiales a granel en movimiento, el resultado efectivo de la medición depende de las condiciones de instalación y la distribución de la carga.

Los usos más comunes son:

- Transferencia de custodia de materiales
- Control de inventario
- Medidas y control de procesos

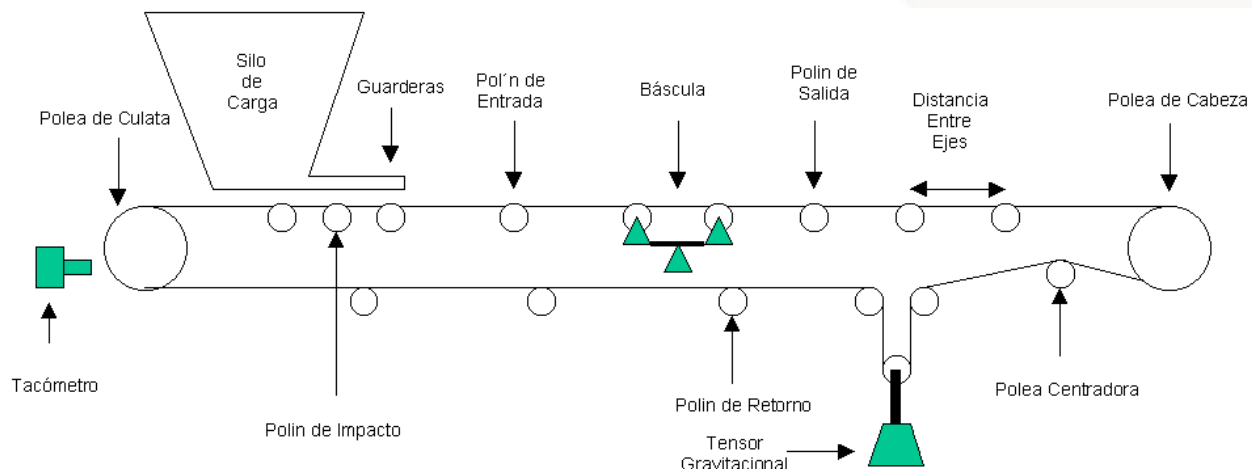


Figura 295

Componentes de un Sistema de Pesaje en Correa Transportadora.

Teoría de operación

Tal como en pesaje estático, en pesaje continuo se requiere una transmisión exacta del peso del producto a un elemento sensor de carga. Esta señal corresponde a una de las dos señales de entrada de una báscula de pesaje continuo.

A diferencia del pesaje estático, en pesaje continuo se requiere una señal proporcional a la velocidad del producto o material transportado, que es la segunda señal de entrada a este tipo de báscula. La señal de velocidad también representa una distancia fija del recorrido de la correa transportadora.

La señal medida por el elemento sensor de carga es representada como masa por unidad de longitud de la correa y la señal medida por el elemento sensor de velocidad es representada como longitud de la correa por unidad de tiempo, estas señales son combinadas en un integrador para producir la totalización del material que ha pasado por la báscula.

Matemáticamente hay dos clases de integradores, los cuales son conocidos como integrador por peso o por flujo.

El integrador por peso mide la carga, el recorrido de la correa y luego contabiliza la masa total de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W = Q \cdot X$$

Dónde: W = Masa total

Q = Masa del material por unidad de largo de la correa

X = Unidad de largo de la correa

El integrador por flujo multiplica la carga por la velocidad de la correa para conseguir un peso por unidad de tiempo, luego integra:

$$W = Q \cdot v \cdot t$$

Dónde: W = Masa totalizada

Q = Masa por unidad de largo

v = Velocidad de la Correa

Con la escala adecuada, la masa totalizada asume unidades significativas de medida tales como: libras, toneladas cortas, toneladas largas o toneladas métricas en el Sistema Internacional.

Además de obtener la masa total del producto se provee una lectura del flujo de material en Kg/hr, tm/hr. Etc.

Componentes principales

Una báscula para pesaje continuo en correa transportadora consta de tres partes principales: sección o área de pesaje, sensor de velocidad y el integrador. Cada una de estas partes realiza una función distinta en el proceso de pesaje continuo de material.

Diversos diseños y tecnologías pueden ser aplicados a estos elementos o partes de la báscula, pero las consideraciones básicas de diseño se aplican a todos. Tales componentes, deben operar con el mínimo de error para que el sistema de pesaje opere en forma exacta.

Sección De Pesaje

Es un área del transportador que contiene una serie de elementos destinados a obtener una señal de peso que sea lo más representativa del material circulante, por lo cual las partes que pueden intervenir son:

Polines de Servicio

Grupo de polines de carga que son considerados parte de la báscula y que juegan un papel muy importante en la ácilfel sistema. Este grupo de polines (mínimo tres a cada lado de los polines de pesaje) se identifica con (+) y (-) dependiendo del sentido de avance de la correa.

Polines de pesaje

Se montan sobre el bastidor de pesaje con las modificaciones adecuadas y que tiene el propósito de transmitir el peso del material bastidor.

Bastidor de Pesaje

Es una estructura que debe transmitir la fuerza resultante del peso del material al sensor de carga, sin agregar fuerzas extrañas.

Es importante que las fuerzas originadas por el recorrido de la correa no sean convertidas en fuerzas sobre el sensor de carga, ver figura 353. En general para realizar esta función, el bastidor debe cumplir los siguientes criterios:

Rigidez adecuada para mínima deflexión.

Estabilidad torsional.

Eliminación de los efectos de fuerza laterales

Minimizar el efecto de carga descentrada

Minimizar la porción de peso de la tara sobre el sensor

Aumentar la porción de peso de la carga en la correa sobre el sensor

Mínima superficie horizontal para acumulación de suciedad

Puntos de pivote sin fricción

Buenas especificaciones de alineación.

Especificaciones que acepten sobrecargas temporales

Unidad construida para fácil instalación

El bastidor o puente de pesaje debe separar las fuerzas de carga de otras fuerzas. Las fuerzas F y H interactúan en el polín. La fuerza V es la fuerza de carga real. Existen puentes de pesaje, se muestran en la Figura 297.

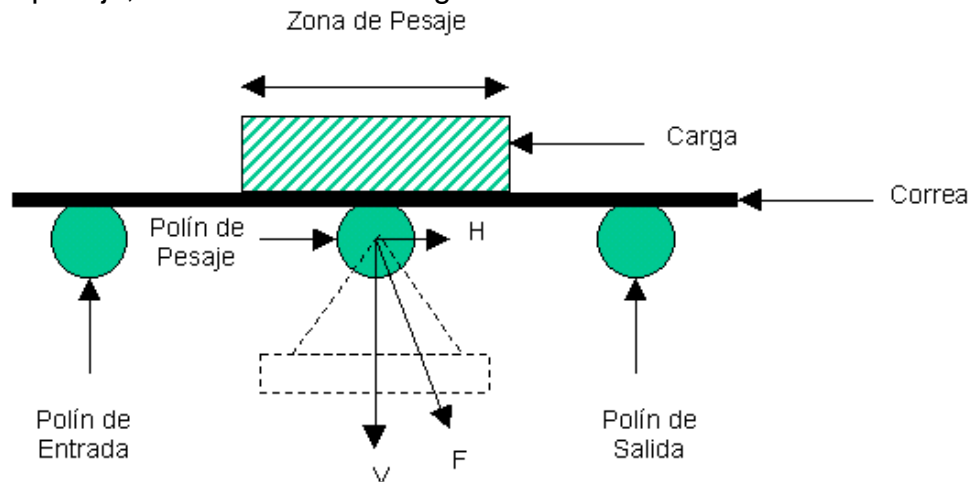


Figura 296

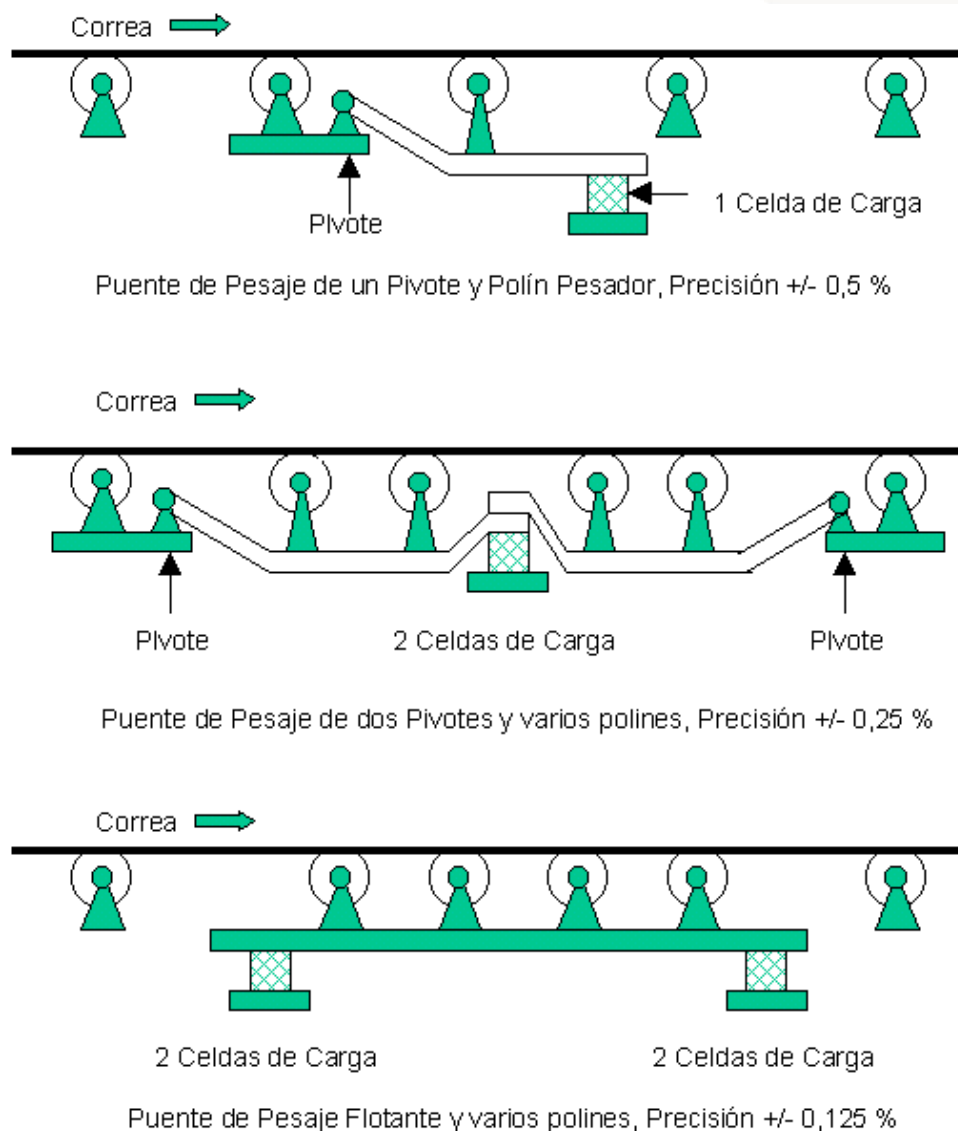


Figura 297

Configuración de Puentes de Pesaje.

Un pivote y un polín precisión $\pm 0.5 \%$.

Dos pivotes y varios polines precisión $\pm 0.25 \%$.

Flotante total y varios polines precisión $\pm 0.125 \%$.

Sensor De Carga

Recibe la fuerza transmitida por el bastidor y la convierte en una señal aceptable para el integrador de masa. Los sensores de carga más utilizados son de:

Equilibrio de fuerza neumática o hidráulica.

Equilibrio de fuerza magnética.

Transformador de desplazamiento variable lineal.

Extensómetros (Strain Gauges).

Las celdas de carga extensométricas tienen la ventaja de ofrecer una deflexión mínima de carga cero a carga total, una celda de carga tiene una deflexión típica menor que 0.08 mm. Otro factor importante es la estabilidad a la temperatura, ya que la mayoría de las básculas son instaladas en el exterior, las celdas de carga operan en un rango de temperatura amplio sin una desviación de cero apreciable, ver Figura 298.

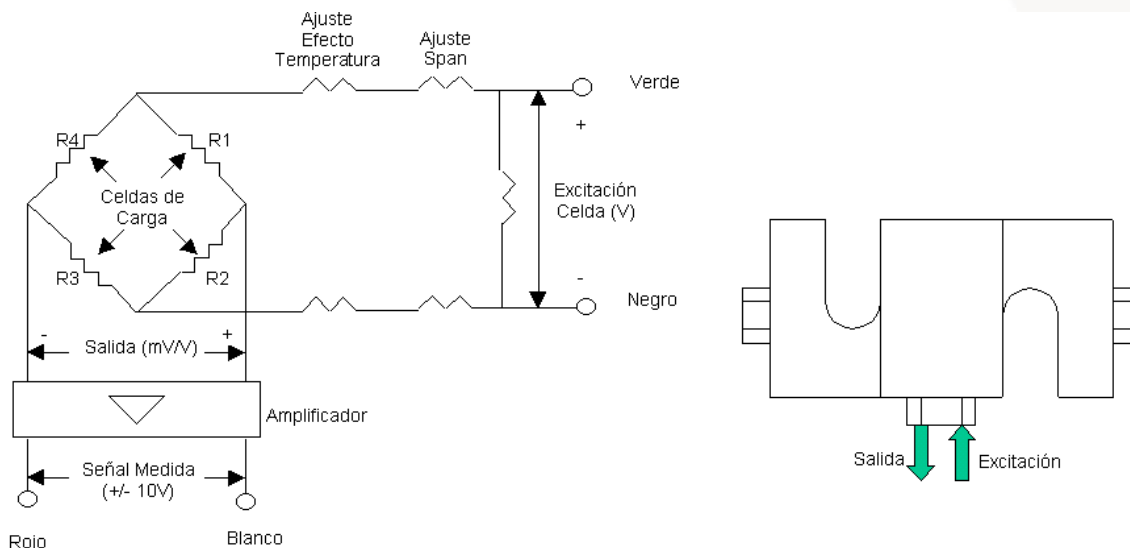


Figura 298

Celdas de Carga Típicas.

Sensor De Velocidad

Es utilizado para generar una señal aceptable para el integrador, la cual es proporcional a la velocidad del material transportado. La velocidad de la correa, se obtiene desde la polea de cola, cuando ésta en contacto, transmitiendo así al sensor de velocidad. El sensor de velocidad, convierte la velocidad de la correa en un tren de pulsos para el totalizador de masa, ver Figura 299.

La disposición típica es la siguiente:

Polea de cola.

Lado inferior de la correa transportadora (polín de retorno).

Polín modificado de la correa transportadora.

El sensor de velocidad o de recorrido de la correa es igualmente importante para la precisión y exactitud de la contabilidad de la masa pesada sobre la báscula. Un error de uno por ciento en la medición de velocidad de la correa producirá un uno por ciento de error en el valor totalizado. Las fuentes comunes de error son las siguientes:

Deslizamiento entre el eje del sensor de velocidad y el machón de acoplamiento en el polín o polea de la correa transportadora.

El eje del sensor de velocidad no está a 90° en la dirección de la polea o polín del motor del tacómetro.

Variaciones en la velocidad de la correa como una función de la tensión.

Inexactitudes en el sensor de velocidad.

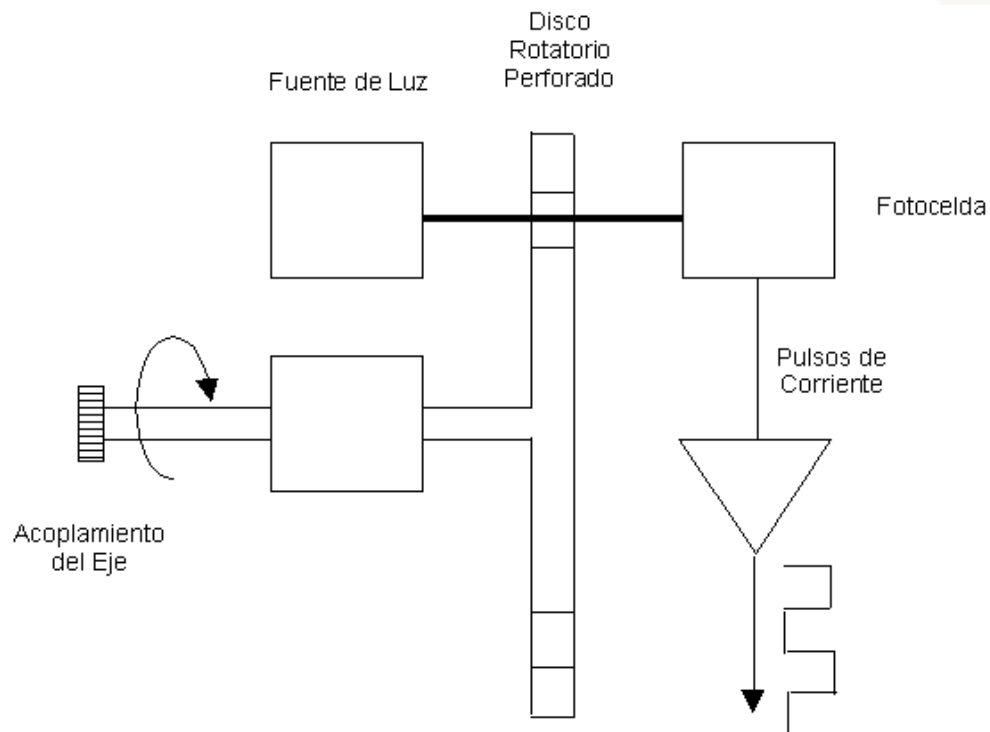


Figura 299

Tacómetro de velocidad o de Frecuencia.

Integrador De Peso

Es un instrumento que opera bajo algún concepto mecánico o electrónico, es usado para contabilizar la masa total transportada por la correa y el flujo al cual se realiza, ver Figura 300.

Se provee una indicación visible y eventualmente el registro de tales valores. También se cuenta con señales opcionales tales como:

Totalización remota.

Indicación de flujo para control de proceso.

Comunicaciones.

Funciones de revisión de calibración y mantención.

El totalizador de masa integra la velocidad y la carga de la correa transportadora para entregar una razón de flujo y una masa total.

Para proporcionar gran exactitud en la medición de masa y una operación conveniente, el integrador debe poseer las siguientes características:

Estabilizar la ganancia y el cero en rango adecuado de temperatura.

Integrar tanto el positivo como el negativo.

Compensación de la velocidad de la correa.

Alta resolución para la calibración.

No existe interacción entre el cero y el span.

Capacidad de cero automática.

Capacidad de span automática.

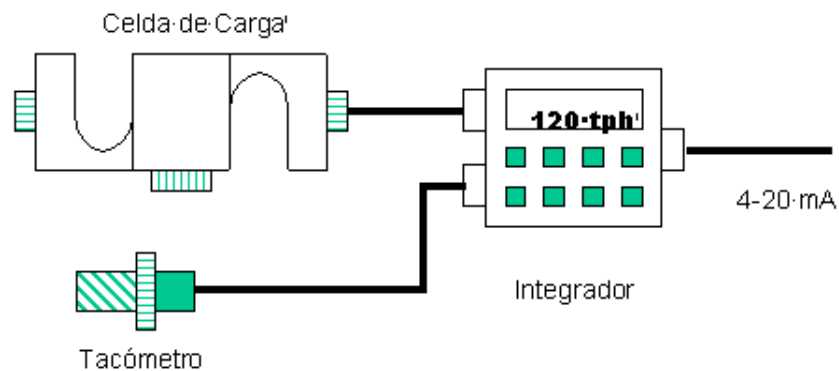


Figura 300

Integrador de Peso.

Alimentadores De Peso

Un alimentador de peso es una báscula de correa autocontrolada que varía la velocidad de la correa para proveer un control de flujo de material.

El material fluye desde un silo o tolva a través de un acondicionador de alimentación antes de cargar la correa. La carga sobre la correa, pasa sobre un sensor de peso. Usando la información de peso y velocidad de la correa, la velocidad de la correa es controlada para entregar la proporción deseada.

Los alimentadores de peso son diseñados, ensamblados y chequeados para una aplicación específica. En el diseño y fabricación de estos sistemas se ejerce cuidado para proveer una operación libre de fallas por muchos años. Siguiendo un adecuado programa de mantención, se puede asegurar un funcionamiento óptimo y mayor vida útil del equipo.

Los siguientes componentes son parte del alimentador y deben ser instalados adecuadamente (Figura 301):

Correa.

Tacómetro.

Sistema Transductor de Peso.

Integrador y Controlador Electrónico.

Controlador de Velocidad (para uso con motores ac o dc).

Motor ac o dc.

Barras de Calibración.

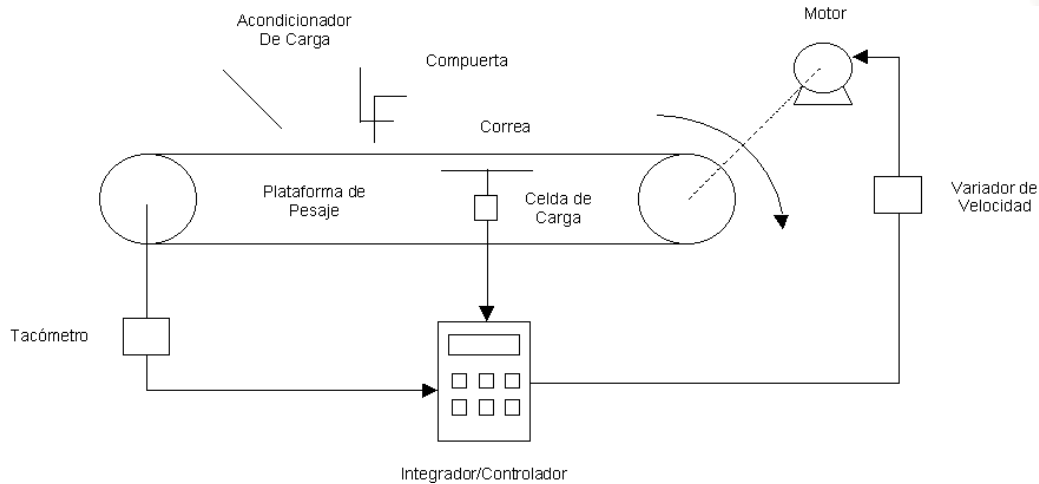


Figura 301

Diagrama de Alimentador de Peso

Rendimiento

El rendimiento de la báscula para pesaje continuo de material en una correa transportadora, está determinado por:

Selección de la báscula.

Diseño de la correa transportadora.

Ubicación de la báscula.

Polines del área de la báscula de la correa.

Instalación mecánica.

Instalación eléctrica.

Mantenimiento.

Selección de la báscula

Dependiendo del uso para la que está destinada, la selección de la báscula determinará el nivel esperado de rendimiento:

Traspaso con tarifa

Tienen una precisión de $\pm 0,25 \%$ y requieren certificación.

Control de procesos

Se usa para monitorear costos, razón de producción y fusión de materiales. El rango de precisión es de $\pm 0,25$ a 1% .

Monitoreo de procesos

Se usa para fines de alarma donde la repetición es la primera prioridad. El rango de precisión es de $\pm 0,5$ a 3% .

7. MANTENCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO

7.1 Pulsera antiestática

¿QUE ES Y PARA QUE SIRVE UNA PULSERA ANTI-ESTÁTICA?



Figura 302

Imagen tomada de:

<http://3.bp.blogspot.com/-Db85XPiR3Dw/T2zhAwz669I/AAAAAAAAAIq/K4zzhTPeSkc/s1600/m-cc3a6f1974.jpg>

La electricidad estática es un enemigo invisible que puede causar estragos en las conexiones internas de los chips y transistores del ordenador. Como es tan fácil que la electricidad estática acumulada se descargue al tocar un disco duro, es recomendable el uso de la pulsera anti-estática.

El cuadro siguiente nos permite examinar las tensiones electrostáticas típicas de actividades comunes.

Medios para generación de estática	Tensión electrostática	
	10% a 20%	65% a 90%
Humedad relativa		
Caminar sobre alfombra	35 000 V	1 500 V
Caminar sobre suelo de vinilo	12 000 V	250 V
Persona en mesa de trabajo	6 000 V	100 V
Sobres de vinilo con instrucciones	7 000 V	600 V
Retirar bolsa de plástico de mesa de trabajo	20 000 V	1 200 V
Persona en silla forrada con poliuretano	18 000 V	1 500 V

Figura 303

Imagen tomada de:

[http://3.bp.blogspot.com/-](http://3.bp.blogspot.com/-NHs49D3TxaY/T2zd7Za8N6I/AAAAAAAAAIQ/Ux8Jvch_m60/s640/captura2.jpg)

[NHs49D3TxaY/T2zd7Za8N6I/AAAAAAAAAIQ/Ux8Jvch_m60/s640/captura2.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-NHs49D3TxaY/T2zd7Za8N6I/AAAAAAAAAIQ/Ux8Jvch_m60/s640/captura2.jpg)

La pulsera anti-estática es un elemento de protección, protege los componentes electrónicos de descargas de electricidad estática con la que se carga el cuerpo humano, y que les puede afectar y en algunos casos puede incluso destruirlos.



Figura 304

Imagen tomada de: <http://1.bp.blogspot.com/-kcKLbvzyHUU/T2zhMTuPQAI/AAAAAAAAAlo/N21FbJzEFDw/s320/antiestatic3.jpg>

Esta pulsera sirve para realizar la descarga de la electricidad estática de nuestro cuerpo a tierra y quedemos descargados de esa nociva "carga" que puede afectar mucho las partes de un pc. Por supuesto que debe tener una buena conexión a tierra. Dicha corriente puede inutilizar y no servir para más nada a un micro, a una placa madre, etc.

¿Por qué se debe utilizar la pulsera anti-estática?

Se debe utilizar para que no se afecten los componentes electrónicos, porque nuestro cuerpo contiene carga, a veces en exceso.

Nota: El material referente a la pulsera estática fue extraído íntegramente de:

<http://jaimersonmendez-95.blogspot.com/2012/03/que-es-y-para-que-sirve-una-pulsera.html>

7.2 Instalación de la válvula de control

PROCEDIMIENTOS PREVIOS A LA INSTALACION

Las sugerencias presentadas a continuación son de carácter general y no deben tomarse en cuenta por sobre las instrucciones detalladas de los fabricantes de una válvula en particular. Para tal efecto, refiérase a los manuales específicos de la válvula y actuador.

Antes de proceder a instalar la tubería, deben realizarse algunas labores de carácter preventivo, de tal modo de evitar daños del equipamiento. A continuación se detallan algunas de ellas.

Leer El Manual De Instrucciones

Es muy importante leer y seguir cuidadosamente las instrucciones dadas por el fabricante de la válvula antes de la instalación.

Específicamente estos manuales entregan las instrucciones para mantener la seguridad de los operarios y tomar todas las precauciones durante la instalación de la válvula, para evitar daños personales.

De este modo, se asegura una correcta y fácil instalación, siguiendo los procedimientos de seguridad.

Asegurarse Que La Tubería Está Limpia

Cualquier material, partícula o suciedad en la tubería podría dañar la superficie del asiento de la válvula, o incluso obstruir el movimiento del tapón o disco de la válvula para que la válvula no pudiera cerrar apropiadamente.

Para ayudar a reducir la posibilidad de que ocurra una situación peligrosa, todas las tuberías deben ser sopladas con aire antes de la instalación de la válvula.

Asegúrese de que han sido removidos: astillas de metal, restos de soldadura, arenilla y otros materiales externos que puedan dañar el asiento de la válvula.

También, si la válvula tiene conexiones para atornillado en el extremo, un compuesto sellante de cañería de buena calidad, sólo deberá aplicarse a los hilos machos de la tubería.

No use sellante en los hilos hembras en el cuerpo de la válvula porque el exceso de compuesto en los hilos hembras podría forzarlo hacia dentro del cuerpo de la válvula. Esto podría terminar pegando el tapón de la válvula o acumulación de suciedad, lo cual no permitiría un buen cierre de la válvula.

Inspeccione La Válvula De Control Antes De La Instalación

Aun cuando los fabricantes de la válvula sigan ciertos pasos para prevenir daños de la válvula producto del embarque, cualquier daño puede y debe descubrirse e informarlo antes de que la válvula sea instalada.

No Instale Una Válvula De Control Sabiendo Que Ha Sido Dañada En El Embarque

Antes de la instalación, chequear y quitar todos los sellos de envío y los tapones plásticos de protección o cubiertas superficiales de empaquetadura. Verifique dentro del cuerpo de la válvula para asegurarse que ningún objeto extraño está presente.

Correcta instalación de la válvula en la tubería

La mayoría de las válvulas de control pueden instalarse en cualquier posición. Sin embargo, el método más común es con el actuador vertical y sobre el cuerpo de la válvula.

Si es necesario montar el actuador en forma horizontal, considere la posibilidad de proporcionar apoyo vertical adicional para el actuador. Asegúrese de que el cuerpo de la válvula se instala de modo tal que el flujo de fluido esté en la dirección indicada por la flecha de flujo ubicada en el cuerpo de la válvula.

Asegúrese de que se dispone de un espacio amplio por arriba y/o debajo de la posición de instalación de la válvula, para permitir levantamiento fácil del actuador o tapón de la válvula, para la inspección y procedimientos de mantenimiento.

Las distancias entre partes son normalmente suministradas por el fabricante de la válvula en planos de dimensiones certificados.

Para los cuerpos de válvulas flangeadas, asegúrese que las pestañas se alinean apropiadamente para proporcionar contacto uniforme en las superficies de la empaquetadura. Acomode los tornillos suavemente estableciendo alineación apropiada de la pestaña y luego termine apretándolos de acuerdo a la secuencia de apretamiento mostrado en la Figura 305.

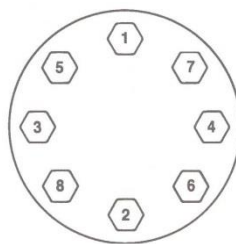


Figura 305

Orden de apretamiento de los pernos.

Esto evitará la carga desigual en la empaquetadura y ayudará a prevenir goteras, así como evita la posibilidad de dañar, o incluso romper, la propia pestaña.

Esta precaución es particularmente importante cuando las pestañas que une son de materiales diferentes, como es el caso cuando un cuerpo de válvula de fierro se atornilla entre las pestañas de una tubería de acero.

Una vez montada la válvula, use tubería de 1/4 ó 3/8 de pulgada desde la conexión de presión en el actuador hasta el controlador.

Intente mantener esta distancia relativamente corta e intente minimizar el número de montajes y codos para reducir el tiempo de retardo del sistema. Si están involucradas largas distancias, debe usarse en la válvula de control un posicionador o un propulsor (booster) para la válvula de control.

Medidas de precaución y seguridad

Las siguientes son medidas de precaución y seguridad que deben tomarse antes de realizar cualquier instalación o mantenimiento, para prevenir daños personales.

No Exceda Los Límites Admitidos De La Válvula

Exceder los límites señalados en la válvula puede causar averías y conducir a pérdidas de presión incontroladas. Peligro de daños o de heridas personales.

No Desmantele La Válvula Ni La Desacople De La Tubería Mientras Está Presurizada

Desmantelar o desacoplar una válvula presurizada puede conducir a pérdidas de presión descontroladas. Aísle siempre la porción relevante de la tubería, libere la presión de la válvula y vacíela totalmente antes de desmantelarla.

Preste atención al tipo de medio que esté empleando. Proteja al personal y al ambiente contra cualquier sustancia nociva o venenosa. Peligro de daños o heridas personales.

Cuidado Con El Movimiento Cortante Del Obturador

Para cualquier tipo de válvula, cuando la válvula se acciona, el obturador funciona como elemento de corte, por lo que pueden causar heridas cortantes. Por ejemplo, en el caso de una válvula de bola, el elemento cortante es la bola; en una válvula mariposa, el elemento cortante es el disco.

Por precaución, cierre y separe la tubería de presión del actuador durante el mantenimiento de la válvula

Mantenga las manos o cualquier otra parte del cuerpo, herramientas y otros objetos fuera del orificio de flujo abierto. No deje objetos extraños dentro de la tubería. Peligro de daños o heridas personales.

Protegerse De Las Emisiones De Ruido

La válvula puede emitir ruidos durante su uso, cuyo nivel depende de la aplicación. Observar la legislación laboral vigente sobre emisiones de ruido.

Cuidado Con Las Temperaturas Extremas

El cuerpo de la válvula puede estar muy frío o muy caliente durante su uso. El personal debe estar convenientemente protegido contra heridas producidas por el frío o quemaduras.

Protección Personal

Si por los conductos han fluido materiales cáusticos, tóxicos, ácidos u otras materias peligrosas, se deberán lavar los conductos. Si las líneas no se pueden lavar, asegúrese de proporcionar una protección adecuada al personal de mantenimiento, por ejemplo respirador, ropa, equipo de ventilación, etc.

Asegúrese siempre de que se conocen qué medidas de seguridad utilizar para neutralizar un compuesto en caso de que esté en contacto con los conductos.

7.3 Mantenimiento de la válvula de control

La optimización de los recursos de la válvula de control dependerá de un programa y una filosofía efectiva de mantenimiento.

Por lo tanto, el mantenimiento puede clasificarse en tres grandes etapas:

Mantenición correctiva, mantención preventiva y mantención predictiva.

Correctiva

Esta acción es tomada después de que ha ocurrido un evento. Consiste en esperar que algo le ocurra a la válvula y entonces repararla o reemplazarla.

Preventiva

La acción es tomada basándose en un itinerario basado en un historial, esto es, para intentar prevenir que algo malo le ocurra a la válvula.

Predictiva

La acción es tomada basándose en una entrada de campo usando técnicas modernas de monitoreo, realizando test de diagnósticos no intrusivos con dispositivos de evaluación y softwares apropiados o usando instrumentación inteligente.

Los programas de trabajo de mantenimiento correctivo y preventivo no optimizan todo el potencial de la válvula.

En cambio, actualmente, el uso de válvulas inteligentes, que incorporan microprocesadores, en conjunto con diversas herramientas digitales y softwares de

comunicación permiten obtener importantes ventajas de la mantención predictiva, como son:

Diagnóstico de la válvula en línea

Calibración y configuración automática de la válvula

Diagnósticos, reportes y registros de tendencia del trabajo de la válvula en forma remota.

Actualmente, los fabricantes de válvulas proveen sistemas de comunicación que permiten el monitoreo a distancia, utilizando los protocolos adecuados, a través de teléfonos celulares o de Internet.

Para realizar rutinas uniformes y procedimientos de mantenimiento para una válvula del control, es importante que el personal de mantenimiento tenga una completa comprensión de la construcción fundamental y funcionamiento de la válvula.

Sin este conocimiento, los equipos podrían dañarse inadvertidamente, o podría causar lesiones al hombre de mantenimiento u otras personas en el área.

La mayoría de los fabricantes de válvulas proporcionan medidas de seguridad sugeridas en sus instrucciones detalladas y manuales de funcionamiento. Normalmente, también se suministra un plano de la válvula para ayudar a entender el funcionamiento del equipamiento así como para proporcionar identificación de sus partes componentes.

En todos los tipos de válvulas de control, el actuador proporciona la fuerza para posicionar un tapón móvil de la válvula, disco, o bola, en relación al asiento estacionario o la superficie sellante.

La parte móvil debe responder libremente a los cambios de la presión en el actuador.

Antes de empezar cualquier procedimiento de mantenimiento; asegurarse de toda la presión de la línea está apagada y libre del cuerpo de la válvula y también que toda la presión al actuador está apagada y la presión encerrada gradualmente aliviada.

El no tomar precauciones adecuadas podría crear una situación de riesgo para el equipo o daño al personal.

A menudo las políticas de mantenimiento corporativo o los códigos existentes requieren mantenimiento preventivo en una programación regular.

Usualmente, tales programas incluyen inspección por el daño de todos los principales componentes de válvula y reemplazo de todas las empaquetaduras, sellos o-ring, diafragmas, etc.

Las siguientes son una serie de procedimientos de mantenimiento normalmente realizados y algunas instrucciones generales para realizar cada procedimiento.

Se recuerda al lector que normalmente el fabricante entrega instrucciones específicas para el procedimiento de mantenimiento, detalladas con el equipo de la válvula de control; las cuales deben seguirse cuidadosamente.

Reemplazo Del Diafragma De Actuador

Después de aislar la válvula de toda la presión, alivie toda la compresión del resorte en el resorte principal, si posible. (En algunos actuadores de resorte y diafragma para el uso en cuerpos de válvula de eje rotatorio, la compresión del resorte no es externamente ajustable. La compresión inicial del resorte está seteada en la fábrica y no necesita ser soltado para cambiar el diafragma.)

Quite el casco superior del diafragma. En actuadores de acción directa, el diafragma puede ser levantado y reemplazarse con un nuevo.

En actuadores de acción inversa, la cabeza del armazón del diafragma debe desmontarse para cambiar el diafragma.

La mayoría de los actuadores de resorte y diafragma neumáticos utilizan un diafragma amoldado para el servicio de la válvula de control.

El diafragma amoldado facilita la instalación, proporciona una área eficaz relativamente uniforme a lo largo del movimiento de la válvula, y permite el mayor movimiento que podría ser posible si fuera usado un diafragma de lámina plana.

Si se usa un diafragma de lámina plana en una reparación de emergencia, debe reemplazarse lo más pronto posible con un diafragma amoldado.

Cuando se re ensambla el casco del diafragma, apriete los tornillos de la gorra firmemente y uniformemente alrededor del perímetro del casco para prevenir fugas.

Reemplazo Del Empaque Del Eje

El empaque del bonnet, el cual proporciona el sello de presión alrededor del eje de un cuerpo de válvula de estilo globo o de ángulo, pueden necesitar ser reemplazados si se desarrollan fugas alrededor del eje, o si la válvula es completamente desmontada para un mantenimiento o inspección.

Antes de empezar a quitar las nueces de empaque, asegúrese que no hay presión en el cuerpo de la válvula.

A continuación sólo se presentan las técnicas de Instalación y mantenimiento típicas para válvulas Tipo Bola, Mariposa y Globo. En primer lugar se presenta el proceso de Instalación y Montaje, y luego se presenta el procedimiento de Mantenimiento que debe efectuarse.

7.4 Instalación, mantenimiento y cambio de un sensor discreto

Esta unidad aborda los aspectos de la instalación de sensores de tipo discreto, estableciendo las condiciones de instalación y algunas consideraciones de calibración y ajuste.

Uno de los primeros y principal antecedente que se debe considerar antes de proceder a instalar o cambiar un sensor, es de disponer del diagrama de alambrado, el cual se encontrará en el catálogo del instrumento u hoja de datos de este. En el caso de cambiar un sensor y no disponer del diagrama se deberá hacer un levantamiento de las conexiones existentes antes de llevar a cabo esta acción. El procedimiento para retirar un sensor que se va a cambiar es el siguiente:

Detener el proceso y desenergizar el sensor.
Comparar la conexión existente con el diagrama de alambrado.
Retirar el sensor y proceder a instalar el nuevo.

Para instalar un sensor el procedimiento es el siguiente:

Detener el proceso y montar el sensor
Conectar las salidas según diagrama de alambrado
Energizar el sensor y calibrarlo de acuerdo a catálogo.
Verificar su operación
Iniciar el proceso.

Instalación y ajuste de un limit switch

Existen diferentes modelos de limit switch y según sus aplicaciones se diferencian por:

Temperatura de operación.
Tipo de actuador.
Tipo de empaque.
Rendimiento de los contactos.
Número de circuitos.

Sin embargo, al momento de instalar un limit switch, se debe definir la trayectoria de operación de este y los niveles de torque/fuerza máximo que admite el actuador.

La trayectoria de operación del limit switch deberá fijarse en forma perpendicular o paralela, según la aplicación y el tipo de actuador, a la trayectoria del objeto a detectar.

Al momento de ajustar la posición de este hay que considerar el punto o momento de operación requerido y trayectoria máxima, para evitar daños.

Instalación y ajuste de sensor inductivo

Al momento de instalar un sensor inductivo se debe tener presente los siguientes antecedentes:

Si posee blindaje o no.

Superficie de montaje disponible.

Presencia de líneas eléctricas con altos niveles de corriente.

Diámetro del sensor a instalar.

Led indicador de operación

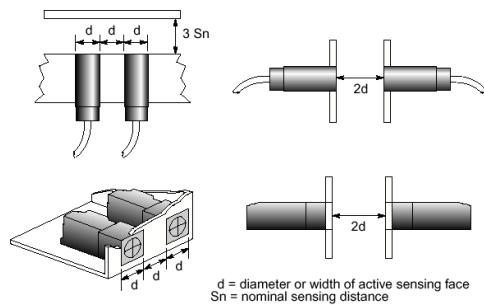


Figura 306

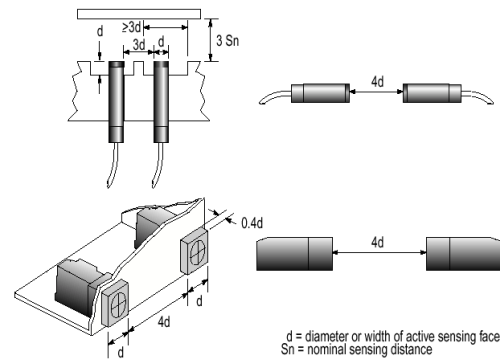


Figura 307

Distancia de montaje Sensor Inductivo con blindaje.

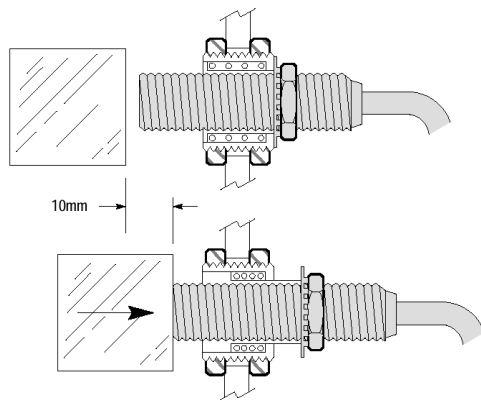


Figura 308

Distancia de montaje Sensor Inductivo sin blindaje.

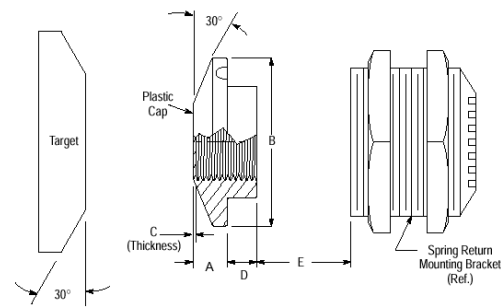


Figura 309

Montaje Retráctil, evita daños al sensor por choque del objeto.

Casquete. Complementa al montaje retráctil, para evitar daños por choque lateral al sensor de parte del objeto.

Las distancias de montaje entre sensores adyacentes y/o opuestos está determinado por el diámetro de sensor, la superficie (caso metal) y si posee blindaje. Estas distancias se pueden apreciar claramente en las Dibujos siguientes.

En el caso de utilizarse superficie de montaje sobre un material no metálico, los sensores pueden ser ubicados en forma superficial, pero se mantienen el resto las distancias de separación mínimas.

Debido al principio magnético de este tipo de sensor, debe estar distante de las corrientes fuertes, ejemplo: líneas de energía de máquinas de soldadura, por los que se recomienda que este a una distancia mayor de 60 mm de una línea de energía.

Al momento de ubicar el sensor este debe quedar con sus led indicadores, de forma que puedan fácilmente ser observables por el operador.

Los elementos adicionales recomendables de utilizar en el montaje, son la montura retráctil, casquete y golillas de seguridad. Para el nivel de torque y el número de vueltas de apriete, hay que referirse al fabricante o catálogo.

Para ajustar la ubicación de este sensor hay que considerar la distancia nominal de la medida y el tipo de metal a sensar. Se debe definir la distancia máxima de operación para la superficie metálica de la aplicación. Posteriormente, se procede a ubicar el sensor de tal forma que la distancia del objeto a la cara activa sea mucho menor a la distancia máxima de operación determinada para el metal.

Instalación y calibración del sensor capacitivo

En la instalación de un sensor capacitivo se debe tener presente:

Si posee blindaje o no.
Superficie de montaje.
Diámetro del sensor.
Led de operación.

Las distancias de montaje entre sensores adyacentes y/o opuestos está determinado por el diámetro de sensor, la superficie y si posee blindaje. Las distancias mínimas se pueden apreciar claramente en las siguientes Dibujos.

Al momento de ubicar el sensor este debe quedar con los led indicadores, de forma que puedan fácilmente ser observables por el operador.

Este tipo sensor también debe estar distante de las corrientes fuertes.

Los elementos adicionales recomendables de utilizar en el montaje de este tipo de sensor son la montura retráctil, pozo, golillas de seguridad. El nivel de torque y el número de vueltas de apriete, hay que referirse al fabricante.

Para ajustar la ubicación de este sensor hay que considerar la distancia nominal de medida y el tipo de material a sensar. Se determina la distancia máxima de operación para el material de la aplicación. Se ajusta el potenciómetro a la mínima sensibilidad y se ubica el sensor de tal forma que la distancia del objeto a la cara activa sea menor a

la distancia máxima de operación determinada para el material, luego se comienza a ajustar el potenciómetro hasta que se active la salida del sensor.

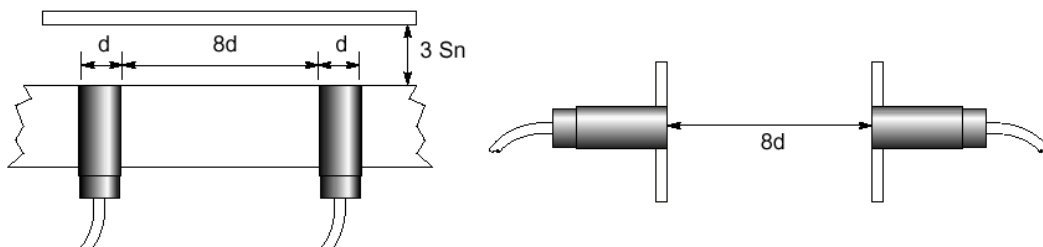
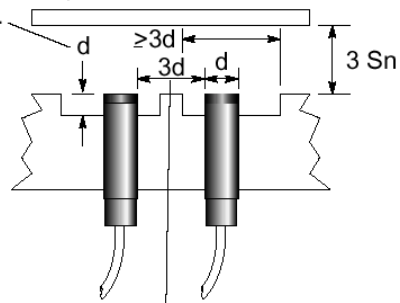


Figura 310

Montaje de sensor capacitivo blindado.

d for capacitive sensors if mounted in plastic. 3d (12, 18mm models) or 1.5d (30, 34mm models) if mounted in metal.



For capacitive sensors, 3d at medium sensitivity to 8d for maximum sensitivity.

d = diameter or width of active sensing face
Sn = nominal sensing distance

0104-PX-LT

Figura 311

Montaje de sensor capacitivo sin blindaje.

Instalación y ajuste de sensor ultrasónico

En la instalación de un sensor capacitivo se debe tener presente:

Angulo de irradiación del sonido.
Led de operación.

Las distancias de montaje entre sensores adyacentes y/o opuestos están determinadas por ángulo de irradiación del sonido. Las distancias mínimas se pueden apreciar en la Figura 310 y Figura 311.

Al momento de ubicar el sensor, este debe quedar con los led indicadores, de forma que puedan fácilmente ser observables por el operador.

Los elementos adicionales recomendables de utilizar en el montaje de este tipo de sensor son la montura retráctil y golillas de seguridad. El nivel de torque y el número de vueltas de apriete, hay que referirse al catálogo de fabricación.

Para ajustar el sensor, primero se debe apuntar al objeto de interés. Posteriormente mover o sintonizar lentamente el potenciómetro hasta que el led se encienda y luego ajustar el ángulo del sensor hasta obtener un máximo brillo en el led.

Si el sensor dispone de salida analógica y detecta elementos detrás del objeto de interés, se debe sintonizar el potenciómetro para suprimir el fondo, pero no tal lejos como para no detectar el objeto a medir.

Para ajustar la distancia de medida de un sensor discreto, se debe sintonizar el potenciómetro hasta que el led se apague, mientras no se encuentre presente el objeto de interés. Luego ubicar el objeto a medir y lentamente sintonizar el potenciómetro hasta que el led encienda.

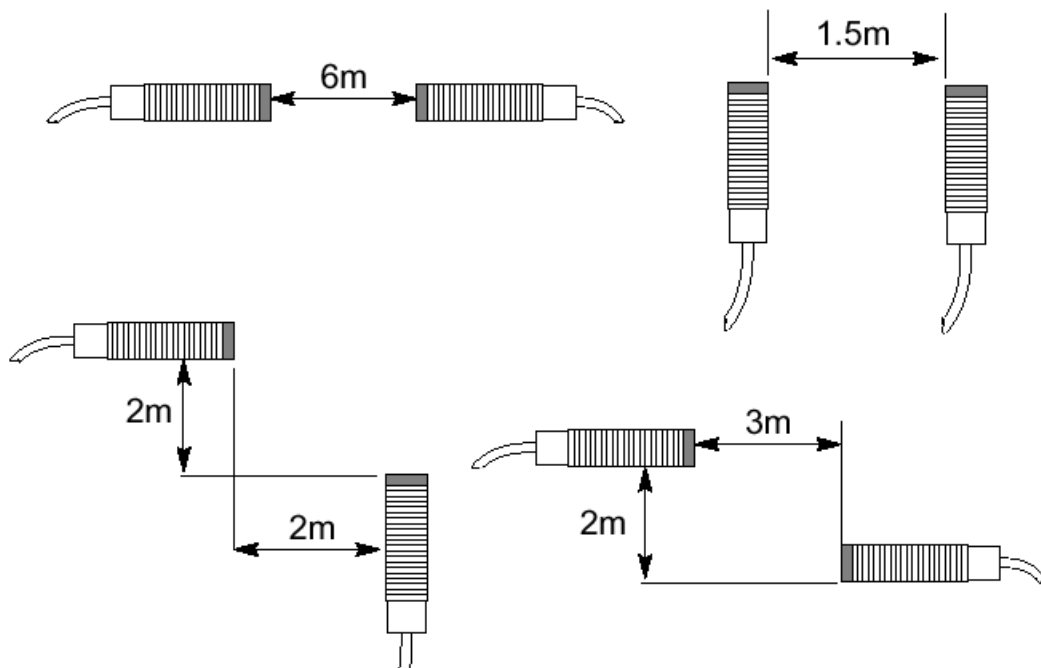


Figura 312

Distancia mínimas de montaje para sensor ultrasónico.

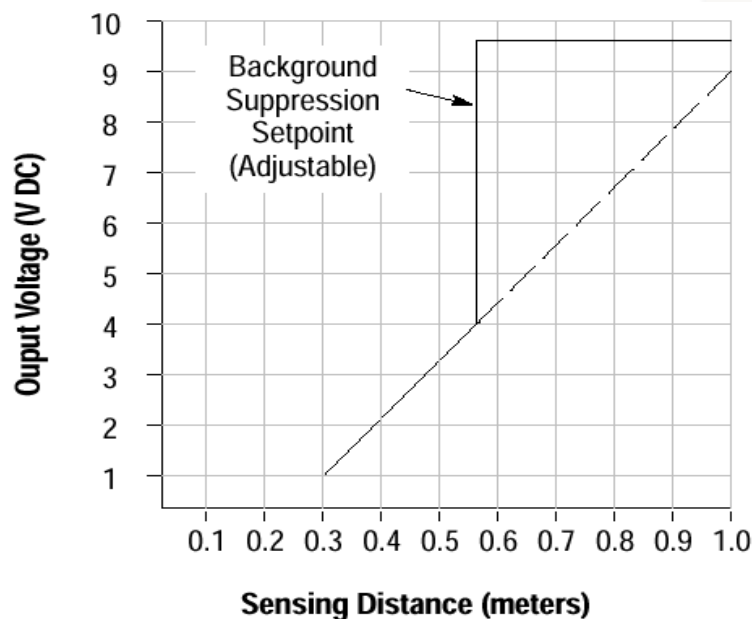


Figura 313

Salida analógica.

Instalación y ajuste de sensor fotoeléctrico

Este tipo de sensores no tiene restricciones de montaje, como es el caso de los sensores anteriormente presentados. Sin embargo, presentan gran dificultad para ajustar su operación debido a que se basa en la recepción de una luz en un fotoreceptor.

Al momento de ubicar el sensor este debe quedar con los led indicadores, de forma que puedan fácilmente ser observables por el operador.

El ajuste de los sensores fotoeléctricos que trabajan en forma directa y retroreflectiva, es el mismo y se describe a continuación.

Enfocar el receptor a la fuente de luz.

Lentamente desplazar el detector hacia la derecha, hasta que no se detecte la luz.

Repetir hacia la izquierda.

Ahora centrar el detector entre ambos límites.

Luego repetir el procedimiento anterior pero hacia arriba y abajo.

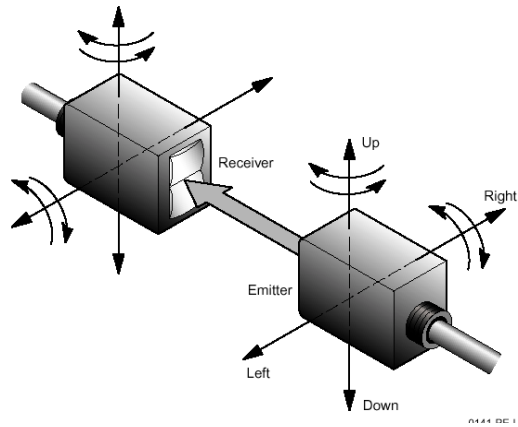


Figura 314

Ajuste de Sensor fotoeléctrico, modo directo.

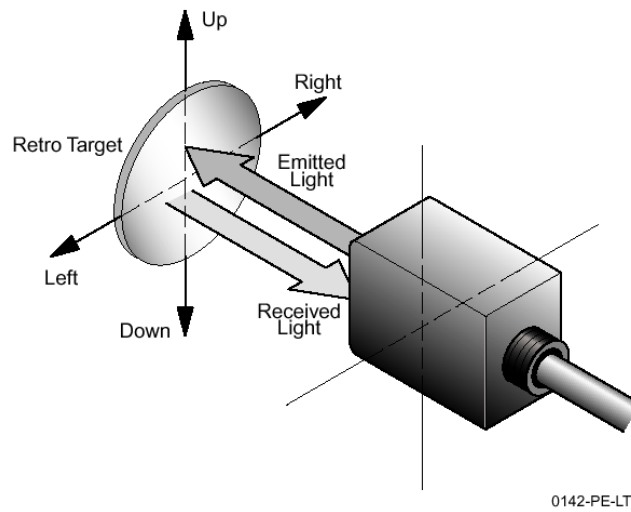


Figura 315

Ajuste de Sensor fotoeléctrico, modo retroreflectivo.

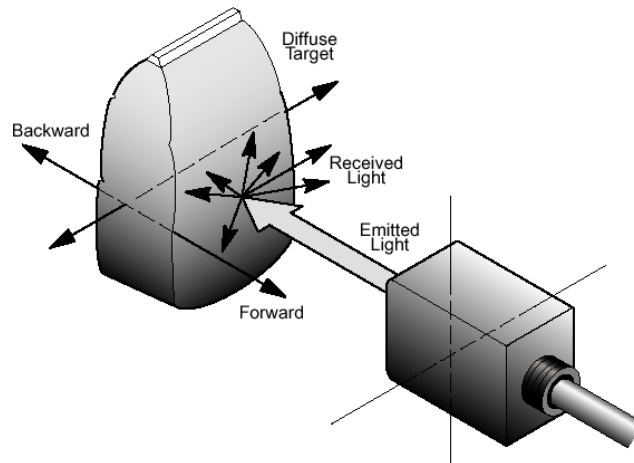


Figura 316

Ajuste de Sensor fotoeléctrico, modo difuso

Para los sensores difusos se realiza el procedimiento anterior, y se continúa con los siguientes pasos:

Reducir la sensibilidad hasta que el objeto no sea detectado.

Retirar el objeto y ajustar la sensibilidad hasta que el fondo sea detectado.

Finalmente, ajustar la sensibilidad entre punto intermedio de los dos puntos anteriores.

Mantenimiento sensores discretos

El mantenimiento se debe realizar en forma periódica y debe contemplar la limpieza del sensor, la revisión del montaje, su conexión, niveles de señales y calibración del sensor.

Para realizar estas acciones se deberá detener el proceso donde se encuentran los sensores y se deberán desenergizar.

La limpieza debe contemplar principalmente la cara frontal del sensor, ya que en ese punto donde se produce la detección o medición de los objetos. Para el caso de los limit switch, la limpieza se debe realizar en los contactos y en la medida que el modelo lo permita. Debido al desgaste mecánico, es necesario llevar un registro del periodo de utilización, para realizar los cambios necesarios.

De los sensores, el menos sensible a la suciedad es el inductivo. Sin embargo, los sensores capacitivos, fotoeléctricos y ultrasónicos, son sensibles a la suciedad frontal. La limpieza deberá ser con una tela suave, y un líquido para limpieza que no sea solvente, tal como el alcohol isopropílico.

Al efectuar la revisión del montaje, se debe considerar:

Revisión de los pernos y las tuercas de fijación:

Esta revisión deberá ser exhaustiva, en los sensores sometidos a vibraciones. De ser necesario efectuar un apriete, este deberá ser de acuerdo a torque y número de vueltas que define el fabricante.

En la revisión de conexión, se debe realizar:

Revisar el apriete del conector:

Verificación de las líneas que llegan al conector, por ejemplo que no tengan mordeduras, cortes, torceduras excesivas u otro tipo de daños.

Verificación de conexión según los diagramas.

Para chequear los niveles de señal del sensor, se requiere:

La hoja de datos del sensor

Instrumental básico: fuente de poder y multítester
El procedimiento para chequear los niveles de señales es:

Energizar el sensor con tensión nominal

Realizar mediciones y comparar con los valores nominales de la hoja de dato. Las variables a medir por ejemplo son: corriente de fuga, caída de tensión, corriente de carga.

Hoja de datos (Data Sheet)

La hoja de datos permite identificar con precisión las características de un determinado sensor dentro de un proceso.

Dentro de esta hoja se identifican diferentes datos asociados al sensor, estos se pueden clasificar en:

Datos Eléctricos: Se establecen todos los datos asociados a variables eléctricas de operación, valores nominales de operación, circuitos de protección.

Datos Mecánicos: Corresponden a las características del material en que son contruidos, sus niveles de protección, condiciones ambientales de temperatura y vibración.

Condiciones de Operación: Corresponden a las condiciones ambientales que está sometido el sensor mientras está funcionando, tal como temperatura, altura, vibración.

Identificación Respecto al Proceso e Históricos: Se identifica el proceso y la posición dentro de este. Además, se mantiene un histórico de las mantenciones y cambios que se le han realizado.

7.5 Montaje y mantención de un controlador industrial

Para mantener la eficiencia del lazo de control es importante su accesibilidad para realizar una correcta y oportuna intervención, ya sea para operación o mantención. Además se debe considerar que el ambiente tenga las condiciones sugeridas por el fabricante a fin de minimizar el riesgo de daños.

Montaje de un controlador industrial

Montaje en tuberías (pipe mounting)

La Figura 317 muestra la forma de montaje en una tubería DN 50 (tubería de 2 pulgadas). La forma de sujeción es mediante una abrazadera.

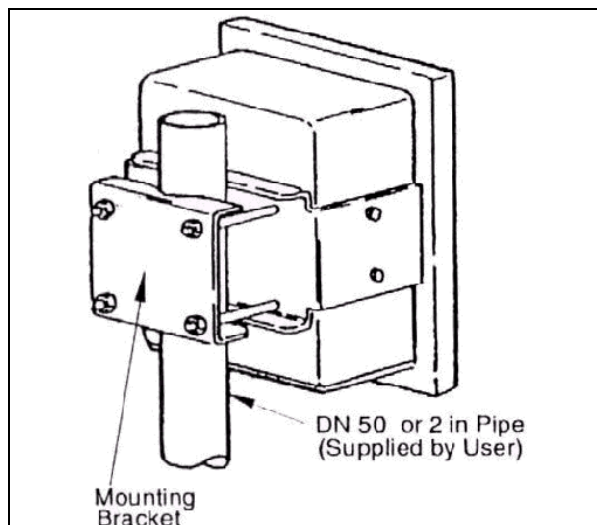


Figura 317

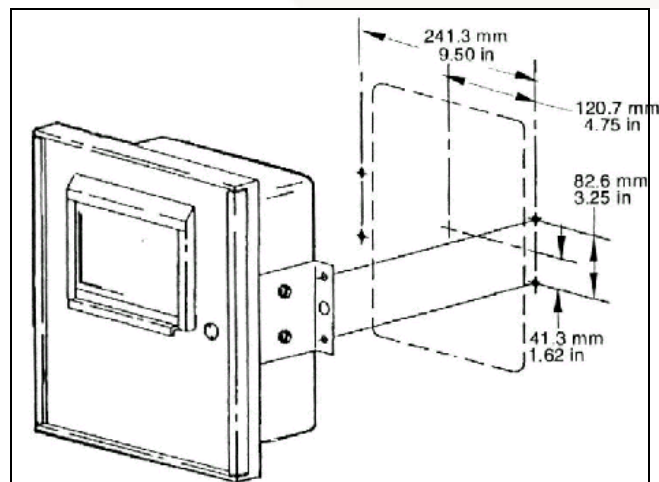


Figura 318

Esta forma de montaje es comúnmente utilizada en áreas seguras, libres de polvo, libres de peligro de explosión y variables ambientales (humedad y temperatura) dentro de los rangos permitidos.

Montaje en superficie

La Figura 318 muestra la forma de sujeción en superficie de montaje. Cuando se tiene condiciones similares a las descritas en el punto anterior, pero no se cuenta con una tubería de fácil acceso, se utiliza este tipo de montaje.

Montaje en panel

La Figura 319, muestra la forma de montaje en panel. Esta forma de montaje es comúnmente utilizada en áreas poco seguras, con presencia de polvo u otros contaminantes, con riesgo de explosión o variables ambientales (humedad y temperatura) fuera de los rangos permitidos

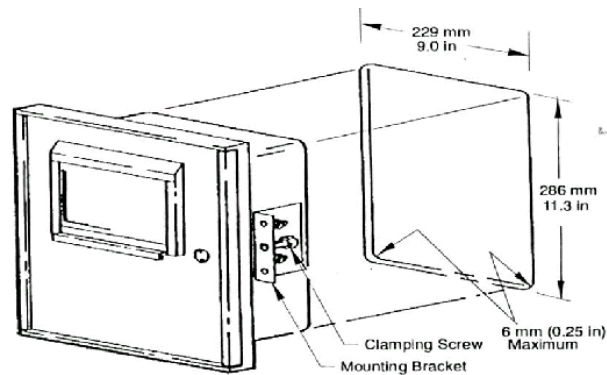


Figura 319

Conexión del voltaje de alimentación

El Controlador Industrial 743C de Foxboro puede ser alimentado con diversas tensiones alternas o continuas dependiendo del modelo especificado, es necesario verificar en la placa de identificación de este el nivel y tipo de tensión requerido.

Se recomienda una adecuada conexión a tierra del equipo para evitar riesgos hacia las personas e instrumentos conectados a este. La Figura 318. Muestra la conexión de alimentación.

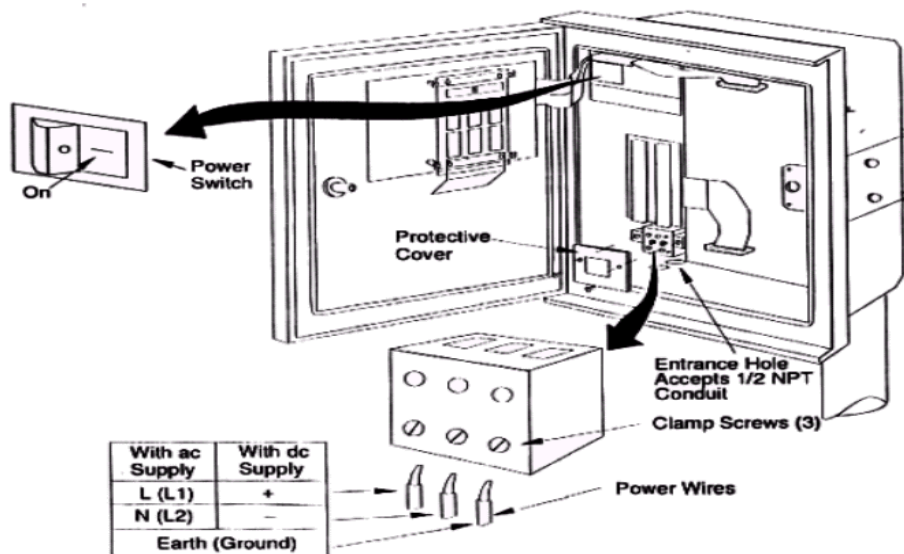


Figura 320

Identificación de fallas en entradas y salidas

El Controlador Industrial 743C de Foxboro posee la capacidad de realizar un diagnóstico a las entradas y salidas tanto análogas como digitales, para esto se debe conectar el modo diagnóstico.

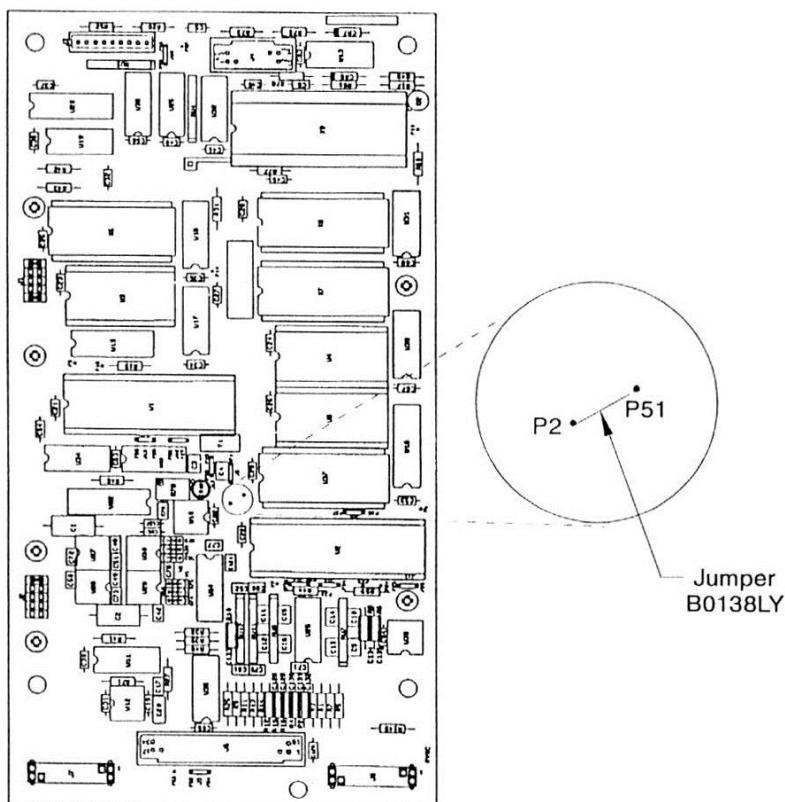


Figura 321

Para iniciar el modo diagnóstico es necesario, desenergizar el equipo, desconectar las entradas y salidas y conectar un jumper según se muestra en la Figura 317, para iniciar los diferentes diagnósticos se debe presionar las teclas según se en la Figura 318.

Para realizar el test de las entradas análogas se requiere un generador de corriente para inyectar señal, la cual debe coincidir en magnitud con la desplegada en el display.

Para realizar el diagnostico de las salidas análogas es necesario contar con un miliamperímetro, para verificar que la señal de salida coincide con la desplegada en el display.

En el caso de las entradas y salidas de contacto, estas últimas son una repetición de las entradas.

Key	Tested Parameter
Δ	Full Scale (approx. 23 mA or 5.75 V)
∇	Zero (0 mA or 0 V)
W/P	5 V Reference (20 mA or 5 V)
SEL	1 V Reference (4 mA or 0 V)
R/L	Analog Input 4
TAG	Analog Input 3
A/M	Analog Input 1
ACK	Analog Input 2

Figura 322

Es necesario tener presente que durante una operación de diagnóstico los valores de las salidas pueden variar, por lo que es necesario realizar el diagnóstico sin estar conectado al proceso.

Actividad N° 6

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante aplique y refuerce conocimiento sobre calibración de instrumentos de campo

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Calibración de instrumentos sensores.

Objetivos del aprendizaje

- Aplicar métodos de calibración de instrumentos de campo

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.

Solicitará a los participantes que construya una tabla con datos teóricos, datos iniciales de los instrumentos a calibrar luego pedirá que realicen calibración y determinen desviación % de error en instrumentos calibrados, ejemplo sensores de presión

Materiales y Recursos

- Balanza de peso muerto
- Multímetros digitales
- Fuente de corriente continua
- Manómetro de precisión
- Bomba manual de presión

Desarrollo de la actividad

Los participantes realizarán la calibración y anotarán resultados en una tabla.

Instructor dará V°B° a tarea realizada.

N° de mediciones	Patrón	Teórico		
		Presión	Corriente	Error
	PSIG	PSIG	mA	%

N° de mediciones	Patrón	Inicial			Final		
		Presión	Corriente	Error	Presión	Corriente	Error
	PSIG	PSIG	mA	%	PSIG	mA	%

Cierre de actividad:

A modo de cierre de actividad los participantes deberán frente a instructor y sus compañeros explicar los porcentajes de error y debido a que ocurrieron tales resultados.

8. Interpretación de planos eléctricos

8.1 Normas DIN (Instituto Alemán de Normalización)

La normalización con base sistemática y científica nace a finales del siglo XIX, con la Revolución Industrial en los países altamente industrializados, ante la necesidad de producir más y mejor. Pero el impulso definitivo llegó con la primera Guerra Mundial (1914–1918). Ante la necesidad de abastecer a los ejércitos y reparar los armamentos, fue necesario utilizar la industria privada, a la que se le exigía unas especificaciones de intercambiabilidad y ajustes precisos. Fue en este momento, concretamente el 22 de Diciembre de 1917, cuando los ingenieros alemanes Naubaus y Hellmich, constituyen el primer organismo dedicado a la normalización: NADI – Normen–Ausschuss der Deutschen Industrie

Comité de Normalización de la Industria Alemana. Este organismo comenzó a emitir normas bajo las siglas: DIN que significaban Deustcher Industrie Normen (Normas de la Industria Alemana). En 1926 el NADI cambio su denominación por: DNA – Deutsches Normen–Ausschuss – Comité de Normas Alemanas que si bien siguió emitiendo normas bajos las siglas DIN, estas pasaron a significar "Das Ist Norm" – Esto es norma. Y más recientemente, en 1975, cambio su denominación por: DIN – Deutsches Institut für Normung – Instituto Alemán de Normalización.

NEMA (Asociación nacional de fabricantes de electricidad)

Prepara las normas que definen un producto, proceso o procedimiento referente a uno o varios de los siguientes términos: nomenclatura, composición, construcción, dimensiones, tolerancias, seguridad, características de funcionamiento, rendimiento, calidad, capacidad eléctrica, pruebas y servicio para el que está diseñado.

Esta norma proporciona grados de protección para Cerramientos para equipo eléctrico (1000 voltios máximo) similar a los del estándar IEC 529.

- Locales no peligrosos

- A. **Los cerramientos (cajas) tipo 1**, diseñados para utilización en interiores, sirven para proporcionar un grado de protección contra el contacto con equipo adjunto.
- B. **Los cerramientos tipo 3**, diseñados para utilización en exteriores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra el polvo y la lluvia transportados por el viento, aguanieve y formación externa de hielo.
- C. **Los cerramientos tipo 4**, diseñados para utilización en interiores o exteriores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra el polvo y lluvia transportados por el viento, salpicaduras de agua y agua directa procedente de una manguera.
- D. **Los cerramientos tipo 4X**, diseñados para utilización en interiores o exteriores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra la corrosión, polvo y la lluvia transportados por el viento, salpicaduras de agua y agua directa procedente de una manguera.
- E. **Los cerramientos tipo 6**, diseñados para utilización en interiores o exteriores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra la intrusión de agua durante una sumersión temporal producida a una profundidad limitada.
- F. **Los cerramientos tipo 6P**, diseñados para utilización en interiores o exteriores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra la intrusión de agua durante una sumersión prolongada a una profundidad limitada.
- G. **Los cerramientos tipo 12**, diseñados para utilización en interiores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra el polvo, la superposición de suciedad y el goteo de líquidos no corrosivos.
- H. **Los cerramientos tipo 13**, diseñados para utilización en interiores, sirven para proporcionar un grado de protección (estanquidad) contra el polvo, salpicaduras de agua, aceite y fluido refrigerante no corrosivo.

8.2 Simbología

DESCONECTADOR DE NAVAJAS	DESCONECTADOR MOLDEADO	MOLDEADO C/ ELEMENTO TERMICO	MOLDEADO C/ ELEMENTO MAGNETICO	MOLDEADO TERMOMAGNETICO

DISPOSITIVOS DE PROTECCION DE TRES FASES PARA 220 o 440 Vac.

Figura 323

NORMALMENTE ABIERTO SIN ACTIVAR	NORMALMENTE ABIERTO CON LEVA ACCIONADA	NORMALMENTE CERRADO	NORMALMENTE CERRADO CON LEVA ACCIONADA

SIMBOLOS DE INTERRUPTORES DE LIMITE

Figura 324

INTERRUPTOR DE PRESION N.A.	INTERRUPTOR DE PRESION N.C.	INTERRUPTOR DE NIVEL N.A.	INTERRUPTOR DE NIVEL N.C.

Figura 325

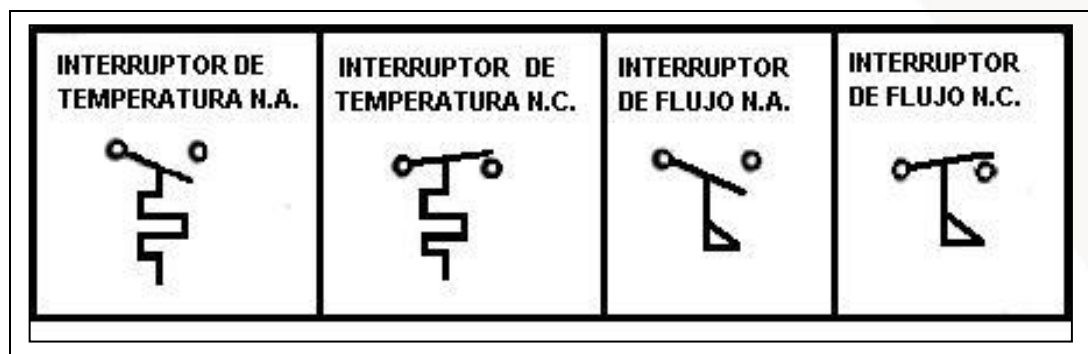


Figura 326



Figura 327

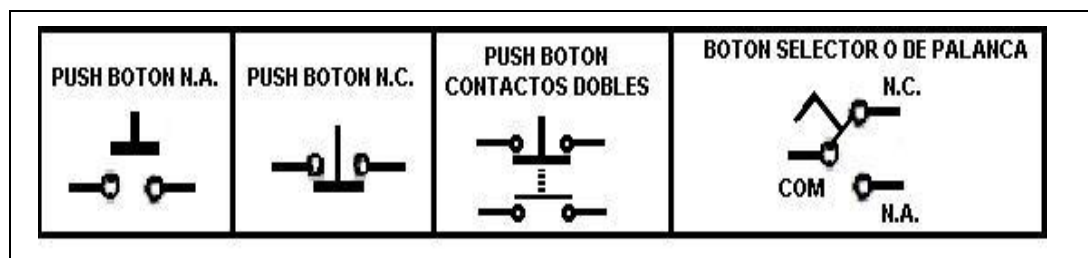


Figura 328



Figura 329

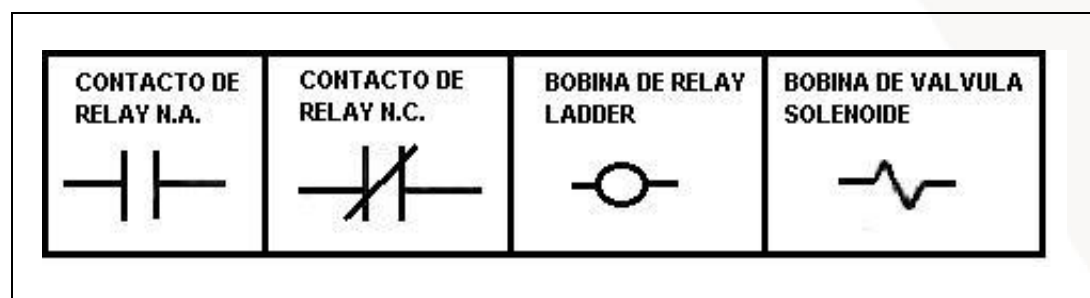


Figura 330

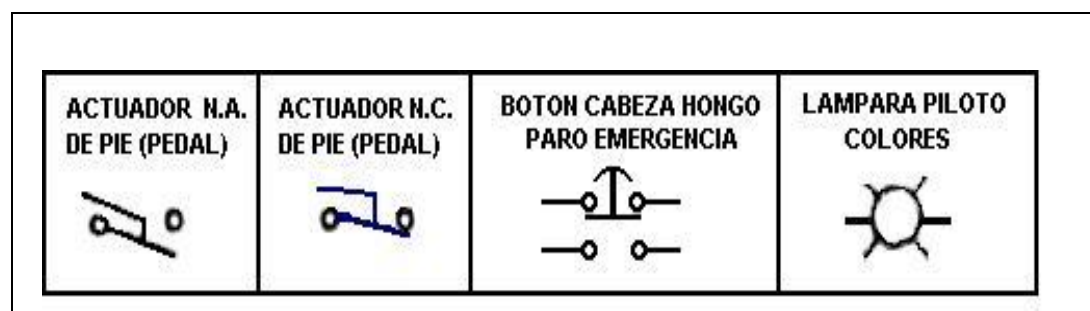


Figura 331

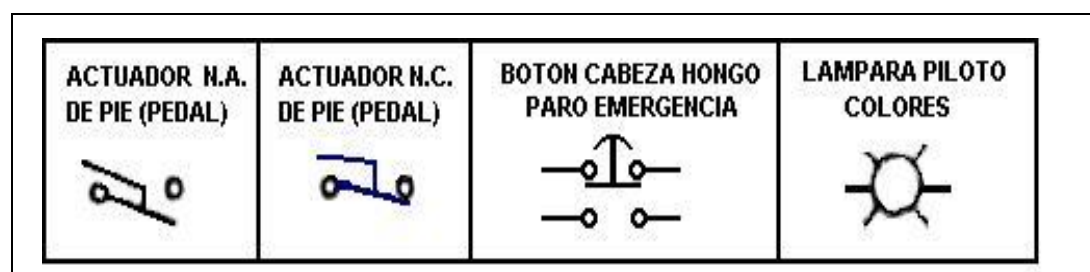


Figura 332

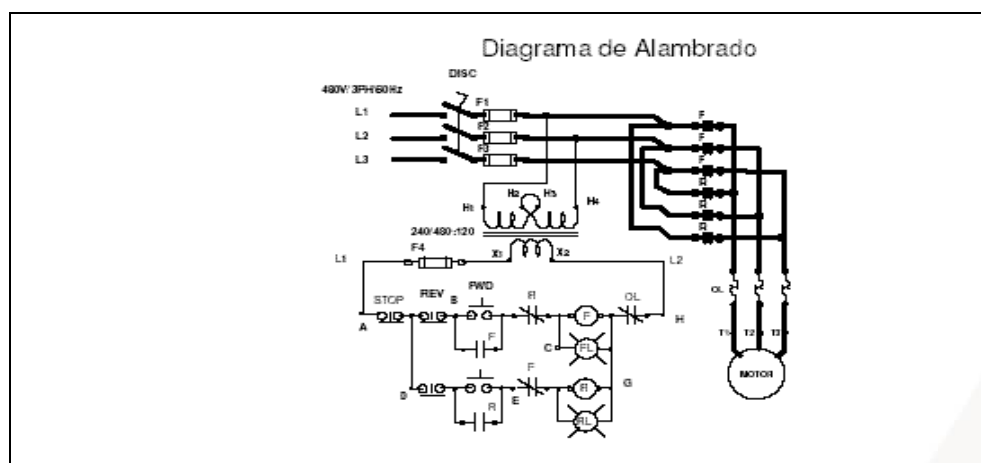
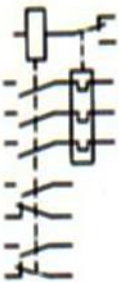

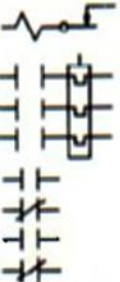
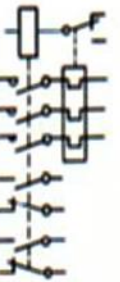
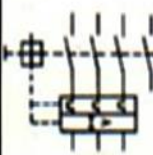
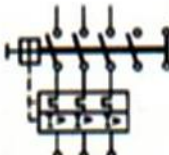

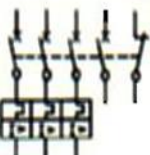


Figura 333

TABLA COMPARATIVA DE SIMBOLOS ELECTRICOS				
DENOMINACION	DIN 1980	DIN 1969	ANSI	IEC
CONTACTOR CON RELEVADOR BIMETALICO				 (o con anillo)
INTERRUPTOR TRIPOLAR CON MECANISMO DE EMBRAGUE Y RELEVADOR BIMETALICO				






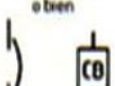




















SECCIONADOR DE POTENCIA				
INTERRUPTOR DE POTENCIA			 o bien 	 o bien 
SECCIONADOR 3 POLOS BAJO CARGA				
SECCIONADOR DE FUSIBLES 3 POLOS				
SECCIONADOR 3 POLOS				
FUSIBLE	 Red 	 Red 	 o bien 	

Tabla 43

TABLA COMPARATIVA DE SIMBOLOS ELECTRICOS				
DENOMINACION	DIN 1980	DIN 1969	ANSI	IEC
ACCIONAMIENTO POR LEVAS				
INTERRUPTOR DE FLUJO PARA ABRIR		N.C.		
INTERRUPTOR DE PRESION Y VACIO		N.C.		
INTERRUPTOR TERMOSTATICO		N.A.		
INTERRUPTOR DE FLOTADOR		N.A.		

ELEVADO / BAJA VELOCIDAD DE FLUJO	$v > / v <$		$v \uparrow / v \downarrow$	
ELEVADA / BAJA PRESION	$p > / p <$		$p \uparrow / p \downarrow$	
ELEVADA / BAJA TEMPERATURA	$t > / t <$		$t \uparrow / t \downarrow$	
ELEVADO / BAJO NIVEL LIQUIDO	$q > / q <$		$l \uparrow / l \downarrow$	
ELEVADA / BAJA VELOCIDAD	$n > / n <$		$sp \uparrow / sp \downarrow$	
APERTURA POR SOBREVELOCIDAD			$> \neq sp \uparrow$	
CIERRE POR BAJA TEMPERATURA			$> \neq t \downarrow$	
ACCIONAMIENTO POR EMBOLO				
ACCIONAMIENTO POR FUERZA				

Tabla 44

TABLA COMPARATIVA DE SIMBOLOS ELECTRICOS				
	DIN 1980	DIN 1969	ANSI	IEC
RETARDOS DE TIEMPO ELECTROMAGNETICOS			o bien o bien	o bien (muy retardado)
RETARDO A LA APERTURA ON DELAY			= o bien o bien	= o bien
RETARDO A LA DESCONEXION OFF DELAY			o bien o bien	
RELEVADORES POLARIZADOS			o bien o bien	 o bien =
RELEVADORES DE REMANENCIA				 o bien =

Tabla 45

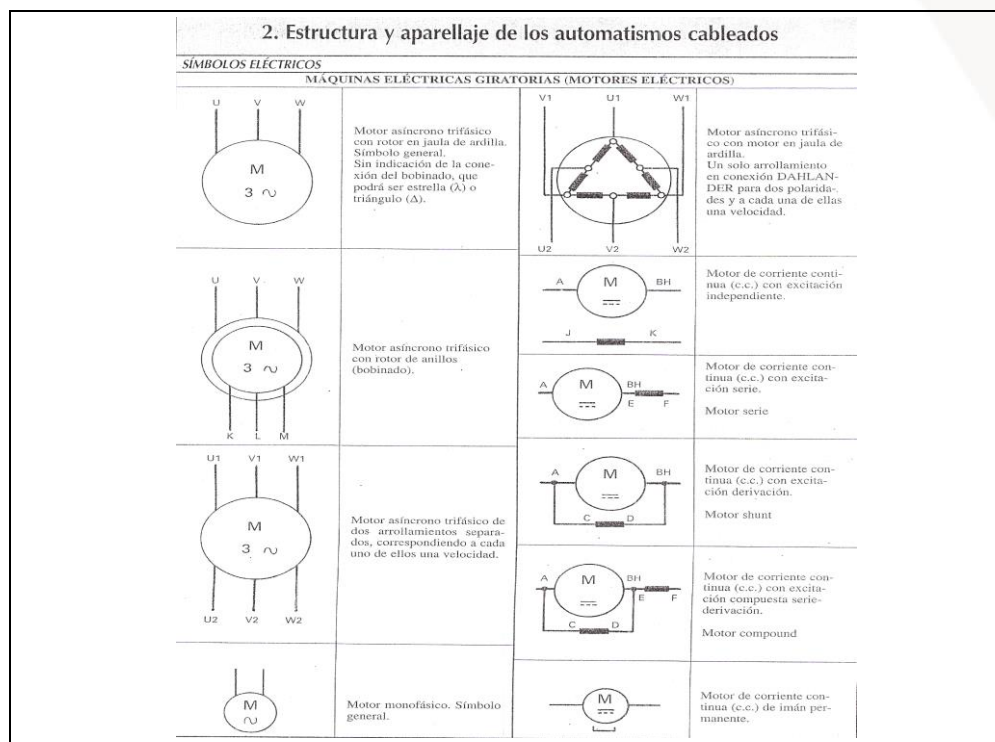


Figura 334

8.3 Esquemas básicos de conexión.

El viejo refrán que dice que una foto vale más que 10 mil palabras es muy apropiado en el mundo de la electricidad. La mayoría de la información que se hace llegar a los electricistas a través de diagramas es muy difícil de expresar verbalmente o por escrito. Por esta razón, usted debe aprender a reconocer e interpretar los diagramas comúnmente usados en los trabajos de electricidad.

En esta sección, usted conocerá los cuatro tipos principales de diagramas eléctricos:

- Pictórico
- De bloque
- De conexión
- Esquemático

Diagramas Pictóricos

Los diagramas pictóricos son los más fáciles de comprender. Generalmente se utilizan para instruir a personas con una instrucción académica limitada sobre eléctrica, pero que desean comprender el funcionamiento de los circuitos eléctricos. Los manuales de instrucción de los equipos de música y video generalmente representan los circuitos eléctricos por medio de diagramas pictóricos.

Este tipo de diagrama es también utilizado por los fabricantes de kits hágalo-usted-mismo. El circuito en la Dibujo es un diagrama pictórico.

Como los diagramas pictóricos generalmente se orientan hacia las personas sin formación eléctrica, por lo general estos diagramas exhiben estas características:

- Los componentes se dibujan como son en realidad.
- Los componentes en el diagrama están ubicados en relación a su posición real en el circuito.
- Los colores de los cables se indican por nombre
- Los diagramas tienen un efecto tridimensional

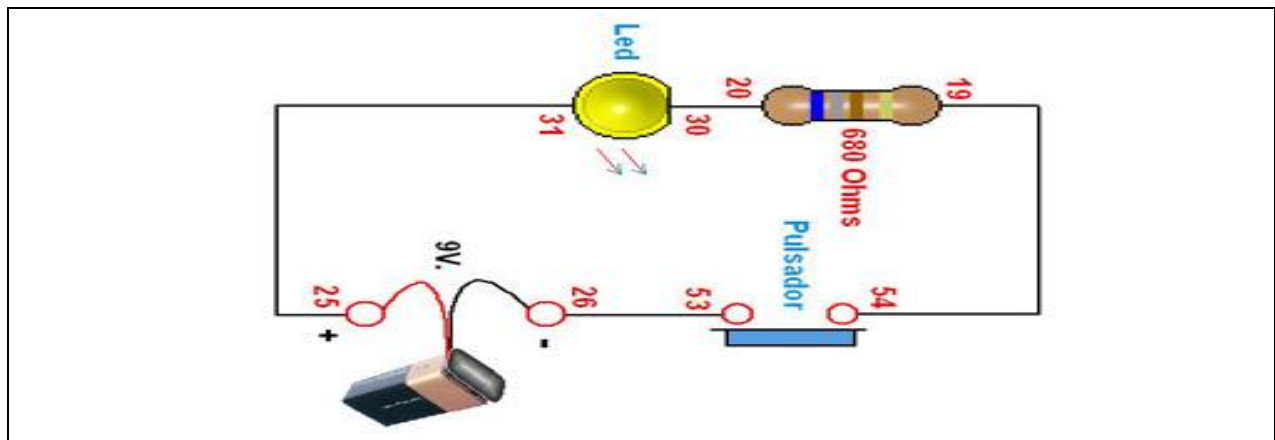
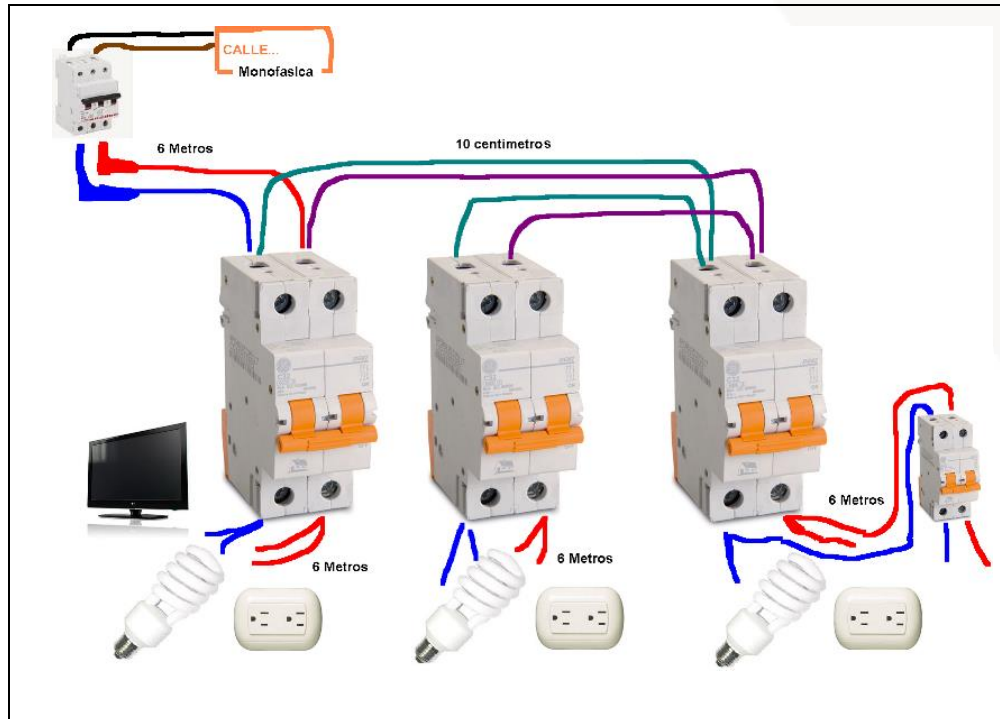


Figura 335



Figura

336

Diagramas De Bloque Y Diagramas De Línea.

El diagrama de bloque es un tipo de tabla de flujo que indica la relación entre los componentes individuales de un circuito o grupos de componentes dentro del mismo entorno.

Estos diagramas a menudo muestran una secuencia lógica de los eventos. Los componentes del circuito están dibujados en forma de bloque y la relación aproximada entre ellos se indica con líneas conectadas. La Figura, abajo, muestra un diagrama de bloque.

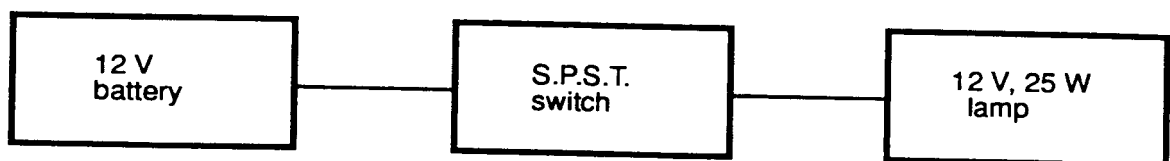


Figura 337

Diagrama de bloque

La diferencia entre un diagrama de bloque y un diagrama de línea es que el diagrama en línea representa los componentes con símbolos, mientras que el diagrama de bloque, sólo utiliza bloques. Los diagramas de línea también se conocen como diagramas de línea simple o diagramas de elevación.

Los diagramas en línea generalmente se usan para ilustrar los principales equipos en un sistema de distribución eléctrica como se ve en la Dibujo. Generalmente son los primeros diagramas que se hacen de un proyecto grande y su intención es aportar una idea clara de los componentes en línea en el sistema o circuito.

Los diagramas de línea comúnmente muestran los componentes de más alto voltaje en la parte superior del diagrama y descendiendo progresivamente en la hoja ubican los componentes de más bajo voltaje de un circuito de distribución o alimentación

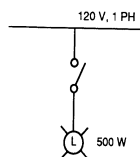


Figura 338

Diagrama unilineal

Las características distintivas de este tipo de circuito son:

- Los componentes llevan etiquetas con sus nombres, tipo y a veces, su número de catálogo.
- No se utilizan para mostrar la posición real de los componentes en el circuito.
- Las líneas sencillas no muestra la trayectoria de la corriente de retorno en el circuito. Como ayuda a la comprensión del circuito, usted puede imaginarse las líneas como si fueran el conducto que contiene los conductores.

Diagrama De Conexión

El diagrama de conexión muestra, tan claro como sea posible, la ubicación actual de todos los componentes de un circuito. Es esencialmente un diagrama pictórico sin la representación tridimensional de los componentes. Generalmente los componentes se representan con símbolos.

Los diagramas de conexión son mapas de los circuitos. Son de mucha utilidad durante el cableado de un circuito y para rastrear los cables cuando se corrige algún problema. Los

diagramas de los cables entre los dispositivos. La figura 396 es un diagrama de conexión para poner en marcha y detener dos motores, completo con indicador de piloto lumínico.

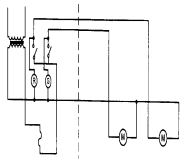


Figura 339

**Diagrama de
conexión 1**

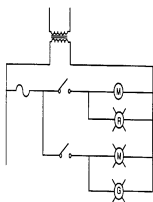
Note que todos los cables están tendidos horizontal o verticalmente para garantizar que la lectura del diagrama sea más clara y fácil. Cuando dos cables se cruzan, se utiliza un punto en el cruce para indicar que los cables están conectados. Si no se muestra el punto, los cables se cruzan pero no están conectados eléctricamente.

Diagramas Esquemáticos

Los diagramas esquemáticos muestran la relación entre los componentes de un circuito, pero para simplificarlos, no indican la relación física entre los componentes. Los diagramas esquemáticos se usan con el propósito de conocer cómo trabaja el circuito y qué se supone que haga.

El diagrama esquemático de la Dibujo muestra el mismo circuito de la Dibujo anterior. Es mucho más fácil seguir el flujo de corriente que atraviesa el circuito de la Dibujo que seguir el flujo de corriente que atraviesa el circuito de la Dibujo anterior.

El diagrama esquemático presta más atención a cómo trabaja el circuito que cómo aparece representado.



El tipo de diagrama esquemático que se muestra en la Dibujo se llama diagrama de escalera. En un diagrama de escalera, las dos líneas verticales a cada lado del diagrama representan la fuente de poder. Los cables conectados entre los conductores de la fuente forman los peldaños de la escalera.

Diagrama esquemático 1

Son diagramas de una sola línea representativa de toda la alimentación de equipos.

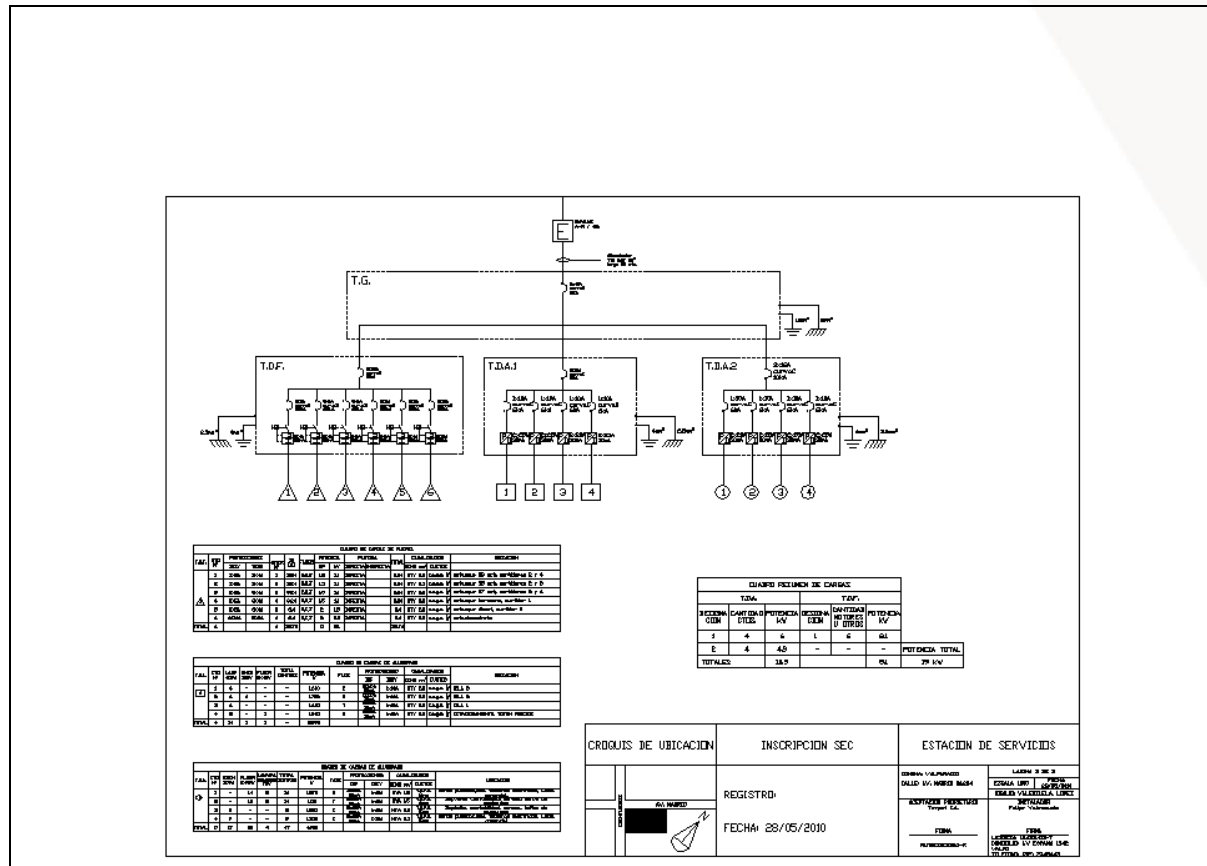


Figura 340

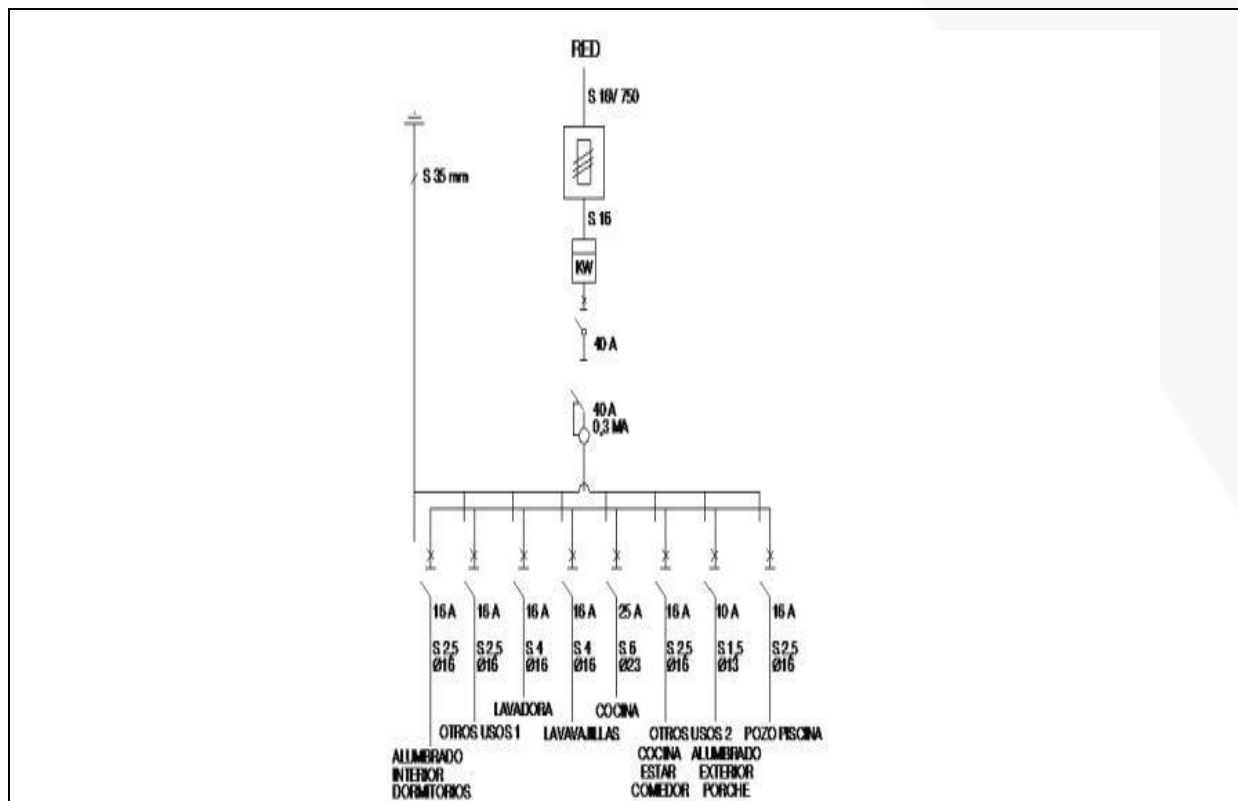


Figura 341

8.4 Tipos de planos eléctricos.

El tipo de plano está determinado por la Dibujo o diagrama que muestra, así se pueden encontrar por ejemplo los siguientes:

Diagrama P&ID

Son diagramas de procesos e instrumentación asociada

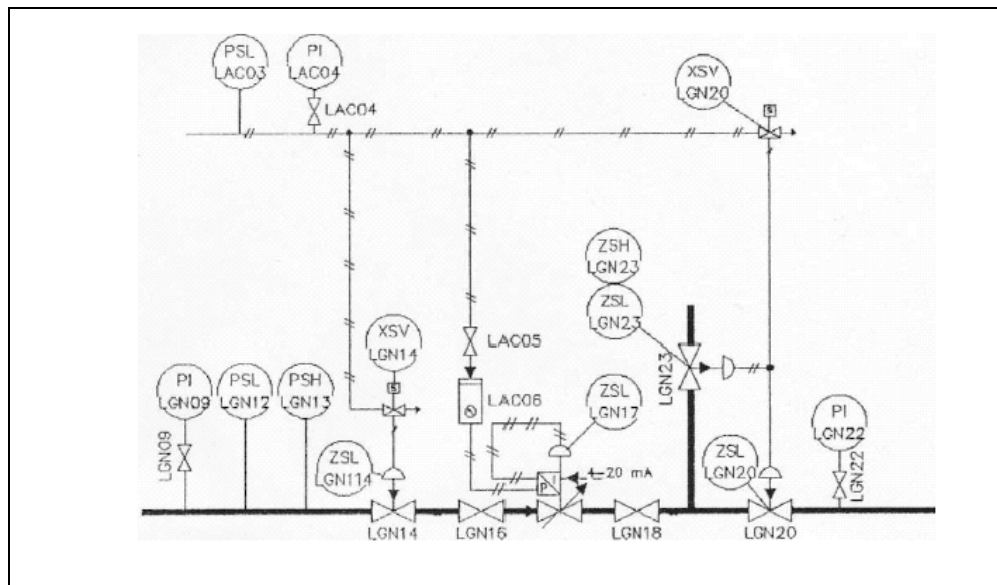


Figura 342

Diagrama Lógico

Es la representación de compuertas o bloques de función lógica del control de un sistema.

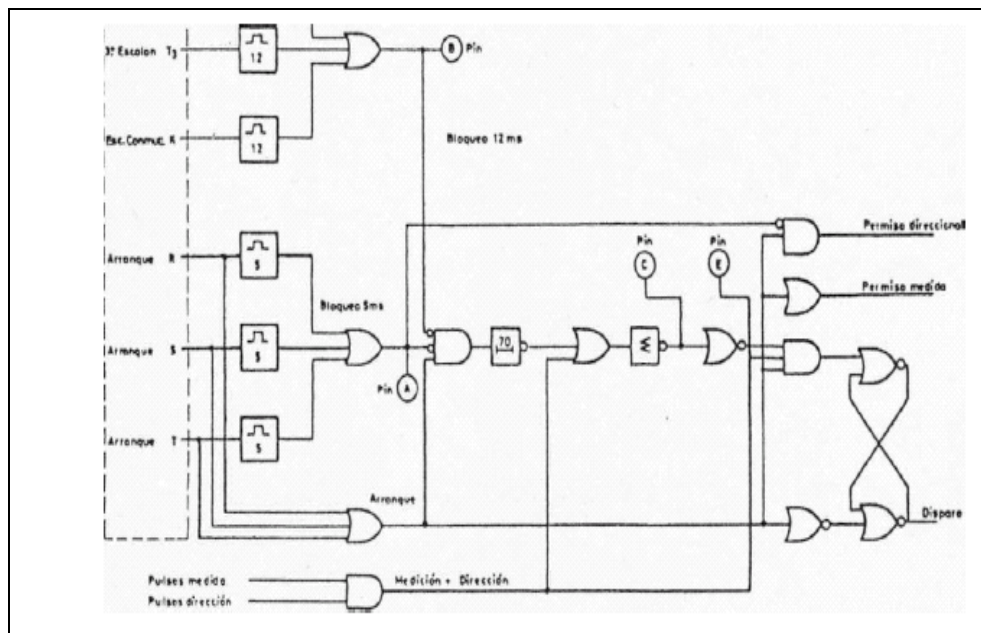


Figura 343

Diagrama Trip

Resume las operaciones de los relés de protección y su secuencia de operación.

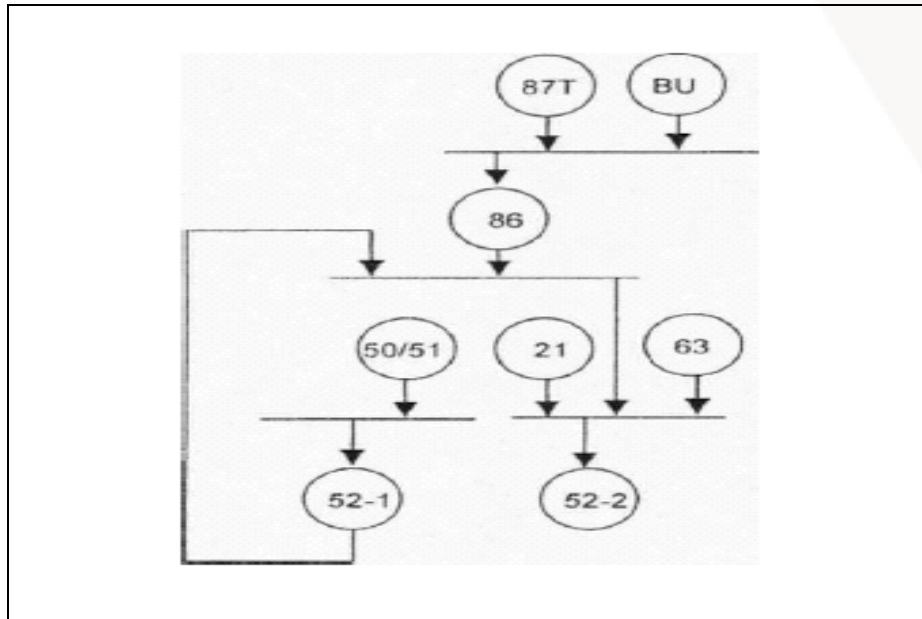


Figura 344

Diagrama Unilineal

Son diagramas de una sola línea representativa de toda la alimentación de equipos

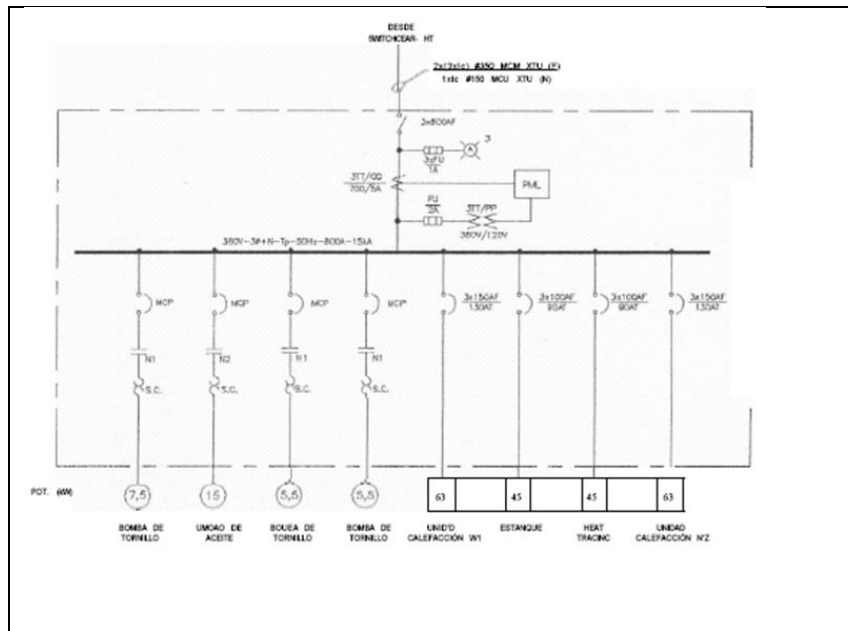


Figura 345

Diagrama Sinóptico

Representan el funcionamiento de un equipo sin tener que analizar el esquema completo del circuito.

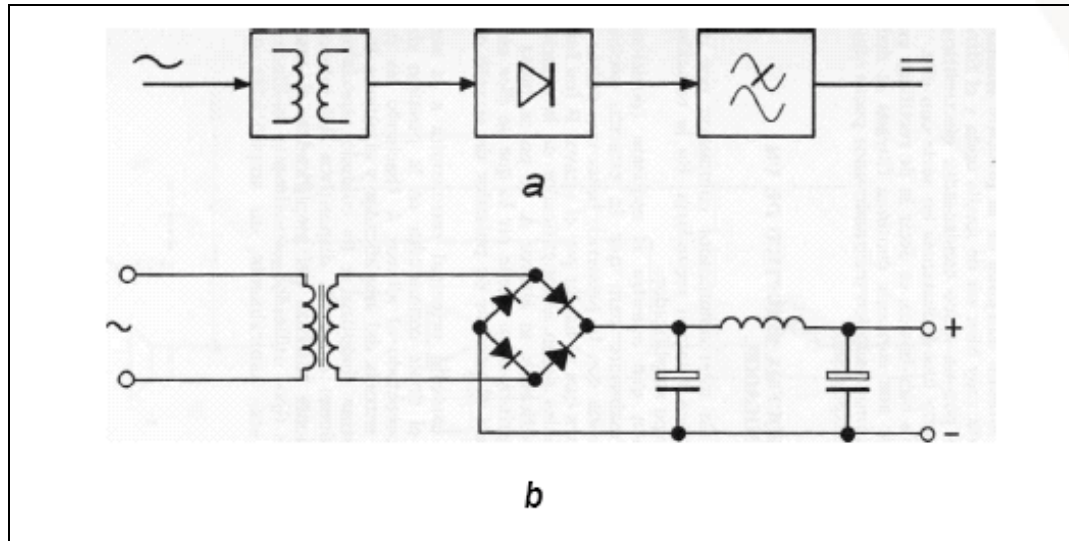


Figura 346

Diagrama de Control y Comando

Es la representación del control de una máquina a través de dos tipos de esquemas:

- Circuito Principal (circuito de potencia)
- Circuito Auxiliar (circuito de control y señalización)

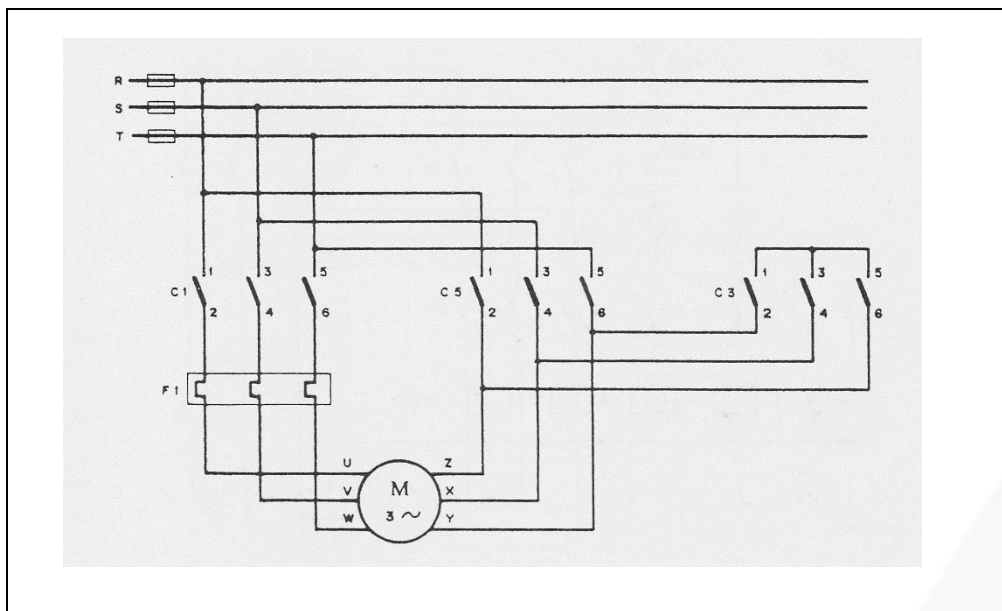


Figura 347

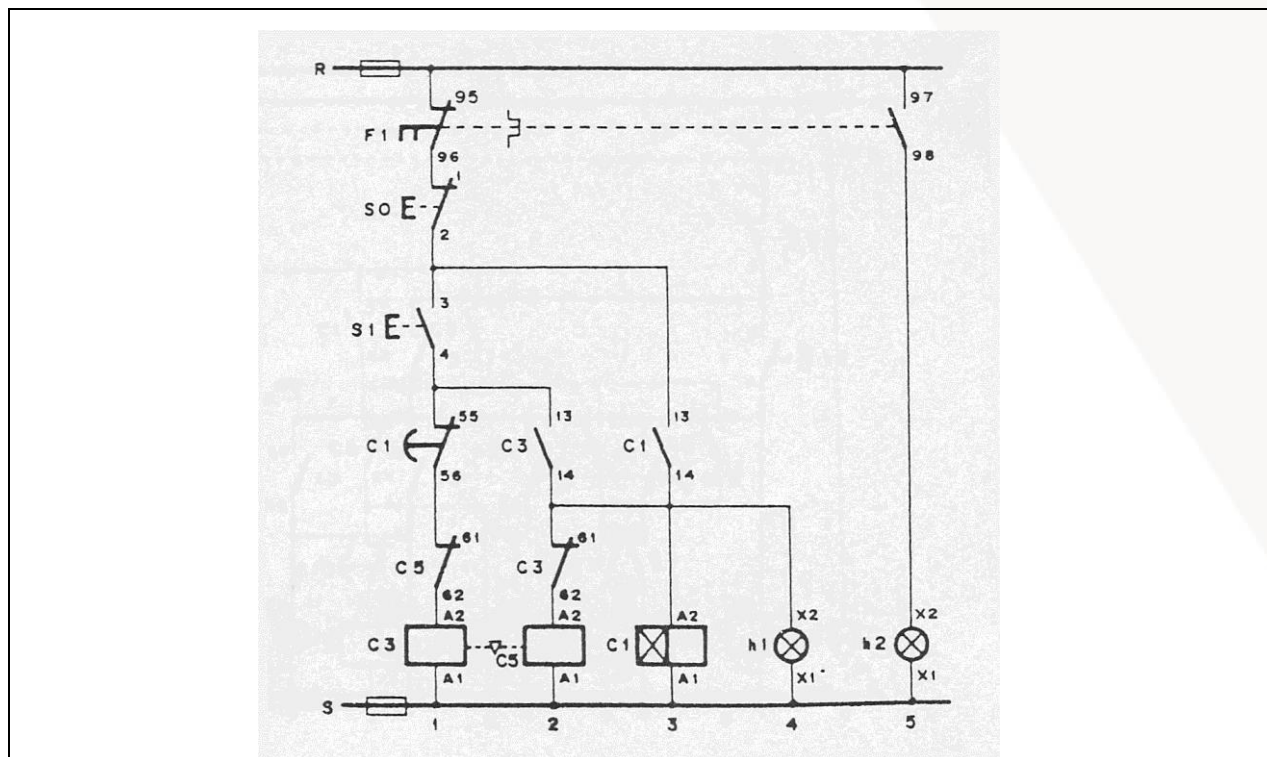


Figura 348

Diagrama Multifilar

Representa a los elementos con sus respectivas conexiones en trazos independientes.

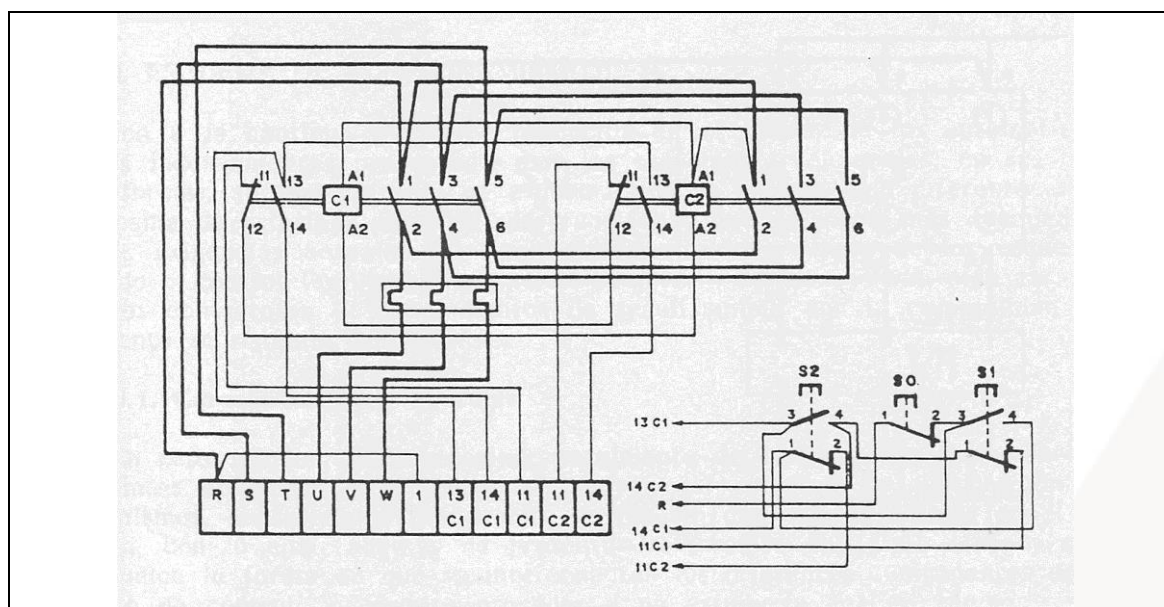


Figura 349

Diagramas elementales de control

Diagrama inversor de giro

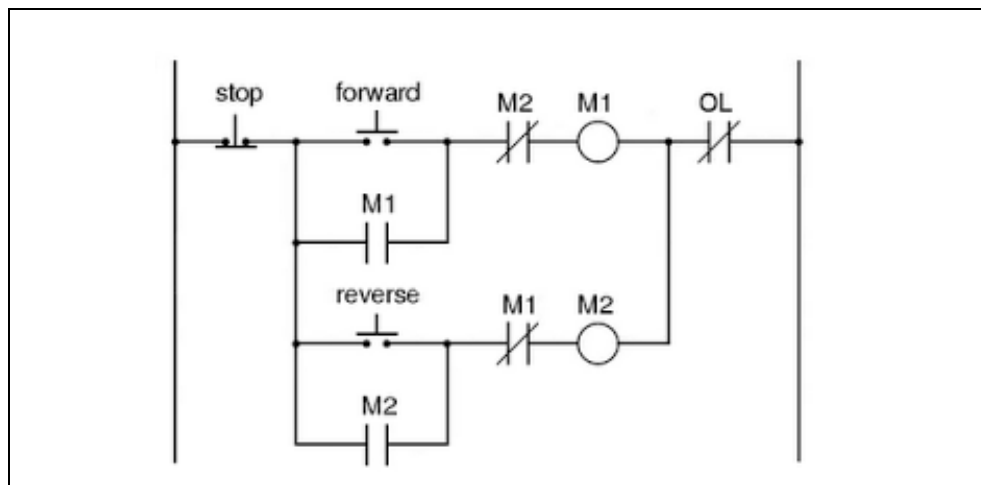


Figura 350

Diagrama control de temperatura de aceite por presión

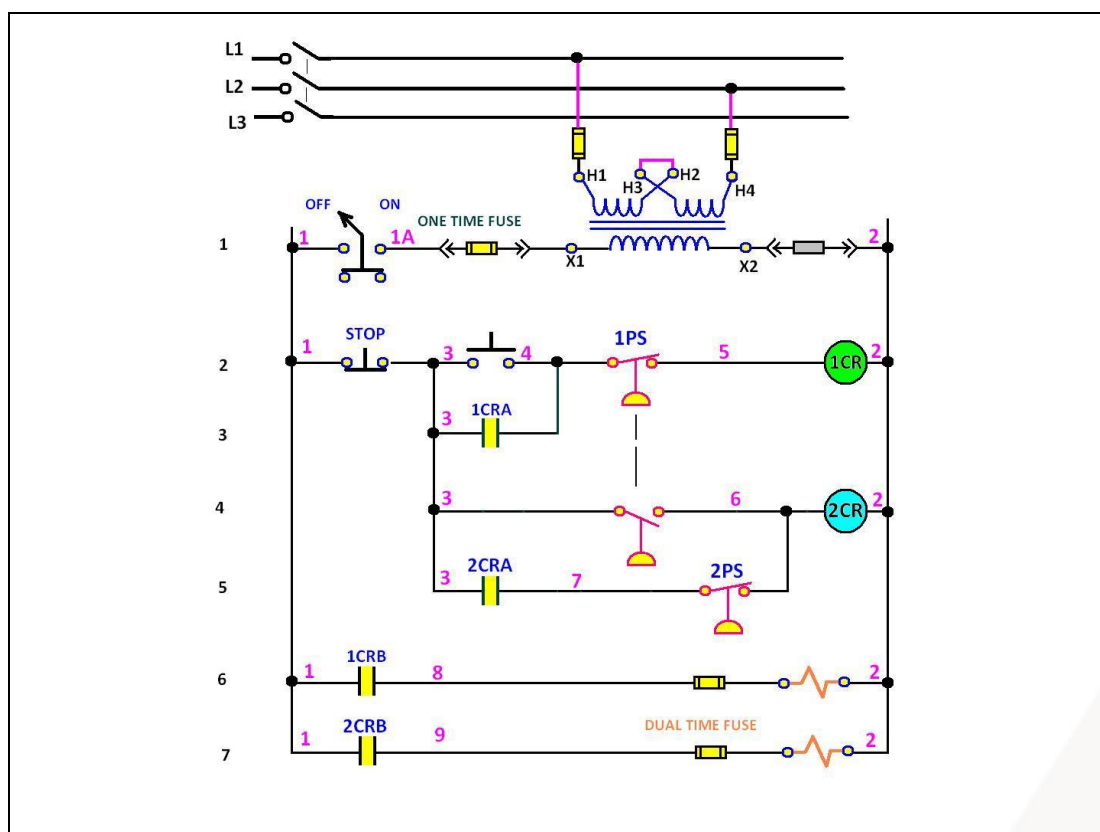


Figura 351

Diagrama de control partida directa

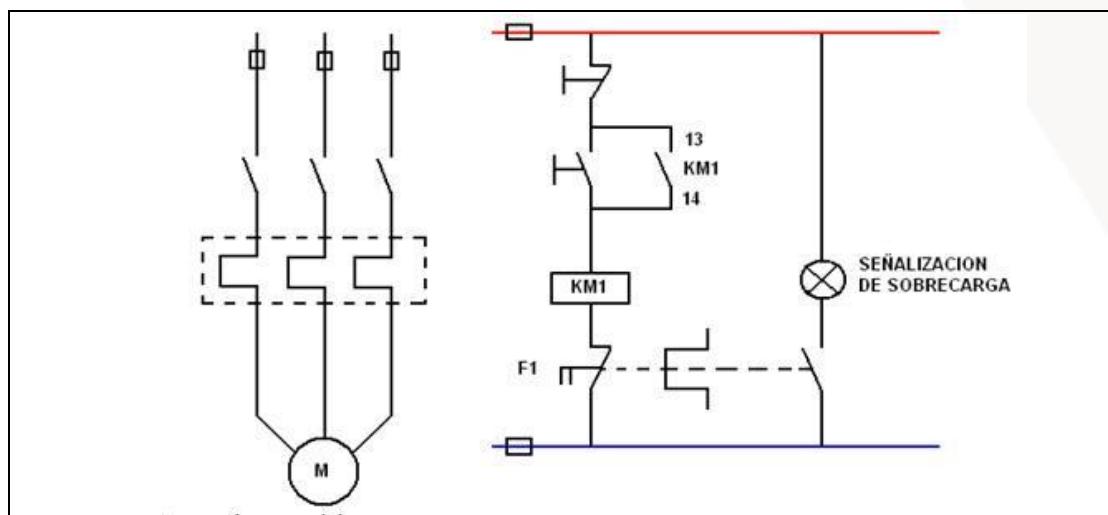


Figura 352

8.5 Método para la Localización de Fallas

En este contenido se explicitará un posible método para detectar las fallas que puede haber en circuitos (o planos) eléctricos.

Supongamos que en la figura 353 el contactor principal C4 no entra impidiendo el funcionamiento de la máquina.

Para la localización de la bobina correspondiente, se debe buscar de acuerdo al número que Dibujo entre paréntesis (2.47). Esto es Hoja 2, Línea 47 en el esquema funcional. (Ver figura 354) Acá se encuentra la bobina correspondiente al contactor C4. Siguiendo esta línea se encuentra que, como condición de entrada de C4, hay un contacto normal abierto de C5 de tal manera que para verificar su estado en el tablero de relé tendremos que medir entre los contactos 23, 24 y 25 de C5.

En caso de estar abierto, quiere decir que C5 tampoco está energizado por lo cual deberemos buscar su bobina - la cual se encuentra en la hoja 2, línea 43.

Así sucesivamente, se sigue la cadena de contacto hasta localizar cuál es el elemento que se encuentra fallado.

Atención

Este procedimiento se puede seguir en cualquier tipo de planos, adaptado en cada caso a la forma en que están indicados los elementos correspondientes

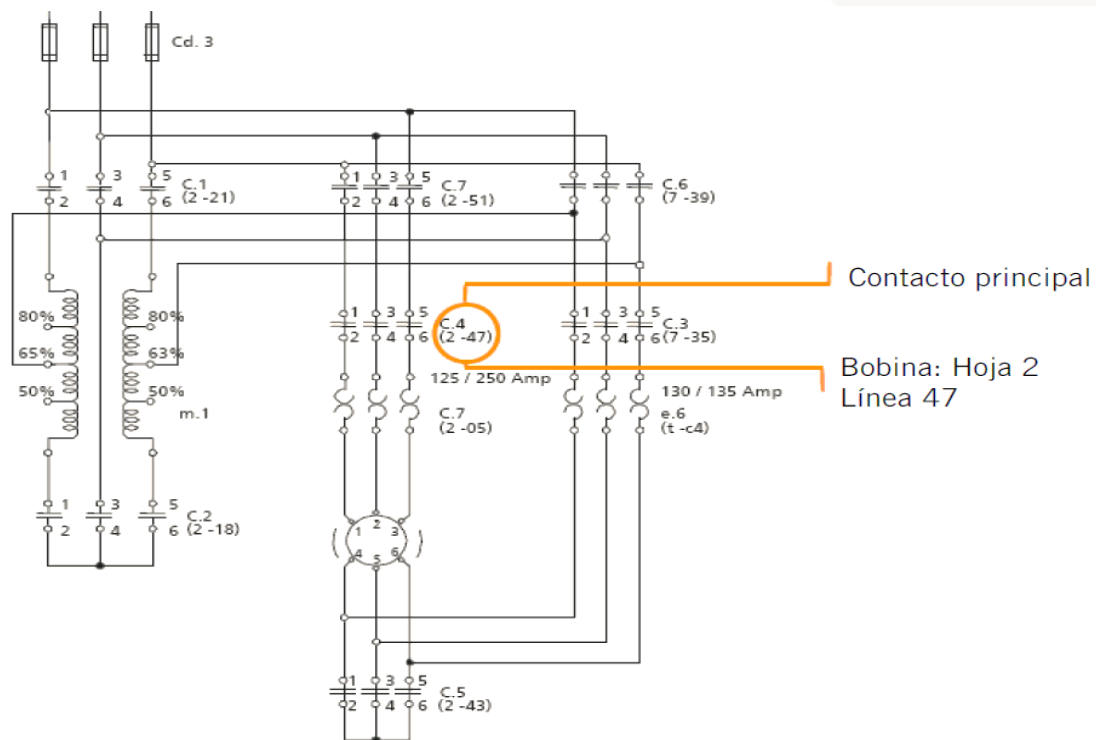


Figura 353

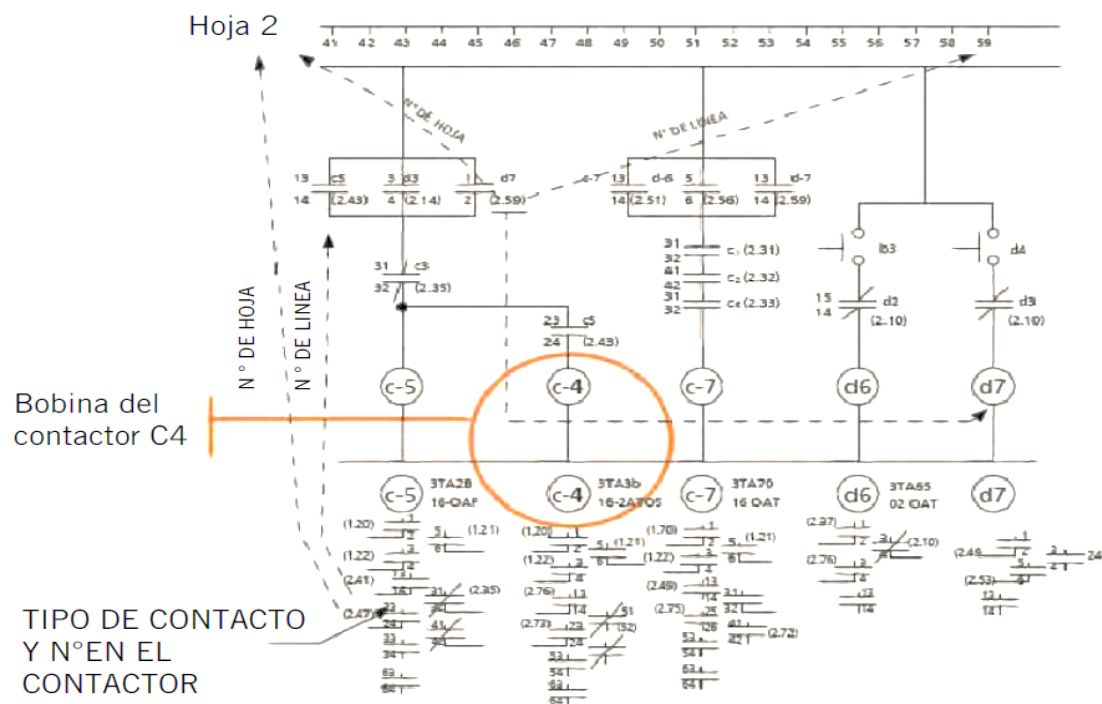


Figura 354

Actividad N° 7

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante realice análisis mediante la interpretación de planos eléctricos

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	▼
Recurso Audiovisual	▼
Propuestas de situaciones problemáticas	▼
Formulación de Preguntas	▼
Taller de Trabajo	

Análisis y descripción de funcionamiento mediante la interpretación de planos eléctricos

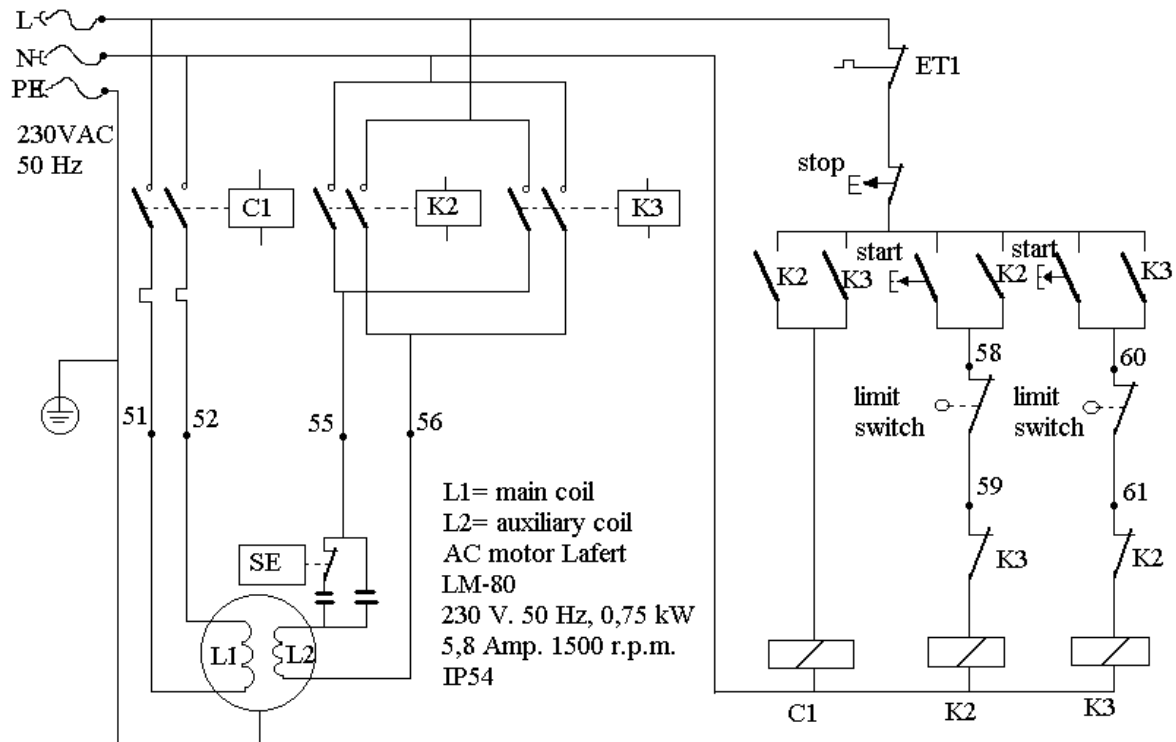
Objetivos del aprendizaje:

Indicar y reconocer una falla mediante la interpretación de planos eléctricos.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.

Solicitará a los participantes que analicen un plano eléctrico, para que determinen el tipo de diagrama, norma utilizada y funcionamiento del circuito.



Materiales y Recursos

- Planos impresos

Desarrollo de la actividad

Los participantes analizarán plano propuesto y harán un análisis de este, explicando el funcionamiento del plano propuesto.

Cierre de actividad

La actividad debe ser entregada al instructor para ser revisada y luego realizar una retroalimentación.

9 Interpretación de planos instrumentación

9.1 Norma I.S.A

La Norma ISA S5.1 proporciona las herramientas necesarias para representar la instrumentación y los sistemas de medición y control utilizados en procesos industriales. Esta norma incluye un método de representación de los instrumentos mediante símbolos, a los cuales se asocia un código de identificación (TAG).

En Chile se llaman diagrama de procesos e instrumentación (P & ID) a esta información. I.S.A la llama Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P & ID: Piping & Instrumentation Diagram).

Aun cuando existe una extensa variedad de instrumentos, ellos se pueden clasificar bajo categorías comunes de acuerdo a la función que realizan.

Para la representación de procesos ISA recomienda utilizar ciertas clases de líneas para representar flujos de proceso y señales de instrumento, también define símbolos para válvulas, actuadores y otros, deja libertad para representar equipos de proceso. Los instrumentos los representa por círculos con una cadena de letras para su identificación.

Sistema de Identificación De Instrumentos

El Objetivo fundamental es describir los sistemas de representación usados en los planos y documentos de instrumentación.

En general, al realizar un plano de instrumentación , a cada instrumento se le asocia un símbolo y un código alfanumérico llamado “ Tag number” , que indica la función que cumple el instrumento dentro de un lazo de control , así como también el número de lazo asociado al instrumento.

El sistema de identificación consta de dos partes: Identificación funcional e identificación de lazo.

De este modo, cada instrumento se debe identificar primero por un sistema de letras que lo clasifica de acuerdo a su función. Luego se identifica el instrumento de acuerdo al lazo de control que pertenece, por lo cual se agrega a las letras el número correspondiente a dicho lazo.

Es necesario establecer que todo instrumento requiere medir de alguna manera la variable bajo procesamiento, para luego efectuar alguna función como por ejemplo indicar su valor o abrir un lazo debido al valor alcanzado. Por esto se habla de la variable bajo medición aun que lo correcto sería hablar de la variable bajo procesamiento.

Identificación funcional

La Identificación Funcional consiste en un sistema de letras que clasifican el instrumento de acuerdo a la(s) función(es) que realiza sobre una variable. Estas letras se presentan en la tabla 46, donde las letras de las dos primeras columnas pueden representar a la variable bajo medición y las letras de las tres últimas columnas pueden representar a la función del instrumento.

Hay varias letras a elección del usuario para definir variables y funciones, con el objetivo de dar mayor flexibilidad al método de identificación.

Todas las letras de la identificación funcional deben ser **MAYUSCULAS**.

Como se ha señalado, la identificación funcional de un instrumento es una cadena de letras, a continuación se establecen métodos para efectuar correctamente a un instrumento

Identificación funcional

PRIMERA LETRA		LETRAS SIGUIENTES		
Variable Medida o inicial (3)	Letra Modificante	Función de Lectura Pasiva	Funcion de Salida	Letra Modificante
A	Análisis (4)	Alarma		
B	Flama o quemador	Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
C	Conductividad (eléctrica)		Control	
D	Densidad o peso específico	Diferencial (3)		
E	Voltaje	Elemento primario (sensor)		
F	Flujo	Relación , Fracción (3)		
G	Calibre (espesor)	Visor (8)		
H	Manual			Alto(6)(13)(14)
I	Corriente	Indicacion(9)		
J	Potencia	Exploración (scan) (6)		
K	Tiempo		Estación de Control	
L	Nivel	Luz piloto (10)		Bajo(6)(13)(14)
M	Humedad			Medio o intermedio(6)(13)
N	Libre (1)	Libre	Libre	Libre
O	Libre (1)	Orificio / restricción		
P	Presion o vacío	Punto de prueba		
Q	Cantidad	Integrar o Totalizar (3)		
R	Radiactividad	Registrar		
S	Velocidad o Frecuencia	Seguridad (7)	Interruptor	
T	Temperatura		Transmisor	
U	Multivariable (5)	Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V	Viscosidad		Válvula	
W	Peso o Fuerza	Termopozo (RTD, termocupla, etc)		
X	Sin Clasificar (2)	Sin Clasificar	Sin Clasificar	Sin Clasificar
Y	Libre (1)		Relé, conversor, computador(12)	
Z	Posición		Actuar, operar o Elemento final de control	

Tabla 46

- Todas las letras son mayúsculas.
- La función que realiza el instrumento, ocupa de 2 a 5 letras.
- La primera letra siempre designa a la variable a la que está dedicada el instrumento.
- La segunda letra puede ser una modificadora de la variable
- La tercera puede ser una función secundaria del instrumento
- La cuarta puede ser la función principal del instrumento
- La quinta letra puede ser una modificadora de la función principal del instrumento
- Cada posición que no se emplea hace cambiar las posiciones recién descritas

Sobre la letra modificatoria de la variable

Se observa en la tabla 46 que las letras empleadas en modificar la variable no designan funciones del instrumento, esto tiene una sola excepción con la letra S. Por ejemplo, en TDC la letra D cambia la variable medida T en una nueva variable “diferencial de temperatura”.

Sobre la letra modificatoria de la función

Se observa en la tabla 46 que las letras empleadas en modificar la función no designan funciones principales del instrumento, esto tiene una sola excepción con la letra M. Por ejemplo, en TAL la letra L cambia la función alarma A en una alarma por nivel bajo de temperatura”.

Casos de identificación

a. Cuando se emplean sólo dos letras

- La primera letra siempre designa a la variable a la que está dedicada el instrumento.
- La segunda es la función principal del instrumento

Ejemplos

TT	Transmisor de temperatura.
LC	Control de nivel
FI	Indicador de flujo
GR	Registrador de espesor
ME	Elemento primario de humedad
KS	Switch por tiempo

Tabla 47

b. Cuando se emplean tres letras.

- existen las siguientes posibilidades:

a)	1º	Variable
	2º	Función secundaria
	3º	Función principal

b)	1º	Variable
	2º	Modifica variable
	3º	Función principal

c)	1º	Variable
	2º	Función principal
	3º	Modifica la función principal

Tabla 48

Ejemplos:

LIC	a	Controlador e indicador de nivel
ZRK	a	Estación de control y registrador de posición
TDI	b	Indicador de diferencial de temperatura
JSH	c	Switch valor alto de potencia
JSL	c	Switch valor bajo de potencia

Tabla 49

c. Cuando se emplean cuatro letras, existen las siguientes posibilidades

i	1º	Variable
	2º	Función secundaria
	3º	Función principal
	4º	Modifica la función principal

ii	1º	Variable
	2º	Modifica variable
	3º	Función principal
	4º	Modifica la función principal

iii	1º	Variable
	2º	Modifica Variable
	3º	Función secundaria
	4º	Función principal

iv	1º	Variable
----	----	----------

	2º	Modifica Variable
	3º	Función principal
	4º	Modifica la función principal

Tabla 50

Ejemplos:

PDIC	ii)	Controlador, e indicador de presión diferencial
TDET	ii)	Transmisor con elemento primario de diferencial de temperatura
JISH	iii)	Switch por nivel alto e indicador de potencia
PDAL	iv)	Alarma de nivel bajo de presión diferencial

Tabla 51

d. Cuando se emplean cinco letras, existe solo la siguiente posibilidad

1º	Variable
2º	Modifica variable
3º	Función secundaria
4º	Función principal
5º	Modifica la función principal

Tabla 52

Ejemplos

PDIAM	Alarma de nivel medio e indicador de presión diferencial
TDASH	Switch por nivel alto y alarma de diferencial de temperatura
FQRAL	Alarma de nivel bajo y registrador de totalizado de flujo

Tabla 53

Observaciones al proceso de identificación

a) Una excepción al caso de dos letras es el uso de la letra única “ L “ para denotar una luz piloto que no forma parte de un lazo de instrumentación y por tanto no puede ser la función principal del instrumento (ver tabla 46 , nota 10) .

b) La Identificación Funcional de un instrumento debe hacerse de acuerdo a su función y no a su construcción. Lo anterior se puede aclarar con los siguientes ejemplos:

Un registrador de presión diferencial que se calibra para medir flujo, se debe identificar como FR, pues la variable de interés en el lazo de control es el flujo, no la presión.

Un indicador de presión conectado al fondo de un estanque es identificado por LI, debido a que se realiza la detección de nivel por medio de la presión.

Del mismo modo, un indicador de presión y un interruptor de presión conectados a la salida de un transmisor neumático de nivel se deben representar como LI y LS, respectivamente.

c) En un lazo de instrumentos, la “primera letra” de la Identificación Funcional se debe seleccionar de acuerdo con la variable medida o inicial y no con la variable manipulada. Por ejemplo, una válvula de control que varía el flujo de acuerdo a la señal entregada por un controlador de nivel, se denomina LV y no FV, pues la variable medida por el lazo de control es el nivel, y no el flujo (variable manipulada).

d) Para la identificación de un instrumento en un diagrama de procesos e instrumentación (P & ID) se pueden emplear tantos círculos de identificación como variables medidas o salidas tenga. De este modo, un transmisor registrador de razón de flujo con interruptor de razón se puede identificar en el diagrama con dos círculos tangentes, uno con la cadena FFRT-3 y otro con la cadena FFS-3. Para efectos de escritura y referencia, el instrumento se debe designar entonces como FFRT/FFS-3. Sin embargo, si se desea, la designación FFRT-3 puede servir con fines de identificación general y para propósitos de compra, en tanto FFSR-3 se puede usar para diagramas de lazos eléctricos.

e) El número de letras funcionales para un instrumento debe ser mínimo, no excediendo de cuatro. Para ello conviene:

e.1) Disponer las letras en subgrupos, tal como el ejemplo visto anteriormente con FFRT-3 y FFS-3.

e.2) En un instrumento que indica y registra la misma variable medida puede omitirse la letra I (indicación).

Notas relacionadas con la Tabla 53.

(1) Se han previsto letras libres para cubrir designaciones no cubiertas por la norma y de uso frecuente. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra Y puede representar como primera letra el torque motriz y como sucesiva un convertidor de frecuencia.

(2) La letra sin clasificar X, puede emplearse en las designaciones no indicadas que se utilicen sólo una vez o un número limitado de veces. Se recomienda que su significado figure en el exterior del círculo de identificación del instrumento. Ejemplo: XR-3 registrador de vibración.

(3) Cualquier primera letra si se utiliza con las letras de modificación D (diferencial), F (razón) o Q (integración o totalización) o cualquier combinación de las mismas cambia su significado para representar una nueva variable medida. Por ejemplo, los

instrumentos TDI y TI miden dos variables distintas. La temperatura diferencial y la temperatura, respectivamente.

(4) La letra A para análisis, abarca todos los análisis no indicados en la tabla 46, que no están cubiertos por una letra libre. Es conveniente definir el tipo de análisis al lado del símbolo en el diagrama de proceso.

(5) El empleo de la letra U como multivariable en lugar de una combinación de primeras letras, es opcional.

(6) El empleo de los términos de modificaciones alto, medio, bajo, medio o intermedio y exploración, es preferible pero opcional.

(7) El término seguridad, debe aplicarse sólo a elementos primarios y a elementos finales de control que protejan contra condiciones de emergencia (peligrosas para el equipo o el personal). Por este motivo, una válvula autorreguladora de presión que regula la presión de salida de un sistema, mediante el alivio o escape de fluido al exterior, debe ser PCV, pero si esta misma válvula se emplea contra condiciones de emergencia, se designa PSV.

La designación PSV se aplica a todas las válvulas proyectadas para proteger contra condiciones de emergencia de presión sin tener en cuenta si las características de la válvula y la forma de trabajo la colocan en la categoría de válvula de seguridad, válvula de alivio, o válvula de seguridad de alivio.

(8) La letra de función de lectura pasiva *visor* (vidrio, glass), se aplica a los instrumentos que proporcionan una visión directa no calibrada del proceso.

(9) La letra *indicación* se refiere a la lectura de una medida real de proceso. No se aplica a la escala de ajuste manual de la variable si no hay indicación de ésta.

(10) Una luz piloto que es parte de un lazo de control debe designarse por una primera letra seguida de la letra sucesiva L. Por ejemplo, una luz piloto que indica un período de tiempo terminado se designará KL. Sin embargo, si se desea identificar una luz piloto fuera del lazo de control, la luz piloto puede designarse en la misma forma o bien alternativamente por una letra única L. Por ejemplo, una luz piloto de marcha de un motor eléctrico puede identificarse EL, suponiendo que la variable medida adecuada es la tensión, o bien XL, suponiendo que la luz es excitada por los contactos eléctricos auxiliares del partidor del motor, o bien simplemente L.

La actuación de la luz piloto puede ser acompañada por una señal audible.

(11) El empleo de la letra U como multifunción en lugar de una combinación de otras letras, es opcional.

(12) Se supone que las funciones asociadas con el uso de la letra sucesiva Y se define en el exterior del símbolo del instrumento cuando sea conveniente hacerlo así. Es usual utilizar la letra sucesiva Y para referirse a convertidores del tipo I / P (Corriente a

Presión), por ejemplo LY, PY, FY; donde la primera letra depende de la variable que está controlando el lazo.

(13) Los términos alto, bajo y medio o intermedio deben corresponder a valores de la variable medida, no a los de la señal a menos que se indique de otro modo. Por ejemplo, una alarma de nivel alto derivada de una señal de un transmisor de nivel de acción inversa debe designarse LAH incluso, aunque la alarma sea actuada cuando la señal cae a un valor bajo.

(14) Los términos alto y bajo, cuando se aplican a válvulas, o a otros dispositivos de Cierre – apertura, se definen como sigue:

Alto: indica que la válvula está, o se aproxima a la posición de apertura completa.

Bajo: denota que se acerca o está en la posición completamente cerrada.

Identificación de lazo

Se busca identificar en un lazo de control cada instrumento y todos los instrumentos asociados con él. Puede aplicarse una identificación adicional, mediante una numeración consecutiva, una numeración por planta, etc.; según el propósito que se persiga.

Un lazo de control está constituido por un conjunto de instrumentos destinados hacia el control de una variable de proceso en particular.

La Identificación de lazo del instrumento, consiste en un sistema de números que se agrega a las letras de la identificación funcional para definir la pertenencia al lazo de control.

La Identificación por lazo de un instrumento generalmente debe hacerse utilizando el número asignado al lazo al cual el instrumento pertenece.

Cada lazo de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto deben identificarse con un secuencia única de números. Ésta puede empezar con el número 1 o cualquier otro número conveniente, tal como 301 o 101 que puede incorporar información codificada tal como área de planta.

La numeración del lazo (lazo) puede ser paralela o serial. La numeración paralela involucra comenzar con una secuencia numérica para cada nueva primera letra (para cada nuevo lazo), así, por ejemplo, TIC-100, FRC-100, LIC-100, TIC-101, AI-100, etc.

La numeración serial involucra usar una única secuencia de números, indiferente de la primera letra de identificación de un lazo, por ejemplo, TIC-100, FRC-101, LIC-102, AI-103.

En el caso de que un lazo dado contenga más de un instrumento con la misma identificación funcional, es preferible añadir un sufijo anexo al número de lazo. Por ejemplo FV-2A, FV-2B, FV-2C, etc., o TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etc.,

Estos sufijos pueden añadirse obedeciendo a las siguientes reglas:

- a) En el caso que se usen letras, estos sufijos deben ser usados con letras mayúsculas, A, B, C, etc.
- b) En un instrumento tal como un registrador de temperatura multipunto (TJR) que imprime números para identificación de los puntos, los elementos primarios pueden numerarse TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etc.
- c) Las subdivisiones interiores de un lazo pueden designarse por sufijos formados por letras y números.

Un instrumento que realiza dos o más funciones puede designarse por todas sus funciones. Por ejemplo, un registrador de flujo FR-2 con pluma de presión PR-4 se designa preferentemente FR-2 / PR-4 o bien UR-7(U: multivariable); un registrador de presión de dos plumas como PR-7/8; y una ventanilla de alarma para temperatura alta y baja como TAH / L-9 o TAHL-9.

Los accesorios para instrumentos tales como rotámetros de purga, filtros monorreductores y tanques de sello que no están representados explícitamente en un diagrama de flujo, pero que necesitan una identificación para otros usos deben tenerla de acuerdo con su función y deben emplear el mismo número del lazo que el del instrumento asociado. Alternativamente, los accesorios pueden emplear el mismo número de identificación que el de sus instrumentos asociados, pero con palabras aclaratorias si ello es necesario.


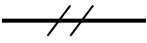
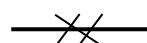

Por consiguiente, una brida para una placa orificio FE-7 debe designarse como FX-7 o bien como FE-7 brida. Un rotámetro regulador de purga asociado con un manómetro PI-8 debe identificarse como FIVC-8, pero puede también marcarse PI-8 purga. Una sonda empleada con un termómetro TI-9 será TW-9, o bien, TI-9 sonda.

Representación De Procesos

Líneas

A continuación en la Tabla 54 se presentan las líneas empleadas en los planos y dibujos para representar los distintos tipos de señales y líneas de proceso

Líneas para diagramas de procesos e instrumentación

	Conexión a proceso o alimentación de instrumentos (*).
	Señal neumática (**) o señal sin definir en una línea de proceso.
	Señal neumática binaria
	Señal electromagnética (***), sónica (sin hilo ni tubo) o radioactiva.



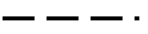
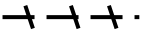
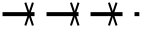
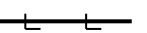
	Enlace o comunicación del sistema, usado para indicar “conexión” por programa o comunicación de datos entre elementos o funciones distribuidas del sistema.
	Acoplamiento mecánico
	Señal eléctrica.
	Señal eléctrica binaria.
	Tubo capilar.
	Señal hidráulica.

Tabla 54

(*) El símbolo se aplica también a cualquier señal que emplee gas como medio de transmisión.

(**) Si se emplea un gas distinto del aire debe identificarse con una nota al lado del símbolo o bien de otro modo.

(***) Los fenómenos electromagnéticos Incluyen calor, ondas de radio, radiación nuclear y luz.

Las siguientes abreviaturas se sugieren para representar el tipo de alimentación (suministros de energía), también aplicables a suministros de purga de fluidos.

Abreviaturas recomendadas

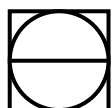
AS	Alimentación de aire
ES	Alimentación eléctrica
GS	Alimentación de gas
HS	Alimentación hidráulica
NS	Alimentación de nitrógeno
WS	Alimentación de agua

Tabla 55

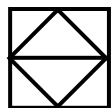
Símbolos de instrumentos

En la tabla 56 se presentan los símbolos recomendados por ISA

Símbolos de instrumentos

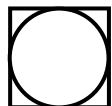


Función en sistema de control (DCS) normalmente accesible al operador (en panel principal), indicador, controlador, registrador o punto de alarma; generalmente usado para indicar un despliegue en pantalla

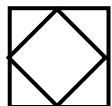


(CRT) o comando en el sistema de control.

Función en PLC normalmente accesible al operador (en panel principal), indicador, controlador, registrador o punto de alarma; generalmente usado para indicar un despliegue en pantalla (CRT) o comando en el sistema de control. Se trata de una función de instrumento que se realiza por software.



Función en DCS normalmente no accesible al operador. Se trata de una función de instrumento que se realiza por software. Se trata de una función de instrumento que se realiza por software.



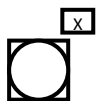
Función en PLC normalmente no accesible al operador. Se trata de una función de instrumento que se realiza por software.



Lógica de control local, enclavamiento alambrado e implementado con elementos discretos; llamado también “interlock eléctrico”.



Indica tipo de operación manual, estado señalizado o alarma (Ej. LAHH).



Indica tipo de función.



Instrumento discreto montado en terreno.



Instrumento discreto montado en panel.

Enclavamiento programado en la lógica del sistema de control (DCS o PLC). Se trata de una función de instrumento que se realiza por software.

Tabla 56

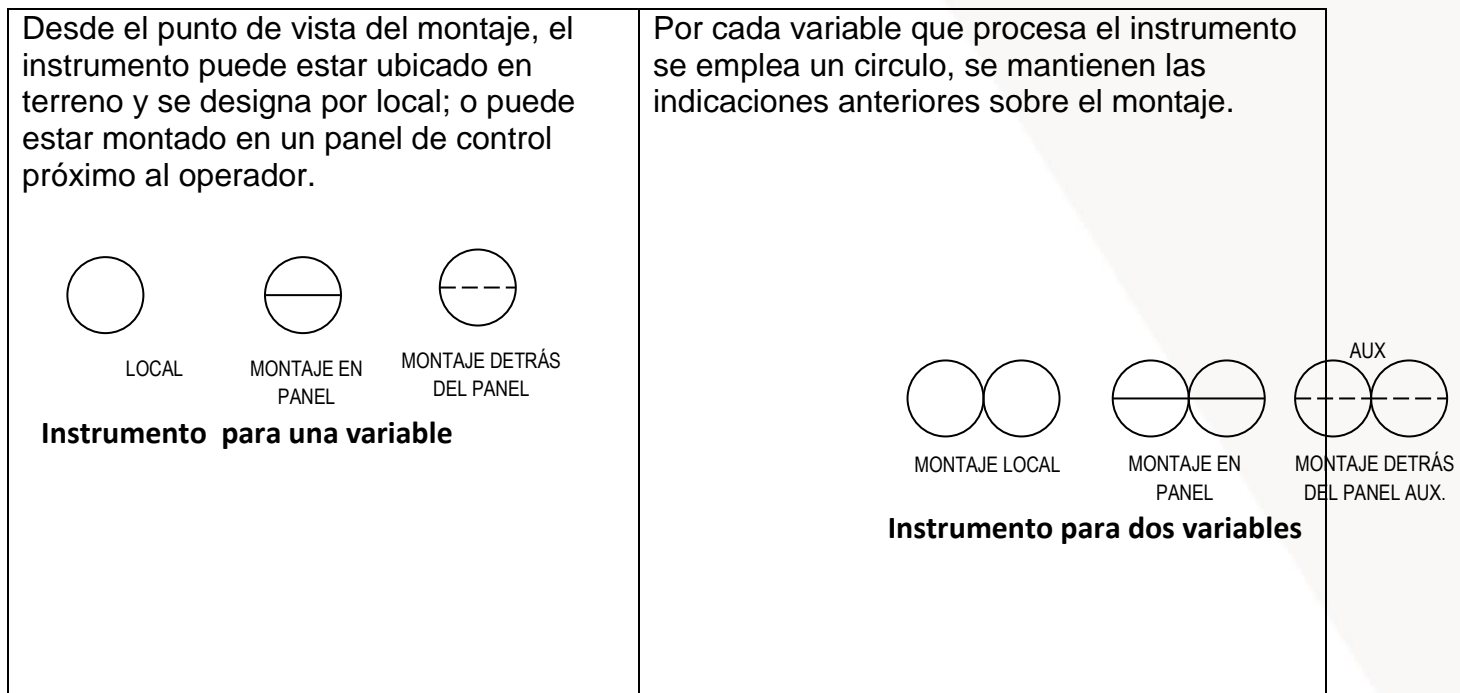


Figura 355

Símbolos de válvulas

Las válvulas son los actuadores de uso más frecuente en los procesos industriales. ISA recomienda los símbolos de la figura 356.

El símbolo de 1.3 a es la forma más común de representar el cuerpo de una válvula de dos vías, en algunos textos le asignan la condición de normal abierto y cuando los triángulos están sombreados le asignan la condición de normal cerrado.

El símbolo de 1.3b representa a dampers o mariposas de uso frecuente en el control de gases.

El símbolo de 1.3c representa al cuerpo de una válvula de bola u obturador esférico.

El símbolo de 1.3d representa al cuerpo de una válvula de dos vías en ángulo.

El símbolo de 1.3e representa al cuerpo una válvula de tres vías, no están especificados los caminos posibles.

El símbolo de 1.3 f representa al cuerpo una válvula de cuatro vías, no están especificados los caminos posibles.

El símbolo de 1.3g representa al cuerpo una válvula de cuatro vías, pero aquí están especificados los caminos posibles.

El símbolo de 1.3h puede representar al cuerpo una válvula de dos vías no clasificado y que debe ser complementado con una nota en el plano.

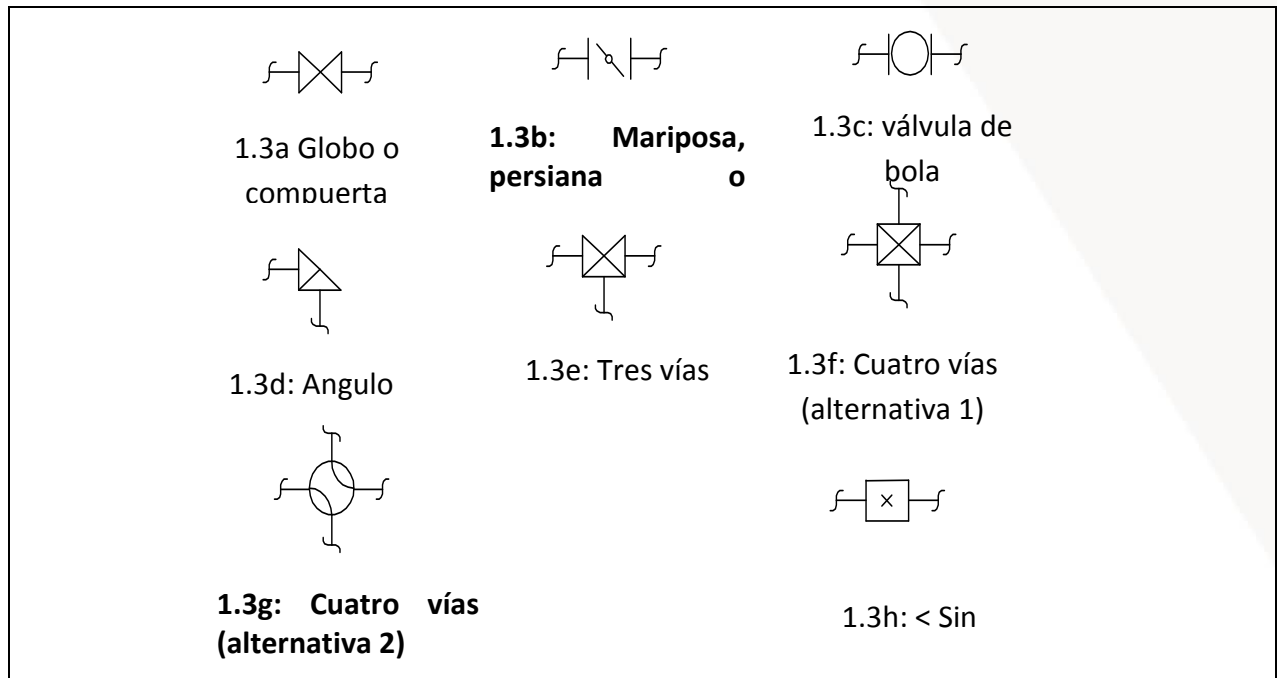


Figura 356

Símbolos para representar cuerpos de válvulas

Debe observarse que el símbolo del cuerpo de la válvula se estructura en base a los triángulos que definen las vías de ella (casos (a, d, e, f); para válvulas muy usadas (b, c) se establece un símbolo más representativo de su forma constructiva, y la norma deja la libertad para construir esos símbolos para los planos de un proyecto.

A las alternativas (ef.) se les debe agregar la flecha curvada que indica los caminos posibles entre las vías.

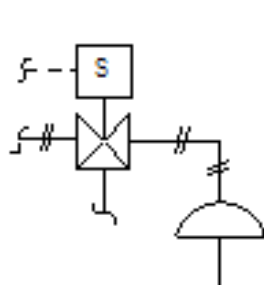
Actuadores y pilotaje

Bajo la palabra actuación se alude a influir en el comportamiento del proceso manejando la energía y materia que se le ingresa. Para conseguir esto siempre debe partirse de una señal de mando que se denomina por **PILOTAJE**, que da la información al **ACTUADOR** para que este maneje efectivamente al **ELEMENTO FINAL DE CONTROL**, se exceptúa solo el caso de la actuación manual.

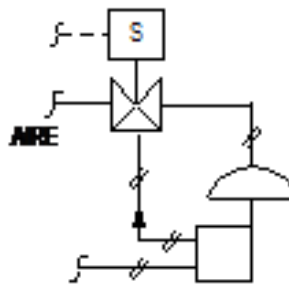
Se generan confusiones porque en la teoría de control se designa por **ACTUADOR** al dispositivo que integra los tres elementos recién señalados.

En la figura 357 se muestran símbolos ISA para la actuación de válvulas.

- a) El símbolo de 1.4 a es la forma de representar la actuación manual de una válvula.
- b) El símbolo de 1.4b representa a la actuación de válvulas de seguridad.
- c) El símbolo de 1.4c representa la actuación por cilindro simple acción sin posicionador u otro piloto. La representación está incompleta debe formar parte de un diagrama más completo.
- d) El símbolo de 1.4d representa la actuación por cilindro doble acción sin posicionador u otro piloto. La representación está incompleta debe formar parte de un diagrama más completo
- e) El símbolo de 1.4e representa la actuación por cilindro de cualquier tipo con pilotaje incluido. Representación genérica válida para un equipo complejo
- f) El símbolo de 1.4 f representa un actuador no clasificado sin incluir su pilotaje. La representación está incompleta debe formar parte de un diagrama más completo. Representación genérica válida para un equipo complejo
- g) El símbolo de 1.4g representa un actuador electro hidráulico, el pilotaje es eléctrico. Representación genérica válida para un equipo complejo
- h) El símbolo de 1.4h representa un actuador por motor, el pilotaje es eléctrico.
- i) El símbolo de 1.4i representa un Actuador por diafragma con muelle (Sin posicionador). está incompleta debe formar parte de un diagrama más completo
- j) El símbolo de 1.4j representa un actuador por diafragma con muelle esta representación es adecuada para actuador con piloto (posicionador continuo en válvula de control, o accionamiento discreto de válvula, solenoide,...) La representación es genérica.
- k) El símbolo de 1.4k representa un actuador por diafragma con muelle posicionador y válvula piloto que presuriza el diafragma a actuar (preferido). Actuación con doble nivel de amplificación, la válvula solenoide piloteada eléctricamente
- l) El símbolo de 1.4l representa un actuador por diafragma con muelle posicionador y válvula piloto que presuriza el diafragma a actuar (opcional) Actuación con doble nivel de amplificación, la válvula solenoide piloteada eléctricamente



1.4k : Actuator por diafragma con posicionador y válvula piloto (preferido)



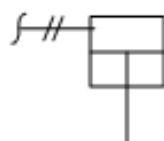
1.4l : Actuator por diafragma con posicionador y válvula piloto (opcional)



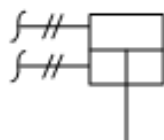
1.4a : Actuator manual



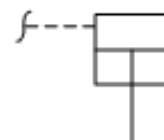
1.4b : Actuator para válvula de seguridad



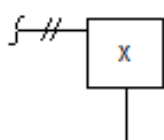
1.4c : Actuación por cilindro simple acción



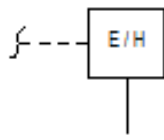
1.4d : Actuación por cilindro doble acción



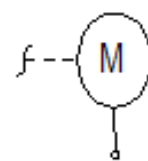
1.4e : Actuación por cilindro pilotaje inducido



1.4f : Actuator no clasificado



1.4g : Actuator electro hidráulico



1.4h : Actuación por Motor



1.4i : Actuator por diafragma con muelle (\$in posicionador)



1.4j : Actuator por diafragma con piloto

Figura 357

Observaciones:

Es conveniente reservar las representaciones genéricas para el caso de equipos integrados o complejos, o en caso de diagramas simplificados.

Las representaciones no discriminan acerca de la naturaleza del accionamiento, por ejemplo un actuador en base a cilindro de doble acción puede ser de movimiento on - off o movimiento continuo según el sistema de pilotaje que se use.

Diagramas de autorreguladoras.

A continuación se presentan los diagramas de autorreguladoras de la figura 358. Para identificar válvulas u otros instrumentos que ya están incluidos en el diagrama se puede usar el círculo. En tales casos, la línea que conecta el círculo al símbolo del instrumento deberá dibujarse cerca de éste, pero sin tocarlo.

LCV-14 designa a una válvula mandada por el flotador, el conjunto permite la autorregulación de nivel.

PCV-17y PCV-20 designan a una válvula mandada por su presión interior, el conjunto permite la autorregulación de presión.

PCV-18 designa a una válvula reductora y reguladora de presión mandada por la presión diferencial existente entre su salida y su interior, el conjunto permite la autorregulación de presión de la línea.

PCV-19 designa a una válvula mandada por su presión interior, el conjunto permite la autorregulación de presión.

PCV-23 y PCV-25 designan a una válvula de seguridad, una es en ángulo y la otra es recta.

PCV-28 designa a una válvula de seguridad actuada por solenoide el que es piloteado por el switch de presión **PS-28**

PSE-29 designa a un elemento de seguridad tipo disco de ruptura que actúa por sobre presión de la línea

PCV-17 designa a una válvula mandada por su presión interior, el conjunto permite la autorregulación de presión.

PCV-17 designa a una válvula mandada por su presión interior, el conjunto permite la autorregulación de presión.

PCV-17 designa a una válvula mandada por su presión interior, el conjunto permite la autorregulación de presión.

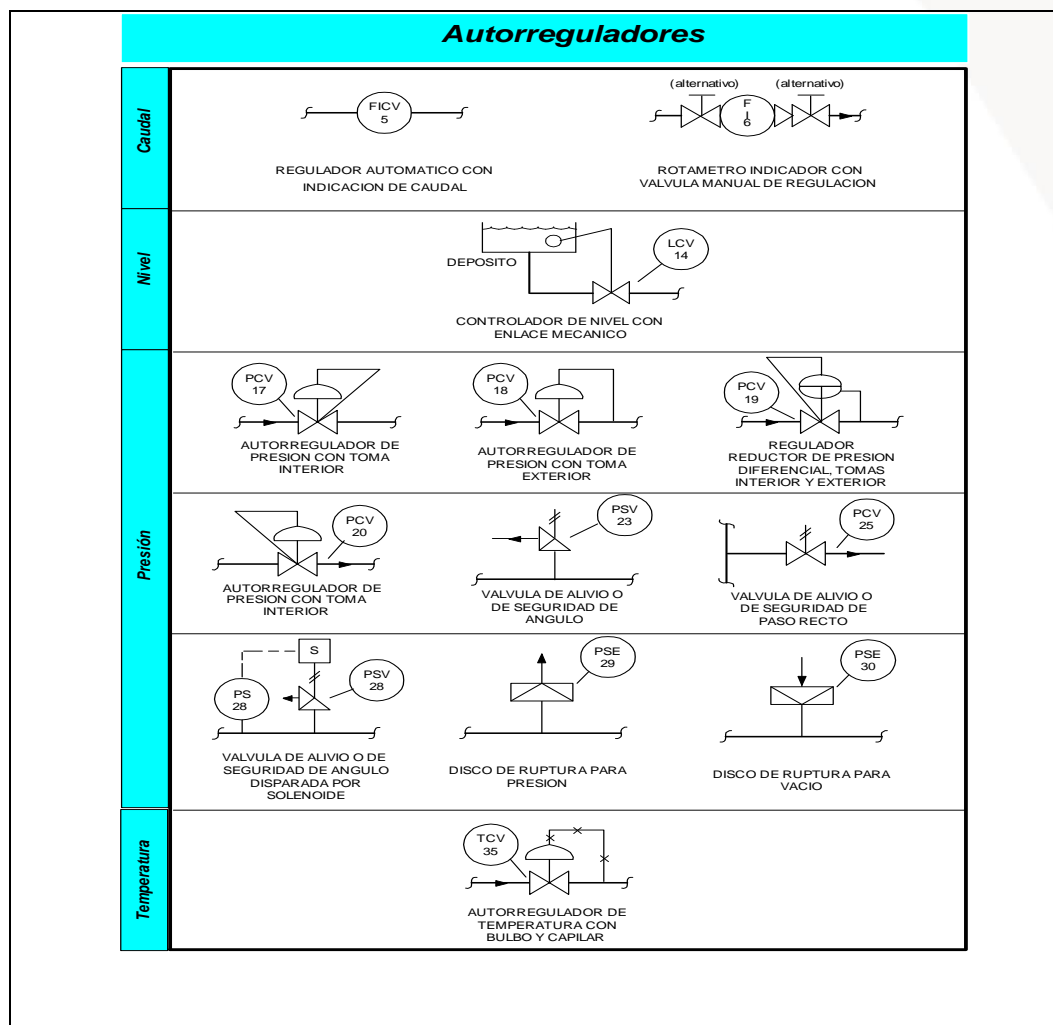


Figura 358

Símbolos para actuadores en condiciones de falla

A continuación se presentan los símbolos que definen la condición normal del actuador. La leyenda es una explicación clara del símbolo, obsérvese que para las válvulas de dos vías basta definir si se abre o se cierra en caso de ser desenergizadas; en cambio, en las válvulas de más vías se debe indicar los caminos que se habilitan en caso de falla de la energía.

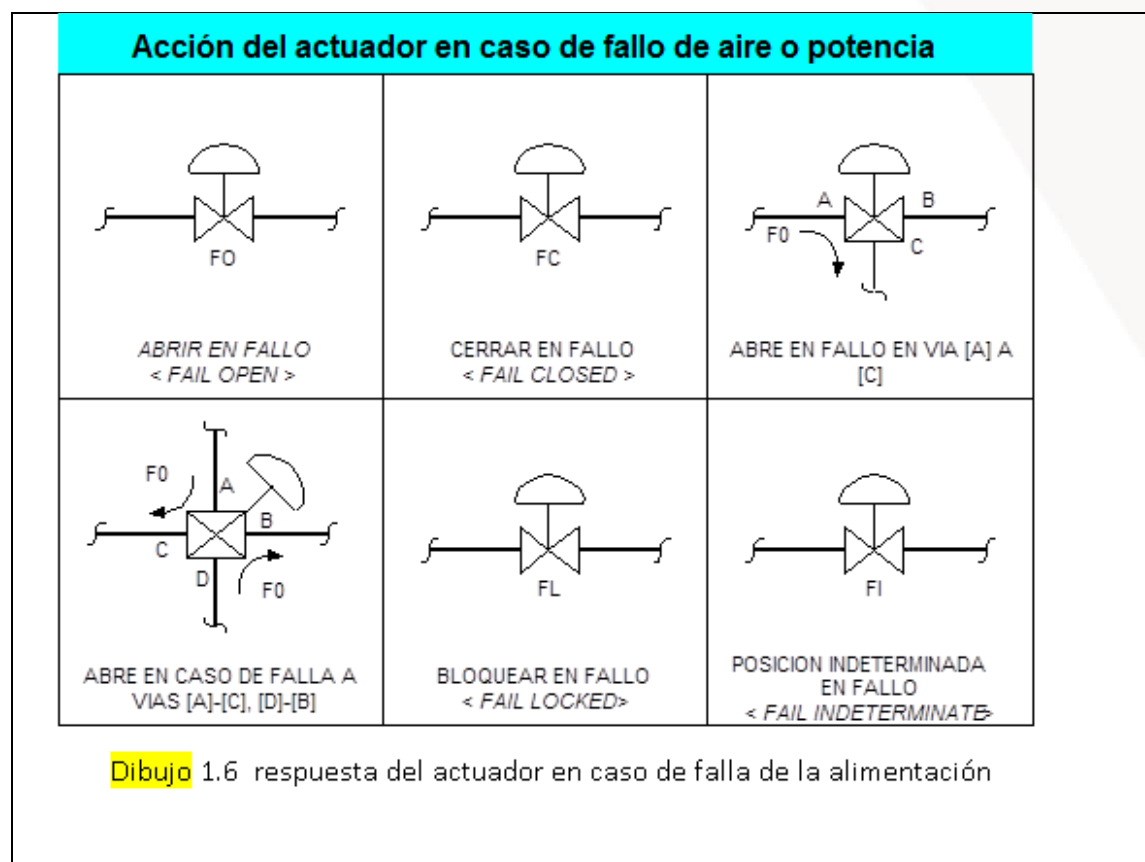


Figura 359

Símbolos para elementos primarios

En la figura 360 se muestran símbolos de elementos primarios de flujo. El caso de FQI-82 es más complejo, ya que se trata de un instrumento que además del elemento primario incluye las funciones de totalizar (principal) e indicar (secundaria). La conexión de FE-83 con FC-83 es una parte típica de un lazo de control de flujo.

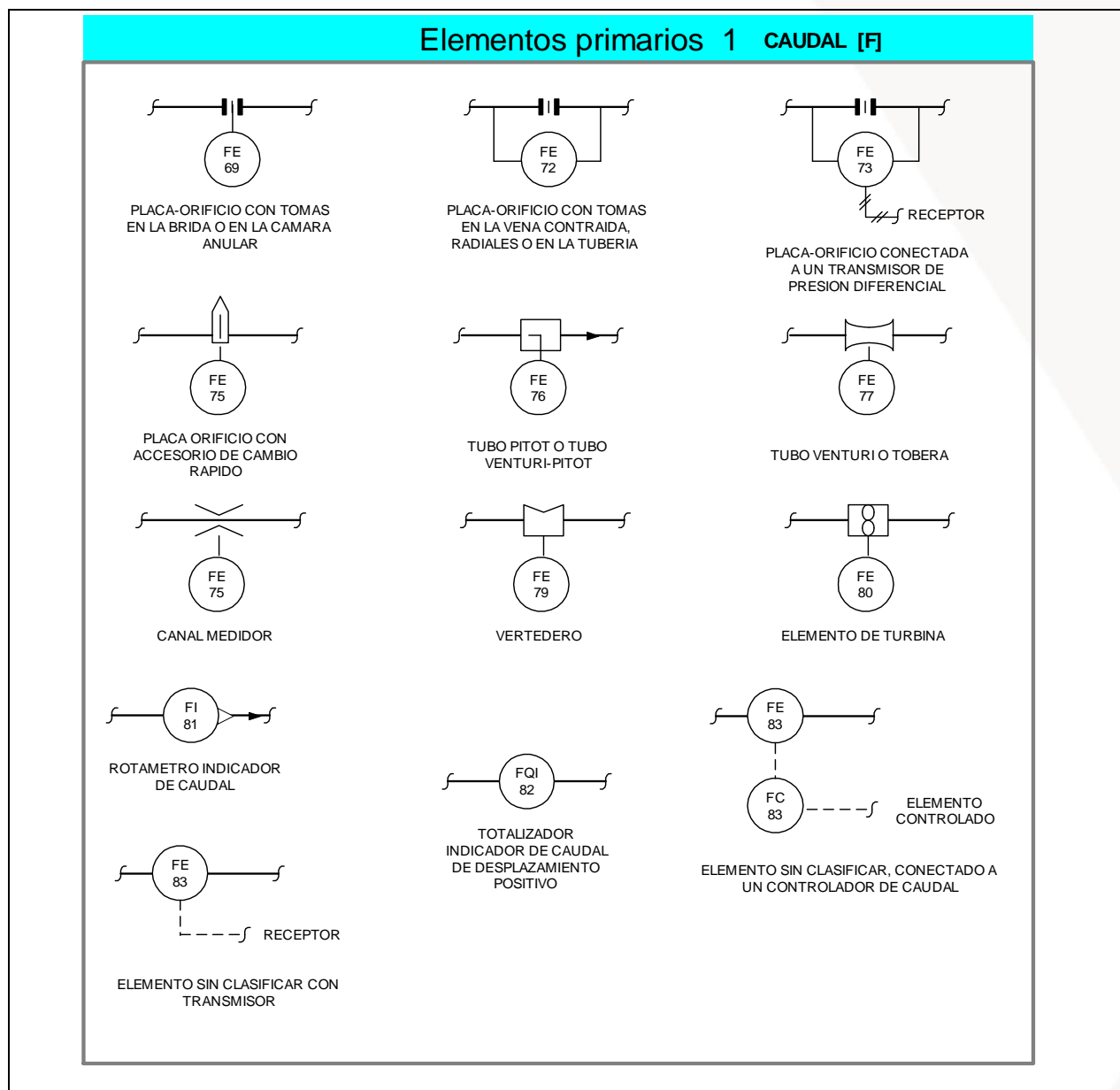


Figura 360
Símbolos para elementos primarios de flujo

En la figura 361 se muestran símbolos de elementos primarios varios. El caso de AIT-45 y AIT-46 corresponde a un análisis doble del combustible y el oxígeno. El caso de CE-56-5 y CJR-56-5 corresponde al registro por el canal 5 de la señal de conductividad. El caso de GX-92 corresponde a un elemento que emite radioactividad y trabaja con un switch de espesor GS-92. El caso de DT-59 corresponde a un Transmisor de densidad que emplea una medida del tipo diferencial.

Elementos primarios 2

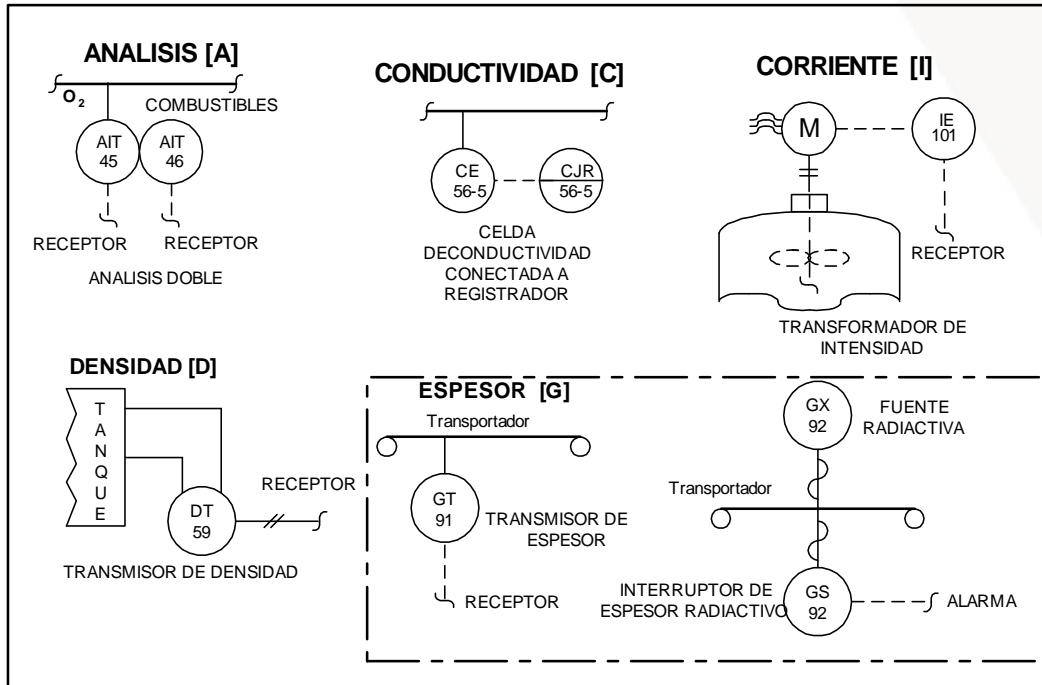


Figura 361
Símbolos para elementos primarios varios

En la figura 362 se muestran símbolos de elementos primarios de nivel. El caso de LX-129 corresponde a un elemento que emite radioactividad y trabaja con un Transmisor de nivel LT-129. El canal 5 de la señal de conductividad. El caso de DT-59 corresponde a un Transmisor de densidad que emplea una medida del tipo diferencial.

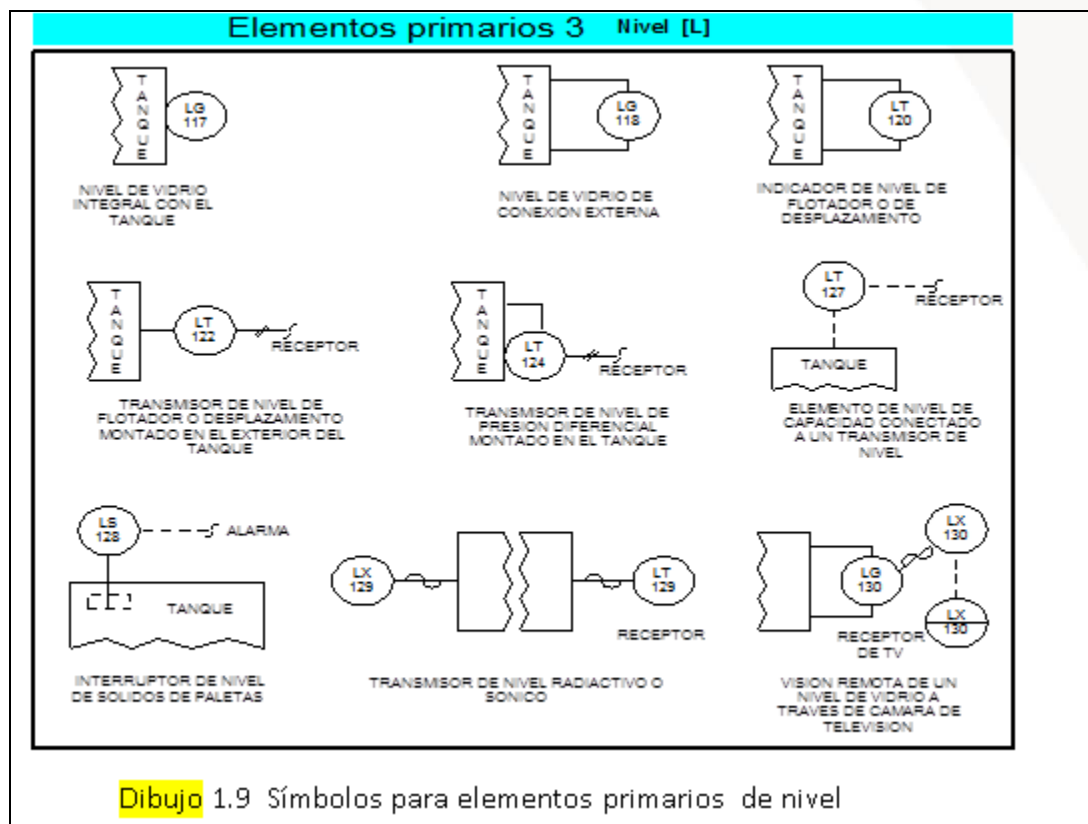


Figura 362

En la figura se muestran símbolos de elementos primarios varios. El caso de ZSL-208 corresponde a un elemento que detecta la carrera de la válvula de control y actúa un switch por nivel bajo.

El caso de KJC-112-7 corresponde al punto de salida nº 7 del controlador de eventos KCJ-112.

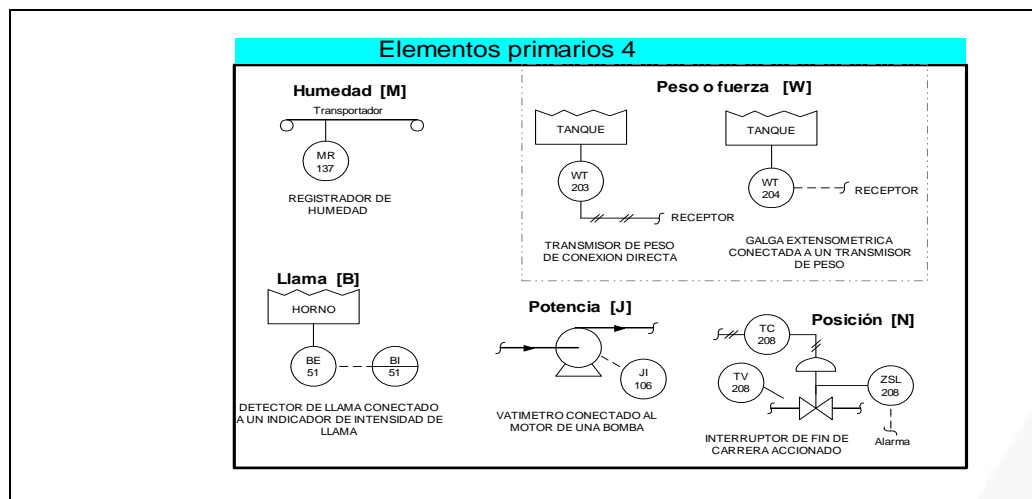
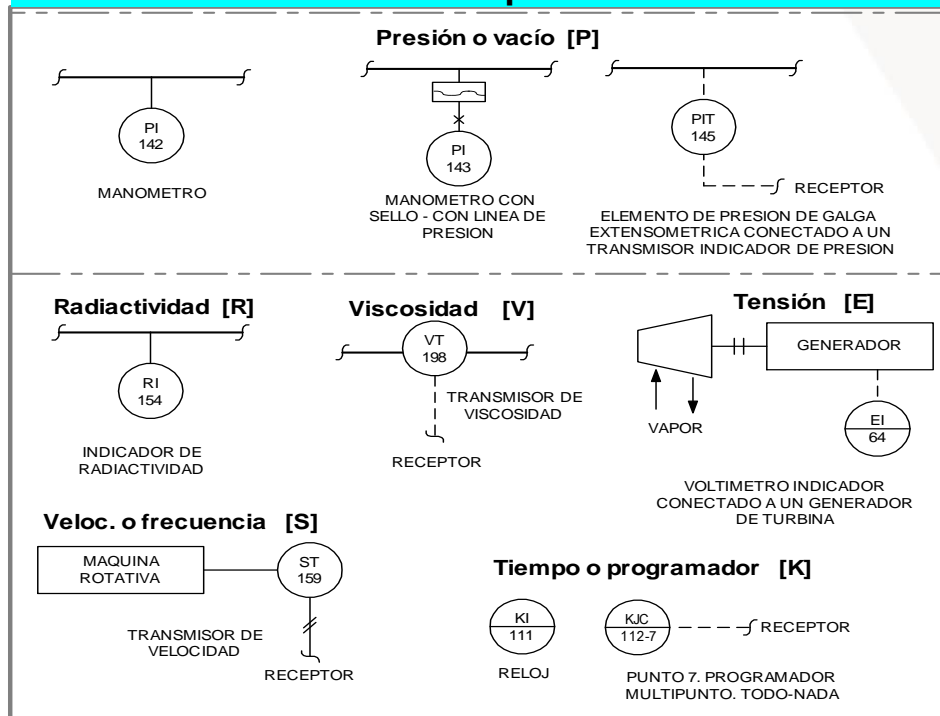


Figura 363

Elementos primarios 5



Elementos primarios 6 Temperatura [T]

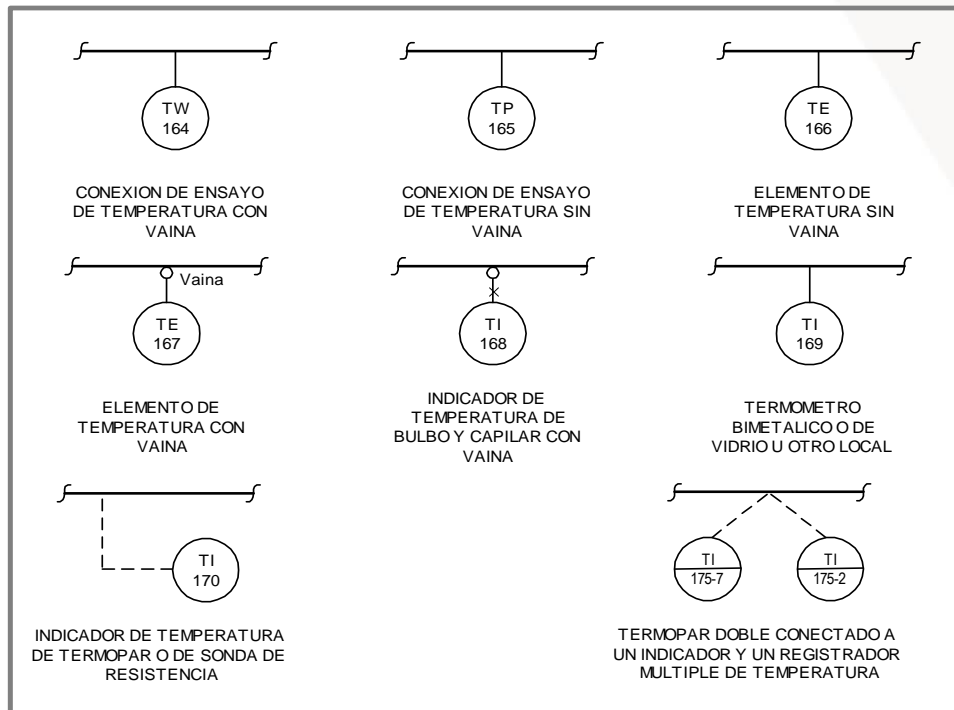


Figura 364

El caso de TI-170 corresponde a un indicador basado en RTD o termocupla.

Símbolos para combinaciones varias

En la figura 365 se muestran combinaciones varias de elementos.

El caso de FT-290 corresponde a un Transmisor de flujo que admite una señal de compensación de temperatura proveniente de TE-290.

El caso de FT-290 corresponde a un Transmisor de flujo que admite una señal de compensación de temperatura proveniente de TE-290.

El caso de HV-293 corresponde a un caso interesante. Este es un caso en que H no designa una variable de proceso. H indica manual, es decir el origen de la información es un operador. El conjunto está hecho para el control manual a través de la válvula de control ALTURA-293. No hay información suficiente para saber que está controlando el operador.

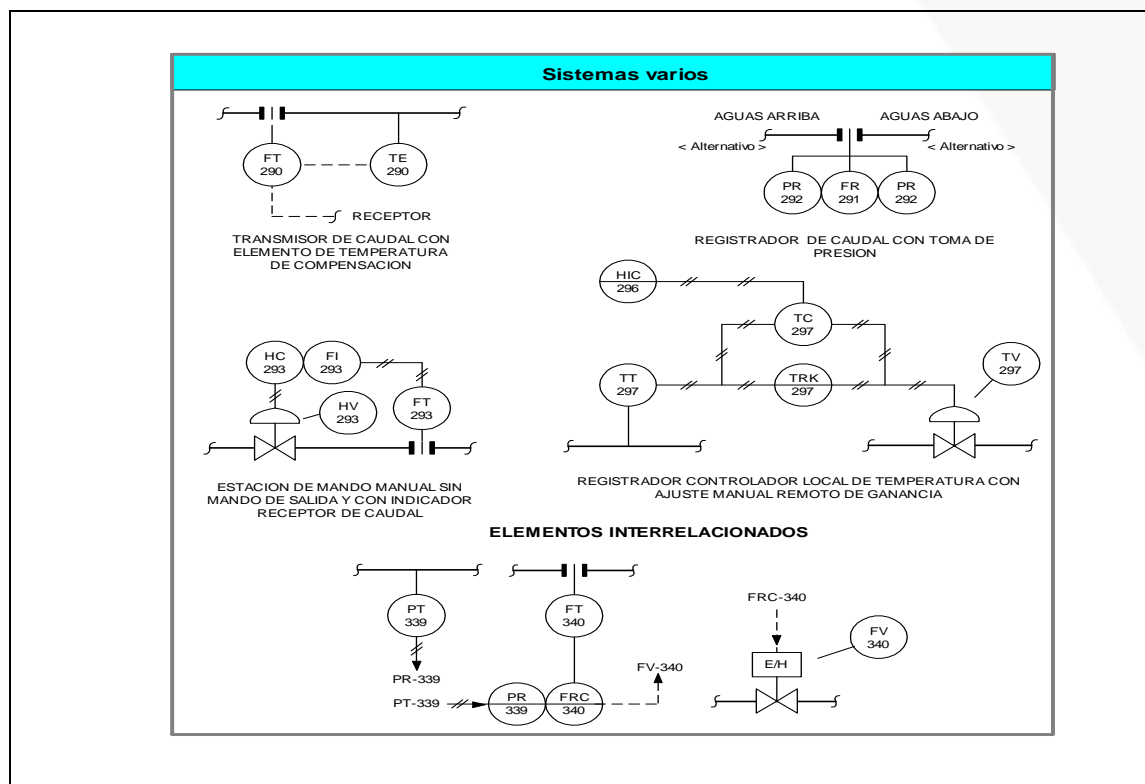


Figura 365

9.2 Diagramas de lazos de instrumentos

Introducción

Los diagramas de lazo muestran los detalles de conexión de los componentes del sistema de control colocados en un lazo. Ellos son la definición extensa de la información mostrada en el **P & ID**.

La **NORMA ISA S5.4** tiene como objetivo proporcionar un método para la preparación y aplicación de diagramas de lazos de instrumentos en el diseño, construcción, operación y mantención de sistemas de instrumentos en plantas industriales.

Para complementar el **P & ID** se realiza el diagrama de lazo, en donde se expresa en detalle cada una de las conexiones eléctricas de los instrumentos y dispositivos, identificando cada cable, terminal, bornera, panel, etc. ; así como también las fuentes de poder asociadas a los instrumentos y la identificación de las Entradas / Salidas a controladores.

El diagrama de lazo es sumamente útil durante el chequeo de los lazos y como una ayuda al Mantenimiento y Funcionamiento; de tal manera que la correcta interpretación

de los diagramas de lazo permite al operario el seguimiento de señales de control con fines de mantenimiento, modificaciones y despeje de fallas de alambrado; por lo cual es un documento muy útil para las etapas de puesta en marcha, operación y mantención de la planta.

Contenido de un diagrama de lazo de instrumentos

Un diagrama de lazo completo debe contener, como mínimo, los siguientes elementos:

La identificación clara y descripción de cada dispositivo dentro del lazo, que debe estar de acuerdo con el **P & ID**.

La interconexión de los dispositivos tales como registradores multipunto y computadoras.

La ubicación de cada dispositivo como se define en el Plano de la Canalización y ubicación de Instrumentos.

Las fuentes de poder y sistemas auxiliares requeridos para el lazo, donde se identifique claramente cada alambre y/o cable y las referencias cruzadas al terminal apropiado o caja de unión y panel de control.

La explicación de la función del lazo. Si el título no proporciona una adecuada descripción, se puede agregar una nota suplementaria.

Un diagrama de lazo debe contener primordialmente:

El etiquetado e identificación en forma clara de todos los dispositivos o artículos involucrados en el lazo.

La identificación del lazo y cada componente del lazo, incluyendo conexiones tales como registradores multipunto y computadoras. Toda la numeración (Tag) debe estar de acuerdo con el **P & ID**.

La descripción de las funciones del lazo. El título debe ser adecuado, pero si no es completamente aclaratorio, se puede agregar una nota suplementaria. Se requiere una descripción de características especiales o funciones que no son claras o no están implícitas en el título, sobre todo en términos de elementos de seguridad y lazos de parada, en los que la identificación, es especialmente importante.

La identificación de todas las interconexiones con números de identificación para cables eléctricos, pares conductores, tubos multi neumáticos y tuberías individuales neumáticas e hidráulicas. Esta identificación de conexiones incluye las cajas de unión, terminales, bloques de conexiones, puertos, entradas / salidas a

computador (conexiones I/O, sistema de puesta a tierra, conexiones a tierra y niveles de señal.)

La ubicación de los dispositivos en el diagrama debe clasificarse de acuerdo a las siguientes categorías (pueden reemplazarse por áreas equivalentes): campo (Terreno, área de proceso), unión en campo (regletas), panel frontal, panel trasero, equipamiento auxiliar, gabinete de terminación, cuarto de extensión de cables, y gabinete de I/O de computadores (interfaz de operación, sala de control).

La identificación de todas las fuentes de energía: potencia eléctrica, suministro de aire y suministro de fluidos hidráulicos, designación de voltajes, presión y otros requisitos aplicables.

El diagrama de lazo debe contener en lo posible:

Suficientes líneas de proceso y equipamiento para describir el sector del proceso al que pertenece el lazo y proporcionar claridad en la acción de control. Este debe incluir la variable que está siendo medida, la variable que está siendo controlada, y la información necesaria para completar el lazo del proceso.

Referencia a archivos y diagramas suplementarios. Esto incluiría la interrelación con otros lazos de control (incluyendo enclavamientos o *interlocks*, *setpoint* en cascada, lazos de parada, etc.).

La acción del controlador, acción de la válvula de control, acción de seguridad ante fallo de la válvula de control (falla electrónica y/o neumática) y acción de la válvula solenoide.

Las normas de instalación y descripción para todos los dispositivos y fuente de energía o designación de fluidos (incluyendo las conexiones de proceso. purga o ventilación, monitoreo de calor, enfriamiento, aislación térmica, sellos, venteos).

La localización exacta del dispositivo, incluyendo la elevación.

En forma opcional se puede adjuntar al diagrama de lazo:

Las especificaciones de compra, las cuales usualmente se presentan en forma abreviada o complementadas en otro lado o con referencia a la misma especificación de compra y hojas de datos.

Los números de modelo del fabricante de dispositivos, para que el personal de proyecto o de mantenimiento, pueda identificarlos rápidamente cuando las especificaciones no se incluyen.

La información de calibración, incluyendo valores para puntos de ajuste (*setpoint*), de dispositivos de alarma y parada, en unidades consistentes.

Los números de identificación para equipo, incluyendo bastidores (racks), paneles (tableros) y cajas de unión.

Formato del diagrama de lazo

Contenido y formato de un diagrama de lazo de instrumentos

Es recomendable que el usuario desarrolle un patrón de formato y que éste sea consistente para todos sus diagramas de lazo.

Un diagrama de lazo debe realizarse en un tamaño, que sea fácil de manejar, de preferencia 21.6 x 28 cm. (8-1/2 x 11 Pulg.) o 28 x 42.2 cm. (11 x 17 Pulg.)

Se recomienda el método de producir el original en un tamaño grande y reducirlo para su uso en terreno. Debe darse atención al tamaño de las letras y de los detalles a fin de mantenerlos legibles al sacar las reducciones.

Normalmente, cada diagrama debe contener un solo lazo, haciendo referencia a otros documentos en el caso que sea necesario.

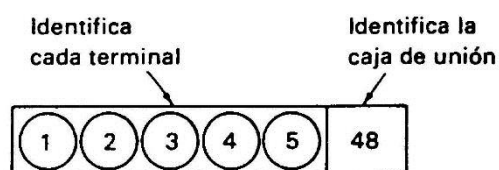
Debe **usarse el criterio personal para adaptar situaciones individuales** que se presenten; **se recomienda, en general, evitar la aglomeración de datos** y además dejar espacio para futuras adiciones o información del lazo.

Se recomienda que el usuario de cada proyecto desarrolle un patrón consistente (horizontal o vertical). La distribución que se sugiere divide el dibujo en secciones para la localización relativa de dispositivos.

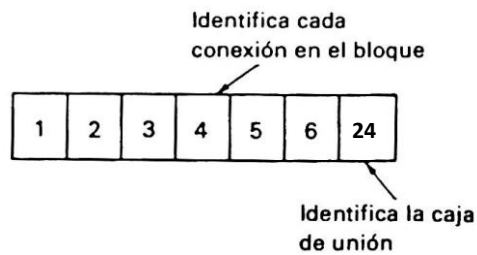
Símbolos de un diagrama de lazo de instrumentos

Los símbolos de ANSI Y32.20-1975 (ISA S5.1) se adaptan a los P & ID y son adecuados para los diagramas de lazo. Sin embargo, estos símbolos deben expandirse para incluir puntos de conexión, suministro de energía (eléctrica, neumática, hidráulica) y el rango de acción de los instrumentos, para aclarar ciertos detalles de conexión y operación que se requieren en los diagramas de lazo.

Símbolos de los diagrama de lazo Símbolos para regleta terminal.

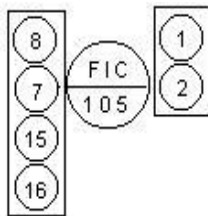


Símbolo para bloque de conexiones neumáticas.



Terminales de Instrumentos y/o puertos

Terminal de instrumento o puerto con letras y/o número de identificación (Se sugiere que el número o letras de identificación sean de acuerdo a la designación del fabricante).



Sistema de fuentes de energía de instrumentos.

La fuente de poder eléctrica se identifica seguida por el voltaje apropiado, etc.



ES 220 V, 50 Hz

La fuente de aire debe estar seguida por la presión de la fuente de aire.







AS 20 psig

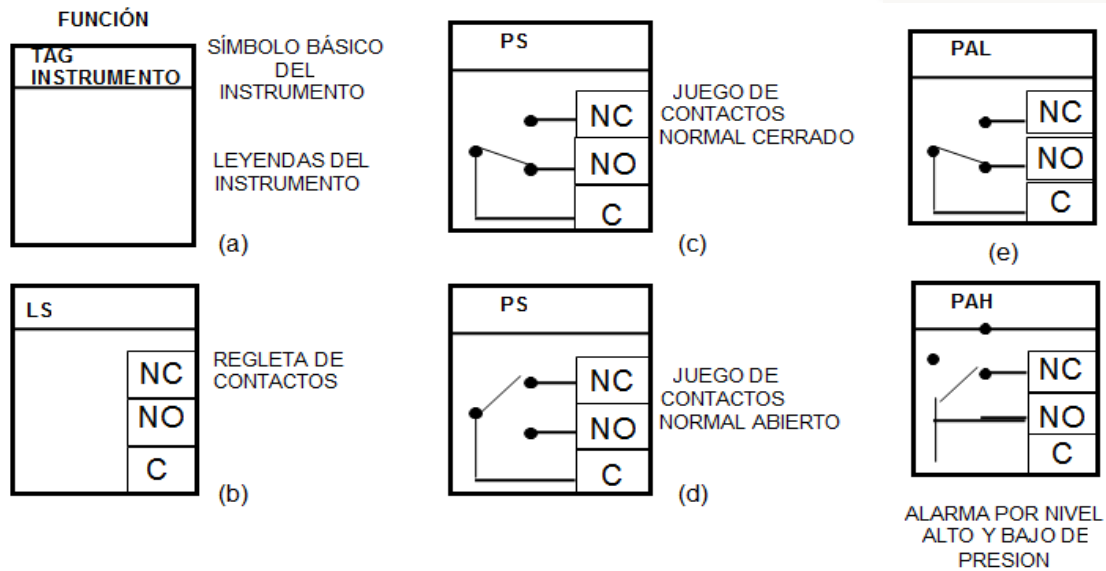
La fuente de fluido hidráulico debe estar seguida por la presión de la fuente hidráulica.



Acción del controlador.

<p>a) Controlador, acción directa.</p> <p>Un controlador en el cual el valor de la variable de salida se incrementa de acuerdo al incremento de entrada (variable medida), está representado por un flecha apuntando hacia arriba. La flecha puede estar localizada al otro lado del círculo, pero debe ser vertical.</p>	
<p>b) Controlador, acción inversa.</p> <p>Un controlador en el cual el valor de la señal de salida se decrementa de acuerdo al incremento del valor de la entrada (variable medida) está representado por un flecha apuntando hacia abajo.</p>	
<p>Set Point (punto de ajuste) y calibración</p> <p>Los set points se identifican por un rombo adyacente a símbolo del instrumento, con el set point señalado en el interior del rombo.</p>	
<p>La información de calibración se identifica por un rectángulo adyacente al símbolo del instrumento con el dato señalado dentro del rectángulo.</p>	

Símbolos de instrumentos



En la Figura se muestra:

- El símbolo básico, consistente en un rectángulo. En el segmento superior se etiqueta el tag del instrumento. Inmediatamente por encima se coloca la función del instrumento.
- La zona de contactos típica de los switches
- Un switch de presión tipo normal abierto
- Un switch de presión tipo normal cerrado
- Una alarma de presión por niveles alto y bajo.

Simbología de instrumentos




















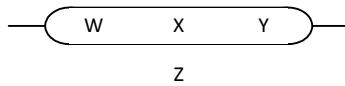
Símbolos de instrumentos		Sensor de conductividad		Válvula on/off neumática
		Medidor magnético de flujo		Rotámetro
		Sensor de flujo tipo turbina		Indicador diferencial de presión
		Sensor de nivel tipo capacitivo		Válvula motorizada
		Sensor ultrasónico		Luz indicadora
		Resistencia detectora de temperatura		Potenciómetro
		Transmisor		Bomba dosificadora
		Conversor electro-neumático	Símbolos neumáticos	A. I. Area de instrumentación
		Válvula solenoide		 Alimentación de aire
		Válvula de control neumática		 Venteo

Tabla 57

En la Figura 366 se muestran los símbolos necesarios para identificar los cables, señales, y conductores

Identificación de cables



W : TAG DEL INSTRUMENTO DE ORIGEN

X : TIPO DE CIRCUITOS

C : CTOS. DE C.A.

CTOS. DE C.C. > 50 VOLTS

J : CTOS. DE SEÑAL

L : CTOS. DE BAJA ENERGIA (mV)

D : CTOS. DE CONTROL 48 VCC

Y : No. CORRELATIVO DEL CIRCUITO

Z : NIVEL DE VOLTAJE O SEÑAL DEL CIRCUITO

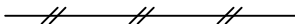
Tipos de señal



LINEA CONEXION ELECTRICA



INDICA CABLE DESCRITO EN PLANOS ELECTRICOS

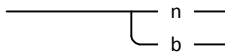


LINEA DE SEÑAL NEUMATICA



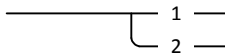
LINEA CONEXION DCS

Identificación de conductores



CODIGO DE COLORES DEL CABLE.

EN CASO DE MULTIPARES, A LA LETRA DEL COLOR SE LE ANTEPONE EL No. DEL PAR (EJ. 1n, 1b)

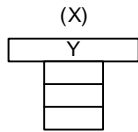


NUMERO MARCADO DE FABRICA EN CADA CONDUCTOR O BIEN, NUMERO ARBITRARIO PARA IDENTIFICAR LA CONTINUIDAD LIBRE ENTRE LOS EXTREMOS DEL CABLE.

Figura 366

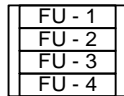
En la Figura 367 se muestran los símbolos necesarios para identificar las regletas de alambrado, los cables blindados y la manera de presentar la información cruzada

Redes de terminales eléctricos



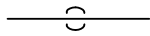
X : IDENTIFICACION DE LA REGLETA

Y : IDENTIFICACION DEL SEPARADOR DE TERMINALES (SOLO PARA SEÑALES ANALOGAS). TÍPICAMENTE ES EL NUMERO DE CIRCUITO O LAZO.

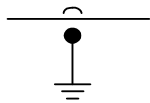


DESCONECTADOR
FUSIBLE DEL
MONTAJE EN RIEL

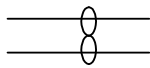
Cables blindados



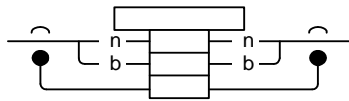
BLINDAJE SIN CONECTAR
A TIERRA



BLINDAJE CONECTADO A
TIERRA

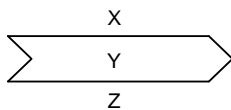


CABLE PAR TORCIDO
PARA SEÑALES INTERIOR
DEL PANEL



BLINDAJE EN REGLETA DE
TERMINALES (CON TERMINALES
DE CONTINUIDAD)

Referencia cruzada



X : TAG DEL INSTRUMENTO O DISPOSITIVO AL (DEL)
QUE VA (VIENE) DIRIGIDO

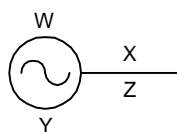
Y : NUMERO DEL PLANO AL (DEL) QUE VA (VIENE)
DIRIGIDO

Z : NIVEL DE SEÑAL O ACLARACION DE LA FUNCION

Figura 367

En la Figura 368, se muestran los símbolos necesarios para identificar la alimentación de los instrumentos y la conexión de entrada-salida al sistema de control

Alimentación de instrumentos



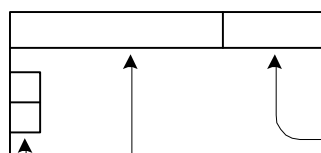
W : No. REGLETA DE FUERZA

X : No. DE FUSIBLE ASIGNADO AL INSTRUMENTO, LAZO O CIRCUITO

Y : NIVEL DE VOLTAJE

Z : CAPACIDAD DEL FUSIBLE O AUTOMATICO

Conexión de entradas / salidas al sistema de control



TIPO DE TARJETA UTILIZADA

No. DEL ARMARIO, FILA Y POSICION DONDE SE ENCUENTRA LA TARJETA

TERMINALES DE CONEXION



FUNCION PRINCIPAL DEL LAZO DISPONIBLE EN LA ESTACION DE OPERACION

Figura 368

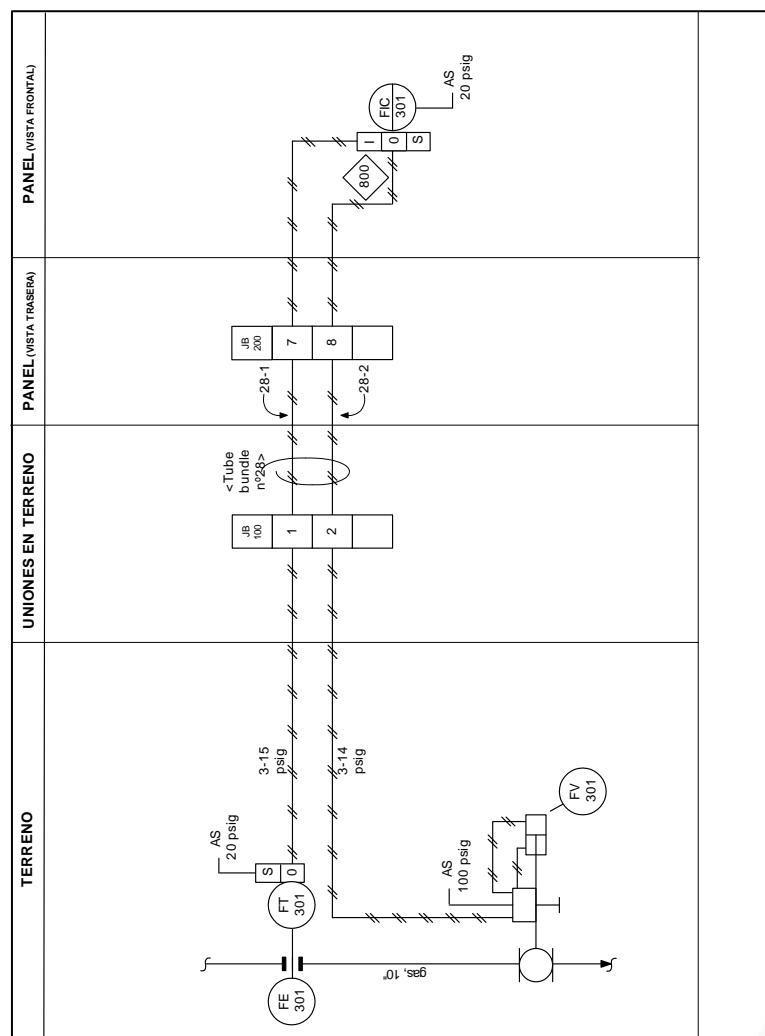
Símbolos necesarios para la alimentación de los instrumentos y la conexión de entrada-salida al sistema de control

Ejemplos de diagrama de lazo

Los diagramas de lazo se deben desarrollar en base a los correspondientes P & ID, de acuerdo a los símbolos establecidos en este capítulo.

De acuerdo a la norma ISA S5-4, las figuras 369 y 370 indican el uso de estos símbolos para describir todos los puntos obligatorios en un diagrama de lazo. Las figuras 371 y 372 señalan los elementos deseables y opcionales, así como los mínimos componentes requeridos en el diagrama de circuito. En estas figuras *JB* significa en todos los casos "caja de unión" o, más claramente, bornera o regleta de conexión.

Figura 369



Elementos mínimos de un diagrama de lazos neumáticos

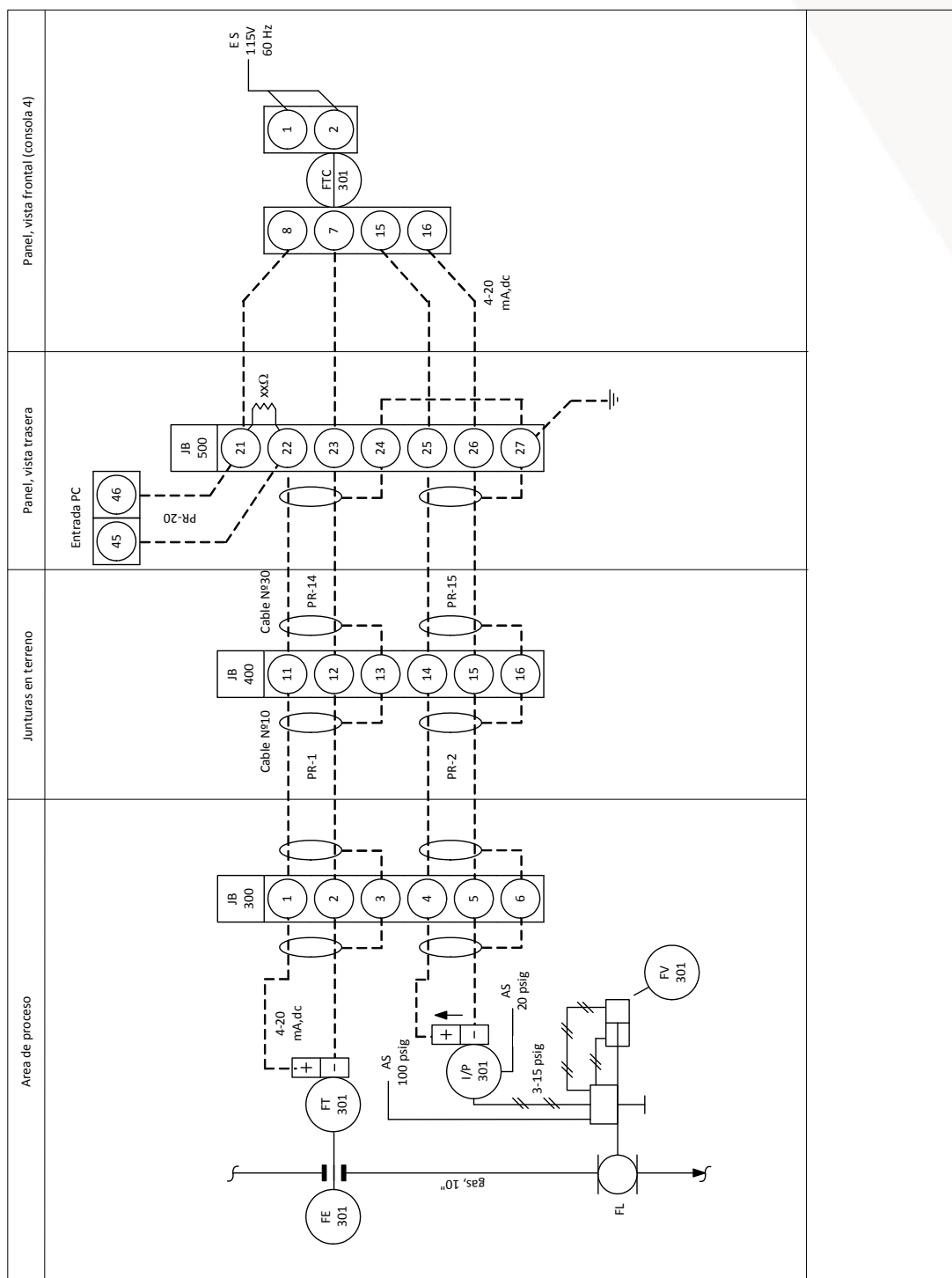


Figura 370

Elementos mínimos de un diagrama de lazos electrónicos

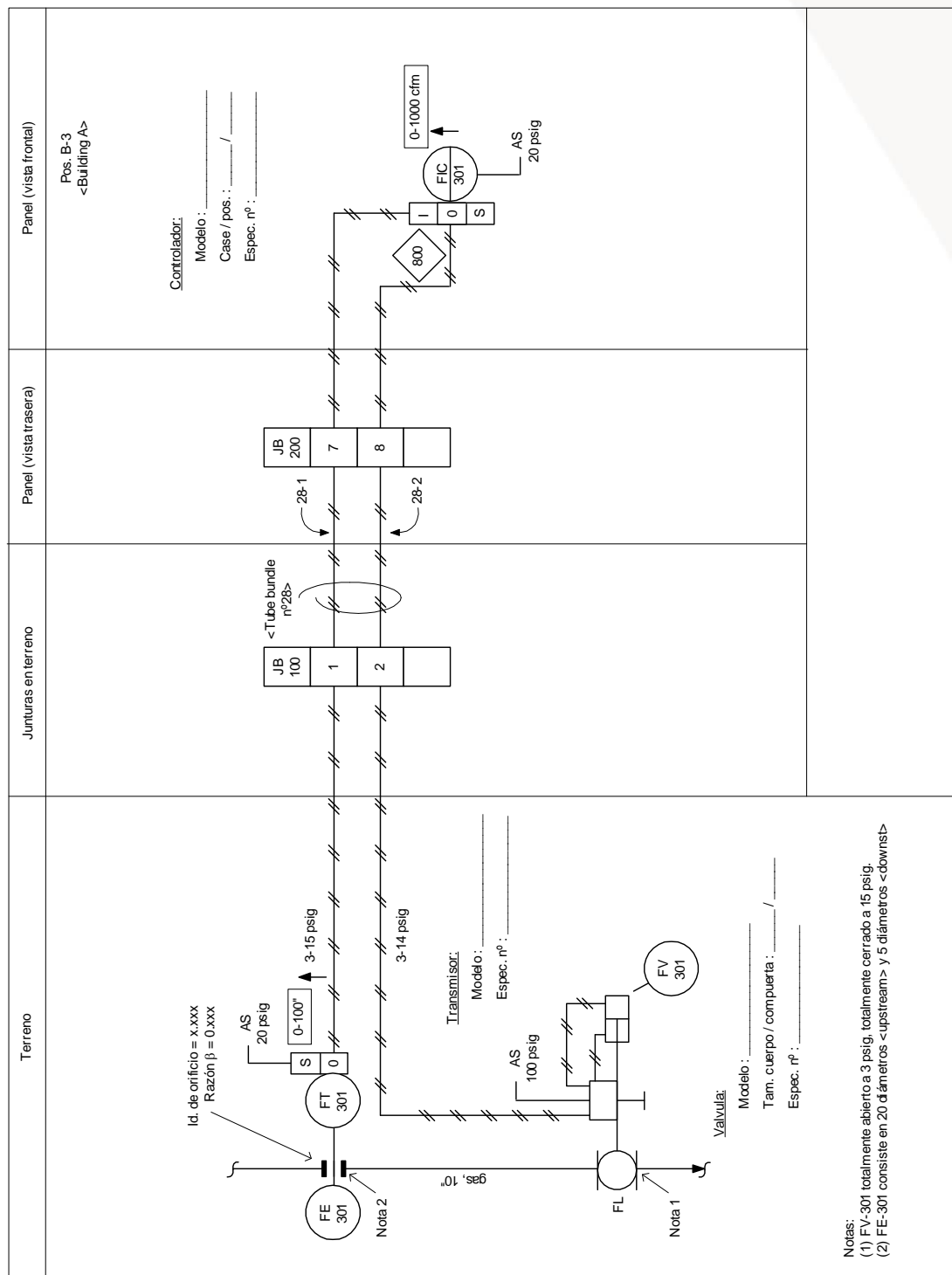


Figura 371

Elementos mínimos de un diagrama de lazos neumático más elementos deseables y opcionales

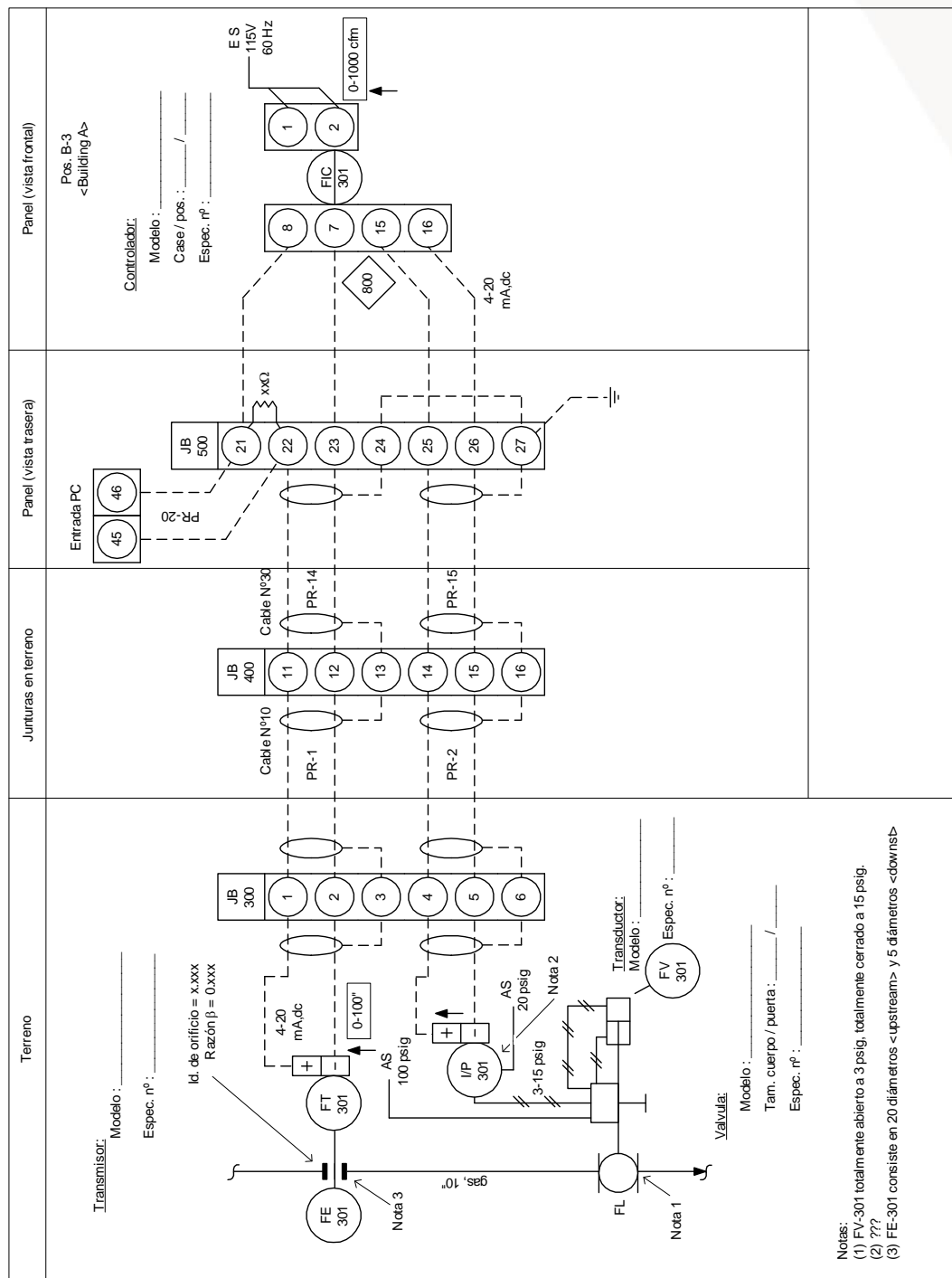


Figura 372

Elementos mínimos de un diagrama de lazos electrónicos más elementos deseables y opcionales

Actividad N° 8

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante realice análisis mediante la interpretación de planos de instrumentación

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Recurso Plataforma Web	
Explicación demostrativa en aula	✓
Recurso Audiovisual	✓
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	

Análisis y descripción de funcionamiento mediante la interpretación de planos de instrumentación

Objetivos del aprendizaje

- Describir un proceso mediante el análisis de un P&ID

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.

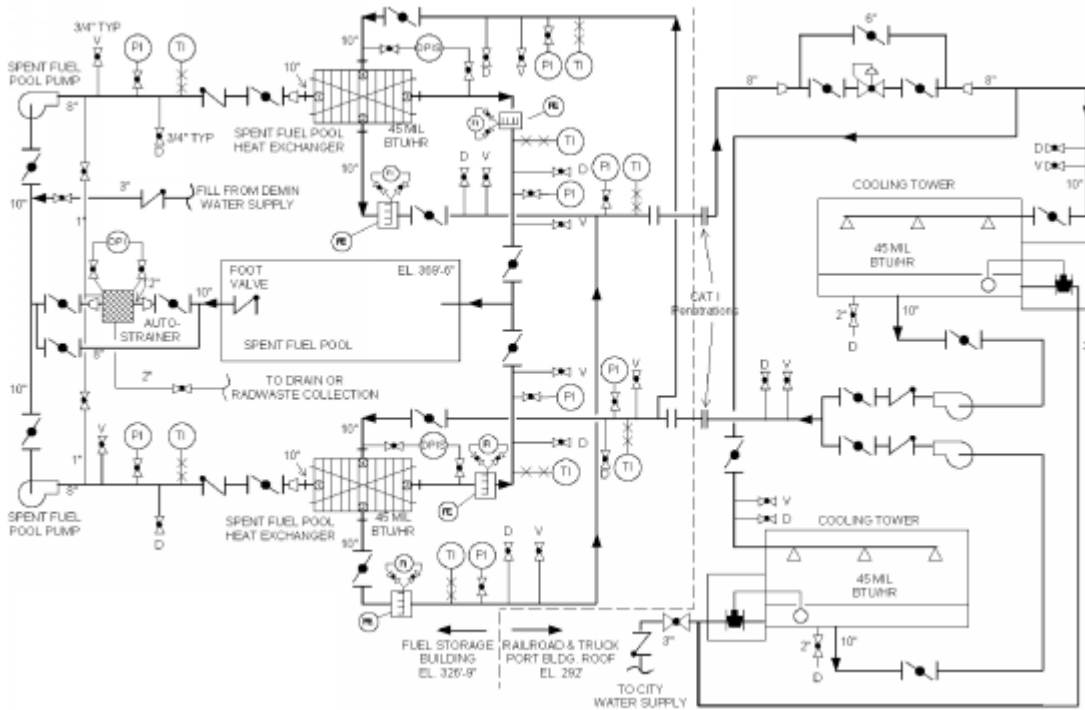
Solicitará a los participantes que analicen un plano P&ID, para que determinen el tipo de proceso e instrumentos asociados.

Materiales y Recursos

- Planos impresos

Desarrollo de la actividad

Los participantes analizarán plano propuesto y harán un análisis de este, explicando el proceso y los instrumentos asociados



Cierre de actividad

La actividad debe ser entregada al instructor para ser revisada y luego realizar una retroalimentación.



Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

