



Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica

Tesis de Grado

Previo a la obtención del Título de

INGENIERO ELECTRICO

TEMA:

“Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores de Temperatura y Presión utilizando un calibrador de procesos multifunción FLUKE 725”

AUTORES

Luis Rafael Bernardi Romero

Rubén Geoberto Garcia Garcia

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Enrique Figueroa Soledispa

Manta

Manabí

Ecuador

2012 - 2013

CERTIFICACIÓN

*En calidad de Director de Tesis, **CERTIFICO** que el presente Proyecto de grado titulado “Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores de Temperatura y Presión utilizando un calibrador de procesos multifunción FLUKE 725” ha sido desarrollado en su totalidad por los Egresados Luis Rafael Bernardi Romero y Rubén Geoberto Garcia Garcia, bajo mi supervisión y dirección, de acuerdo a los reglamentos internos de graduación, como requerimiento previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico.*

Ing. Enrique Figueroa Soledispa

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO.

En el proceso de formación y aprendizaje del hombre, se encuentra con muchos obstáculos, pero también se encuentra con valiosas personas que a uno le brindan el apoyo en diferentes etapas de la vida. Son motivo en la que me siento agradecido.

A Dios primeramente por permitir que este sueño que se convierte en realidad, y tener una familia que ha estado siempre apoyándome en todo momento.

A mis padres Manuel García y Luz Marina García quienes me inculcaron los primeros valores, como el respeto y la responsabilidad.

A mi tía Elida García que ha sido parte fundamental en el proceso de mi formación profesional. Un agradecimiento especial a mi esposa e hijos quienes me dieron su apoyo incondicional; su comprensión en momentos difíciles para poder llegar a mi objetivo de ser un profesional.

A la Universidad, Facultad de Ingeniería, y en especial a los catedráticos de Ingeniería Eléctrica, que con sus conocimientos nos dan la oportunidad de ser un profesional, y poder servir a la sociedad.

Rubén García.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis.

A Dios por permitir conseguir logros importantes y cada día más fortalecer la unión y el amor a mi familia.

A mis padres Manuel García, Luz Marina García, a quienes les debo infinitamente la existencia de mi vida.

A mis hermanos Manuel Gregorio García, Rita García, Matilde García, Carmen García y a mis hermanos Miguel García y Jairo García que Dios los tiene en su santo descanso.

Y en especial a la persona que con quien he conocido el verdadero significado del amor, ella es mi esposa Doris Vences que con sus consejos amor y el apoyo incondicionalmente, ha sido posible lograr esta meta muy importante en mi vida.

A mis hijos Kevin, Miguel y Keyla García, que son mi inspiración para la constante superación y poder vencer las diferentes barreras que se presentan en la vida.

Rubén García.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme estar aquí alcanzando mis sueños y por darme la bendición de tener a mis padres junto a mí.

A mis padres Luis e Isabel por haber depositado su confianza y por el apoyo absoluto que me han brindado.

A mi esposa e hijos por la paciencia y comprensión que me demostraron en mis años de estudio.

A la Universidad y la Facultad de Ingeniería en especial a los catedráticos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica cuya guía a lo largo de la carrera nos brindaron la oportunidad de ser profesionales.

Luis Rafael Bernardi Romero

DEDICATORIA

A la autora de mis días mujer sencilla y de expresiones alegres, que con sus principios y enseñanzas me brindo las lecciones más importantes de mi vida, con ella aprendí la esencia de los valores como el amor, el respeto, la responsabilidad y por sobre todo el ejemplo de la lucha constante por superarme, es mi madre la verdadera inspiración y responsable de los éxitos en mi vida, a ella especialmente dedico este trabajo.

A mi padre, su ejemplo de trabajo y tenacidad siempre me ha inspirado.

A mi esposa Daniela Zambrano y mis hijos Luigi Andrei y Gian Luigi por razones esenciales de mi existencia que impulsaron en cada momento mis ideales de superación.

Luis Rafael Bernardi Romero

DECLARATORIA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis son exclusivamente de los Autores, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Luis Rafael Bernardi Romero

Rubén Geoberto Garcia Garcia.



ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe y proyecto de la investigación sobre “Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores de Temperatura y Presión utilizando un calibrador de procesos multifunción FLUKE 725” a los Egresados Sr. Luis Bernardi Romero y Sr. Rubén Garcia Garcia luego de haber sido analizado por los Señores miembros del Tribunal de Grado de la Facultad de Ingeniería, y en cumplimiento de lo que establece la Ley se da por Aprobada.

Para constancia firman:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

NOTAS DE CALIFICACION

TEMA:

**“MODULO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS Y CONTRASTACIÓN DE
SENSORES Y CONTROLADORES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN
UTILIZANDO UN CALIBRADOR DE PROCESOS MULTIFUNCIÓN
FLUKE 725”**

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto hace referencia al diseño e implementación de un “Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725”, que contribuya a los estudiantes de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, una base substancial mediante la Investigación Científica, de una herramienta sólida, identificar la función primordial que cumplen los dispositivos de Instrumentación, Automatización y Control de Procesos Industriales en el Campo Industrial, para mejorar Procesos Industriales o de cualquier índole en los que se pueda hacer uso de éstos en cuanto a calidad y cantidad; algo muy importante, sin incurrir en el desgaste humano.

De igual forma se busca familiarizar a los estudiantes y a las personas que tengan contacto con el proyecto con las características principales de los diferentes Sensores y Actuadores; realizar prácticas de Nivel Industrial familiarizándose con la Instrumentación Industrial, las Normas Industriales Eléctricas, de Control de Calidad, Comunicación Industrial, Procesos Industriales, Seguridad Industrial, etc.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto hace referencia al diseño e implementación de un **Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725**, que contribuya a los estudiantes de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, una base substancial mediante la Investigación Científica, de una herramienta sólida, identificar la función primordial que cumplen los dispositivos de Instrumentación, Automatización y Control de Procesos Industriales en el Campo Industrial, para mejorar Procesos Industriales o de cualquier índole en los que se pueda hacer uso de éstos en cuanto a calidad y cantidad; algo muy importante, sin incurrir en el desgaste humano.

De igual forma se busca familiarizar a los estudiantes y a las personas que tengan contacto con el proyecto con las características principales de los diferentes Sensores y Actuadores; realizar prácticas de Nivel Industrial familiarizándose con la Instrumentación Industrial, las Normas Industriales Eléctricas, de Control de Calidad, Comunicación Industrial, Procesos Industriales, Seguridad Industrial, etc.

INTRODUCCIÓN.

1. Identificación del Problema.

1.1. Descripción del Problema.

1.2. Planteamiento del Problema.

1.3. Formulación del Problema.

2. Área y Campos de Acción.

3. Antecedentes.

4. Objetivos.

4.1 Objetivo General.

4.2 Objetivo Específicos.

5. Delimitación del Problema.

5.1 Delimitación Conceptual.

5.2 Relación con el Tiempo.

5.3 Delimitación del Universo del Problema.

6. Justificación.

7. Estrategia Metodológica.

7.1 “Diseño del Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725”

8. Marco Teórico.

8.1 Medición de Variables Físicas.

8.2 Instrumentación Industrial.

8.4. Medición de Temperatura.

- 8.4.1. Termómetros de Vidrio.
- 8.4.2. Termómetros Bimetálicos.
- 8.4.3. Termómetros de Bulbo y Capilar.
- 8.4.4. Termómetros de Resistencia.
- 8.4.5. Termistores.
- 8.4.6. Termopares.
- 8.4.7. Pirómetros de Radiación.

8.5. Medición de Nivel.

- 8.5.1. Instrumentos de medida directa.
- 8.5.2. Instrumentos Basados en Presión Hidrostática.
- 8.5.3. Medidor Manométrico. Membranas. Burbujeo.
- 8.5.4. Presión Diferencial.
- 8.5.5. Instrumentos Basados en el Desplazamiento.
- 8.5.6. Instrumentos Basados en las Características Eléctricas del líquido.
- 8.5.7. Medidores de Nivel de Sólidos.
- 8.5.8. Detectores de Nivel de Punto Fijo.
- 8.5.9. Detectores de Nivel Continuos.

8.6. Medición de Presión.

- 8.6.1. Unidades y Clases de Presión.
- 8.6.2. Elementos Mecánicos.
- 8.6.3. Elementos Neumáticos.
- 8.6.4. Elementos Electromecánicos.
- 8.6.5. Transmisores Electrónicos de Equilibrio de Fuerzas.

- 8.6.6. Transductores Resistivos.
- 8.6.7. Transductores Magnéticos.
- 8.6.8. Transductores Capacitivos.
- 8.6.9. Galgas extensométricas.
- 8.6.10. Transductores piezoeléctricos.
- 8.6.11. Elementos Electrónicos de Vacío.
- 8.6.12. Transductores Mecánicos de Fuelle y de Diafragma.
- 8.6.13. Transductores Térmicos.
- 8.6.14. Transductores de Ionización.

8.7.Otras variables.

- 8.7.1. Variables Físicas.
 - 8.7.1.1.Peso.
 - 8.7.1.2.Velocidad.
 - 8.7.1.3.Tacómetros Mecánicos.
 - 8.7.1.4.Tacómetros Eléctricos.
- 8.7.2. Densidad y Peso Específico.
 - 8.7.2.1.Areómetros.
 - 8.7.2.2.Métodos de Presión Diferencial.
 - 8.7.2.3.Métodos de Desplazamiento.
 - 8.7.2.4.Refractómetro.
 - 8.7.2.5.Métodos de Radiación.
 - 8.7.2.6.Métodos de Punto de Ebullición.
 - 8.7.2.7.Medidor Ultrasonidos.

8.7.2.8. Medidores Inerciales.

8.7.2.9. Humedad y Punto de Rocío.

8.7.2.10. Humedad en aire y gases.

8.7.2.11. Humedad en Sólidos.

8.7.2.12. Punto de Rocío.

8.7.2.13. Viscosidad y consistencia.

8.7.2.14. Viscosímetros.

8.7.2.15. Medidores de Consistencia.

8.7.3. Llama.

8.7.3.1. Detectores de calor.

8.7.3.2. Detectores de Ionización-Rectificación.

8.7.3.3. Detectores de Radiación.

8.8. Metrología.

8.8.1. La Metrología.

8.8.1.1. El resultado de medición.

8.8.1.2. Medición de aplicaciones.

8.8.1.3. Tipos de mediciones

8.8.2. Los instrumentos de medida

8.8.2.1. Manual y automática.

8.8.2.2. Herramientas eléctricas.

8.8.2.3. Analógica y Digital.

8.8.2.4. Instrumento controlada por microprocesador.

8.8.3. Sistema de medición.

8.8.3.1. Concepto.

8.8.3.2. El sensor.

8.8.3.3. Acondicionador de señal.

8.8.4. Ejecución del instrumento.

8.8.4.1. Características del instrumento.

8.8.4.2. Exactitud.

8.8.4.3. Precisión.

8.8.4.4. Parámetros de precisión.

8.8.4.5. Especificación de la precisión.

8.8.4.6. Rango.

8.8.4.7. Relación entre el Instrumento e Instrumento Patrón.

8.8.4.8. Diseño, producción y Control.

8.8.5. Errores de medición

8.8.5.1. Tipos de errores.

8.8.5.2. Error absoluto y relativo.

8.8.5.3. Error estático y dinámico.

8.8.5.4. Error sistemático.

8.8.5.5. Error aleatorio.

8.8.5.6. Resultante final Error.

8.9. Calibración de Instrumentos.

8.9.1. Errores en los Instrumentos. Procedimientos General de Calibración.

8.9.2. Calibración de Instrumentos de Presión, Nivel y Caudal.

8.9.3. Calibración de Instrumentos de Temperatura.

8.9.4. Aparatos electrónicos de comprobación.

8.9.5. Calidad de calibración según Norma ISO 9002.

9. Descripción del Módulo de Prueba

9.1. Estructura del Módulo.

9.1.1. Módulo de Medición de Temperatura.

9.1.1.1 Resistencias de Calentamiento.

9.1.2 Sensor de Temperatura.

9.1.2.1 Sensor tipo Pt100.

9.1.3 Transmisores de Temperatura.

9.1.3.1 Transmisores de temperatura Sitrans Th-100.

9.1.3.2 Funcionamiento.

9.1.4 Módulo de Medición de Presión.

9.1.4.1 Transmisor de Presión Sitrans p serie z.

9.1.4.2 Funcionamiento.

9.1.5 Diseño del Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725.

10. Prácticas.

11. Conclusiones.

12. Bibliografía.

13. Anexos.

INTRODUCCIÓN

El presente texto hace referencia a una investigación que centra su objeto de estudio en diseño e implementación de un **Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725**, que se desarrolla a partir de tres capítulos que comprenden los diferentes procesos que fundamentan el trabajo que se pone a consideración de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, que propende por el diseño de elementos básicos que operan como guía práctica en los procesos de Automatización, Instrumentación y Control Industrial.

El propósito es dar a conocer los fundamentos y los elementos básicos que configuran el presente trabajo. De tal manera que, se comienza identificando el problema para así realizar el planteamiento y la formulación del mismo y establecer el objetivo general de la Investigación, recurriendo a la copia documental, tratamiento y análisis de la información y la elaboración conceptual que relaciona procedimientos prácticos y teóricos del campo investigativo.

Los propósitos por los cuales se hace la investigación se justifican dando razones por las cuales esta se fundamenta en la necesidad de construir un diseño e implementación de un **Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725**, que a su vez se convierta en una guía práctica a los estudiantes de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, que elijan como carrera formativa la Ingeniería Eléctrica en Sistemas de Potencia.

Las razones que se argumentan en la presente indagación son el resultado de un trabajo de equipo que pretende verificar y aportar aspectos teóricos e experimentales, con la finalidad de aportar conocimiento Científico; promoviendo la Investigación Científica y el Desarrollo del Pensamiento, por lo tanto, las razones que sustentan la investigación se fundamentan en la utilización de Instrumentos y Modelos Investigativos.

La investigación señala como propuesta la solución a problemas que se venían dando en trabajos afines que tienen que ver con este tipo de diseño y que el trabajo que se presenta de carácter eminentemente práctico, permiten deducir, inferir una serie de principios que emanan del diseño programático, para lograr el cumplimiento y la aplicación del diseño a las Prácticas Industriales y a la Línea de investigación que propicia la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí .

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, no cuenta con los elementos y equipos suficientes para la elaboración de un Laboratorio de Investigación Científica en las áreas de Instrumentación que permita realizar prácticas a nivel Profesional y que genere conocimientos sólidos en las tecnologías de Procesos Industriales de vanguardia a nivel industrial técnico, tal como lo es la Automatización de Procesos y la Instrumentación Industrial.

La falta de Laboratorios de Instrumentación Industrial con tecnologías de punta y de uso industrial, genera vacíos de conocimiento y por lo tanto una serie de desconocimientos, con lo que conlleva a la no asimilación de Información técnica a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, con lo cual el objetivo de esta Investigación es aportar con un granito de arena a que se cumplan con las necesidades del mercado en cuanto a Capacitación y Acumulación de experiencia de conocimientos sólidos en el manejo de equipos especializados como lo es la Instrumentación Industrial, Sensores y Actuadores en general.

Las necesidades de las Industrias generadas tanto de Generación Eléctrica, Manufactura, Pesquera, Petrolera, Química, de Procesos Industriales e Insumos y demás generadas por la Automatización e Instrumentación son conocidas por su avance tecnológico inconmensurable, con lo cual hace que la falta de estos Laboratorios afecte directamente a Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manta

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Investigación expone cómo diseñar un **“Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725”**, que sirva de punto de partida a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

El entrenamiento consiste en elaborar una serie de prácticas que ayuden a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica a desempeñarse con eficacia en el funcionamiento de componentes de Instrumentación Industrial tales como lo son los Sensores, Válvulas y Actuadores Industriales buscando un mayor conocimiento en Control de los Procesos Industriales.

Las ventajas que más apuntan en la clasificación de la calidad de los universitarios recién egresados, y que a nivel industrial son de vital importancia, están dadas por las oportunidades de aprendizaje que les prestan las Universidades a estos en su etapa de formación. Estas oportunidades de formación se basan en gran parte en la generación de experiencias e interacción a través de la realización de prácticas de laboratorios con equipos a la vanguardia y de gran uso a nivel industrial.

En este proyecto se diseña un **“Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725”**, realizar prácticas avanzadas como medición y control de temperatura, medición de presión, nivel, control de electroválvulas, etc. Para el desarrollo de competencias en el área de la Automatización de Procesos Industriales.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725 y una guía de aprendizaje?

La interrogante requiere de manera preferente que se describa el problema en los siguientes términos:

La mayoría de la Industria Ecuatoriana está sujeta a Automatización e Instrumentación Industrial, y los PLC como controlador lógico programable para optimizar Procesos de Producción en el Campo Industrial, que de acuerdo con las observaciones de dichos procesos se pueda explicar y exponer el valor práctico del diseño del Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores construyendo una guía a manera de manual de práctica en dicha investigación.

2. ÁREA Y CAMPOS DE ACCIÓN

El proyecto se enmarca en la **Línea de Control y Procesos**, donde se hace uso de una de las herramientas más utilizadas en el Sector Industrial y Empresarial para la Optimización y/o Automatización e Instrumentación de Procesos, como lo son los Transmisores, los Sensores, Medidores de Temperatura, Caudal, Presión, Nivel, Calibración de Instrumentos Industriales.

Se tomara en cuenta las Normas de Control de Calidad, Higiene Industrial y sobre todo la Seguridad Industrial. Como normas esenciales y primordiales a la hora de ejecutar cualquier Proceso.

3. ANTECEDENTES

Desde sus inicios en la ciudad de Manta, la provincia de Manabí y la Industria Ecuatoriana en general, han promovido la Automatización Industrial e Instrumentación Industrial, la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Eléctrica ha venido dotando poco a poco sus Laboratorios con los equipos básicos necesarios, con la ayuda primordial de sus Autoridades, Directivos, y la de sus estudiantes, con lo cual se esta cumpliendo con el objetivo de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, ser el ente y nexos que permitan el desarrollo Integral y Científico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Para el desarrollo de las prácticas, el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica cuenta con equipos como Osciloscopios, Generadores de señal, Fuentes de alimentación, Multímetros, Computadores, Equipos de Automatización Industrial, PLC, al igual que numerosos proyectos de clases realizados y dotados por los egresados y estudiantes que de una u otra manera han potenciado el desarrollo intelectual del estudiantado. Así también posee una gama de tableros y Módulos e Investigaciones en torno al área Industrial Técnica y teniendo como base al menos un módulo de Investigación en cada asignatura del área de estudio del pensum Académico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, entre los cuales encontramos investigaciones sólidas como módulos didáctico para el Control de nivel de líquidos en donde utilizan un PLC, Plantas a escala, software Scada para control y visualización del proceso, etc.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un **Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725**, que permita conocer y utilizar las características de estos dispositivos, para realizar prácticas de Medición y Control de Temperatura, Presión, Nivel, Control de Electroválvulas, Uso de Temporizadores, Contadores, Actuadores Mecánicos e Hidráulicos, etc., para el desarrollo de competencias en el área de Automatización en los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Diseñar e implementar una herramienta de análisis y desarrollo de aplicaciones industriales, basada en la Instrumentación Industrial, con sus respectivas Normas de Control de Calidad y Calibración de Instrumentos basados en la norma ISO 9002.
- ✚ Seleccionar los dispositivos que ayudarán a realizar las prácticas de Instrumentación respecto al Control y Monitoreo de Temperatura, y Presión, como son Sensores, Fuentes de Alimentación, Actuadores, etc.
- ✚ Diseñar una Modulo Didáctico para la realización de práctica industriales basados en la Instrumentación Industrial.
- ✚ Diseñar e implementar una práctica donde el estudiante aprenda a realizar las practicas a nivel industrial de los diferentes sensores y actuadores, así como la calibración de instrumentos y los errores porcentuales en dichos

componentes electrónicos.

- ✚ Diseñar una práctica con una planta piloto que simule un proceso industrial en donde se pueda ilustrar el Control de Actuadores, Medición y Control de las Variables de Temperatura, Presión y Nivel.
- ✚ Editar la guía de ejemplos y prácticas propuestas para estudiantes que ayude a la correcta implementación de cada una de ellas.

5. DELIMITACIÓN

5.1 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Para este proyecto se encuentran involucradas diferentes ramas de la carrera tales como: Instrumentación Industrial, Procesos Industriales, Higiene y Seguridad y la primordial Automatización y Control Industrial.

Para el área de instrumentación se tienen en cuenta los conceptos de acondicionamiento y recepción de señal de los Sensores y Actuadores utilizados durante las prácticas de aplicación Industrial

Para el área de Procesos Industriales e Higiene Industrial los diferentes parámetros de una línea de ensamblaje industrial, Accionamientos, control, manipulación y empleo de diferentes técnicas, por medio de la acción neumática e hidráulica de sus diferentes dispositivos de ejecución. Para el Área de Automatización Industrial, las prácticas Industriales se desarrollaron en manipulación de sistemas de eventos discretos y análogos informando el estado del proceso industrial para maniobrar, controlar y/o señalar procesos simulados en la planta piloto.

Se relacionaron temas como:

Detección: Lectura de señales de captadores distribuidos en el proceso.

Mando: Procesar y enviar las acciones al sistema mediante los Accionadores y pre-Accionadores.

Programación: Elaborar, introducir y cambiar el programa de aplicación del PLC.

El banco de trabajo consta de dos partes principales: Un Módulo principal donde se montó el **Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725**.

Para la realización de la práctica de aplicación industrial se requiere anexar; un **Módulo de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión**, la cual consta de:

1. Una Resistencia eléctrica para el calentamiento del agua.
2. Un Sensor de Temperatura, PT100 y su Transmisor de Temperatura.
3. Termo-resistencias.
4. Un Sensor de Presión.
5. Controladores de Temperatura.
6. Controladores de Presión.

Los alcances de la investigación aspiran a satisfacer las necesidades de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

5.2 RELACIÓN CON EL TIEMPO

El desarrollo de este proyecto se realizó en un tiempo aproximado de 14 meses, y las actividades están claramente especificadas en el cronograma de trabajo entregado en el anteproyecto previamente aprobado por la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Estas van desde la recopilación de la información relevante, compra y construcción de la planta piloto, hasta la elaboración de manuales de prácticas y de funcionamiento de materiales y equipos.

En ese tiempo fueron utilizados todos los recursos para la selección de las mejores prácticas de programación que generen al estudiante destreza en esta área de forma rápida.

5.3 DELIMITACIÓN DEL UNIVERSO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto tiene como entorno de Aplicación los Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

6. JUSTIFICACIÓN.

En la sociedad tecnológica en la que vivimos, son cada vez más altas las necesidades de la Ciencia y la Tecnología, con lo cual, nos exige una constante búsqueda de conocimientos científicos. Es evidente que las ramas tecnológicas como la Instrumentación y Control Industrial, ejercieron un impacto a nivel global, tanto en el desarrollo socio-económico como en el industrial.

El presente trabajo Investigativo tiene como finalidad, contribuir con conocimientos y abrirse al mundo de la Instrumentación Industrial.

Teniendo en cuenta lo anterior, este Modulo proporciona al estudiante la preparación básica necesaria para comprender las ventajas que presentan los diferentes dispositivos de Instrumentación Industrial en diferentes campos de uso; tanto el análisis de la trazabilidad de las mediciones de los Procesos, tomando en cuenta la base de medidores patrones del país y del exterior.

Contar con un **Módulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión**, dentro de las Instalaciones de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, le brinda una mano, a los estudiantes al mundo de la Instrumentación y Control Industrial, conocimiento que será clave en el desarrollo tecnológico en muchas industrias del país.

7. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

Para alcanzar los objetivos de este proyecto, se hizo uso de la investigación aplicada y el método que se siguió fue experimental.

Las etapas del proyecto son las siguientes:

- ✚ Se recopiló y estudió el material bibliográfico y de software de programación relevante al proyecto.
- ✚ Se determinaron los temas específicos de cada una de las prácticas.
- ✚ Se realizó la selección, compra de equipos y materiales de acuerdo a los requerimientos de cada práctica.
- ✚ La siguiente etapa consistió en el diseño, construcción del módulo de calibración y calibrador de Procesos que son utilizados para las prácticas.
- ✚ Se implementaron las prácticas y se hicieron pruebas de desempeño con el fin de validar el correcto funcionamiento del software y hardware del Módulo de laboratorio.

Para facilidad de comprensión y aplicación, basándonos en la secuencia lógica de aprendizaje, el laboratorio de programación y aplicación industrial de módulo de calibración se desarrolló en dos etapas. La ejecución secuencial de cada una de estas etapas está definida dentro de las Prácticas y depende exclusivamente del grado de conocimiento de él (los) estudiante(s) que se disponga(n) a realizar prácticas en el laboratorio.

Etapas del laboratorio:

- 🚧 Etapa de reconocimiento de equipos y materiales.
- 🚧 Etapa de programación y aplicación industrial.

1. Etapa de reconocimiento de equipos y materiales.

La ejecución de esta etapa tiene como objetivo familiarizar a los estudiantes que se disponen a realizar las prácticas, con los equipos y materiales que son utilizados a lo largo del laboratorio e interioriza la importancia del uso adecuado para prevenir daños.

2. Etapa de programación y aplicación industrial.

La ejecución de esta etapa tiene como objetivo generar destreza a los estudiantes en la configuración, programación y aplicación del calibrador de proceso y la programación de los controladores de temperatura. La ejecución de esta etapa tiene como objetivo que los estudiantes reconozcan al calibrador de Procesos multifunción Fluke y los controladores de temperatura, para la posterior calibración y contrastación de los diferentes sensores y actuadores de temperatura y presión.

8. Introducción a la Instrumentación Industrial.

(1) “Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos. La fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc”.

Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar. En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de estas variables utilizando solo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control

manual. Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En ambos tipos, deben mantenerse en general las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable.

El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de bucle de control. El bucle puede ser abierto (fig. 1.1) o bien cerrado (fig. 1.2).

Un ejemplo de bucle abierto es el calentamiento de agua en un tanque mediante una resistencia eléctrica sumergida.

Un bucle cerrado representativo lo constituye la regulación de temperatura en un intercambiador de calor.

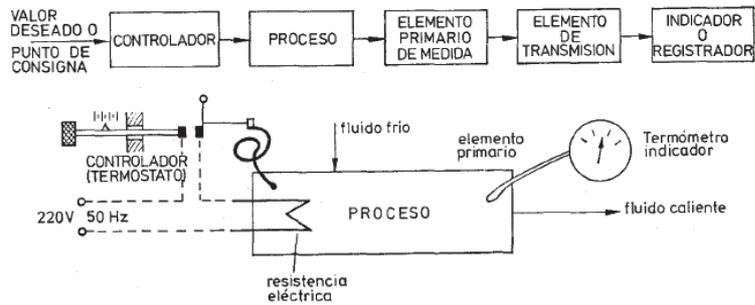


Fig. 1.1 Bucle abierto de regulación.

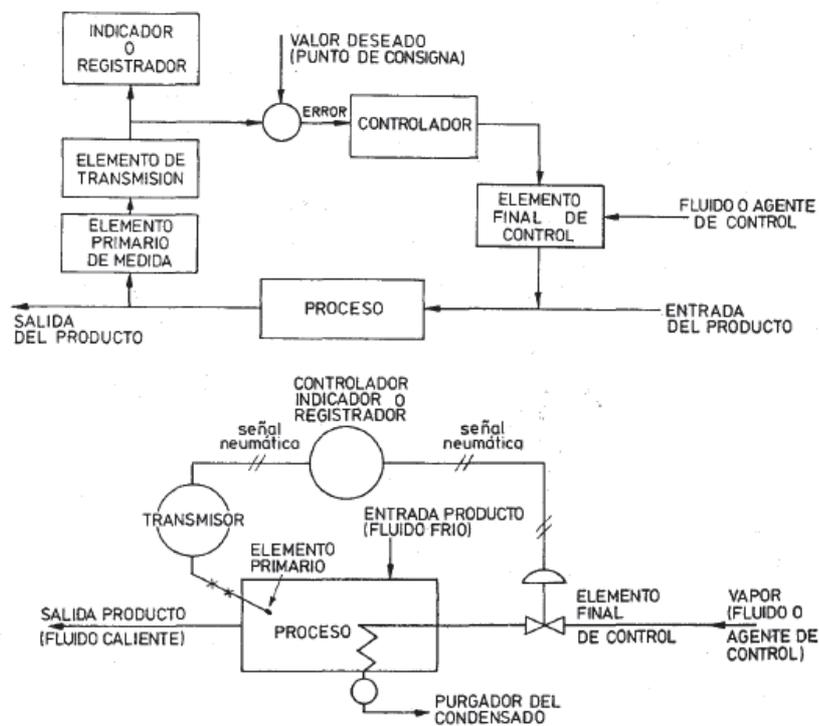


Fig. 1.2 Bucle cerrado de regulación.

8.2 Definiciones en control

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados:

Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje.

8.2.1 Campo de medida (range)

(2) “Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos. Por ejemplo: el campo de medida del instrumento de temperatura de la figura 1.3 es de 100-300°C.” Otro término derivado es el de dinámica de medida o rangeabilidad (rangeability), que es el cociente entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento.

En el ejemplo anterior sería de $300/100 = 3$.

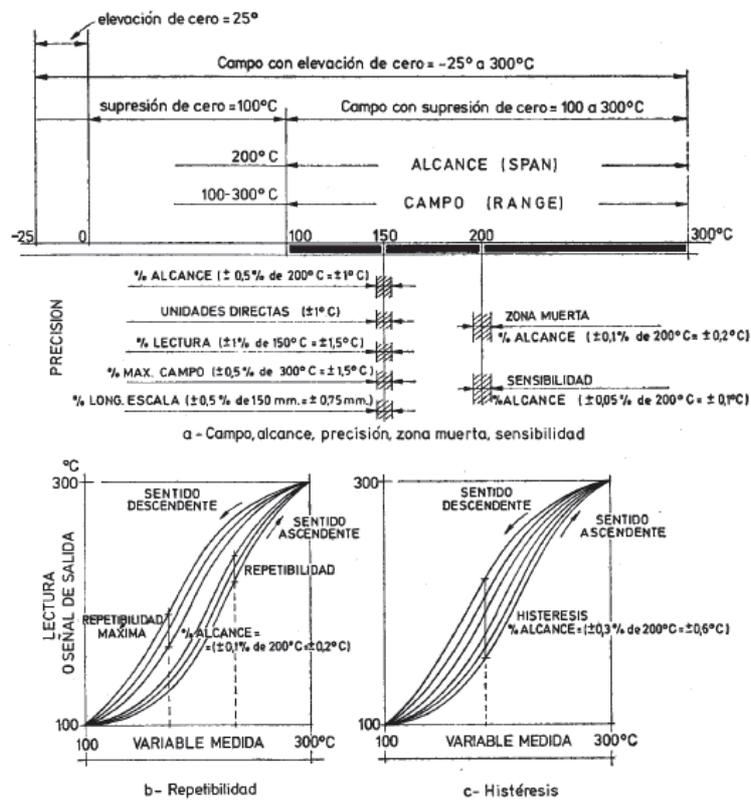


Fig. 1.3 Definiciones de los instrumentos.

8.2.2 Alcance (span)

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. En el instrumento de temperatura de la figura 1.3, su valor es de 200°C.

8.2.3 Error

(3) “Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida. Si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado error estático. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos: absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado error dinámico (diferencia entre el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento): su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad, del elemento primario (termopar, bulbo y capilar), de los medios de protección (vaina), etc. El error medio del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida”.

Cuando una medición se realiza con la participación de varios instrumentos, colocados unos a continuación de otros, el valor final de la medición estará constituido por los errores inherentes a cada uno de los instrumentos. Si el límite del error relativo de cada instrumento es $\pm a$, $\pm b$, $\pm e$, $\pm d$, etc., el máximo error posible en la medición será la suma de los valores anteriores, es decir: $\pm(a+ b+ c+ d+ \dots)$

Ahora bien, como es improbable que todos los instrumentos tengan al mismo tiempo su error máximo en todas las circunstancias de la medida, suele tomarse como error total de una medición la raíz cuadrada de la suma algebraica de los cuadrados de los errores máximos de los instrumentos, es decir, la expresión:

$$\pm\sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$$

Por ejemplo, el error obtenido al medir un caudal con un diafragma, un transmisor electrónico de 4-20 mA c.c., un receptor y un integrador electrónicos es de:

Error del diafragma	2 %
Error del transmisor electrónico de 4-20 mA c.c.	0,5%
Error del receptor electrónico	0,5%
Error del integrador electrónico	0,5%

Error total de la medición: $\pm\sqrt{2^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = 2.18\%$

8.2.4 Incertidumbre de la medida (uncertainty)

(4) “Los errores que existen necesariamente al realizar la medida de una magnitud, hacen que se tenga una incertidumbre sobre el verdadero valor de la medida. La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos (deriva, ...), etc”.

Cuando se dispone de una sola medida, la incertidumbre es: $i = k\sigma$

Dónde: k = factor que depende del nivel de confianza ($K = 2$ para 95 %)

σ = desviación típica del instrumento indicada por el fabricante.

Veamos, por ejemplo, el caso de un manómetro tipo Bourdon de 120 kPa (1,2 bar o 1,18 kg/cm²) que se calibra con un patrón (comprobador de manómetros de peso muerto) de incertidumbre 2×10^{-4} , efectuándose la calibración a la temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y con ciclos de presiones aplicadas de subida y de bajada, que permiten comprobar si el instrumento tiene histéresis.

Patrón (kPa)	Manómetro Valor medio 4 medidas sin histéresis	Corrección (kPa)	% Escala (kPa)
20	20,10	-0,10	0,08
40	40,20	-0,20	0,17
60	59,85	+ 0,15	0,13
80	79,95	+ 0,05	0,04
95	95,15	-0,15	0,13

La incertidumbre debida al patrón en el fondo de escala es:

$$2 \times 10^{-4} \times 120 \text{ kPa} = 0,024 \text{ kPa}$$

y su desviación típica, basada en las distribuciones normal y de Student, con un nivel de confianza del 95 %, es de:

$$\sigma_p = \frac{0.024}{2} = 0.012$$

La desviación típica del patrón (variación de presión del patrón con la temperatura = $21,6 \times 10^{-6}$), debida a las condiciones ambientales es:

$$\sigma_{\text{temp}} = \left(\frac{1}{3}\right) \times 21.6 \times 10^{-6} \times 2 \times 120 = 0.002\text{kPa}$$

La desviación típica de las medidas es la máxima obtenida:

$$\sigma_{\text{max}} = 0.095 \times 1.7 = 0.162$$

siendo 1,7 el factor multiplicador para cuatro medidas (subestimación de la incertidumbre que para diez medidas valdría la unidad)

$$\sigma_{\text{media}} = \left(\frac{0.162}{2}\right) = 0.081\text{kPa}$$

La variancia experimental es:

$$\sigma_{\text{max}} = \sqrt{0.012^2 + 0.002^2 + 0.081^2} = 0.082\text{kPa}$$

y la incertidumbre

$$\mu = \left(\frac{2 \times 0.082}{120} \times 100\right) = 0.013\% \text{ fondo escala}$$

8.2.5 Exactitud

Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

8.2.6 Precisión (accuracy)

La precisión es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de

servicio durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año). Hay varias formas para expresar la precisión:

a) Tanto por ciento del alcance. Ejemplo: en el instrumento de la figura 1.3, para una lectura de 150°C y una precisión de $\pm 0,5 \%$ el valor real de la temperatura estará comprendido entre $150 \pm 0,5 \times 200/100 = 150 \pm 1$, es decir, entre 149 y 151°C.

b) Directamente, en unidades de la variable medida. Ejemplo:

Precisión de $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

c) Tanto por ciento de la lectura efectuada. Ejemplo:

Precisión de $\pm 1 \%$ de 150°C , es decir, $\pm 1.5^\circ\text{C}$.

d) Tanto por ciento del valor máximo del campo de medida. Ejemplo:

Precisión de $\pm 0.5 \%$ de 300°C = $\pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$.

e) Tanto por ciento de la longitud de la escala. Ejemplo: Si la longitud de la escala del instrumento de la figura 1.3 es de 150 mm, la precisión de $\pm 0,5 \%$ representara $\pm 0,75$ mm en la escala.

La precisión varía en cada punto del campo de medida si bien, el fabricante la especifica en todo el margen del instrumento indicando a veces su valor en algunas zonas de la escala. Por ejemplo: un manómetro puede tener una precisión de $\pm 1 \%$ en toda la escala y de $\pm 0,5 \%$ en la zona central. Cuando se desea obtener la máxima precisión del instrumento en un punto determinado de la escala, puede calibrarse únicamente para este punto de trabajo, sin considerar los valores restantes del campo de medida. Hay que señalar que los valores de precisión de un instrumento se consideran en general establecidos para el usuario, es decir, son los proporcionados por los fabricantes de los instrumentos. Sin embargo, estos últimos suelen considerar

también los valores de calibración en fábrica y de inspección. Con ello se pretende tener un margen de seguridad para compensar los efectos de las diferencias de apreciación de las personas que efectúan la calibración, las diferentes precisiones de los instrumentos de medida utilizados, las posibles alteraciones debidas al desplazamiento del instrumento de un punto a otro, los efectos ambientales y de envejecimiento, etc.

8.2.7 Zona muerta (dead zone o dead band)

Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: en el instrumento de la figura 1.3 es de $\pm 0,1 \%$, es decir, de $0,1 \times 200/100 = \pm 0,20^\circ\text{C}$.

8.2.8 Sensibilidad (sensitivity)

(5) “Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Por ejemplo, si en un transmisor electrónico de 0-10 bar, la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c., la sensibilidad es el cociente:

$$\frac{(12.3 - 11.9)/(20 - 4)}{(5.5 - 5)/10} = \pm 0,5 \text{ mA c. c./bar}$$

Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Si la sensibilidad del instrumento de temperatura de la figura 1.3 es de $\pm 0,05 \%$, su valor será de $0.05 \times 200/100 = \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ ”.

Hay que señalar que no debe confundirse la sensibilidad con el término de zona muerta; son definiciones básicamente distintas que antes era fácil confundir cuando la

definición inicial de la sensibilidad era valor mínimo en que se ha de modificar la variable para apreciar un cambio medible en el índice o en la pluma de registro del instrumento.

8.2.9 Repetibilidad (repeatability)

La Repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida, del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. Se considera en general su valor máximo (repetibilidad máxima) y se expresa en tanto por ciento del alcance; un valor representativo es el de $\pm 0,1$ %. Nótese que el término repetibilidad no incluye la histéresis (figura 1.3 b). Para determinarla, el fabricante comprueba la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento recorriendo todo el campo, y partiendo, para cada determinación, desde el valor mínimo del campo de medida.

De este modo, en el caso de un manómetro puede haber anotado los datos relacionados en la tabla siguiente.

Variable	Indicación
Desde 0 a 0.5	0.502
Desde 0 al 1	1.006
Desde 0 a 1.5	1.509
Desde 0 a 2	2.008
Desde 0 a 2.5	2.506

Desde 0 a 3	3.007
Desde 0 a 3.5	3.503
Desde 0 a 4	4.006
Desde 0 a 4.5	4.507

La repetibilidad viene dada por la fórmula

$$\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

8.2.10 Histéresis (hysteresis)

(6) “La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: Si en un termómetro de 0 - 100 % para el valor de la variable de 40 °C, la aguja marca 39,9 al subir la temperatura desde 0, e indica 40,1 al bajar la temperatura desde 100 °C, el valor de la histéresis es de”:

$$\frac{40.1 - 39.9}{100 - 0} \times 100 = \pm 0.2 \%$$

En la figura 1.3 c pueden verse las curvas de histéresis. Hay que señalar que el término zona muerta está incluido dentro de la histéresis.

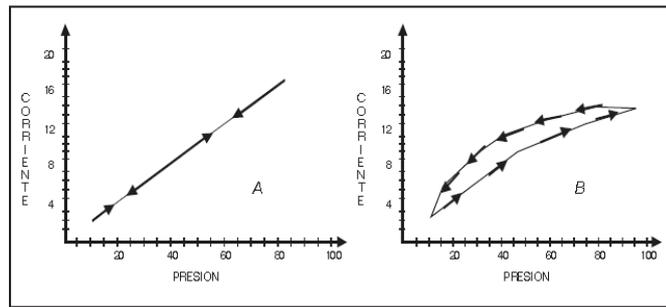


Fig. 1-4. La histéresis relaciona la entrada del instrumento con su salida.

8.2.11 Otros términos

Empleados en las especificaciones de los instrumentos son los siguientes:

Campo de medida con elevación de cero.

Es aquel campo de medida en el que el valor cero de la variable o señal medida es mayor que el valor inferior del campo. Por ejemplo, -10° a 30° C.

Campo de medida con supresión de cero.

Es aquel campo de medida en el que el valor cero de la variable o señal medida es menor que el valor inferior del campo.

Elevación de cero.

Es la cantidad con que el valor cero de la variable supera el valor inferior del campo. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

Supresión de cero

Es la cantidad con que el valor inferior del campo supera el valor cero de la variable. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

Deriva

Es una variación en la señal de salida que se presenta en un período de tiempo determinado mientras se mantienen constantes la variable medida y todas las condiciones ambientales. Se suelen considerar la deriva de cero (variación en la señal

de salida para el valor cero de la medida atribuible a cualquier causa interna) y la deriva térmica de cero (variación en la señal de salida a medida cero, debida a los efectos únicos de la temperatura). La deriva está expresada usualmente en porcentaje de la señal de salida de la escala total a la temperatura ambiente, por unidad, o por intervalo de variación de la temperatura. Por ejemplo, la deriva térmica de cero de un instrumento en condiciones de temperatura ambiente durante 1 mes fue de 0,2 % del alcance.

Fiabilidad

Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo condiciones especificadas.

Resolución

Magnitud de los cambios en escalón de la señal de salida (expresados en tanto por ciento de la salida de toda la escala) al ir variando continuamente la medida en todo el campo. Es también el grado con que el instrumento puede discriminar valores equivalentes de una cantidad, o la menor diferencia de valor que el aparato puede distinguir.

Resolución infinita

Capacidad de proporcionar una señal de salida progresiva y continua en todo el campo de trabajo del instrumento.

Trazabilidad (Traceability)

Propiedad del resultado de las mediciones efectuadas con un instrumento o con un patrón, tal que puede relacionarse con patrones nacionales o internacionales, mediante

una cadena ininterrumpida de comparaciones, con todas las incertidumbres determinadas.

Ruido

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseadas que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

Linealidad

La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.

Linealidad basada en puntos

Falta de linealidad expresada en forma de desviación máxima con relación a una línea recta que pasa a través de los puntos dados correspondientes al cero y al 100 % de la variable medida.

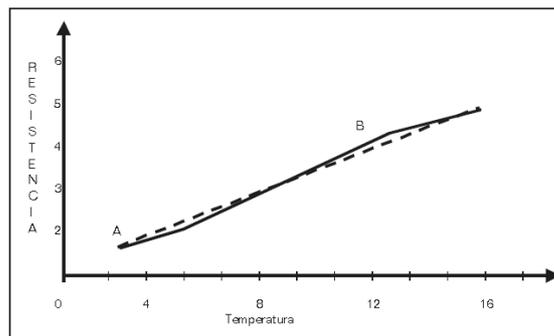


Fig. 1-3. Ejemplos de funciones de transferencia lineales.

Estabilidad

Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

Temperatura de servicio

Campo de temperaturas en el cual se espera que trabaje el instrumento dentro de límites de error especificados.

Vida útil de servicio

Tiempo mínimo especificado durante el cual se aplican las características de servicio continuo e intermitente del instrumento sin que se presenten cambios en su comportamiento más allá de tolerancias especificadas.

Reproductibilidad

Capacidad de reproducción de un instrumento de las medidas repetitivas de la lectura o señal de salida para el mismo valor de la variable medida alcanzado en ambos sentidos, en las mismas condiciones de servicio y a lo largo de un período de tiempo determinado. Por ejemplo, un valor representativo sería $\pm 0,2$ % del alcance de la lectura o señal de salida a lo largo de un período de 30 días.

Unidades del Sistema Internacional (SI)

Las unidades más comúnmente utilizadas en el mundo técnico fueron desarrolladas a través de un acuerdo internacional por lo cual se le conoce como el *Système International d'Unités*, y se abrevia SI. Las abreviaturas para las unidades listadas anteriormente se muestran entre paréntesis. Todas las demás cantidades (incluyendo la fuerza, la energía y el potencial eléctrico), se definen en términos de estas unidades. Así pues, para la energía se utiliza el Joule (J) que es equivalente a un kilogramo por metro cuadrado por segundo cuadrado ($1\text{kg} \times 1\text{m}^2/\text{s}^2$).

Las unidades del SI se resumen en la tabla 1-1. Se debe estar familiarizado con estas unidades y desarrollar un concepto de la magnitud de cada unidad en función de la experiencia diaria. Así pues, si alguien requiere levantar 233 kg, sabrá de inmediato si se trata de una masa pesada o ligera.

Prefijos

Las unidades del SI se emplean con multiplicadores (prefijos) para facilitar la expresión de números muy grandes o muy pequeños. Estos multiplicadores tienen nombres y abreviaturas estandarizadas que se emplean rutinariamente, en la tabla 1-2 se muestran los prefijos estándar.

Tabla 1-1. Unidades del SI e Inglesas.			
Cantidad	Unidad del SI	Unidad inglesa	Multiplique la inglesa para obtener SI
Longitud	Metro	Pie	0.3048
Tiempo	Segundo	Segundo	1
Masa	Kilogramo	libra	0.4536
Corriente	Ampere	ampere	1
Temperatura	Kelvin	Rankine	5/9
	Celsius	Fahrenheit	5/9(°F-32)
Angulo	Radian	radian	1
Luminosidad	Candela	candela	1
Fuerza	Watt	libra	4.448
Energía	Joule	Pie-libra	1.356
Presión	Pascal	psi	6896.6
Volumen	Metro cúbico	galón	0.00379

Calibración

(7) “Una buena comunicación de conceptos técnicos requiere de una definición consistente de los términos y las unidades usadas para las variables que son medidas. El último elemento requerido para una buena comunicación es que se pueda confiar plenamente en los instrumentos de medición que están utilizando.

En muchas operaciones industriales, los instrumentos de medición deben ser confiables de modo que provean la exactitud estipulada por el diseño original para asegurar un producto satisfactorio. Esta confianza se logra haciendo pruebas periódicas y ajustando el instrumento para verificar su desempeño. A este tipo de mantenimiento se le llama calibración”.

Estándares

Antes de que la calibración pueda ser realizada, se debe contar con ciertos valores precisos conocidos de cantidades medidas para compararlos contra las mediciones realizadas con el instrumento que se desea calibrar.

Así pues, para un instrumento que se utiliza para medir presión con exactitud de 0.01 psi se debe tener, para comparar, una fuente de presión de la cual esté seguro que provea presión en este rango u otro rango mejor. Sólo entonces se podrá decidir si el instrumento funciona satisfactoriamente. La tabla 1-3 enlista estándares para corriente, presión, tiempo y flujo.

Estándares de calibración	
Magnitud	Celda estándar, fuente de alta precisión.
Corriente	Estándares de voltaje y estándares de resistencia o fuente de corriente de precisión.
Presión	Calibración de presión con alta exactitud en la medición.
Tiempo (Frecuencia)	WWV o contador de precisión de frecuencia con cristal.
Temperatura	Ambiente con temperatura controlada con medición exacta (RTD)
Flujo	Sistema de flujo controlado con exactitud en la medición.

Una cantidad conocida y sumamente exacta utilizada para calibrar instrumentos de medición es conocida como estándar. Una alternativa para un estándar es otro instrumento de medición capaz de medir con la misma o mayor exactitud que el instrumento que se desea calibrar. Aun así, este instrumento debe ser calibrado periódicamente para asegurar su confiabilidad. El conjunto de estándares (patrones) con los cuales la calibración final debe realizarse son desarrollados entre otros organismos, por la Oficina Nacional de Estándares de los Estados Unidos (NBS por sus siglas en inglés). Si un complejo industrial está interesado en realizar una medición de masa, se puede instalar en la planta un laboratorio de calibración donde los instrumentos de medición de masa sean calibrados periódicamente, utilizando algunos estándares propios.

Aunque esto es válido, periódicamente el laboratorio debe enviar sus propios estándares e incluso su equipo, a un laboratorio con las características de la NBS para

corroborar la calibración. En este sentido, la compañía puede solicitar un seguimiento (trazabilidad) a sus procesos de calibración por parte de un organismo certificado.

Laboratorio de calibración

Cualquier operación industrial relacionada con la calidad en la manufactura puede tener su propio laboratorio de calibración o usar los servicios de un laboratorio de calibración comercial certificado; en cualquier caso, el equipo de medición utilizado en la operación crítica de los procesos se lleva a los laboratorios de calibración con cierta periodicidad. El laboratorio de calibración sirve en todas las fases de la operación industrial desde la fabricación hasta la investigación y las funciones de desarrollo. En todos los casos, es necesario tener plena confianza en la exactitud de las mediciones, para asegurar que se está elaborando un producto satisfactorio, además de tener la confianza en el desarrollo e investigación de los productos.

Estándares de laboratorio

(8) “Normalmente un laboratorio de calibración típico calibra los equipos que son críticos en los procesos de producción de una compañía.

En la tabla 1- 3 se mencionan algunos parámetros comunes que son utilizados en la industria y que requieren operaciones de calibración. En cada caso, el laboratorio en particular debe mantener estándares locales que puedan ser supervisados por la dependencia correspondiente de cada país.

Es muy importante para todo el personal, el cooperar con la operación de calibración, aun cuando esto parezca interferir con el desarrollo del trabajo de la planta. El efectuar una mala calibración de los instrumentos se reflejará en la calidad del producto”.

8.3 Clases de instrumentos

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Como es lógico, pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Se considerarán dos clasificaciones básicas: la primera relacionada con la función del instrumento y la segunda con la variable del proceso.

8.3.1 En función del instrumento

De acuerdo con la función del instrumento, obtenemos las formas siguientes:

(9) “**Instrumentos ciegos** (fig. 1.4), son aquellos que no tienen indicación visible de la variable. Hay que hacer notar que son ciegos los instrumentos de alarma, tales como presostatos y termostatos (interruptores de presión y temperatura respectivamente) que poseen una escala exterior con un índice de selección de la variable, ya que sólo ajustan el punto de disparo del interruptor o conmutador al cruzar la variable el valor seleccionado. Son también instrumentos ciegos, los transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura sin indicación”.

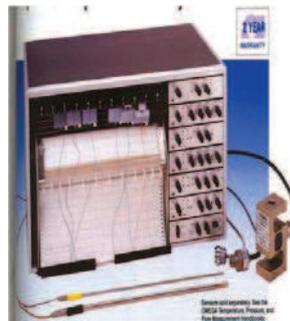


Los **instrumentos indicadores** (fig. 1.5) disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Según la amplitud de la escala

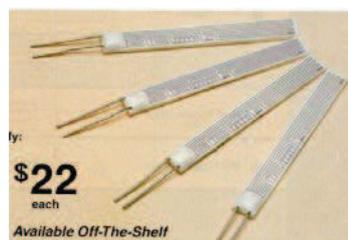
se dividen en indicadores concéntricos y excéntricos. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos.



Los **instrumentos registradores** (fig. 1.6) registran con trazo continuo o a puntos la variable, y pueden ser circulares o de gráfico rectangular o alargado según sea la forma del gráfico. Los registradores de gráfico circular suelen tener el gráfico de 1 revolución en 24 horas mientras que en los de gráfico rectangular la velocidad normal del gráfico es de unos 20 mm/hora.



Los **elementos primarios de control** (fig. 1.7) están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc.



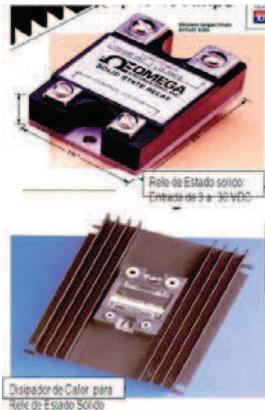
Por ejemplo: en los elementos primarios de temperatura de bulbo y capilar, el efecto es la variación de presión del fluido que los llena y en los de termopar se presenta una variación de fuerza electromotriz.

Los **transmisores** (fig. 1.8) captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática de margen 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua. La señal neumática de 3 a 15 psi equivale a 0.206 – 1.033 bar (0.21- 1.05 kg/cm²) por lo cual, también se emplea la señal en unidades métricas 0.2 a 1 bar (0.2 a 1 kg/cm²). Asimismo, se emplean señales electrónicas de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA c.c., si bien la señal normalizada es de 4-20 mA c.c. La señal digital utilizada en algunos transmisores inteligentes es apta directamente para ordenador.

El elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor; el primer caso lo constituye un transmisor de temperatura de bulbo y capilar y el segundo un transmisor de caudal con la placa orificio como elemento primario.



Los **transductores** reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no a una señal de salida. Son transductores, un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP / I (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP / P (presión de proceso a señal neumática), etc.



Los **convertidores** (fig. 1.9) son aparatos que reciben una señal de entrada neumática (3-15 psi) o electrónica (4-20 mA c.c.) procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar.

Ejemplo: Un convertidor P/I (señal de entrada neumática a señal de salida electrónica, un convertidor I/P (señal de entrada eléctrica a señal de salida neumática).

Conviene señalar que a veces se confunde convertidor con transductor. Este último término es general y no debe aplicarse a un aparato que convierta una señal de instrumentos.



Los **receptores** reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran. Los receptores controladores envían otra señal de salida normalizada a los valores ya indicados 3-15 psi en señal neumática, o 4-20 mA c.c. en señal electrónica, que actúan sobre el elemento final de control.

(10) “Los **controladores** (fig. 1.10) comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.

La variable controlada la pueden recibir directamente, como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor”.



El **elemento final de control** (fig. 1.11) recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. En el control neumático, el elemento suele ser una válvula neumática o un servomotor neumático que efectúan su carrera completa de 3 a 15 psi (0,2-1 bar). En el control electrónico la válvula o el servomotor anteriores son accionados a través de un convertidor de intensidad a presión (I/P) o señal digital a presión que convierte la señal electrónica de 4 a 20 mA c.c. o digital a neumática 3-15 psi. En el control eléctrico el elemento suele ser una válvula motorizada que efectúa su carrera completa accionada por un servomotor eléctrico.

En el control electrónico y en particular en regulación de temperatura de hornos pueden utilizarse rectificadores de silicio (tiristores). Éstos se comportan esencialmente como bobinas de impedancia variable y varían la corriente de alimentación de las resistencias del horno, en la misma forma en que una válvula de control cambia el caudal de fluido en una tubería.

Las señales neumáticas (3-15 psi o 0.2 - 1 bar o 0.2-1 kg/cm²) y electrónica (4-20 mA c.c.) permiten el intercambio entre instrumentos de la planta. No ocurre así en los instrumentos de señal de salida digital (transmisores, controladores) donde las señales son propias de cada suministrador.



8.3.2 En función de la variable de proceso.

De acuerdo con la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc. Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. De este modo, un transmisor neumático de temperatura del tipo de bulbo y capilar, es un instrumento de temperatura a pesar de que la medida se efectúa convirtiendo las variaciones de presión del fluido que llena el bulbo y el capilar; el aparato receptor de la señal neumática del transmisor anterior es un instrumento de temperatura, si bien, al ser receptor neumático lo podríamos considerar instrumento de presión, caudal, nivel o cualquier otra variable, según fuera la señal medida por el transmisor correspondiente; un registrador potenciométrico puede ser un instrumento

de temperatura, de conductividad o de velocidad, según sean las señales medidas por los elementos primarios de termopar, electrodos o dínamo.

Asimismo, esta clasificación es independiente del número y tipo de transductores existentes entre el elemento primario y el instrumento final. Así ocurre en el caso de un transmisor electrónico de nivel de 4 a 20 mA c.c., un receptor controlador con salida de 4-20 mA c.c., un convertidor intensidad-presión (I/P) que transforma la señal de 4-20 mA c.c. a neumática de 3-15 psi y la válvula neumática de control; todos estos instrumentos se consideran de nivel. En la designación del instrumento se utiliza en el lenguaje común las dos clasificaciones expuestas anteriormente. Y de este modo, se consideran instrumentos tales como transmisores ciegos de presión, controladores registradores de temperatura, receptores indicadores de nivel, receptores controladores registradores de caudal, etc.

En la figura 1.12 pueden verse los diversos instrumentos descritos.



Nótese que se consideran instrumentos de campo y de panel; la primera designación incluye los instrumentos locales situados en el proceso o en sus proximidades (es

decir, en tanques, tuberías, secadores, etc.) mientras que la segunda se refiere a los instrumentos montados en paneles, armarios o pupitres situados en salas aisladas o en zonas del proceso.

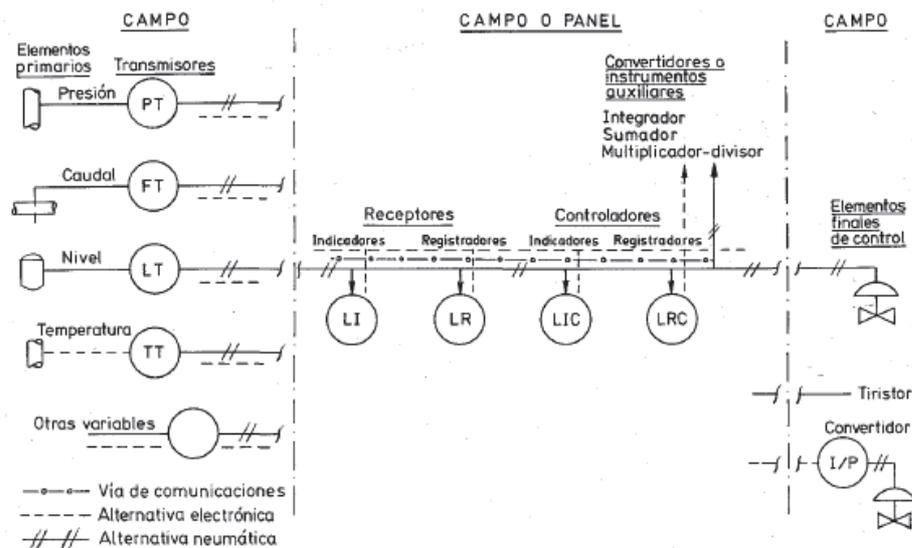


Fig. 1.12 Clases de instrumentos.

8.3.3 Código de identificación de instrumentos

(11) “Para designar y representar los instrumentos de medición y control se emplean normas muy variadas que a veces varían de industria en industria. Esta gran variedad de normas y sistemas utilizados en las organizaciones industriales indica la necesidad universal de una normalización en este campo. Varias sociedades han dirigido sus esfuerzos en este sentido, y entre ellas se encuentra como una de las importantes la Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos, ISA (Instrument Society of America) cuyas normas tienen por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos) de aplicación a las industrias químicas, petroquímicas, aire acondicionado, etc.” Figura a continuación un resumen de las normas ISA-S5.1-84 de ANSI/ISA del año 1984 con una rectificación el año 2002, sobre instrumentación de medición y

control, de ISA-S5.2-76 del año 1976 con una rectificación el año 2002 Binary Logic Diagrams for Process Operations sobre símbolos de operaciones binarias de procesos, y de ISA-S5.3 Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems 1993, sobre símbolos de sistemas de microprocesadores con control compartido. Hay que señalar al lector que estas normas no son de uso obligatorio sino que constituyen una recomendación a seguir en la identificación de los instrumentos en la industria.

Símbolos y Diagramas.

Como en todas las ciencias, es importante la estandarización de las partes y el todo de un proceso, cuyo propósito es establecer de manera uniforme la designación de los instrumentos y sistemas usados en la medición y control de variables. En el área de instrumentación se ha desarrollado el tema de símbolos y diagramas buscando tener la descripción de los sistemas de control de una planta o proceso de manera estandarizada. Los símbolos y diagramas son usados en el control de procesos para indicar la aplicación en el proceso, el tipo de señales empleadas, la secuencia de componentes interconectados, y de alguna manera, la instrumentación empleada. En América, la Sociedad de Instrumentistas de América (ISA por sus siglas en inglés de Instruments Society of America) publica normas para símbolos, términos y diagramas que son generalmente reconocidos y adoptados por la industria en general.

Simbología

(12) “El símbolo más empleado en todo diagrama de instrumentos, es un círculo el cual contiene una combinación de letras y números que definen el tipo de variable, el instrumento que actúa con ésta y el número de lazo. En la figura se muestra la

simbología empleada para diferentes aplicaciones con el fin de definir un instrumento dentro de un diagrama de instrumentos.

Como se mencionó anteriormente, para poder identificar la variable de proceso se creó el manejo de letras y números que nos permiten conocer el tipo de la variable, el instrumento con el cual se registra, indica o manipula la variable y el número de identificación de la misma, de esta manera se puede asociar fácilmente el tipo de medición que se efectúa en el proceso”.

En los diagramas, los números de identificación se colocan dentro de círculos, las letras están en la mitad superior mientras que los números del lazo de control están en la mitad inferior. Las líneas dibujadas en el centro de los círculos tienen diferentes significados: una línea continua indica un instrumento montado en el panel de control y una línea punteada indica que está atrás del tablero de control.

Un círculo sin línea en el centro indica que está montado de manera local, en el campo, o dicho de otra manera, junto al equipo de proceso. Es obvio que todo instrumento debe tener una etiqueta como identificación, la cual debe tener la misma nomenclatura que en el diagrama de instrumentos.

En la figura, se mencionan las letras y su significado: considerando las letras de la primera columna, se tiene que: la letra F significara flujo, la T Temperatura, la L (level) Nivel, etc. La combinación de la primera columna y el resto de ellas dará como resultado una combinación de funciones que indicará cómo se está manipulando la variable. Si se emplea la primera letra combinada con el modificador, esto puede indicar, si se emplea la letra D que es una lectura diferencial, o que se está totalizando si se emplea la letra Q; y así sucesivamente. Con un poco de práctica se

podrán conocer las posibles combinaciones que se requieran para poder identificar la instrumentación de un diagrama o para diseñarlo.

	Ubicación principal accesible al operador	Montaje en campo	Ubicación auxiliar accesible al operador
Instrumentos discretos	1 	2 	3 
Indicador / controlador	4 	5 	6 
Función de ángulo	7 	8 	9 
Control lógico programable	10 	11 	12 

Los dispositivos que se encuentren ocultos (por ejemplo, atrás de un panel), pueden simbolizarse de la misma forma, pero con una línea punteada.

Fig. 2-1. Simbología para elementos de control.

Primera letra		Letras posteriores.			
Variable de medida	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación	
A	Análisis		Alarma		
B	Llama (Quemador)		Libre (1)	Libre (1)	
C	Conductividad			Control	
D	Densidad o peso específico	Diferencial (3)			
E	Voltaje (f.e.m.)		Elemento primario		
F	Flujo (caudal)	Relación (3)			
G	Calibre		Vidrio (8)		
H	Manual			Alto (6) (13) (14)	
I	Corriente eléctrica		Indicación o indicador (9)		
J	Potencia	Exploración (6)			
K	Tiempo			Estación de control	
L	Nivel		Luz piloto (10)	Bajo (6) (13) (14)	
M	Humedad			Medio o intermedio (6) (13)	
N	Libre		Libre	Libre	

O	Libre		Orificio		
P	Presión o vacío		Punto de prueba		
Q	Cantidad	Integración (3)			
R	Radioactividad		Registro		
S	Velocidad o frecuencia	Seguridad (7)		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisión o transmisor.	
U	Multivariable		Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V	Viscosidad			Válvula	
W	Peso o fuerza		Vaina		
X	Sin clasificar		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Libre			Relé (12)	
Z	Posición			Elemento final de control Sin clasificar	

(1) Para cubrir las designaciones no normalizadas que pueden emplearse repetidamente en un proyecto se han previsto letras libres. Estas letras pueden tener un significado como primera letra y otro como letra sucesiva. Por ejemplo, la letra N puede representar como primera letra el módulo de elasticidad y como sucesiva un osciloscopio.

(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 Circulo de identificación del instrumento.

Ejemplo: XR-3 registrador de vibración.

(3) Cualquier letra primera si se utiliza con las letras de modificación D (diferencial), F (relación) o Q (integración) 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 1.1, 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 pasiva vidrio, 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 bucle 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 bucle 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 arrancador 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 definirán en el exterior del símbolo del instrumento cuando sea conveniente hacerlo así.

(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.

Símbolos de las señales de la instrumentación

Las señales de instrumentación utilizadas en el control de procesos son usualmente de los siguientes tipos: conexión a proceso, electrónica (eléctrica), neumática, hidráulica, capilar, sónica o indicando radioactividad. Cada señal tiene un símbolo diferente y los símbolos son mostrados en la figura.

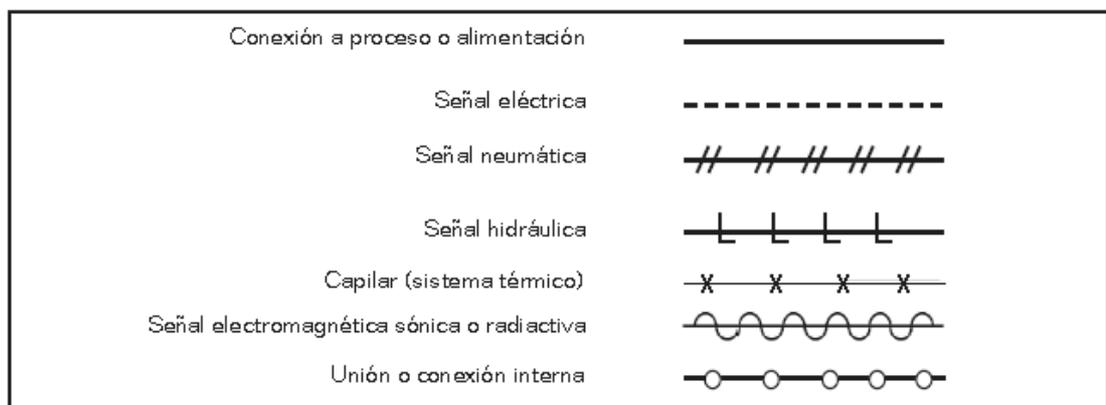


Fig. 2-4. Simbología de las líneas de conexión de instrumentos.

Se sugieren las siguientes abreviaturas para representar el tipo de alimentación (o bien de purga de fluidos)

AS Alimentación de aire.

ES Alimentación eléctrica.

GS Alimentación de gas.

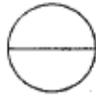
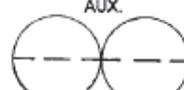
HS Alimentación hidráulica.

NS Alimentación de nitrógeno.

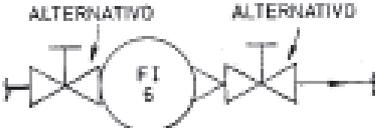
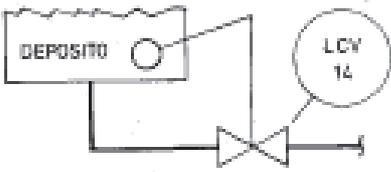
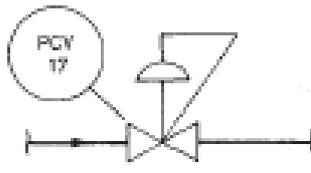
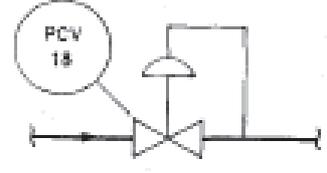
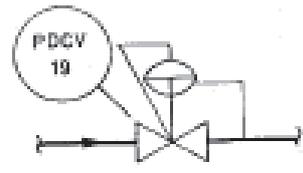
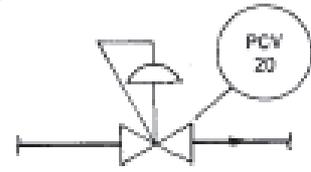
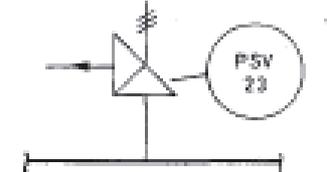
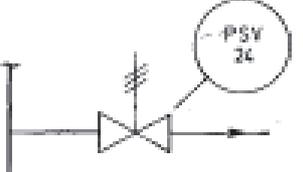
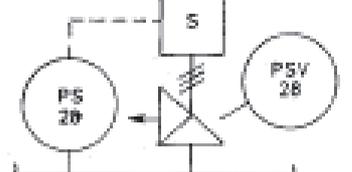
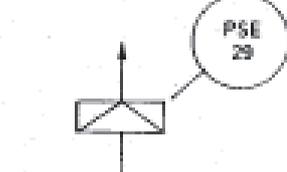
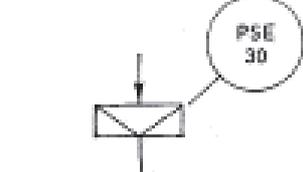
SS Alimentación de vapor.

WS Alimentación de agua.

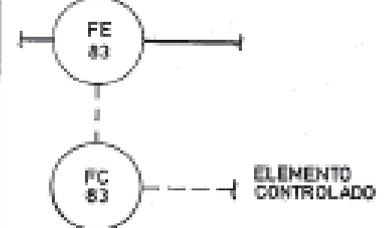
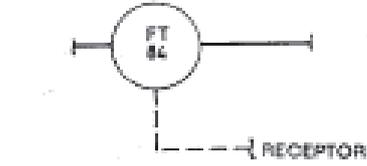
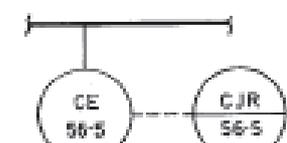
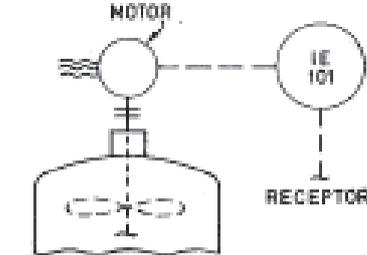
Símbolos generales

 <p>∅ aprox. 7/16" = 11,1mm</p>	 <p>1</p>		
INSTRUMENTO PARA UNA VARIABLE MEDIDA CON CUALQUIER NÚMERO DE FUNCIONES			
		 <p>AUX.</p>	
INSTRUMENTO PARA DOS VARIABLES MEDIDAS. OPCIONALMENTE INSTRUMENTO CON MÁS DE UNA FUNCIÓN. PUEDEN AÑADIRSE CÍRCULOS ADICIONALES SI SE PRECISAN			

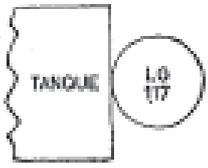
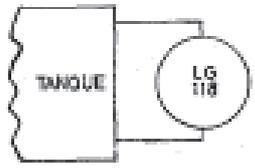
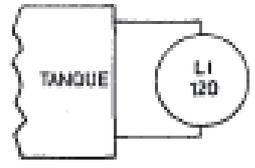
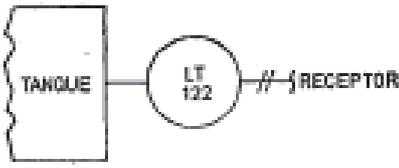
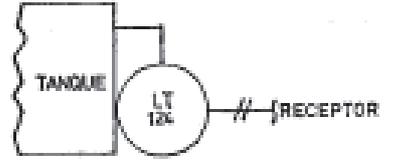
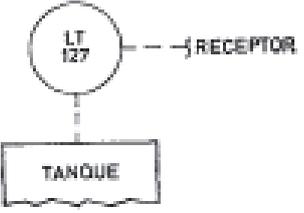
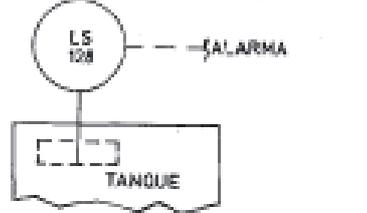
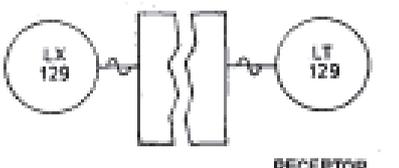
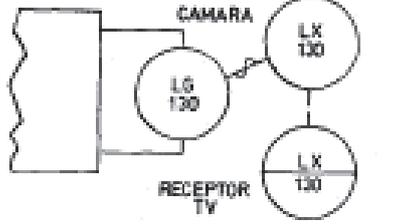
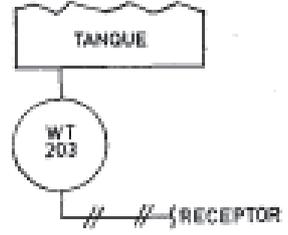
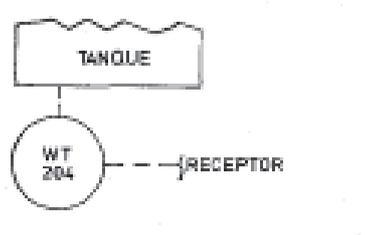
Autoreguladores

CAUDAL	 <p>REGULADOR AUTOMÁTICO CON INDICACIÓN INTEGRAL DEL CAUDAL</p>	 <p>ALTERNATIVO ALTERNATIVO</p> <p>ROTAMETRO INDICADOR CON VALVULA MANUAL DE REGULACION</p>	
NIVEL	 <p>CONTROLADOR DE NIVEL CON ENLACE MECANICO</p>		
PRESION	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESION CON TOMA INTERIOR</p>	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESION CON TOMA EXTERIOR</p>	 <p>REGULADOR REDUCTOR DE PRESION DIFERENCIAL CON TOMAS INTERIOR Y EXTERIOR</p>
PRESION	 <p>AUTORREGULADOR DE PRESION POSTERIOR CON TOMA INTERIOR</p>	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE ANGULO</p>	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE PASO RECTO</p>
PRESION	 <p>VALVULA DE ALIVIO O DE SEGURIDAD DE ANGULO DISPARADA POR SOLENOIDE</p>	 <p>DISCO DE RUPTURA PARA PRESION</p>	 <p>DISCO DE RUPTURA PARA VACIO</p>

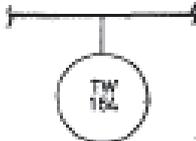
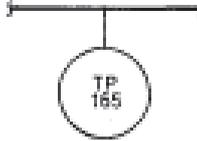
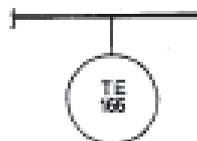
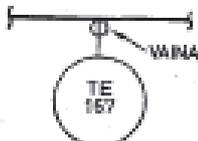
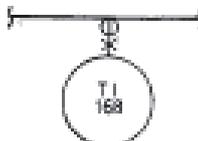
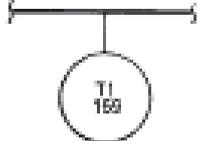
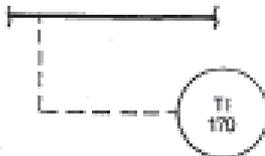
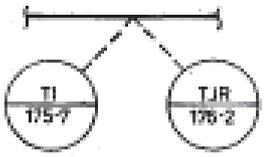
Elementos primarios (Cont.)

<p>CAUDAL</p>	 <p>FI 81</p> <p>ROTAMETRO INDICADOR DE CAUDAL</p>	 <p>FOI 82</p> <p>TOTALIZADOR INDICADOR DE CAUDAL DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO</p>	 <p>FE 83</p> <p>FC 83</p> <p>ELEMENTO SIN CLASIFICAR, CONECTADO A UN CONTROLADOR DE CAUDAL</p> <p>ELEMENTO CONTROLADO</p>
	 <p>FT 84</p> <p>RECEPTOR</p> <p>ELEMENTO SIN CLASIFICAR CON TRANSMISOR</p>		
<p>CONDUCTIVIDAD</p>	 <p>CE 56-S</p> <p>CJR 56-S</p> <p>CELULA DE CONDUCTIVIDAD CONECTADA AL PUNTO 5 DE UN REGISTRADOR MULTIPLE</p>		
<p>CORRIENTE</p>	 <p>MOTOR</p> <p>IE 101</p> <p>RECEPTOR</p> <p>TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD MIDIENDO CORRIENTE DE UN MOTOR</p>		

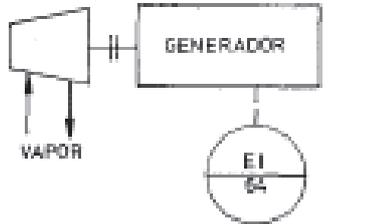
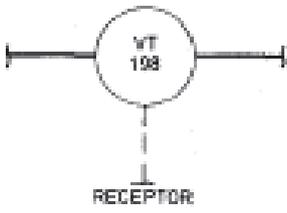
Elementos primarios (Cont.)

	 <p>TANQUE L0 117</p> <p>NIVEL DE VIDRIO INTEGRAL CON EL TANQUE</p>	 <p>TANQUE LG 118</p> <p>NIVEL DE VIDRIO DE CO-NEXIÓN EXTERNA</p>	 <p>TANQUE LI 120</p> <p>INDICADOR DE NIVEL DE FLOTADOR O DE DESPLAZAMIENTO</p>
L NIVEL	 <p>TANQUE LT 122 -- RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE NIVEL DE FLOTADOR O DESPLAZAMIENTO MONTADO EN EL EXTERIOR DEL TANQUE</p>	 <p>TANQUE LT 124 -- RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE NIVEL DE PRESIÓN DIFERENCIAL MONTADO EN EL TANQUE</p>	
	 <p>LT 127 -- RECEPTOR</p> <p>TANQUE</p> <p>ELEMENTO DE NIVEL DE CAPACIDAD CONECTADO A UN TRANSMISOR DE NIVEL</p>	 <p>LS 128 -- ALARMA</p> <p>TANQUE</p> <p>INTERRUPTOR DE NIVEL DE SÓLIDOS DE PALETAS</p>	
	 <p>LX 129 RECEPTOR LT 129</p> <p>TRANSMISOR DE NIVEL RADIATIVO O SÓNICO</p>	 <p>CAMARA LX 130</p> <p>RECEPTOR LX 130</p> <p>VISION REMOTA DE UN NIVEL DE VIDRIO MEDIANTE CAMARA DE TELEVISION</p>	
PESO O FUERZA W	 <p>TANQUE WT 203 -- RECEPTOR</p> <p>TRANSMISOR DE PESO DE CONEXIÓN DIRECTA</p>	 <p>TANQUE WT 204 -- RECEPTOR</p> <p>GALGA EXTENSOMÉTRICA CONECTADA A UN TRANSMISOR DE PESO</p>	

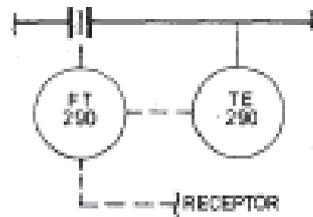
Elementos primarios (Cont.)

TEMPERATURA			
	<p>CONEXIÓN DE ENSAYO DE TEMPERATURA CON VAINA</p>	<p>CONEXIÓN DE ENSAYO DE TEMPERATURA SIN VAINA</p>	<p>ELEMENTO DE TEMPERATURA SIN VAINA</p>
			
	<p>ELEMENTO DE TEMPERATURA CON VAINA</p>	<p>INDICADOR DE TEMPERATURA DE BULBO Y CAPILAR CON VAINA</p>	<p>TERMOMETRO BIMETALICO O DE VIDRIO U OTRO LOCAL</p>
			
			
<p>TERMOPAR DOBLE CONECTADO A UN INDICADOR Y UN REGISTRADOR MULTIPLE DE TEMPERATURA</p>			

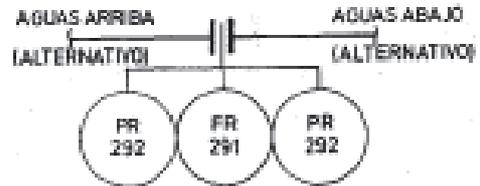
Elementos primarios (Cont.)

<p>m</p> <p>TENSION</p>	 <p>VOLTIMETRO INDICADOR CONECTADO A UN GENERADOR DE TURBINA</p>	
<p>K</p> <p>TIEMPO O PROGRAMADOR</p>	 <p>RELOJ</p>	 <p>PUNTO 7. PROGRAMADOR MULTIPUNTO, TODO-NADA</p>
<p>ω</p> <p>VELOCIDAD O FRECUENCIA</p>	 <p>TRANSMISOR DE VELOCIDAD</p>	
<p><</p> <p>VISCOSIDAD</p>	 <p>TRANSMISOR DE VISCOSIDAD</p>	

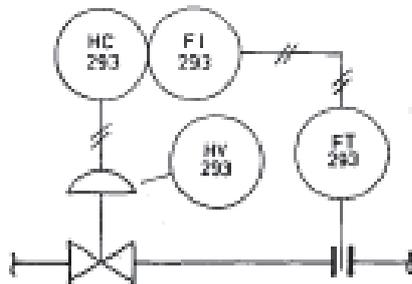
Sistemas varios



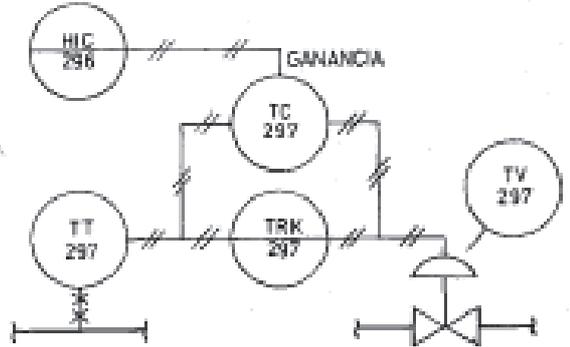
TRANSMISOR DE CAUDAL CON ELEMENTO DE TEMPERATURA DE COMPENSACIÓN



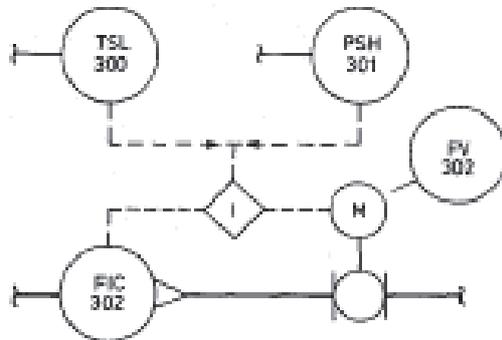
REGISTRADOR DE CAUDAL CON TOMA DE PRESIÓN



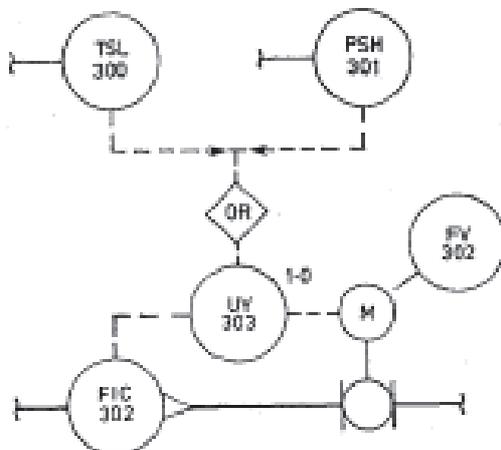
ESTACIÓN DE MANDO MANUAL SIN MANÓMETRO DE SALIDA Y CON INDICADOR RECEPTOR DE CAUDAL



REGISTRADOR CONTROLADOR LOCAL DE TEMPERATURA CON AJUSTE MANUAL REMOTO DE GANANCIA



UTILIZADO SI EL ENCLAVAMIENTO LÓGICO ES INDEFINIDO O COMPLEJO



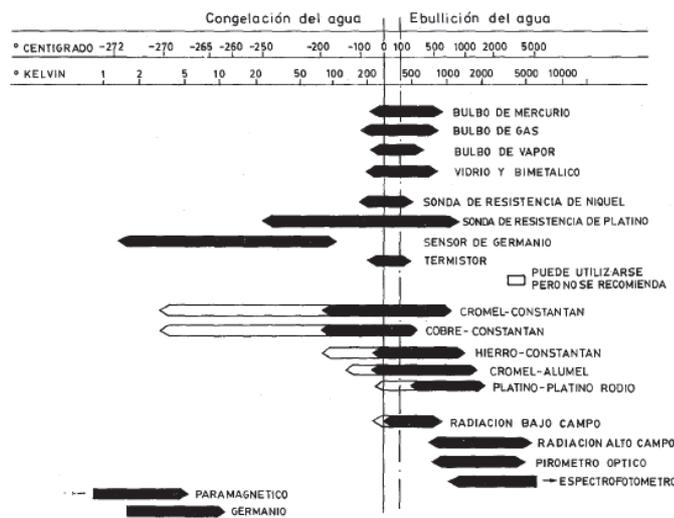
OPCIONAL
UTILIZADO SI DESEA MOSTRARSE EL RELÉ UY-303, -OR- DEBE OMITIRSE SI EL ENCLAVAMIENTO LÓGICO ES INDEFINIDO O COMPLEJO

CONTROL DE CAUDAL ENCLAVADO CON TERMOSTATO DE BAJA TEMPERATURA O PRESOSTATO DE ALTA PRESIÓN

8.4 MEDIDA DE TEMPERATURA

Introducción.

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más 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 necesarios; es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado.



(13) “Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).

e) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

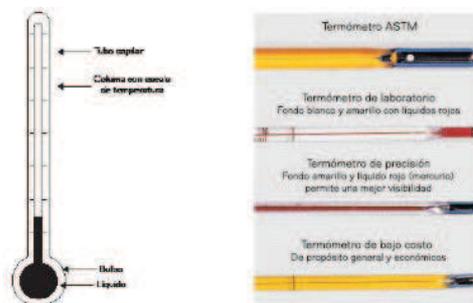
f) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal).

De este modo se emplean los instrumentos siguientes:

Termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo”.

8.4.1. Termómetro de vidrio

El termómetro de vidrio, consta de un depósito de vidrio que contiene, por ejemplo, mercurio y que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar. Los márgenes de trabajo de los fluidos empleados son:



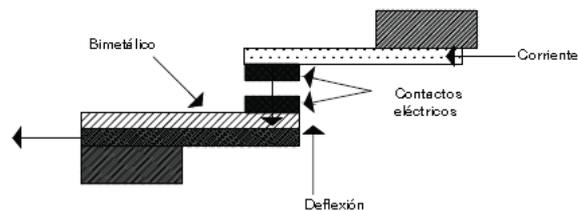
8.4.2. Termómetro bimetálico

Los termómetros bimetálicos se fundan 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 bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices. Un termómetro bimetálico típico

contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetálico.

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 campo de medida de -200 a $+500^{\circ}\text{C}$.



8.4.3. Termómetro de bulbo y capilar

Los termómetros tipo bulbo consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo.

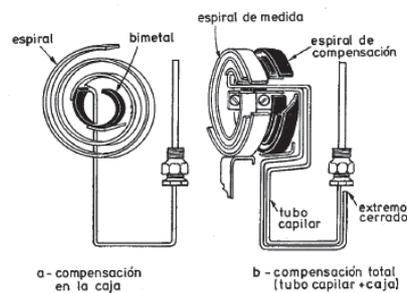
Hay tres clases de este tipo de termómetros:

1. Clase I : Termómetros actuados por líquido.
2. Clase II : Termómetros actuados por vapor.
3. Clase III : Termómetros actuados por gas.
4. Clase IV : Termómetros actuados por mercurio.

Los termómetros actuados por líquido tienen el sistema de medición lleno de líquido y como su dilatación es proporcional a la temperatura, la escala de medición resulta uniforme. El volumen del líquido depende principalmente de la temperatura del bulbo, de la del capilar y de la del elemento de medición (temperatura ambiente). Por

lo tanto, para capilares cortos hasta 5 m, sólo hay que compensar el elemento de medición para evitar errores debidos a variaciones de la temperatura ambiente (clase IB) Para capilares más largos hay que compensar también el volumen del tubo capilar (clase IA) Los líquidos que se utilizan son: alcohol y éter.

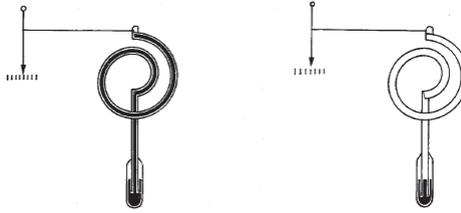
El campo de medición de estos instrumentos varía entre 150 hasta 500°C, dependiendo del tipo de líquido que se emplee.



Los termómetros actuados por vapor contienen un líquido volátil y se basan en el principio de presión de vapor. Al subir la temperatura aumenta la presión de vapor del líquido. La escala de medición no es uniforme, sino que las distancias entre divisiones van aumentando hacia la parte más alta de la escala. La presión en el sistema depende solamente de la temperatura en el bulbo. Por consiguiente, no hay necesidad de compensar la temperatura ambiente. Si la temperatura del bulbo es mayor que la temperatura ambiente, el capilar y el elemento de medición están llenos de líquido (clase IIA) siendo necesario corregir la indicación en la diferencia de alturas entre el bulbo y el elemento de medición. Si la temperatura del bulbo es más baja que la ambiente, el sistema se llena de vapor (clase IIB)

La clase IIC, opera con la temperatura del bulbo superior e inferior a la temperatura ambiente y la clase IID trabaja con la temperatura del bulbo superior, igual e inferior

a la ambiente, empleando otro líquido no volátil conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.



El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado coeficiente de temperatura de resistencia que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura. La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

en la que:

R_0 = resistencia en ohmios a 0°C

R_t = resistencia en ohmios a $t^\circ\text{C}$

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0° y 100°C es de $0,003850 \Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ en la Escala Práctica de Temperaturas Internacional (IPTS-68).

Si la relación resistencia-temperatura no es lineal la ecuación general pasa a:

$$R_t = R_0[1 + A \cdot t + Bt^2 + C(t - 100)t^3]$$

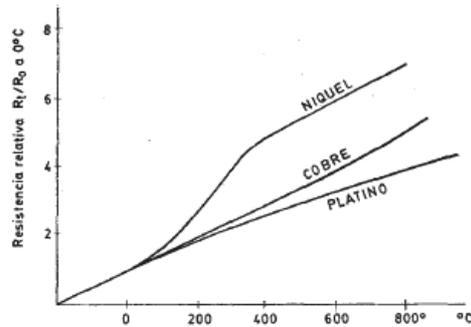
valida de -200 a 0°C y en la que A, B, C, son coeficientes de temperatura de la resistencia de valores:

$$A = 3,90802 \times 10^{-3}$$

$$B = -5,802 \times 10^{-7}$$

$$C = -4,27350 \times 10^{-12}$$

En la figura, pueden verse las curvas de resistencia relativa de varios metales en función de la temperatura.



Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben poseer las siguientes características:

1. Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
2. Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad).
3. Relación lineal resistencia-temperatura.
4. Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en las bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta).
5. Estabilidad de las características durante la vida útil del material.

Los materiales que se usan normalmente en las sondas de resistencia son el platino y el níquel. El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y de estabilidad pero presenta el inconveniente de su coste.

En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0° C. 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 resistencia-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, se indican las características de las sondas de resistencia de platino, de níquel y de cobre, y en la tabla, los valores de resistencia de las sondas de Pt 100. (Ver Anexo).

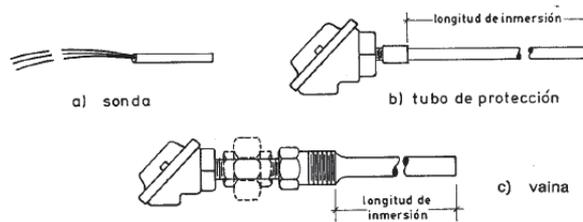
A señalar que la misma tabla es válida para termorresistencias Pt 500 (500 ohmios a 0°C) y Pt 1000 (1.000 ohmios a 0°C) multiplicando los valores correspondientes por 5 y por 10 respectivamente. El error en la lectura de los valores de las sondas (tolerancia) es

Clase A	Precisión
A	$0.15 + 0.002 \times (t)$
B	$0.3 + 0.005 \times (t)$

Las bobinas que llevan arrollado el hilo de resistencia están encapsuladas y situadas dentro de un tubo de protección o vaina de material adecuado al fluido del proceso (acero, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, hastelloy, monel, etc.). En la figura, pueden verse varios tipos de sondas.(Ver Anexos).

La variación de resistencia de las sondas es medida con un puente de Wheatstone dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos o de cuatro hilos,

según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente. En la figura pueden verse estos distintos tipos de montaje.



(14) “En el montaje de dos hilos, la sonda de resistencia se conecta a uno de los brazos del puente y se varía R_3 hasta que se anula desviación del galvanómetro. En este instante, se cumple la ecuación

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{x}$$

de aquí $x = R_3 \frac{R_2}{R_1}$ como valor de la sonda de resistencia.

Es el montaje más sencillo, pero presenta el inconveniente de que la resistencia de los hilos a y b de conexión de la sonda al puente varía cuando cambia la temperatura, y esta variación falsea por lo tanto la indicación; aunque estos hilos sean de baja resistencia (gran diámetro) y ésta sea conocida, las longitudes que puede haber en campo entre la sonda y el panel donde esté el instrumento receptor, añaden una cierta resistencia al brazo de la sonda. En efecto, la ecuación anterior pasa a:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{x + k(a + b)}$$

con x = valor resistencia desconocida

K = coeficiente de resistencia por unidad de longitud

a y b = longitudes de los hilos de conexión de la sonda al puente.

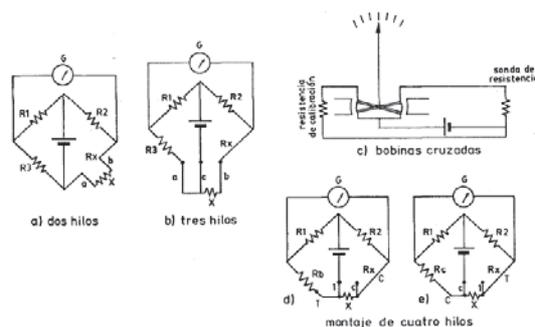
El montaje de dos hilos se emplea, pues, con resistencias moderadas del hilo de conexión y cuando la lectura no necesita ser demasiado exacta.

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 no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura, ya que ésta influye a la vez en dos brazos adyacentes del puente, siendo la única condición que la resistencia de los hilos a y b sea exactamente la misma”.

En efecto, en la figura puede verse que la ecuación correspondiente es:

$$\frac{R_1}{R_3 + k_a} = \frac{R_2}{x + k_b}$$

y como $K_a = K_b$, haciendo $R_2/R_1 = 1$, R_3 puede ajustarse a un valor igual a x para que el galvanómetro no indique tensión. Hace un tiempo se utilizaba un instrumento de bobinas cruzadas representado en la figura en lugar de un galvanómetro y en montaje de tres hilos para eliminar las variaciones de resistencia de las líneas de conexión.



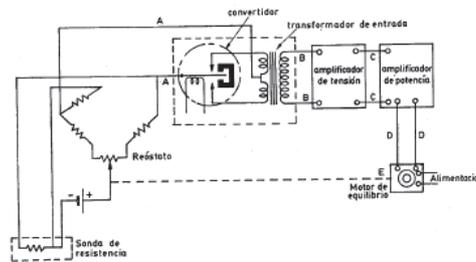
El instrumento dispone de una resistencia de calibración que inicialmente equivale a la resistencia de medida. De este modo, por ambas bobinas pasa la misma corriente, compensándose sus efectos y permaneciendo estacionario el índice. Al elevarse la

temperatura de la sonda crece su resistencia, desequilibrando el instrumento y señalando el índice un nuevo valor proporcional al aumento de temperatura de la sonda. El montaje de cuatro hilos se utiliza para obtener la mayor precisión posible en la medida, como es el caso de calibración de patrones de resistencia en laboratorio. Se basa en efectuar dos mediciones de la resistencia de la sonda combinando las conexiones de modo tal que la sonda pase de un brazo del puente al adyacente. De este modo se compensan las resistencias desiguales de los hilos de conexión y el valor de la resistencia equivale al promedio de los valores determinados en las dos mediciones. La medición automática de la resistencia y por lo tanto de la temperatura se lleva a cabo mediante instrumentos autoequilibrados que utilizan un circuito de puente de Wheatstone.

La sonda de resistencia está conectada al puente mediante un circuito de tres hilos. Si el puente está desequilibrado la señal de error en forma de tensión continua que aparece en AA, es convertida a una tensión alterna (BB) y amplificada en tensión (CC) y potencia (DD), para; excitar el motor de equilibrio E.

Éste se mueve en la dirección adecuada para equilibrar el puente a través del brazo móvil del reóstato que al mismo tiempo acciona los mecanismos asociados de indicación, registro y control. Otros instrumentos utilizan un puente de capacidades con un condensador variable cuya posición está calibrada en función de la temperatura, alimentando si el circuito con la tensión alterna estabilizada de un oscilador. En la figura, puede verse uno de estos instrumentos en el que puede observarse en forma análoga al circuito de puente de Wheatstone que, ante una señal

de error el amplificador alimenta el motor de equilibrio que acciona el condensador variable.



La adición de un microprocesador a la sonda de resistencia permite obtener un transmisor inteligente con la posibilidad del cambio automático del sensor o del campo de medida, la obtención por hardware o software de puentes de Wheatstone o de capacidades de distintas características, etc.

8.4.5. Termistores

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los 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.

La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la expresión

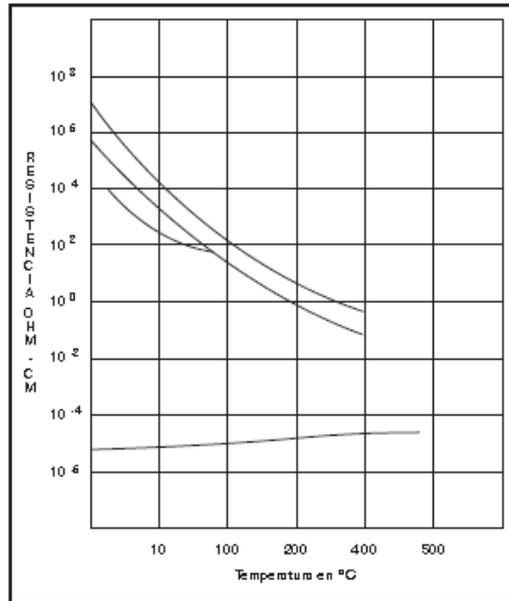
$$R_t = R_o e^{\beta \left(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_o} \right)}$$

en la que:

R_t = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta T_t

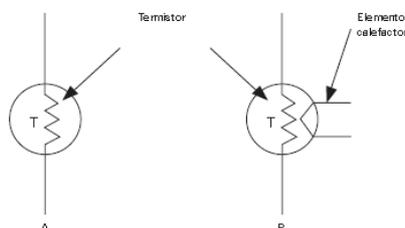
R_0 = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia T_0

β = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas



En la figura pueden verse las curvas características de dos tipos de materiales de termistores en comparación con la del platino.

Hay que señalar que para obtener una buena estabilidad en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente, tal como se indica en la figura. Los termistores se conectan a puentes de Wheatstone convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia. En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia estudiadas y permiten incluso intervalos de medida de 1°C (span). 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.



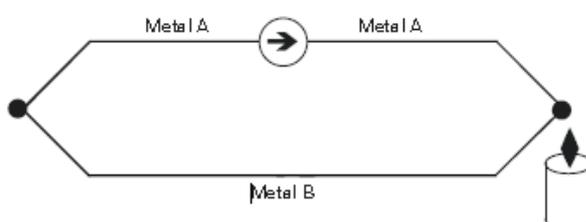
La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los 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.

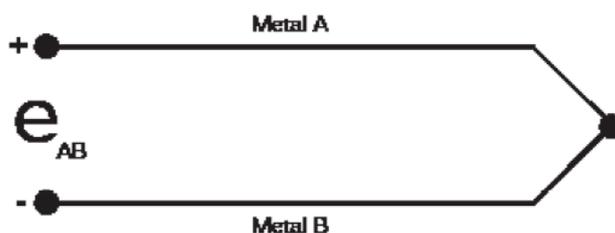
8.4.6 Termopares

Efectos termoeléctricos.

(15) “Cuando dos metales diferentes son unidos en sus extremos, como se muestra en la figura , y éstos se mantienen a diferentes temperaturas, se establece una corriente que influye en el circuito termoeléctrico. Thomas Seebeck descubrió este fenómeno en 1821 al notar que la circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados: el efecto Peltier, el cual establece que una corriente que fluye a través de la unión de dos metales diferentes, absorbe o libera calor en función de la dirección que tenga la corriente; y el efecto Thompson el cual establece que en una sección de un metal conductor homogéneo se libera o se absorbe calor cuando existe una circulación de corriente y se tiene un incremento de temperatura; a este fenómeno se le llama efecto Seebeck”.



Si el circuito se abre en el centro, se tendrá un circuito de voltaje (voltaje Seebeck), en e_{AB} en la figura, y es posible medir ese voltaje e_{AB} en milivolts que genera el circuito en sus extremos en función de la temperatura en las uniones y de la composición de los dos metales.



Si los cambios de temperatura son pequeños, el voltaje Seebeck, será directamente proporcional a la temperatura.

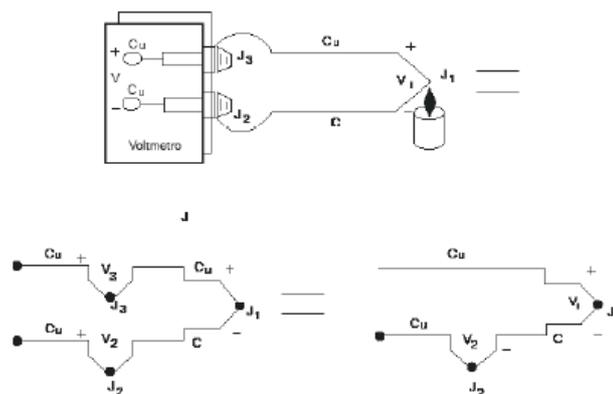
$$\Delta e_{AB} = a\Delta T$$

donde a es la constante de proporcionalidad (constante Seebeck)

La fuerza electromotriz (fem) de este circuito, obedece a dos efectos termoeléctricos combinados llamados el efecto Peltier, que dice que la corriente que circula en la unión de dos metales diferentes, causa que se libere o se absorba calor, en función de la dirección de la corriente en el circuito. Así mismo si un gradiente de temperatura existe a lo largo de cualquiera de ellos o en ambos materiales, la f.e.m. en la unión puede tener una ligera alteración extra. Esto es llamado el efecto Thomson. Hay entonces tres f.e.m. presentes en un circuito termoeléctrico. La f.e.m. Seebeck causada por la unión de metales diferentes, la f.e.m. Peltier causada por la unión de metales diferentes, la cual resulta de un gradiente de temperatura en los materiales.

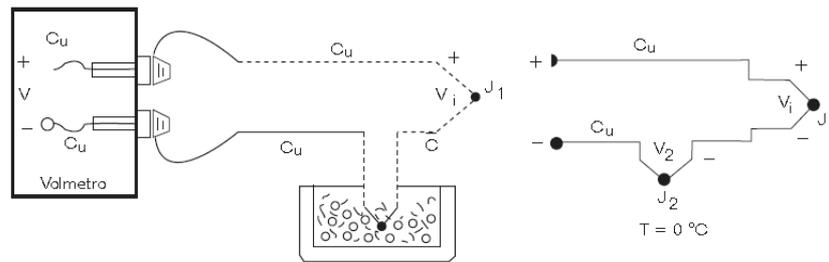
La f.e.m. Seebeck es de principal interés aquí y ésta es dependiente de la temperatura en la unión. Si la f.e.m. generada en la unión de dos metales diferentes es

cuidadosamente medida como una función de la temperatura, entonces tal unión puede ser utilizada para la medición de la temperatura. El principal problema se presenta cuando se intenta medir este potencial (voltaje Seebeck), pues al conectar el termopar al dispositivo de medición, se estará generando otra f.e.m. en la unión del termopar con las terminales del instrumento y dependerá de la temperatura en la conexión y se deberán tomar ciertas precauciones para evitar la suma de este potencial. En la figura, se observa qué pasa si se desea leer el voltaje en un termopar tipo T. Si se quisiera leer sólo el voltaje V intentando medir la salida en la unión J_1 se crearían dos uniones metálicas extras J_2 y J_3 ; debido a que la unión J_3 es cobre-cobre, ésta no crea ningún voltaje f.e.m. ($V_3 = 0$), pero la unión J_2 que es cobre-constantán creará un voltaje adicional f.e.m. (V_2) opuesto a V_1 , por lo tanto la lectura V resultante será proporcional a la diferencia de temperaturas entre J_1 y J_2 , lo cual quiere decir que no podemos encontrar la temperatura J_1 a menos que primero encontremos la temperatura J_2



Una forma de determinar el valor de la temperatura de J_2 , es poniendo esta unión dentro de un baño de hielo como se muestra en la figura, forzando su temperatura a 0°C y estableciendo a J_2 como una “unión de referencia” (punta fría); en la unión J_3 ,

como ya se dijo, ambas terminales (voltmetro/termopar) son de cobre, por lo tanto, no crean ningún voltaje adicional a la lectura, siendo esta proporcional únicamente a la diferencia de temperaturas entre J1 y J2



La lectura del voltímetro será:

$$V = V_1 - V_2 = a(t_{J1} - t_{J2})$$

Si especificamos a T_{J1} en grados centígrados tenemos:

$$T_{J1} (\text{°C}) + 273.15 = t_{J1}$$

Entonces esto nos lleva a:

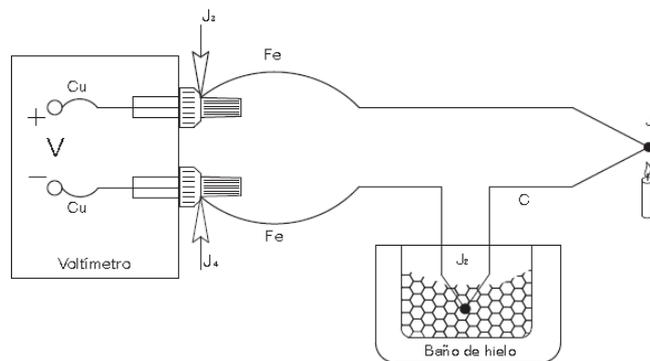
$$\begin{aligned} V &= V_1 - V_2 = a(T_{J1} + 273.15) - (T_{J2} + 273.15) \\ &= a(T_{J1} - T_{J2}) = a(T_{J1} - 0) \end{aligned}$$

$$V = aT_{J1}$$

En el análisis matemático realizado, se debe enfatizar que el voltaje de salida de la unión de referencia no es de cero volts, sino que es una función de la temperatura absoluta. Sumando el voltaje que se genera en la unión de referencia a cero grados Celsius, se tiene que la lectura de la unión de medición tiene como base cero grados y esto hace que este método sea muy exacto debido a que la temperatura en el hielo puede ser controlada con mucha precisión, el punto de fusión del hielo es usado por la oficina nacional de estándares de los Estados Unidos de Norteamérica (NBS por sus

siglas en inglés de National Bureau of Standards), como un punto de referencia fundamental para las tablas de termopares, por lo que, si vemos las tablas directamente podemos convertir lecturas de voltaje a temperatura.

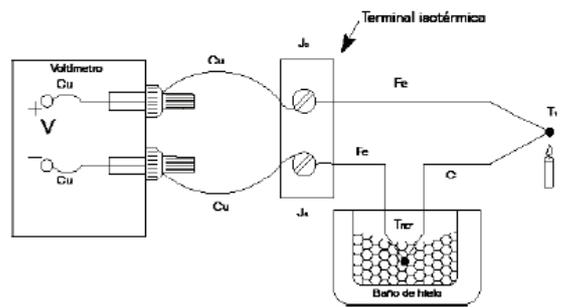
El termopar cobre-constantán mostrado en la figura, es un ejemplo único ya que un alambre del termopar, es del mismo material (cobre) que las terminales del voltímetro. Pero si usáramos un termopar de hierro-constantán (tipo J), en lugar de uno de cobre-constantán, el alambre de hierro, incrementaría el número de uniones de diferentes metales dentro del circuito, ya que las terminales del voltímetro que son de cobre quedarían conectadas con las del termopar que son hierro-constantán.



Si ambas terminales del voltímetro no estuvieran a la misma temperatura, se tendría un error, por lo tanto, para tener mediciones exactas se deberá colocar un bloque isotérmico (terminal homogénea) como se muestra en la figura.

La terminal isotérmica está aislada eléctricamente, pero es buena conductora de calor y sirve para mantener las uniones J3 y J4 a la misma temperatura. Las temperaturas en el bloque son despreciables debido a que las dos uniones cobre-hierro actúan de manera opuesta de tal manera que seguimos teniendo que:

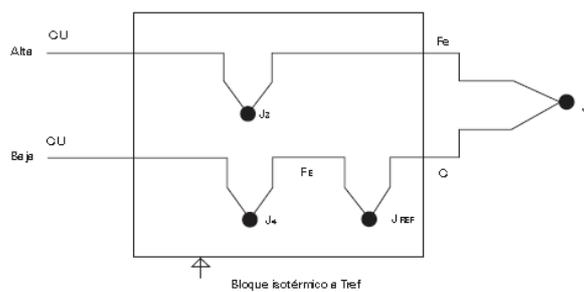
$$V = a(T1 - Tref) = (V1 - Vref) j$$



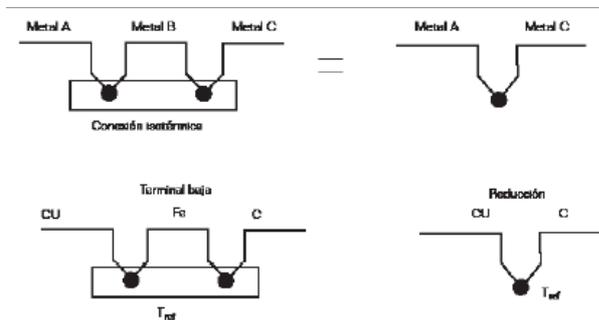
Si reemplazamos el baño de hielo con otro bloque isotérmico, como se muestra en la figura, el nuevo bloque estará a la temperatura de referencia Tref y en la consideración de que J3 y J4 están a la misma temperatura de referencia, se puede decir que se tienen las mismas condiciones;

$$V = a(T1 - T \text{ ref})$$

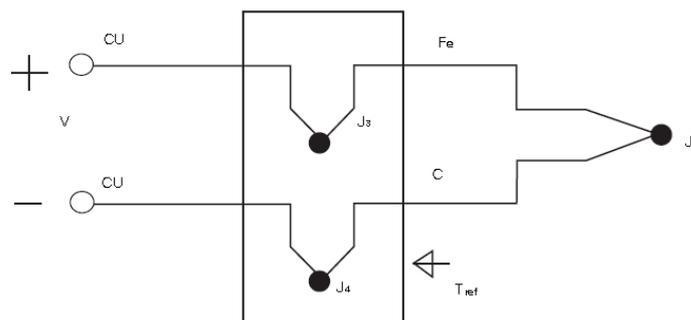
Este circuito tiene mayores inconvenientes porque se ha formado otro termopar más (J3); tratando de reducir las conexiones tendríamos que eliminar al alambre extra de hierro en el lado negativo, en el de la unión de cobre-hierro-constantán, de esta manera podemos unir los dos bloques isotérmicos y la salida no se modifica.



Si examinamos la ley de los metales intermedios en la figura, para eliminar la unión extra, podemos decir que esta ley empírica establece que si un tercer material, en este caso el hierro, es insertado entre dos metales diferentes en una unión de termopar, éste no causará ningún efecto sobre el voltaje de salida, siempre y cuando las uniones formadas por el metal extra y las uniones del termopar, estén a la misma temperatura.



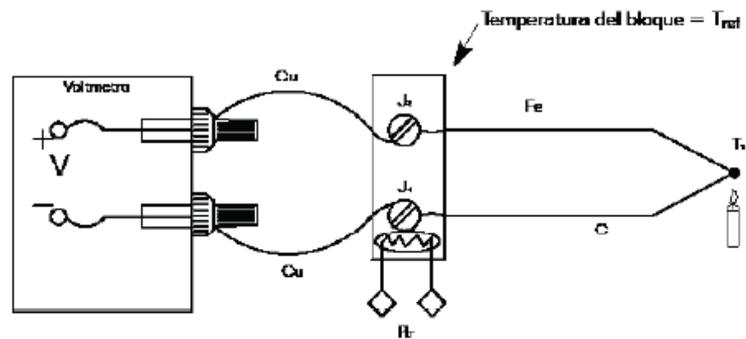
(16) “Como conclusión se tiene que es completamente eliminada la necesidad de un alambre de hierro del lado de la terminal negativa. Nuevamente se tiene el mismo resultado en el voltaje de salida, y las uniones J3 y J4 sustituyen el baño de hielo tomando el valor de la unión de referencia como se puede ver en el circuito equivalente de la figura.



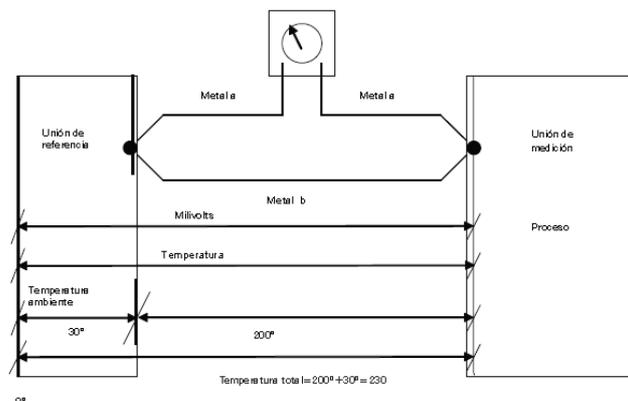
Se puede proceder a un siguiente paso lógico que será medir la temperatura del bloque isotérmico (unión de referencia), y usar esta información para conocer la temperatura desconocida de J1”.

Un termistor cuya resistencia R_T está en función de la temperatura como el de la figura, proporciona una forma de medir la temperatura absoluta de la unión de referencia. Se supone que las uniones J3 y J4 y el termistor están a la misma temperatura debido al diseño del bloque isotérmico. Usando un multímetro digital se pueden tener dos condiciones:

1. Medir RT para encontrar T_{ref} y convertir T_{ref} a su voltaje equivalente.
2. Medir V, sumarle V_{ref} para encontrar V_1 y convertir V_1 a la temperatura t_{J1} .



El estar detectando la temperatura del bloque, es una manera de conocer la temperatura ambiente, ya que si deseamos conocer la temperatura en un proceso, se debe considerar la temperatura ambiente más la temperatura en el proceso como se muestra en la figura. Es importante enfatizar que un termopar sólo genera voltaje, con diferencias de temperatura entre la unión de referencia (unión fría) y la de medición (unión caliente), si la temperatura es la misma entre los dos extremos, el termopar no genera ningún voltaje. Si se mide el voltaje del termopar con un medidor que no tenga compensador de temperatura ambiente, se deberá añadir el voltaje correspondiente a esta temperatura pues de lo contrario se tendrá un error en medición equivalente al valor de la temperatura ambiente.



En la actualidad existen dos maneras de efectuar la compensación de temperatura ambiente en los equipos de medición, una es a través de circuitería y la otra a través de programación. En los medidores modernos, llamados transmisores inteligentes, los cuales emplean microprocesadores, es posible hacer esta compensación, debido a que se puede lograr mediante un software de una computadora o equipo, compensando los efectos de los cambios de temperatura ambiente en la unión de referencia. En los medidores antiguos se compensaba primeramente con bimetálicos y posteriormente con circuitería (ver compensación de temperatura). El sensor de temperatura sobre el bloque isotérmico de la figura, puede ser un dispositivo que tenga una característica proporcional a la temperatura: un RTD, un transmisor o un circuito integrado.

Aun cuando el RTD o el termistor son dispositivos que miden temperatura sin necesidad de compensación, tienen la limitación de un rango de temperatura bajo, por tanto el termopar, aun cuando requiere compensación en la junta de referencia cubre un rango más amplio de temperatura.

Propiedades de termopares

(17) “Debido a su versatilidad, el termopar es tal vez el único método práctico industrial para la medición de temperaturas entre 500 y 1500°C. Los termómetros de sistema lleno no se diseñan para esas temperaturas, y el termómetro de resistencia debe tener un diseño especial para esos rangos. En temperaturas menores a 500°C se emplea también el termopar aunque su costo sea mayor con el fin de tener un solo tipo de equipo en la planta.

Una de las ventajas del termopar es que su voltaje de salida se puede transmitir fácilmente a grandes distancias hasta el punto de lectura. Otra es que el termopar se

puede fabricar en forma rápida en casi cualquier taller de instrumentos. El termopar por sí mismo es relativamente barato”.

Materiales de los termopares

En la tabla, se pueden observar los tipos de termopares que existen en el mercado y sus polaridades, así como el rango en que operan cada uno de ellos.

Tipo	Elemento positivo	Elemento negativo	Rangos usuales de temperatura	
			°F	°C
B	Platino 30% rodio	Platino 6% rodio	1600 – 3100	870 – 1700
E	Cromel	Constantán	32 – 1600	0 – 870
J	Hierro	Constantán	32 – 1400	0 – 760
K	Cromel	Alumel	32 – 2300	0 – 1260
R	Platino 13% rodio	Platino	32 – 2700	0 – 1480
S	Platino 10% rodio	Platino	32 – 2700	0 – 1480
T	Cobre	Constantán	-300 – 700	-180 – 370

Tablas de temperatura-milivoltaje

(18) “Para convertir la lectura en milivolts del voltímetro a su temperatura correspondiente, se pueden consultar tablas. Estas tablas están disponibles con los fabricantes de termopares y enlistan las temperaturas específicas que corresponden a una serie de lecturas de voltaje. Debido al empleo de medidores electrónicos ya no es necesaria la consulta de la tablas pues éstos dan la lectura directa en grados.

Mediante este tipo de tablas, se puede conocer el milivoltaje que se genera a determinadas temperaturas, por ejemplo, si deseáramos conocer el milivoltaje equivalente de la temperatura de 770°C, se busca en la columna de los extremos derecho o izquierdo el valor 700 (centenas o millares) y en la fila de los extremos inferior o superior se busca el valor de 70 (decenas), en forma de eje coordenado, encontrando de esta manera el valor de milivolts que es de 7.020 mv”.

Termopar tipo S												
Tabla temperatura vs fem												
Temperatures (°C) (PTS 1968)							Unión de referencia 0°C Reference Junction 0°C					
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	°C
Thermoelectric voltage in absolute millivolts												
0	0.000	0.053	0.103	0.150	0.194	0.236						0
0	0.000	0.055	0.113	0.173	0.235	0.299	0.365	0.432	0.502	0.573	0.645	0
100	0.845	0.719	0.795	0.972	0.950	1.029	1.109	1.190	1.273	1.356	1.440	100
200	1.440	1.625	1.611	1.698	1.785	1.673	1.967	2.361	2.141	2.232	2.323	200
300	2.323	2.414	2.506	2.599	2.692	2.786	2.880	2.974	3.069	3.164	3.260	300
400	3.260	3.356	3.452	3.540	3.645	3.743	3.840	3.938	4.036	4.135	4.234	400
500	4.234	4.333	4.432	4.532	4.632	4.732	4.832	4.933	5.034	5.138	5.237	500
600	5.237	5.339	5.442	5.544	5.648	5.751	5.855	5.960	6.064	6.169	6.274	600
700	6.214	6.330	6.436	6.532	6.699	6.805	6.913	7.020	7.128	7.236	7.345	700
800	7.345	7.454	7.563	7.672	7.782	7.802	8.003	8.114	8.225	8.336	8.448	800
900	8.448	8.560	8.673	8.786	8.899	9.012	9.126	9.240	9.355	9.470	9.585	900
1000	9.586	9.700	9.816	9.932	10.013	10.165	10.282	10.400	10.517	10.635	10.754	1 000
1 100	10.754	10.872	10.991	11.110	11.229	11.348	11.467	11.587	11.707	11.827	11.947	1 100
1 200	11.947	12.067	12.188	12.308	12.429	12.550	12.671	12.792	12.913	13.034	13.155	1 200
1 300	13.155	13.276	13.397	13.519	13.640	13.761	13.883	14.004	14.125	14.247	14.368	1 300
1 400	14.368	14.489	14.610	14.731	14.852	14.973	15.094	15.215	16.336	15.456	16.576	1 400
1 500	15.576	15.697	15.817	15.937	16.057	16.176	16.296	16.415	16.534	16.653	16.771	1 500
1 600	16.771	16.890	17.008	17.125	17.243	17.360	17.477	17.594	17.711	17.828	17.942	1 600
1 700	17.942	18.056	18.170	18.282	18.394	18.504	18.612					1 700
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	°C

Relación voltaje-temperatura para diferentes termopares

Es muy común expresar la fem termoeléctrica en términos del potencial generado con una unión de referencia de 32°F (0°C); en la tabla 3-6 se muestra un resumen de las características de salida de los termopares más comunes. Las señales de voltaje que se generan en un termopar son del orden de mV (milésimas de volt).

Temperatura en °F	Cobre-constantán	Chromel-constantán	Hierro-constantán	Chromel-alumel	Platino 10% radio
-200	-4.111		-5.76	-4.29	
-150	-3.380	-3.94	-4.68	-3.52	
-100	-2.559		-3.49	-2.65	
-50	-1.654	-1.02	-2.22	-1.70	
0	-0.670		-0.89	-0.68	
50	0.389	2.27	0.50	0.40	
100	1.517		1.94	1.52	0.212 mv
150	2.711	5.87	3.41	2.66	0.401
200	3.967		4.91	3.82	0.595
250	5.280	9.71	6.421	4.97	0.800
300	6.647		7.94	6.09	1.017
350	8.064	13.75	9.48	7.20	1.242
400	9.525		11.03	8.31	1.474
450	11.030	17.97	12.57	9.43	1.712
500	12.575	22.2	14.12	10.51	1.956
600	15.773	26.65	17.18	12.86	2.458
700	19.100	31.09	20.26	15.18	2.977
800		40.06	23.32	17.53	3.506
1 000		49.04	29.25	22.26	4.596
1 200		62.30	36.01	26.98	5.726
1 500		70.90		33.93	7.498
1 700				38.43	8.732
2000				44.91	10.662

Respuesta de diferentes termopares

Los datos de la tabla 3-4 son mostrados en la gráfica de la figura 3-24 y se puede apreciar la relación de la temperatura y la correspondiente fuerza electromotriz f.e.m. (efm por sus siglas en inglés) en milivolts para seis tipos de termopares, se nota también que los termopares R, S y B generan poco milivoltaje en comparación con los termopares E, J y k.

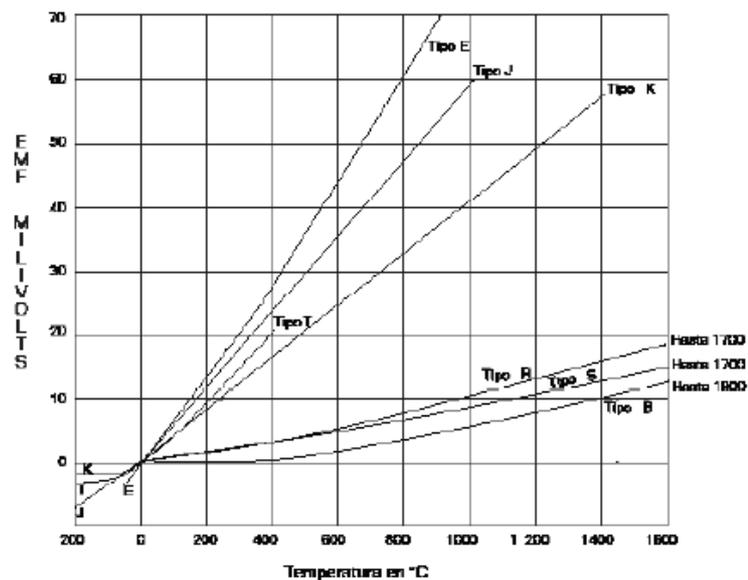
Conversión de temperatura a voltaje

(19) “El voltaje de salida E de un circuito de termopar es usualmente escrito de la siguiente forma:

$$E = AT + \frac{1}{2} BT_2 + \frac{1}{3} CT_3$$

donde T es la temperatura en °C y el voltaje E está con referencia a una temperatura de 0°C. Las constantes A, B y C son dependientes del material del termopar. La sensibilidad o potencia termoeléctrica de un termopar está dada por:

$$S = \frac{dE}{dT} = A + BT + CT^2$$



Polaridad

Una característica importante en un termopar es su polaridad, la cual debe ser respetada cuando se va a conectar al sensor en un instrumento de medición. Aunque no es riesgoso el intervenir la polaridad, puede causar descontrol ya que las indicaciones se ven alteradas. En la tabla, se muestran las polaridades de diferentes termopares y su rango de operación.

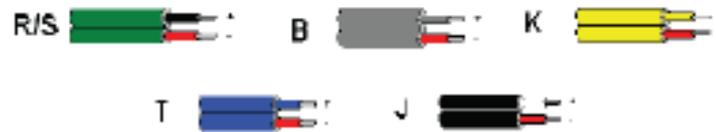
Tipo	Elemento positivo	Elemento negativo	Rangos de usuales de temperatura	
			°F	°C
B	Platino 30% rodio	Platino 6% rodio	1 600 – 3 100	870 – 1 700
E	Cromel original	Constantán	32 – 1 600	0 – 870
J	Hierro	Constantán	32 – 1 400	0 – 760
K	Cromel original	Alumel original	32 – 2 300	0 – 1 260
R	Platino 13% rodio	Platino	32 – 2 700	0 – 1 480
S	Platino 10% rodio	Platino	32 – 2 700	0 – 1 480
T	Cobre	Constantán	-300 – 370	-180 – 370

En todos los termopares es posible reconocer la polaridad a través de los colores del forro que los cubre. Un termopar consta de un forro externo que cubre los dos alambres y uno interno que cubre el alambre individualmente. El forro externo indica el tipo de termopar y el interno la polaridad.

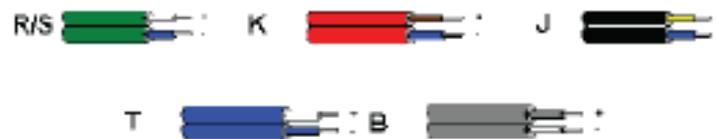
En la versión americana, el color rojo siempre es el negativo. Los forros externos como ya se mencionó determinan el tipo de termopar, por ejemplo el termopar K tiene forro amarillo y el J tiene forro negro, etcétera.

En la figura 3-25 se puede apreciar esta característica, y se puede ver que los forros varían de la versión americana a la de los otros países, por lo que si los termopares son adquiridos en otro país se debe consultar la tabla de colores. Mediante la tablas y los colores en el termopar se podrá conocer el material de que está hecho el alambre, además de poder identificar su polaridad.

Americana ASTM:



Inglés BS343: 1962



Inglés BS4837: Part 30: 1993



Francesa nfe



Alemana DIN:

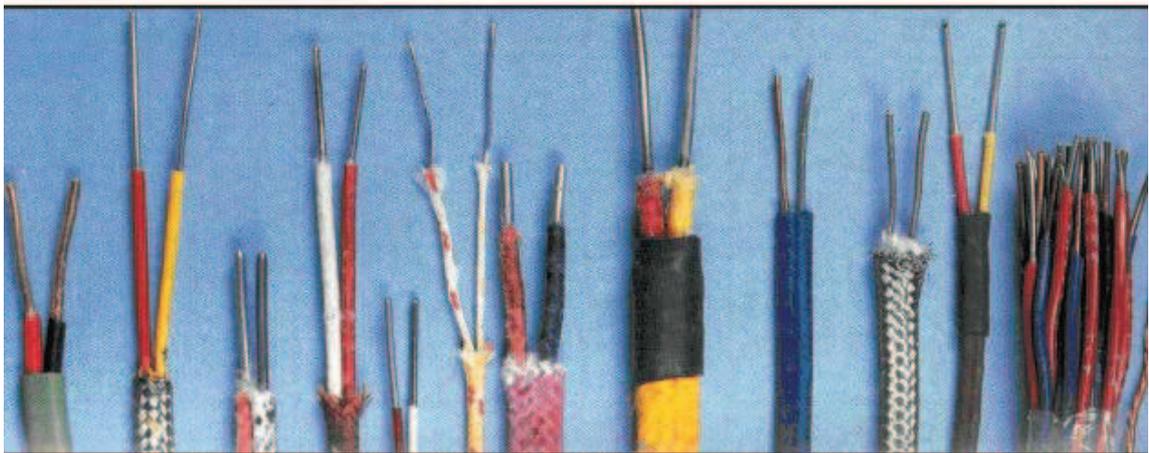


(20) “Alambres de extensión”

Los alambres de extensión son utilizados para conectar el termopar con el voltímetro. En algunas aplicaciones, ambas uniones están separadas por varias decenas de metros. Hay dos clases de alambres de extensión para aplicaciones de termopares: el primer tipo de alambre de termopar es esencialmente del mismo alambre que forma el termopar, y se recomienda para los hierro-constantán y cobre-constantán. El segundo tipo, el alambre de compensación, está fabricado de cobre o una aleación níquel-

cobre. Es usado principalmente en termopares de platino para reducir el costo. Las características del alambre de conexión deben ser similares a los alambres utilizados en los termopares, pues de otra manera, los voltajes generados en las conexiones serían suficientemente grandes para afectar la exactitud del instrumento.

Los forros de alambres de extensión así como los termopares, permiten la identificación del tipo de termopar de que se trate, estos forros son fabricados de diferentes materiales como: polyvinil, fibra de vidrio, teflón, asbesto, etcétera, en la figura, se muestran algunos de éstos.



Tipos de uniones

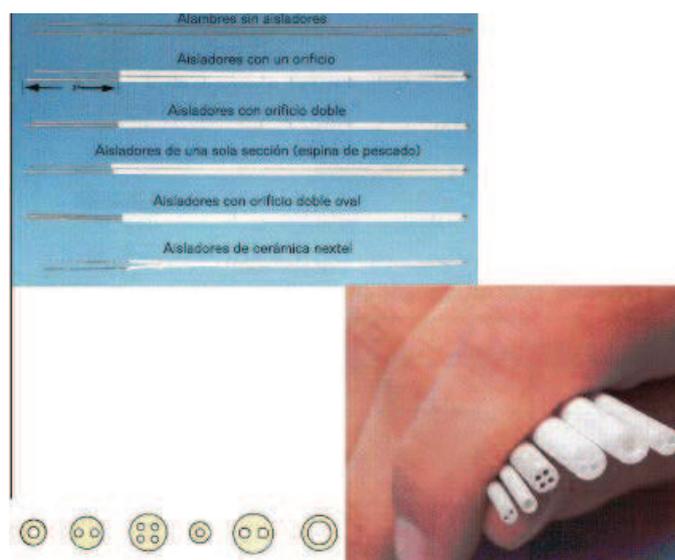
Al fabricar el termopar este puede ser soldado o torcido, en la figura, se pueden ver tres tipos de uniones soldadas: expuesto, no aterrizado y aterrizado. El tipo expuesto es recomendado en mediciones de temperatura en gases no corrosivos, estáticos o en movimiento, donde se requiere un tiempo de respuesta rápido.

El tipo no aterrizado, es recomendado para hacer mediciones en medios ambientes corrosivos, en donde se desea tener el termopar electrónicamente aislado del blindaje

de la funda. Los termopares soldados son físicamente aislados de la funda, con polvos de óxido de magnesio.

El tipo aterrizado, es recomendado para medir líquidos o gases corrosivos estáticos o en movimiento y en aplicaciones de alta presión. En un termopar aterrizado, la unión está soldada a la funda lo que permite un tiempo de respuesta mayor que en uno no aterrizado. Los termopares rara vez se usan con alambres no recubiertos excepto en la unión de detección. El recubrimiento de los alambres puede consistir desde barniz resistente al calor, hule resistente al calor, tejido de algodón, tejido de asbesto, tejido de fibra de vidrio, asbesto impregnado con silicio, tejido de teflón y vidrio, hasta tubos o perlas de cerámica, alúmina u óxido de molibdeno.

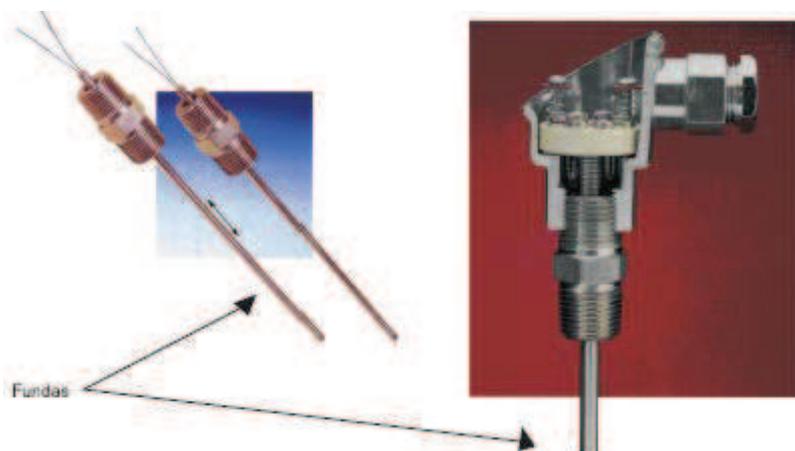
También se emplean combinaciones del recubrimiento del alambre, en ocasiones individualmente o cubriendo los dos alambres, con el mismo forro protector. En la figura, se ilustran los diferentes tubos protectores de cerámica que se colocan a los alambres del termopar, los cuales le dan resistencia mecánica y evitan que se pongan en contacto, lo que ocasionaría un corto circuito.



Cuando la aplicación del termopar requiere la medición de temperaturas en atmósferas corrosivas u otros tipos de atmósferas que sean perjudiciales para los metales del termopar, se acostumbra emplear una funda como protector del termopar, del lado de la unión de medición (unión caliente).

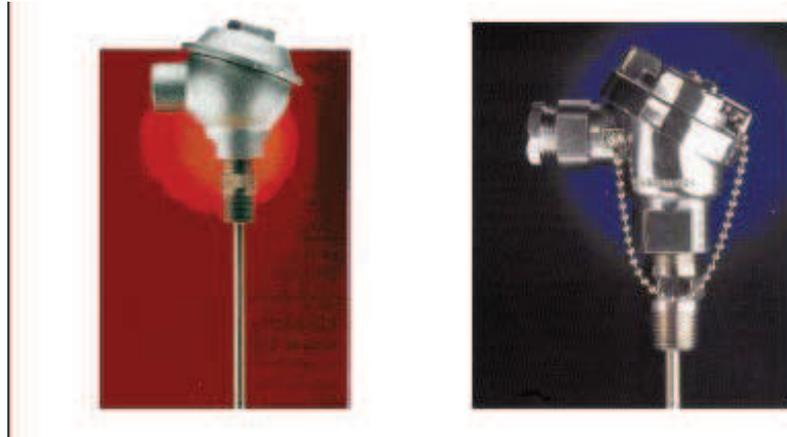
Esas fundas protectoras se construyen de una gran variedad de materiales y dependen del uso que se les va a dar, las cubiertas se pueden construir de hierro forjado cubierto con una aleación, hierro fundido, acero sin costuras, acero inoxidable, níquel, inconel, carburo de silicio unido con cerámica o algún otro tipo de material que prolongue el tiempo de vida y la precisión del termopar.

Por lo general en procesos donde se tienen altas presiones, las fundas protectoras son barras sólidas de metal perforadas o se construyen soldando un tubo, un tapón y una cabeza hexagonal, como se muestra en la figura.



Por lo regular los termopares que requieren el uso de tubos o cubiertas protectoras se construyen como un conjunto como se muestra en la figura, se muestra el corte transversal de un sensor de termopar, en donde se observa la funda y su terminal de conexiones.

En la figura, se observa la cabeza que protege la conexión del termopar, con los alambres de extensión que van hacia el instrumento de medición, esta caja de conexiones es fabricada normalmente de hierro fundido o aluminio.



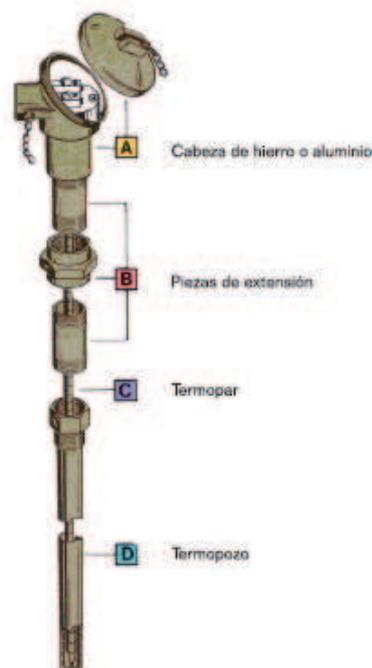
La sensibilidad de un termopar se puede incrementar reduciendo la masa de la unión de medición. Un método para lograr esa reducción de masa es soldar a tope los dos alambres del termopar. Cuando la soldadura a tope no tiene la resistencia mecánica adecuada por el tipo de aplicación, entonces se tuercen los dos alambres; por lo general se utilizan tres vueltas de alambre y para algunas aplicaciones se requieren hasta cinco vueltas. Es necesaria una soldadura fuerte y limpia para obtener una unión sólida con el fin de efectuar mediciones precisas y reproducibles. El termopar responde también a un cambio de temperatura con mayor rapidez cuando su tubo o funda protectora es de diámetro pequeño y las paredes son lo más delgado posible. Los diámetros y espesores de paredes gruesas provocan un tiempo de respuesta lento.



En la figura , se muestran diferentes tipos de termopares que se emplean dependiendo el tiempo de aplicación que se tenga en la industria o en laboratorio.

Termopozos

(21) “Los termopozos son los elementos que proveen la máxima protección a los sensores de temperatura contra la presión, la temperatura y la fatiga generada por la velocidad de fluido; y también aíslan al proceso de tal manera que cuando se desee cambiar o dar mantenimiento al termopar, éste puede ser retirado sin afectar la operación del proceso. Como se puede ver en la figura, el termopar está constituido por varias partes, una de las cuales es el termopozo, el cual es adicional a la funda de protección del termopar”



Selección del termopar y del tipo de alambre

Los factores determinantes para seleccionar el termopar adecuado en su orden usual son: temperatura a ser medida, compatibilidad con la atmósfera que rodea al termopar costo, voltaje de salida (f.e.m.) °C en la temperatura de operación y la linealidad.

Para algunas aplicaciones, los factores serán ordenados en forma diferente. Para una relación lineal f.e.m. temperatura en el rango de 0 a 30°C deberá ser escogido un termopar tipo K, aunque en muchas aplicaciones los tipos T y J serán seleccionados preferentemente. Si se va a instalar un termopar en un medio ambiente corrosivo, se deberá escoger uno resistente a la corrosión, o colocarlo en un termopozo con atmósfera reductora, siempre y cuando la atmósfera del proceso sea altamente oxidante. Los termopares se fabrican en varias configuraciones. Para bajas temperaturas, es suficiente tener el ambiente aislado con hule o plástico. Para más altas temperaturas, el aislamiento se lleva a cabo por medio de perlas o tubos de cerámica. Si el alambre es capaz de deteriorar los alambres, se adapta un tubo ya sea de cerámica o de metal para proteger al termopar.

No obstante que los termopares son dispositivos aparentemente simples, sus características son frecuentemente mal medidas. Si el alambre entre la unión de referencia y la unión de medición es química y metalúrgicamente homogéneo, no habrá cambio en el voltaje de salida aunque exista un gradiente de temperatura sobre el conductor (efecto Thompson). Si se tienen diferencias químicas y/o metalúrgicas, pero no existe un gradiente de temperatura sobre el conductor, la medición no afectará.

Un termopar puede ser preciso cuando está nuevo pero no puede permanecer así. El medio puede cambiar su composición química o su estructura metalúrgica. Si tales cambios ocurren donde existe un gradiente de temperatura, la señal de salida se verá afectada. La magnitud del cambio puede no ser detectada fácilmente. Si se quita de una instalación un termopar que sea no-homogéneo y se coloca en un horno

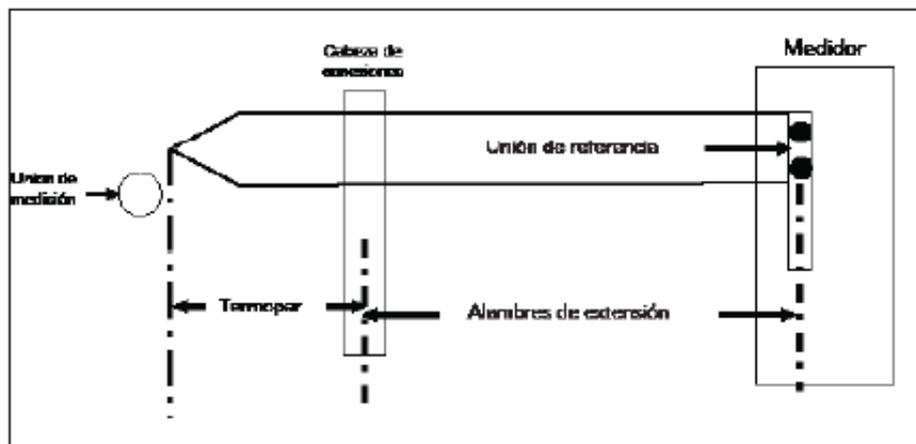
controlado donde la temperatura sea diferente de la anterior, no se podrán predecir los resultados de calibración.

Si la sección no homogénea está completamente incluida en una zona isotérmica del horno de calibración, no existirá error. De otra forma, si la sección no homogénea se localiza en un área donde el gradiente de temperatura no es el mismo que el de la zona de trabajo se producirá un error diferente del que tenía en servicio. Por estas razones los termopares de deben chequear en el lugar de trabajo, insertando un termopar secundario de alta calidad. Es también importante que el tipo de termopar sea escogido de tal manera que sea compatible con las condiciones del ambiente en particular. Casi todas las combinaciones de termopar son afectadas por las atmósferas reductoras; el uso exitoso de termopares en dichos ambientes requiere una protección adecuada. Donde las condiciones sean severas, se pueden usar satisfactoriamente tipos compactos de cerámica con un tubo protector adicional (termopozo).

En algunos ambientes como atmósferas con alto contenido de hidrógeno, donde no se puede lograr protección satisfactoria al termopar, se pueden usar pirómetros de radiación. Según el cuidado con que se instalen y protejan los termopares, éstos se deterioran y necesitarán cambiarse periódicamente. Puesto que no es práctico reemplazar el circuito completo del termopar, la instalación se hace en dos secciones, una sección reemplazable y otra permanentemente aislada como se aprecia en la figura. Esta última está expuesta a menos cambios de temperatura bruscos y puede ser hecha de pares de alambre que igualen la curva específica del termopar.

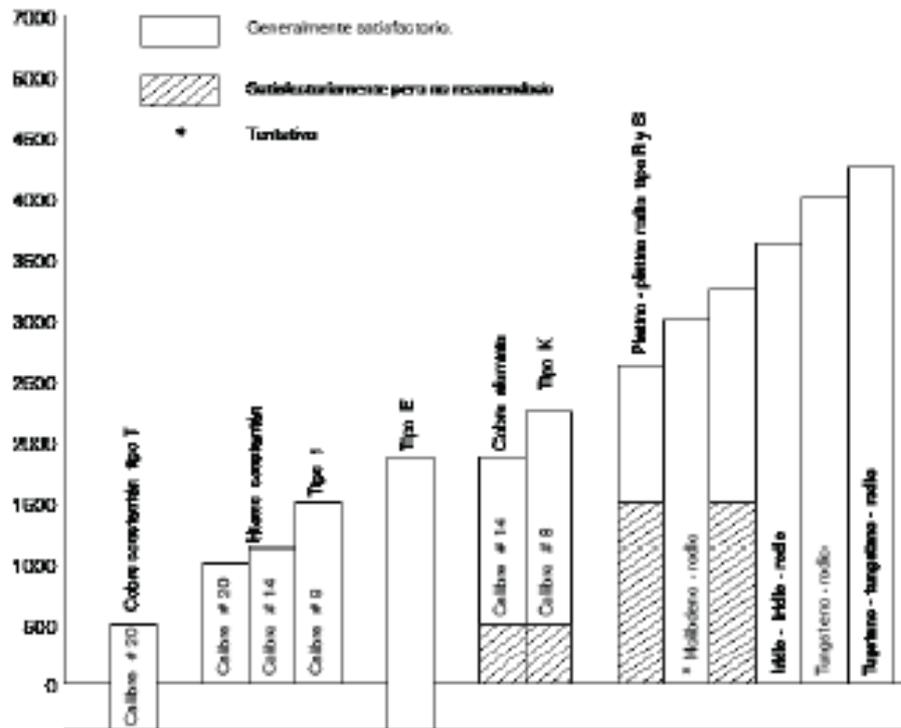
Este par de alambres llamado “alambres de extensión”, extiende la unión de referencia del circuito del termopar desde el punto donde termina el termopar de alta

calidad, a un punto donde la temperatura es conocida o se pueden compensar sus variaciones (el medidor). Cualquier diferencia en la composición química de los alambres, produce una diferencia en las terminales del par de extensión, y por esta razón las cabezas de termopares se diseñan para mantener las terminales isotérmicamente, colocándolas juntas y usualmente cubriéndolas.



Tamaño de alambre

(22) “Si los termopares son usados sin los tubos protectores, el tamaño del alambre es un compromiso entre velocidad de respuesta, resistencia mecánica y tiempo de vida. Alambres de diámetros pequeños responden más rápidamente a cambios de temperatura y conducen menos calor desde la unión medida, esto es un factor de importancia cuando sólo una corta parte del termopar se puede introducir al proceso. En la figura, se muestra hasta qué temperaturas se puede medir con diferentes calibres de termopar”.



La corrosión altera más rápidamente la calibración de alambres delgados y su f.e.m. es más fácilmente afectada por no homogeneidades causadas por la deformación y el doblarse (enchucarse) debido al trabajo en frío. El tiempo de respuesta será más rápida en termopares delgados que en gruesos. En termopozos y fundas, el error por conducción y la velocidad de respuesta es menos importante que para seleccionar el tamaño del alambre, pero se tendrán que considerar los espesores de los termopozos para que éste no retarde la respuesta de la señal.

Las condiciones del medio ambiente influirían también sobre el desempeño de los termopares. En la tabla, se muestra el comportamiento de los termopares en diferentes atmósferas.

Tipo de termopar	Influencia de temperatura y atmósferas gaseosas*
B, R, S	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistencia a la atmósfera oxidante: muy buena. 2. Resistencia a la atmósfera reductora: pobre. 3. El platino se corroe fácilmente arriba de 100°C, deberá ser usado en tubo de cerámica protector, nunca en tubo metálico.
K	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistencia a la atmósfera oxidante: de buena a muy buena. 2. Resistencia a la atmósfera reductora: pobre. 3. Es afectado por el azufre, gas reductor o sulfuros: SO₂ y H₂S.
J	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las atmósferas oxidante y reductora tienen un pequeño efecto sobre su exactitud. Se usa ampliamente y su mejor aplicación es en atmósfera seca. 2. Resistencia a la oxidación: buena hasta de 400°C pero pobre arriba de 700°C. 3. Resistencia a atmósfera reductora: buena hasta 400°C.
T	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistencia a la corrosión en atmósferas húmedas. 2. Resistencia a la atmósfera oxidante: buena. 3. Resistencia a la atmósfera reductora: buena. 4. Requiere protección cuando hay vapores de ácidos.
E	<ol style="list-style-type: none"> 1. El cromel es atacado por atmósferas sulfurosas. 2. Resistencia a la oxidación: buena. 3. Resistencia a la atmósfera reductora: pobre.
<p>* Una atmósfera oxidante actúa primeramente oxidando directamente el componente de un termopar de base-metal. Una atmósfera reductora (CO, H₂) sobre los tipos B, R y S actúa reduciendo parcialmente el refractario con el cual los alambres del termopar están en contacto seguido por el ataque hacia el termopar por el producto reductor, que frecuentemente es silicio.</p>	

Bulbo de resistencia RTD

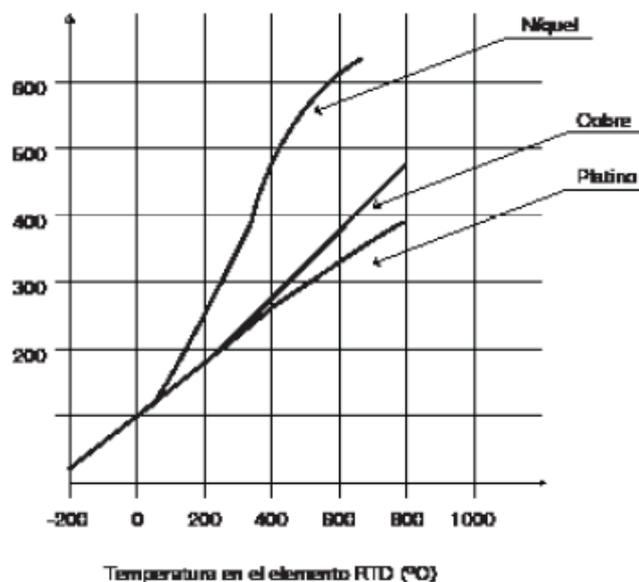
(23) “Los RTD (por sus siglas en inglés de Resistance Temperature Detector), también llamados termómetros de resistencia, están basados en la propiedad de ciertos metales, en los cuales su resistencia cambia con variaciones de temperatura.

Los termómetros de resistencia son en principio bobinas de alambre enrolladas dentro o alrededor de soportes de material aislante capaz de soportar la temperatura.

La selección del metal en este tipo de aplicaciones depende de varios factores como son: la pureza del material, su maleabilidad, la habilidad a seguir cambios rápidos de temperatura, repetibilidad, autocalentamiento, linealidad y su alto coeficiente de temperatura. En la actualidad, los metales más comúnmente empleados son: el

platino, níquel, tungsteno, y cobre, aunque ocasionalmente también se emplea: iridio, rodio, plata, y hierro con tántalo”.

En la figura, se muestra la gráfica que relaciona resistencia eléctrica con respecto a la temperatura, para el platino, el cobre y el níquel, los elementos de este grupo deben tener una resistencia de 100 ohms a 0°C, con una tolerancia de ± 0.1 ohms.



Considerando los valores de la gráfica, se puede observar que a 0°C el valor de los tres RTD's es de cerca de 100 Ω(ohms), y para otras temperaturas los valores cambian según la característica de respuesta de cada material, por ejemplo, para 200°C la resistencia del platino es de 175 Ω, la del cobre es de 186 Ω y la del níquel es de 250 Ω. El cambio de resistencia que ocurre con un cambio de temperatura se define como coeficiente de temperatura, y usualmente es expresado como un porcentaje por grado de temperatura o en ohms/ohms x °C. Por ejemplo el coeficiente de temperatura del cobre es de 0.004 lo cual significa que su resistencia cambia 0.004 ohms por ohm por °C.

Características de los materiales

El platino presenta la característica de encontrarse casi puro en la naturaleza y de poderse fabricar en alambres muy delgados. Además presenta un alto punto de fusión, es resistente a la oxidación y siendo un metal noble, es químicamente estable. No es volatilizable a temperaturas hasta de 1000°C y es muy lineal en todo su rango de operación. Sus inconvenientes son: que puede ser contaminado por gases en atmósferas reductoras, y puede actuar como catalizador con ciertos hidrocarburos, por lo tanto los transductores de platino son usualmente encapsulados. Sus rangos de operación: de -185 a 600°C (-300 a 1110°F) y en aplicaciones criogénicas de -185 a -260° (-300 a -436°F).

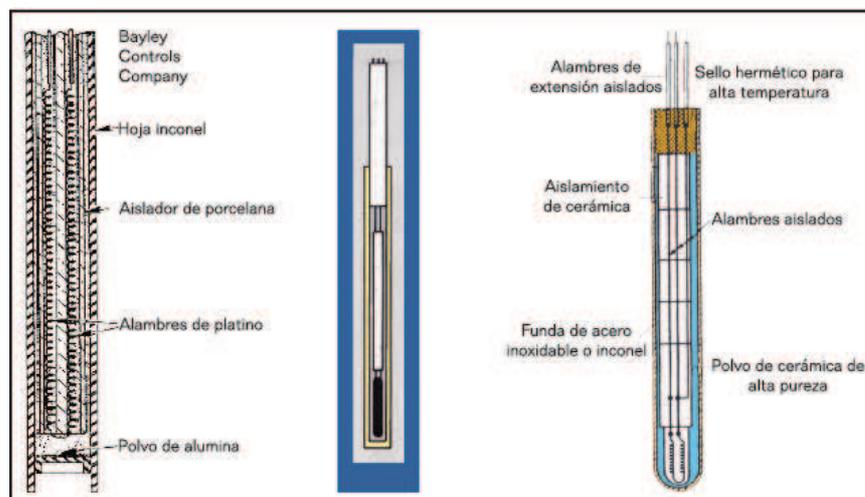
El níquel también puede encontrarse casi puro en la naturaleza, y genera los cambios más grandes de resistencia que cualquier metal, entre los 0 y los 100°C (32 y 212°F), pero su sensibilidad decrece alrededor de los 290°C (554°F) y su respuesta es no lineal. Una aleación de 70% de níquel y 30% de hierro, llamada balco, tiene relativamente un alto coeficiente de temperatura. Cuando se emplea un circuito puente apropiado, la salida en voltaje aumenta considerablemente, en temperaturas alrededor de 93°C (200°F).

Así como el platino, el tungsteno y el iridio, también tienen un alto punto de fusión, lo que permite que se puedan emplear en temperaturas hasta de 982°C (1800°F). Tienen una respuesta más lineal y una mayor resistencia al estiramiento (10 veces mayor que el platino), lo que permite fabricar alambres muy delgados con valores de resistencia altos. Estos materiales también resisten la radiación nuclear. El cobre, es fácilmente refinado y fabricado en alambre uniforme, absorbe el calor

uniformemente, pero rápidamente se oxida y pierde su pureza, lo cual hace que sea el menos empleado.

Construcción de un RTD

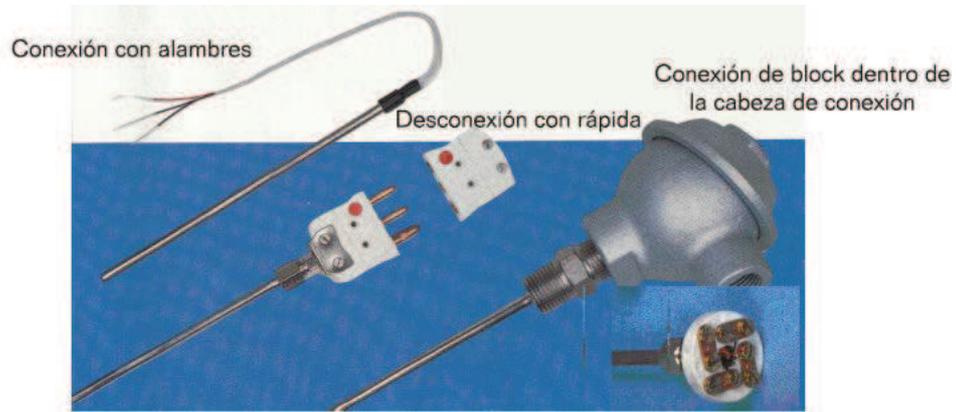
(24) “El material de la resistencia en un RTD, debe ser puro y capaz de ser estirado hasta convertirlo en finos alambres para que puedan ser fácilmente construidos los elementos de la resistencia que usualmente son largos, doblados en espiral y colocados dentro de un contenedor metálico. La figura, muestra la construcción típica de un RTD, el cual consta de: una terminal de conexiones, unos alambres de conexión, el elemento de medición, un soporte de aislamiento, una funda metálica, y un aislante de porcelana para evitar que se mueva, que además previene de un corto circuito entre el alambre y su contenedor”.



Terminales de conexión

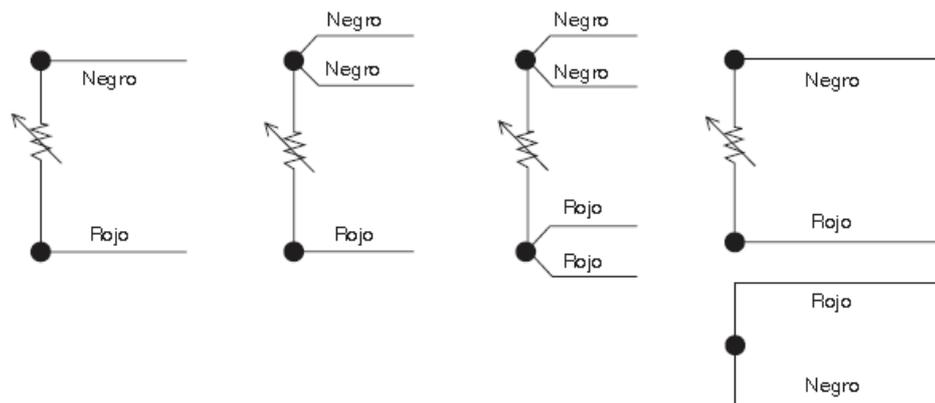
A continuación se describirán las partes más importantes del arreglo. La terminal de conexiones puede ser de tipo conector en la cabeza de conexión, de tipo de

desconexión rápida (enchufar), o de alambres de conexión, en la figura se muestran algunas terminales de este tipo.



Configuración de alambres de conexión

La configuración de los alambres de conexión, que se presentan en las hojas de especificación son de dos, tres y cuatro hilos, y se debe saber qué configuración es compatible con la aplicación que se va a emplear



En la figura, se presentan las tres configuraciones básicas y una variante de la de cuatro hilos. Regularmente se coloca un alambre en cada extremo del RTD, pero hay disponibles, en 2, 3 y 4 alambres, cada tipo tiene aproximadamente la misma construcción.

Fundas y cabezas

La funda es un tubo cerrado, que contiene el elemento sensor y sus alambres, ésta inmoviliza al elemento sensor protegiéndola en contra de la humedad y el medio ambiente, y protegiendo también los alambres. La funda puede ser fabricada de acero inoxidable, inconel, o de aleación de níquel-acero-cromo, que presenta buena resistencia a la corrosión. En la figura, se muestran las fundas con cabeza, la cual puede ser fabricada de acero inoxidable 340, hierro fundido o aluminio.

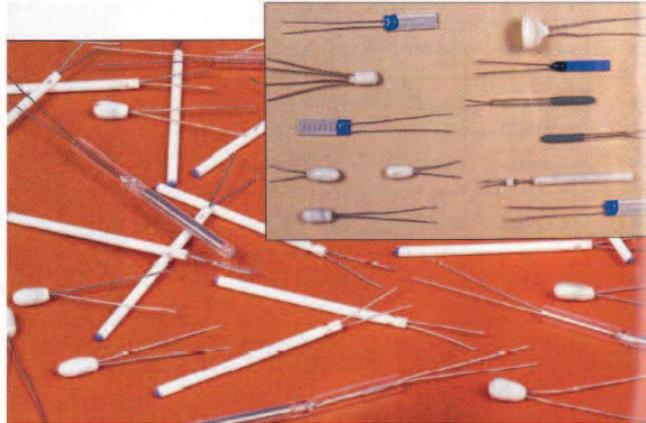


El elemento sensor

El elemento sensor puede ser del tipo embobinado en cerámica o vidrio, como se muestra en la figura. El RTD estándar es fabricado de platino al 99.99% de pureza (fuente omega), y es embobinado sobre un núcleo de cerámica o de vidrio sellado herméticamente formando una cápsula.

El alambre de platino es seleccionado para cubrir los rangos de precisión requerida en la termometría. Su alta resistencia a la contaminación y estabilidad mecánica y eléctrica, permite una intercambiabilidad de elementos sin que se vea afectado su desempeño con corrimientos nulos y ningún error con el envejecimiento. Los elementos disponibles se fabrican con respecto a estándares, conforme la norma

européa que es, $\alpha = 0.00385 \text{ ohms/ohm/}^\circ\text{C}$ (fuente omega), y con respecto a la norma americana que es, $\alpha = 0.00392 \text{ ohms/ ohms/}^\circ\text{C}$ (fuente omega).



Los elementos sensores miniatura de película TFD (por sus siglas en inglés Thin Film Detector), son fabricados de platino, que es depositado sobre un sustrato y posteriormente es encapsulado. En la figura 3-48 lado A, se muestra un detector tipo plano y en la figura 3-48 lado B se puede ver otro detector en donde su tamaño es igual o menor a un termistor. Este tipo de elemento es fabricado con técnicas similares a los circuitos electrónicos de alta integración miniaturizados que combinan la precisión de un RTD y el rápido tiempo de respuesta de un termopar.

Características

Dentro de las características de un RTD tenemos los siguientes puntos importantes:

Exactitud. La mayoría de los RTD's industriales caen en un rango de exactitud de ± 0.1 a $\pm 0.5\%$.

Estabilidad. Es la capacidad de un termómetro para mantener y reproducir sus características de resistencia-temperatura específicas, por largos periodos dentro de su rango de operación. El grado de estabilidad es expresado en términos de corrimiento,

el cual es definido como cambios indeseables en la resistencia durante un determinado periodo.

Un ejemplo sería: un corrimiento de 0.05Ω después de 10,000 horas de operación a 1000°F .

Repetibilidad. Es la propiedad (habilidad) del termómetro a repetir lecturas, en temperaturas seleccionadas, dentro del rango de operación del mismo.

Tiempo de respuesta. Como ya se había mencionado en el capítulo de definiciones, el tiempo de respuesta de un termómetro será el tiempo que tarda en alcanzar el 63% del valor final de la variable. Como un ejemplo en la figura 3-49 se puede ver la respuesta de un RTD de respuesta rápida contra un RTD de tipo embobinado.

Auto-calentamiento. Al conectar el RTD en un circuito puente, a través de éste circulará una cierta cantidad de corriente, la cual puede provocar que el sensor modifique su valor de resistencia en base al calor que él mismo produce. La unidad asociada al error por auto calentamiento es miliwatts por grado centígrado ($\text{mW}/^{\circ}\text{C}$).

Resistencia de aislamiento. Es la resistencia que debe existir entre el elemento sensor y cualquier otro subensamble del termómetro (funda, termopozo, terminales y cabeza de conexiones), ésta debe de ser infinita en condiciones ideales de operación. Las razones por las que pueda bajar este valor de resistencia pueden ser: fallas en la fabricación, deformación mecánica, humedad y fugas del medio conductor. Sus unidades son los omhs.

Resistencia a la vibración. Es la capacidad (habilidad) del termómetro a resistir golpes y vibraciones sin que se alteren sus características de operación.

Termopozos para los RTD

(25) “Al igual que los termopares, en ocasiones cuando las aplicaciones lo requieren, se pueden emplear termopozos de protección para el RTD. La figura, muestra un RTD, con su termopozo, el cual evita que éste se ponga en contacto con los líquidos o gases que se miden en un proceso, protegiéndolo de posibles daños.

Como ya se mencionó anteriormente, los termopozos generalmente se fabrican de acero al carbón, acero inoxidable, inonel, acero fundido o teflón, y son usados para temperaturas hasta de 11000°C. Los de cerámica se utilizan para temperaturas mayores.

La cabeza en un termopozo protege las conexiones que van del RTD al circuito puente, y contiene una terminal de conexiones. La cabeza consta de una base y tapa con cuerda de 50 hilos, un empaque resistente al calor y a la humedad; el conjunto evita que se introduzcan vapores al RTD y generalmente está construido conforme a la norma para ser utilizado en áreas a prueba de explosión”.

Debido al tipo de conexión que pueda tener el RTD, la tira terminal debe ser capaz de manejar cuatro conductores, y la cabeza deberá ser a prueba de explosión cuando así se requiera. Sin embargo si el sistema es intrínsecamente seguro puede no requerirse la condición antes citada.

Circuitos puente con RTD

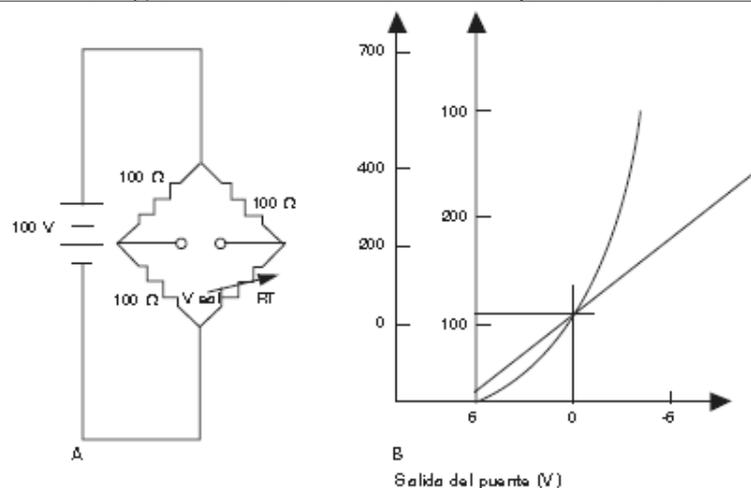
Mediante la ayuda de circuitería adicional, los RTD's funcionan como transductores eléctricos, convirtiendo los cambios de temperatura en señales de voltaje, mediante cambios de resistencia; para efectuar la conexión eléctrica del RTD al instrumento de

medición, se emplean tres métodos que son conocidos como circuitos de dos, tres y cuatro hilos o alambres conductores.

Un circuito puente de Wheatstone, como el mostrado en la figura, es un arreglo de cuatro resistencias que en condiciones iniciales tienen el mismo valor, y se genera un cambio de voltaje al detectarse cambios en el valor de alguna de las resistencias. Normalmente en este tipo de arreglo, tres resistencias permanecen fijas y la cuarta es una resistencia variable y el RTD es la resistencia variable del circuito puente.

Como ya se dijo, en condiciones iniciales los valores de la resistencia son iguales, por lo tanto las corrientes en los dos brazos del circuito son iguales, y la caída de voltaje en los puntos a y b, es la misma, por lo tanto no se detecta voltaje de salida.

Si el RTD es calentado, el valor de su resistencia cambia, provocando un desbalance de corriente en el brazo en donde está conectado, cambiando la caída de voltaje del punto negativo (—) y como consecuencia creando una variación de voltaje a la salida, de esta manera se registrarán los cambios de voltaje en función de la temperatura.



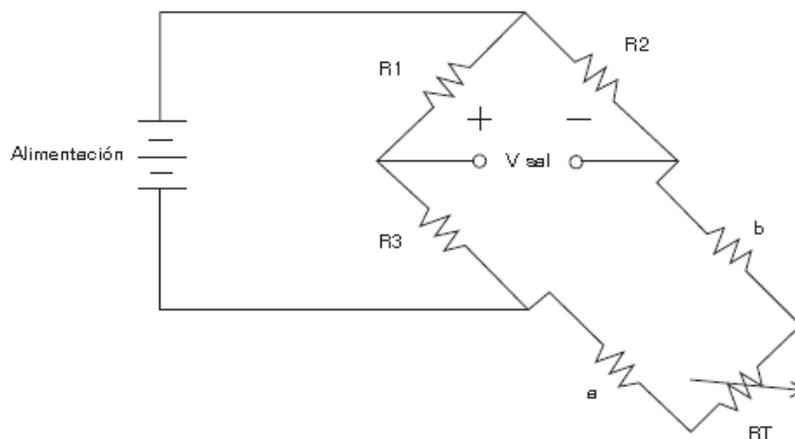
Se podría relacionar también el voltaje de salida del circuito con la resistencia, colocando una segunda escala, como se muestra en la gráfica, de la figura, así se

podrá conocer el voltaje de salida del circuito puente, además de determinar la resistencia y la temperatura en la medición.

Errores en la medición

Cuando se conecta un RTD a un circuito puente, normalmente éste se encuentra alejado una cierta distancia. En la figura, el RTD (R_t), está conectado al circuito puente, con dos alambres adicionales. En el circuito mostrado en esta misma figura, la resistencia de los alambres (a y b) que conectan el puente con el RTD forman parte del brazo sensor y sus valores de resistencia se suma a éste. Suponiendo que estos alambres fueran de cobre de calibre # 16 AWG y de 250 pies de longitud, cada alambre tendría una resistencia aproximada de 1Ω .

Si la resistencia de brazo R_t fuera de 139Ω , incluyendo los dos alambres de conexión, y se considerara este valor para una temperatura de 1000°C , la lectura sería errónea, ya que se está incluyendo la resistencia de los cables de conexión, los cuales no son parte de la resistencia del sensor. En el arreglo de la figura, los cables alteraron con 2Ω (1.4%) a esta lectura, por lo tanto esto significa que la resistencia del RTD sería realmente de sólo 137Ω y que la temperatura real sería de 98.56°C .



Aunque el error de medición fuera eliminado calibrando el instrumento, debido a los cambios de la temperatura ambiente puede inducirse un error, ya que el coeficiente de temperatura del alambre de cobre cambia su resistencia casi un 40% a 100°C, o sea de 2 a 2.8Ω. Este cambio causará un error de casi 2°C en la medida de temperatura del circuito puente. Si analizamos esto, mediante las ecuaciones que se tiene en el arreglo del puente, tenemos de la figura, que:

$$R_1 + R_3 = R_2 + a + b + R_t$$

Si consideramos que $R_1 = R_2$

Entonces: $R_3 = a + b + R_t$

De la ecuación, se puede ver cómo se adicionan los valores de los alambres de extensión a y b. Este error se puede compensar mediante el uso de alambres extras que se conectan al circuito puente y pueden quedar arreglos de 3 y hasta 4 alambres, como los mostrados en la figura. En el circuito de tres alambres, los alambres L1 y L2 están en brazos opuestos, y esto cancela su efecto sobre el puente.

Observe que el cable L3, está en serie con el voltaje de entrada y no actúa desbalanceando el puente. Este circuito es mucho más exacto que un puente de dos alambres. Si consideramos nuevamente las ecuaciones de este arreglo tendríamos:

$$R_1 + L_1 + R_t + L_3 = R_2 + R_3 + L_2 + L_3$$

Si tenemos que $R_1 = R_2$ y $L_1 = L_2$ (conductores de igual resistencia)

Entonces $R_t = R_3$

Se puede usar un circuito de puente con 4 alambres como el de la figura cuando se requiera una mayor exactitud. El siguiente ejemplo dará cierta idea de las exactitudes relativas de los tres circuitos del puente.

Ventajas y desventajas de los RTD's

(26) “**Ventajas.** Los RTDs son muy exactos. De hecho, en el rango de temperatura de -259 a 631°C . La IPTS (International Practical Temperature Scale) especifica un RTD de platino como instrumento primario de medición de temperatura. En reactores nucleares de potencia, los RTDs miden temperaturas con exactitudes de $\pm 0.150^{\circ}\text{C}$. Los RTDs de grado laboratorio son aún más sensitivos. Sus ventajas más obvias son: pequeño tamaño, respuesta rápida y muy buena exactitud.

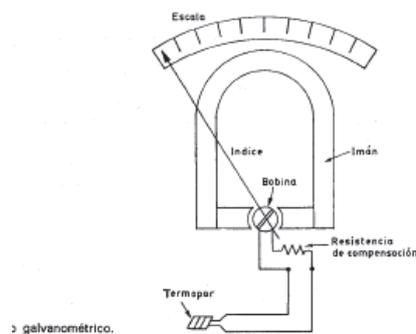
Desventajas. Los RTDs son caros y complejos. Requieren de un circuito de puente, un suministro de energía y un instrumento para medición del voltaje de salida, para trabajar correctamente. Otros problemas que se presentan, es debido a los flujos de corriente a través del RTD mientras éste está conectado en el circuito de puente. Esta corriente causa que el elemento se caliente (autocalentamiento). En ciertas aplicaciones, el auto calentamiento del RTD disminuye su exactitud significativamente”.

8.4.7. Circuito galvanométrico

El circuito galvanométrico se basa en la desviación de una bobina móvil situada entre dos polos de un imán permanente al pasar a su través la corriente del elemento primario. El paso de esta corriente produce un campo magnético que se opone al del imán permanente, y la bobina móvil gira hasta que el par magnético correspondiente es equilibrado por el par de tensión del muelle. Una aguja indicadora, que está unida rígidamente a la bobina móvil, se desplaza a lo largo de una escala graduada, calibrada en las unidades de medida.

En la construcción del galvanómetro tienen importancia los siguientes puntos:

1. El buen estado de los rodamientos de zafiro, para que el par de fricción sea el menor posible; las vibraciones pueden contribuir a un desgaste prematuro, dando lugar a errores de histéresis y a falta de precisión del instrumento.
2. Los resortes de suspensión del galvanómetro deben poseer una histéresis elástica mínima para que el error de histéresis del instrumento se mantenga bajo.
3. Las variaciones de temperatura pueden influir en la resistencia eléctrica del circuito de medida, es decir, de la bobina móvil y del resorte, y para anularlas se utiliza una resistencia de coeficiente de temperatura negativo (NTC). Asimismo los cables de conexión al termopar pueden variar de resistencia con la temperatura y afectar a la exactitud de la medida.
4. Cuando el elemento de actuación es un termopar, es necesario compensar las variaciones de temperatura en la unión fría, y para ello se emplea una espiral bimetalica, para cambiar automáticamente el cero del instrumento al variar la temperatura de la caja.
5. En el caso de los pirómetros de radiación, el instrumento dispone también de un reóstato de calibración, para ajustarlo al coeficiente de emisión del cuerpo enfocado.



Hay que señalar que los circuitos galvanométricos no son demasiado afectados por las corrientes parásitas de corriente alterna ya que el amortiguamiento normal que poseen filtra muy bien las señales parásitas de alta frecuencia. En cambio, las señales parásitas de c.c. dan lugar a un corrimiento de cero del instrumento.

Es, pues, recomendable que los cables de extensión se instalen bien separados de los cables de potencia de la planta, en particular en los casos de corriente continua de alta intensidad que circule por los cables de alimentación de maquinaria eléctrica de alta potencia.

8.4.8. Circuito potenciométrico

El circuito potenciométrico está representado en la figura a, b y c, y consta de una fuente de tensión constante V que alimenta los dos brazos del circuito con corrientes I_1 e I_2 . En la figura, el termopar T está conectado al brazo inferior E y, a través de un miliamperímetro, al reóstato R . La posición R del cursor del reóstato R indica la temperatura del proceso cuando no pasa corriente por el miliamperímetro, es decir, cuando el punto e del cursor de reóstato R y el punto E están a la misma tensión.

Por consiguiente, graduando el reóstato dispondríamos de un instrumento de temperatura. Sin embargo, este método es poco práctico, y se incorpora al circuito un dispositivo de autoequilibrio que sustituye al miliamperímetro por un amplificador. Mientras exista una diferencia de potencial entre la f.e.m. desarrollada por el termopar y la tensión dada por el cursor del reóstato R , el circuito amplificador excitará el motor de equilibrio hasta que la posición del cursor sea la correcta para la temperatura del proceso captada por el termopar. Así, pues, la posición del cursor

representa mecánicamente la f.e.m. generada por el termopar, y, por lo tanto, su temperatura.

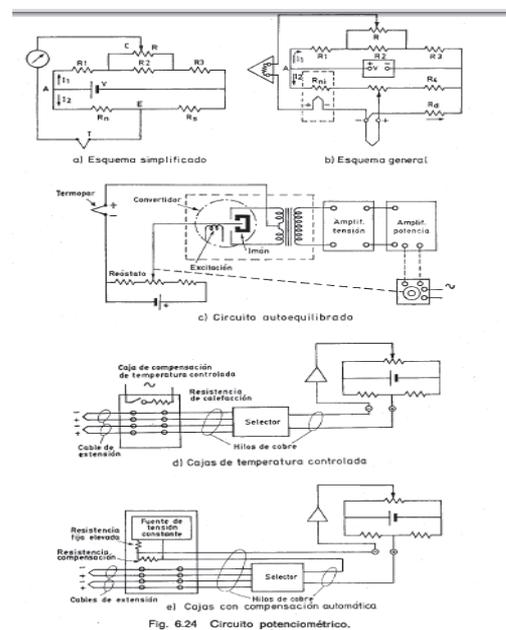


Fig. 6.24 Circuito potenciométrico.

El circuito está representado en la figura y consta de los elementos siguientes:

1. Transductor formado por un convertidor y un transformador de entrada, que convierte la señal de error de corriente continua a corriente pulsatoria, apta para ser amplificada. El convertidor puede ser mecánico o transistorizado. El primero consiste en una lámina metálica que oscila, a la frecuencia de la corriente industrial, haciendo contacto alternativamente con los bornes extremos del primario del transformador. Si existe una tensión continua de desequilibrio la corriente circula alternativamente cada mitad del bobinado primario y en sentidos contrarios. El flujo alterno generado en el núcleo induce una tensión alterna en el secundario del transformador.
2. Amplificador de tensión.
3. Amplificador de potencia, que proporciona una señal con potencia suficiente para actuar sobre el motor de equilibrio.

4. El motor de equilibrio, que es un motor de inducción reversible y mueve el cursor del reóstato, y actúa mientras exista una señal de desequilibrio entre la f.e.m. del termopar y la posición del cursor del reóstato.

En el circuito potenciométrico es necesario compensar las variaciones de la temperatura en la unión de referencia del termopar. Puede determinarse el error situando un termómetro en la caja del instrumento, y efectuando la corrección para cada lectura. No obstante, este procedimiento es poco práctico. En su lugar se emplea una resistencia para compensar la pérdida de f.e.m. al variar la temperatura de la unión de referencia. Esta resistencia es la R_{ni} de la figura y su valor a la temperatura t viene dado por la fórmula:

$$R_{nit} = R_{nio}[1 + \alpha(t - t_0)]$$

en la que:

R_{nit} = valor de R_{ni} a t °C

R_{nio} = valor de R_{ni} a 0 °C

α = coeficiente de resistencia

$(t - t_0)$ = diferencia de temperaturas

y absorbe una tensión

$$\Delta V = I_2(R_{nit} - R_{nio}) = I_2 R_{nio} \cdot \alpha(t - t_0)$$

en la que I_2 = intensidad a través de R_{ni} .

Esta tensión es equivalente a la f.e.m. que tendría el termopar con la unión caliente a la temperatura de la caja del instrumento, y la unión fría a 0° C. Si bien la resistencia de compensación de la unión o junta fría no es un sistema perfecto, su exactitud basta para que el instrumento cumpla con la precisión de medida del fabricante. En efecto,

la resistencia varía linealmente con la temperatura, mientras que el termopar se caracteriza por una relación temperatura f.e.m. que no es lineal. Se obtiene así una compensación perfecta en sólo dos puntos mientras que en los restantes la compensación si bien no es perfecta, es más que suficiente en la mayor parte de las aplicaciones industriales. Cuando se desea una gran exactitud en la medida o bien el instrumento no posee una resistencia de compensación interna es necesario utilizar cajas exteriores de compensación instaladas generalmente en proceso y en cuyo interior se encuentra la unión de referencia. Estas cajas pueden ser de temperatura controlada o bien pueden compensar automáticamente las variaciones de temperatura ambiente.

Las cajas de temperatura controlada contienen un termostato con una resistencia de calefacción que mantiene la caja a una temperatura constante superior a la ambiente. Tienen el inconveniente de la potencia disipada necesaria y de la necesidad de utilizar termostatos.

Las cajas con compensación automática permiten que la unión de referencia esté a la temperatura ambiente y le restan la f.e.m. requerida para que la f.e.m. resultante equivalga a la que desarrollaría la unión fría a la temperatura de referencia. Para ello, una fuente de tensión constante alimenta en serie una resistencia fija de valor elevado y una resistencia de cobre o níquel. La caída de tensión que provoca esta última equivale a una variación similar en la unión fría del termopar por lo que, añadida al circuito, actúa como la resistencia clásica de compensación colocada dentro del instrumento. En otro sistema la caja de compensación incorpora la propia resistencia de compensación del instrumento.

Las cajas de compensación pueden emplearse también cuando su instalación (caja + hilo de cobre) es más barata que la del sistema clásico o hilo de compensación desde el termopar hasta el instrumento.

La decisión será tanto más favorable cuanto mayor sea la distancia entre el instrumento y la propia caja de compensación.

El circuito tiene también una resistencia R_d de protección contra rotura del termopar o del cable de compensación. Esta resistencia es de valor elevado, y la intensidad que circula a su través origina una caída de tensión que se suma a la generada por el termopar, produciendo un corrimiento de cero. Esta caída de tensión es despreciable, y no influye en condiciones normales de trabajo. Sin embargo, ante la rotura del termopar la resistencia R_d cierra el circuito del amplificador lo suficiente para que el cursor del reóstato se desplace hasta el tope de la escala y pueda accionar una alarma.

Los circuitos potenciométricos son afectados por las corrientes parásitas alternas. Éstas se desfasan al pasar a través del convertidor y transformador de entrada con un ángulo distinto al correspondiente a la tensión de alimentación del amplificador. La señal componente en fase hace derivar el cero mientras que la componente en 90° perturba la sensibilidad del amplificador, dando lugar a una respuesta perezosa ante los cambios en la señal de temperatura.

Algunas de las causas de la aparición de corrientes parásitas en el instrumento son:

1. Instalación paralela de los hilos de medida y de los cables de alimentación de un transformador o de maquinaria eléctrica de alta potencia, en particular dentro del mismo conducto.

2. Señal de corriente alterna del secundario del transformador de alimentación del instrumento que ha sido mal rectificadora sin un buen filtraje.
3. Contacto mecánico o acoplamiento de la punta del termopar con la vaina que por algún defecto está a una tensión mayor que la de masa.
4. Cables de compensación de gran longitud que por su inductancia y capacidad propias son más susceptibles de captar corrientes parásitas.

A señalar que la adición de un microprocesador permite obtener, por hardware o software, circuitos potenciométricos de diferentes características, así como transmisores inteligente, preparados para la medida automática de la temperatura con diferentes tipos de termopares o señales en milivoltios, con compensación de temperatura de la unión fría, con rutinas de autodiagnóstico, con linealización de la señal de salida de 4-20 mA c.c, y con aislamiento galvánico entre la entrada y la salida (lo que permite la conexión a tierra del sensor con una protección elevada contra ruidos). El circuito potenciométrico tiene en memoria las tablas de f.e.m./temperatura o bien funciones polinómicas. En los transmisores, un intercomunicador portátil permite la realización de todos estos cambios desde el panel de control o desde el propio transmisor.

En los registradores con microprocesador, el usuario puede configurarlo mediante un teclado, para que, aparte de realizar la compensación de la temperatura de la unión fría y de la linealización de la medida, imprima informes en los que figure: la fecha y hora, el tipo de señal de entrada, el formato del informe, el campo de medida de los gráficos, los puntos de alarma, las unidades de medida, los mensajes de preguntas al

operador, la velocidad del gráfico, el código de seguridad del usuario, diagnósticos de funcionamiento, etc.

8.4.9. Verificación de un instrumento y de un termopar

(27) “Dos casos pueden presentarse en la medida de temperaturas con termopares: la comprobación de un instrumento galvanométrico o potenciométrico y la verificación de la f.e.m. de un termopar.

a) Comprobación de un instrumento galvanométrico o potenciométrico con compensación de temperatura ambiente.

La f.e.m. conveniente para que el instrumento marque varias divisiones en la escala, y colocar sobre la caja un termómetro de mercurio que nos dé la temperatura ambiente. Utilizando las tablas de conversión de f.e.m. referidas a 0°C de la unión fría, se restarán la f.e.m. V correspondiente a una temperatura determinada t y la V_a debida a la temperatura ambiente t_a , ya que en condiciones normales de trabajo, el instrumento recibirá la f.e.m. $V - V_a$ y marcará la temperatura t correspondiente a la f.e.m., puesto que tiene compensación de temperatura ambiente”.

Ejemplo

Sea un instrumento de escala 0-700°C, tipo J, con compensación de temperatura ambiente, y se trata de comprobarlo para la temperatura de 700°C. Se conecta el potenciómetro al aparato y con un termómetro de mercurio se lee 20°C como temperatura ambiente. Consultadas las tablas de conversión para el termopar tipo J se encuentran los valores siguientes:

F.e.m. correspondiente a 700°C = 39.130 mV.

F.e.m. correspondiente a 20° C = 1,019 mV.

Diferencia $= 38.111 \text{ mV}$

Así pues, situaremos en el potenciómetro la señal de 38,111 mV. Debiendo el índice del instrumento situarse en 700°C si está bien calibrado.

En el caso de potenciómetros con microprocesador, la operación es más sencilla, ya que el aparato tiene compensación de temperatura de la unión fría y dispone en memoria de los valores f.e.m./temperatura para los diferentes tipos de termopares industriales, o bien de polinomios de valores de la f.e.m. en función de la temperatura (ver la tabla 6.5), por lo que bastaría situar directamente, bien 700°C, bien 38.111 mV.

b) Verificación de la f.e.m. de un termopar.

En este caso, el potenciómetro está conectado a los bornes del termopar y se dispone de un instrumento patrón (conectado a un termopar patrón), que mide la temperatura real t del proceso. Un termómetro de mercurio colocado en la caja del potenciómetro dará la temperatura ambiente t_a . Utilizando las tablas de conversión se sumarán la f.e.m. V_p , leída en el potenciómetro, y la V_a correspondiente a la temperatura t_a , ya que dentro del potenciómetro se encuentra la junta fría y la f.e.m. leída es menor en un valor V_a (correspondiente a t_a) a la V que se obtendría si la unión fría estuviera a 0°C. Ejemplo

Sea un termopar tipo J de hierro- constantán a verificar. Conectado el potenciómetro se lee una f.e.m. de 38.111 mV. El termómetro de mercurio situado sobre la caja da una temperatura ambiente de 20° C. Consultadas las tablas de conversión se encuentra una f.e.m. de 1.019 mV para el termopar tipo J a 20° C.

La f.e.m. que generaría el termopar con la unión fría a 0°C sería:

$$38.111 + 1.019 = 39.130 \text{ mV}$$

que en la tabla de conversión corresponde a 700°C.

Ésta es, pues, la temperatura que otro termopar patrón conectado a otro instrumento patrón debería señalar. De no ser así el termopar sería defectuoso o estaría envejecido. Hay que señalar que los razonamientos expuestos en los dos casos están basados en la ley de las temperaturas sucesivas expuesta al inicio del estudio de los termopares. Si el potenciómetro fuera digital con compensación de temperatura, leería directamente 700°C, con lo que la verificación es mucho más cómoda.

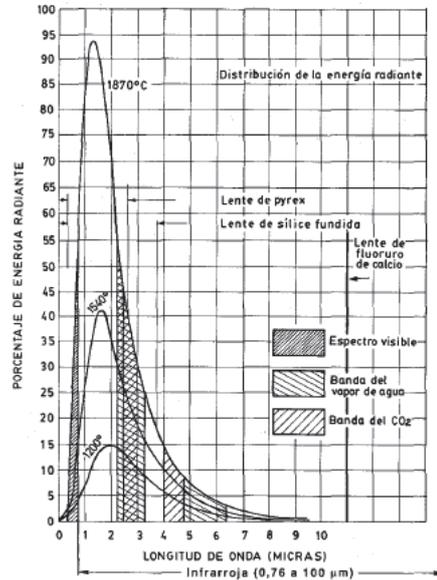
8.4.10. Pirómetros de radiación

Los pirómetros de radiación se fundan en la ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante (en J /s 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, $W = ET^4$. En la figura, se representa el gráfico de energía radiante de un cuerpo negro a varias temperaturas en función de la longitud de onda. Desde el punto de vista de medición de temperaturas industriales, las longitudes de onda térmicas abarcan desde 0,1 micra 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 de radiación miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo 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

una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.



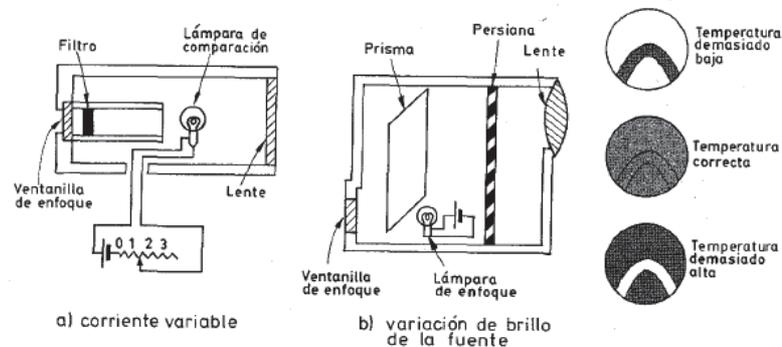
8.4.11. Pirómetros ópticos

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:

- De corriente variable en la lámpara.
- De corriente constante en la lámpara con variación del brillo de la imagen de la fuente. Los pirómetros ópticos automáticos son parecidos a los de radiación infrarrojos que se estudian más adelante y consisten esencialmente en un disco rotativo que modula desfasadas la radiación del objeto y la de una lámpara estándar que inciden en un fototubo multiplicador.

Éste 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 o de integrar picos o valles de la radiación, en el caso del paso de objetos delante del pirómetro. Un juego de lentes parecido al de una cámara fotográfica permite efectuar la lectura de objetos tan pequeños como de 0,4 mm.



El coeficiente de emisión de energía radiante (medida de la característica relativa del cuerpo para emitir energía radiante) depende mucho del estado de la superficie del cuerpo emisor; para un metal como el cobre pasa de 0,10 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 nos 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 (temperatura de brillo S) para tener en cuenta el valor de absorción (o de emisión ϵ) de la superficie.

8.4.12. Pirómetro de infrarrojos

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.

En la figura, puede verse un esquema del pirómetro de infrarrojos. La lente filtra la radiación infrarroja emitida por el área del objeto examinado y la concentra en un sensor de temperatura (termopar o termistor). 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 del $\pm 0,3\%$.

8.4.13. Pirómetro fotoeléctrico

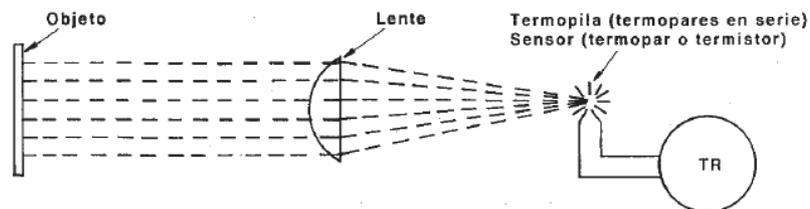
El pirómetro fotoeléctrico, al tener un detector fotoeléctrico, es mucho más rápido que los sensores térmicos, pero debe mantenerse refrigerado a muy baja temperatura mediante nitrógeno líquido para reducir el nivel de ruido eléctrico.

La señal de salida depende de la temperatura instantánea del volumen del detector, por lo que evita los retardos inherentes al aumento de la temperatura de la masa del detector que existen en los otros modelos de pirómetros.

El detector genera una tensión proporcional al cubo de la temperatura $V=KT^3$. En la figura, puede verse la sensibilidad espectral de cuatro detectores fotoeléctricos. Para

amplificar la señal, el instrumento interrumpe la misma mediante un disco ranurado a varios cientos de hertz, con lo que se obtiene una señal de c.a. que puede ser amplificada con un amplificador de c.a. de alta ganancia.

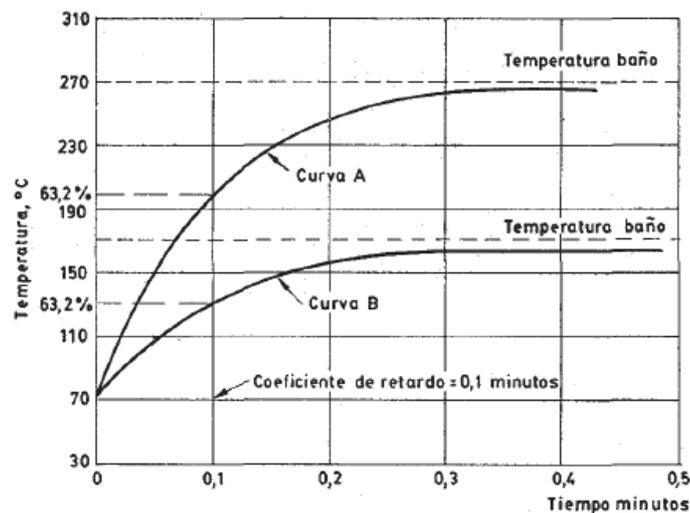
En aplicaciones de la industria del vidrio, tales como la medición de la temperatura de las gotas de vidrio en su caída, el instrumento indicaría picos de temperatura y para disminuir la curva de onda en diente de sierra obtenida se utiliza un integrador electrónico que las reduce prácticamente a una línea casi recta. Un instrumento de este tipo trabaja con longitudes de onda de 4,8 a 5,6 micras, que dan una mínima interferencia con el vapor de agua, dióxido de carbono y la luz solar, en el intervalo de 35 – 540°C con una constante de tiempo de 0,2 a 0,5 segundos.



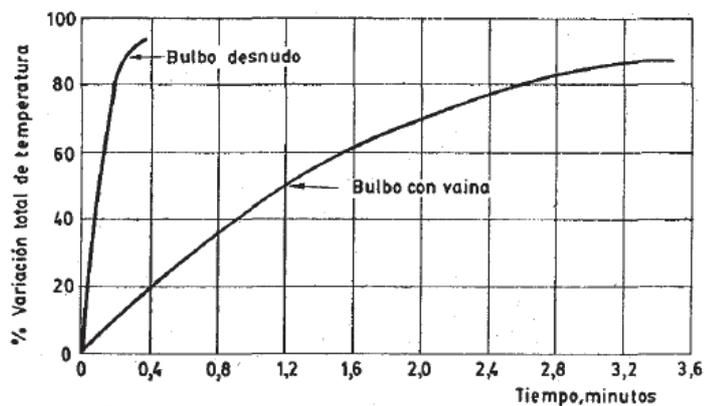
El instrumento con detector fotoeléctrico de uso general tiene un campo de trabajo de 35 a 1200°C, pudiendo enfocar desde 1 m hasta el infinito, posee una constante de tiempo de 2, 20 o 200 ms y una señal de salida de 10 mV. El perfeccionamiento de estos instrumentos ha conducido a las cámaras infrarrojas que utilizan un detector fotoeléctrico de In Sb (indio antimonio) y que exploran la superficie del objeto con un espejo plano oscilante alrededor de un eje horizontal y un prisma rotativo que gira alrededor de un eje vertical. El aparato produce una imagen de 16 cuadros/segundo y 100 líneas/cuadro con tonalidades de gris que representan la distribución de temperatura del cuerpo.

8.4.14. Velocidad de respuesta de los instrumentos de temperatura

(28) “La constante de tiempo de un instrumento es el tiempo necesario para que alcance el 63,2% de la variación total de temperatura que experimenta. Es decir, si un instrumento cuya sonda o elemento primario pasa de un recinto de 70°C a otro de 270°C puede alcanzar el 63,2 % de la diferencia $270 - 70 = 200^\circ\text{C}$ en 0,1 segundo; este tiempo será la constante de tiempo de la medida con el instrumento.

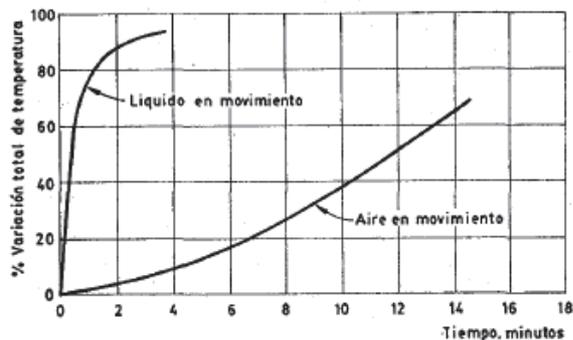


La constante de tiempo de un sistema de bulbo y capilar dependerá de la longitud y del diámetro interno del tubo capilar y del volumen del elemento receptor. Los termómetros de bulbo y capilar rellenos de mercurio y de líquido tienen una respuesta muy rápida por la incompresibilidad del fluido que los llena; en cambio, los termómetros de gas y de vapor tienen un retardo más acusado a causa de la compresibilidad del fluido interno. En la figura, puede verse un gráfico de la respuesta de estos tipos de sondas”.



Los elementos de medida de temperatura, como termopares y pirómetros de radiación se caracterizan porque el tiempo de respuesta depende únicamente del intercambio térmico entre el fluido y el elemento, ya que la corriente eléctrica circula por los cables de conexión a la velocidad de la luz, directamente al receptor. En la sonda de resistencia, la masa a calentar está formada por una bobina de hilo arrollada en un núcleo y embebida en una cápsula rígida.

Fig. 6.41 Respuesta de una sonda de resistencia.



Los termistores son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta varía de fracciones de segundo a minutos, de acuerdo con su capacidad térmica dada por el tamaño y forma del elemento sensible.

En el termopar, dos hilos soldados en un extremo constituyen la masa a calentar, la que depende de la galga o diámetro de los hilos y de la forma de la soldadura, hilo torcido o soldado a tope.

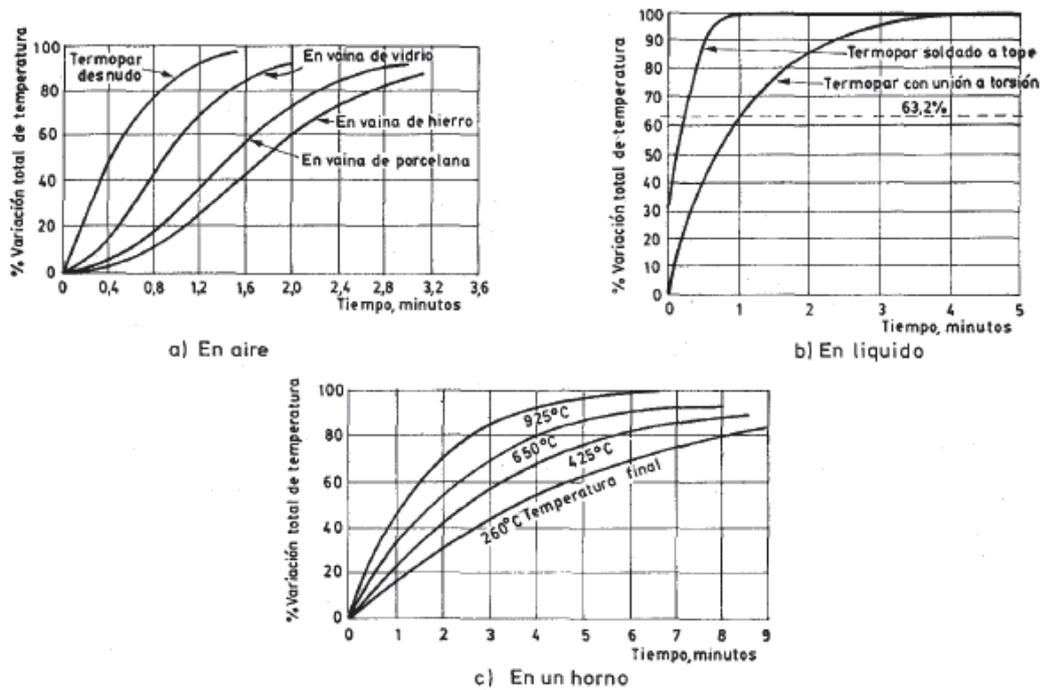
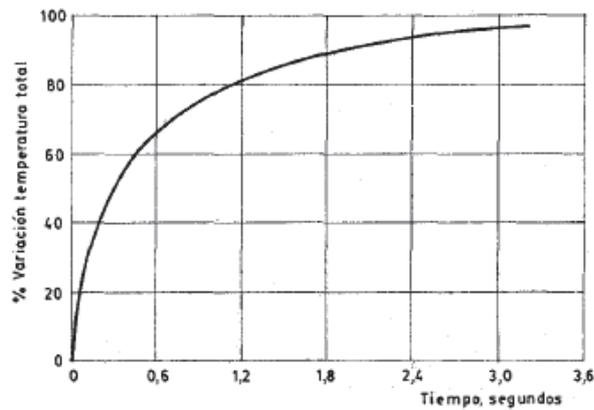


Fig. 6.42 Respuesta de un termopar.

El pirómetro de radiación responde rápidamente a los cambios en la temperatura por dos razones principales: la captación de energía radiante es prácticamente instantánea y la masa de la termopila es muy pequeña.

En la figura, puede verse la respuesta de los pirómetros de radiación total, debiendo señalar que en los pirómetros de infrarrojos la velocidad de respuesta es muy alta, del orden de 10 a 100 milisegundos. Los elementos de temperatura están normalmente inmersos en vainas termométricas o en tubos de protección para tener así una protección mecánica o bien estar aislados del fluido cuya temperatura miden. La vaina se emplea para altas temperaturas y presiones y el espesor de sus paredes es.

mayor que el de los tubos de protección, por lo cual lógicamente, su velocidad de respuesta será menor que de éstos.



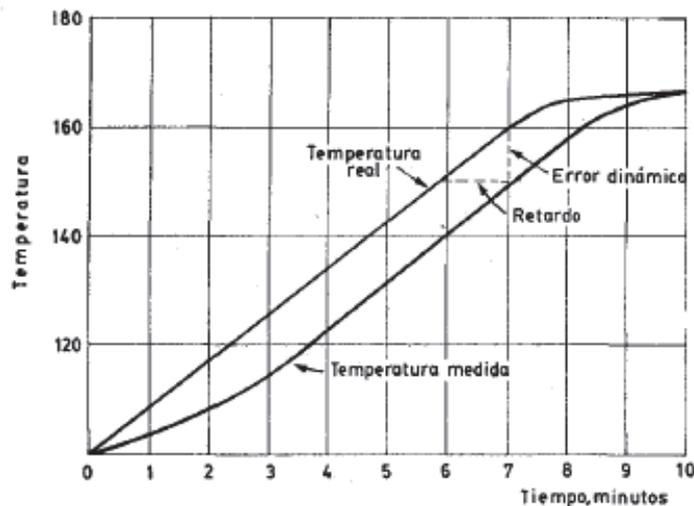
Por otro lado, las vainas o tubos deben tener un diámetro interior en el cual ajusten perfectamente los elementos; de este modo se consigue que la transmisión térmica se realice casi exclusivamente por conducción a través

de las paredes sin que exista un volumen apreciable de aire que dé lugar a una transmisión intermedia por convección. Hay que señalar que cuando las temperaturas de trabajo son relativamente bajas puede introducirse en el extremo interior de la vaina o del tubo una grasa especial de alta conducción calorífica o bien aceite, que colaboran eficazmente en la obtención de una respuesta muy rápida del sistema.

Siempre que ello sea posible, se recomienda prescindir de las vainas o tubos de protección para eliminar el retardo considerable que presentan a la transmisión de la temperatura.

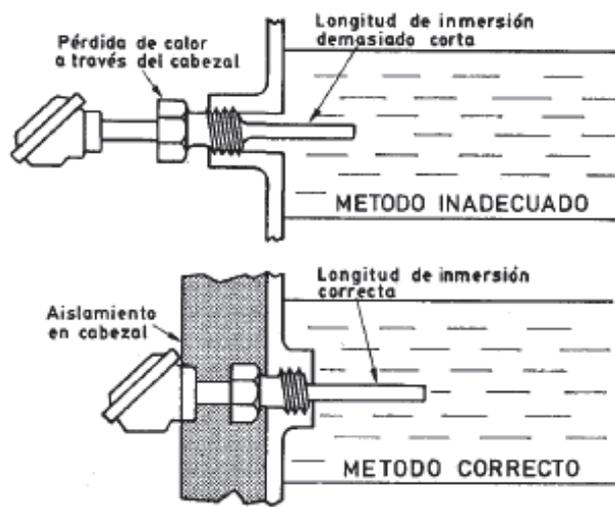
Otros factores que influyen en la respuesta son la clase de fluido que rodea al elemento y la velocidad de circulación, cuanto mayor sea esta última tanto mayor será el suministro de calor del fluido al elemento de temperatura. En el aire, por ejemplo,

el elemento tiene una constante de tiempo mayor que en un líquido, por lo cual se recomienda que la velocidad del aire sea como mínimo de 2 m/s para reducir así el coeficiente de retardo. Si la velocidad del fluido es excesiva, la frecuencia de la onda turbulenta generada puede igualar la frecuencia natural de la vaina o del tubo, con lo que éstos pueden entrar en resonancia y romperse. Para evitarlo, la vaina debe tener las paredes gruesas. La profundidad de inmersión tiene también su importancia. Si es insuficiente, no permite una respuesta suficientemente rápida y existe el riesgo de un error dinámico importante.



El error dinámico es inherente a toda medida, ya que siempre se transfiere energía entre el fluido y el elemento y esta transferencia requiere necesariamente un cierto tiempo para efectuarse.

Un elemento con un cabezal no aislado de la atmósfera ambiente conjuntamente con una escasa profundidad de inmersión, está sujeto a errores ya que el calor del fluido se pierde en parte a través de las paredes del recipiente o tubería sin transferirse totalmente al elemento. Este efecto es tanto más importante cuanto más baja sea la temperatura y más se aproxime a la ambiente.



8.5. Medición de Nivel.

La medición de nivel es muy importante en las industrias y en algunas de ellas, como la del papel, la minera, la del petróleo, la química, la petroquímica y la alimenticia, es indispensable. En la selección correcta de un instrumento para la medición de nivel, intervienen en mayor o menor grado los siguientes factores: el rango de medición, la naturaleza del fluido que va a ser medido y las condiciones de operación.

Los instrumentos que se describen a continuación cubren prácticamente todas las aplicaciones de medición de nivel de líquidos y sólidos en tanques abiertos y en tanques cerrados.

Los sensores de nivel pueden actuar también como registradores o indicadores y, cuando el caso lo requiere, como controladores. Cuando las distancias entre el punto de medición y el lugar donde queremos la lectura de nivel son muy grandes, nos podemos auxiliar con transmisores.

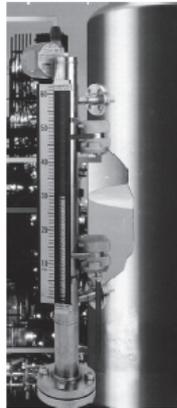
Nivel de líquidos en tanques abiertos y cerrados

(29) “Los instrumentos que se emplean para la medición de nivel de líquidos en tanques abiertos y cerrados se clasifican dentro de varias categorías: visuales, de presión o cabeza hidrostática (columna de agua), de contacto directo como los flotadores, los que utilizan las características eléctricas del fluido y los que emplean la radiación de energía.

Indicación visual de nivel con mirillas e indicadores de vidrio

Este método es uno de los más antiguos y simples para la medición continua de nivel de líquidos contenidos en un tanque abierto o cerrado y se usa solamente cuando se requiere la indicación local directa del comportamiento del proceso y cuando el

líquido es apreciablemente limpio. Las mirillas y los manómetros de vidrio consisten simplemente en un vidrio transparente o tubo de plástico (transparente) adjunto al tanque, de tal manera que la cabeza del líquido en el tubo sea igual al nivel del líquido en el tanque. Si se coloca una escala calibrada marcada en el tubo o fuera de éste, nos proporciona un medio conveniente para leer el nivel en centímetros, pulgadas, pies; o bien en unidades de volumen como: litros, metros cúbicos, etc., como el que se muestra en la figura”.



Medición de nivel por burbujeo

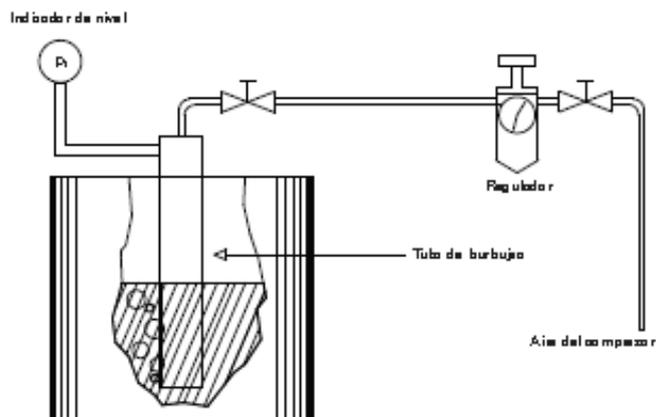
Este es un arreglo bastante simple, útil y no caro para la medición de nivel; sin embargo, su aplicación está limitada a tanques abiertos donde las burbujas de aire en el líquido no presentan problemas. El principio en el que se basa esta medición es el de que la presión necesaria para provocar burbujeo debe ser suficiente para vencer la columna hidrostática existente entre la superficie del líquido (nivel a medir) y el extremo del tubo de burbujeo.

Se inyecta una pequeña cantidad de aire o gas inerte a través de un tubo sumergido en el tanque, como se muestra esquemáticamente en la figura; la presión requerida para forzar a que las burbujas de aire salgan desde la parte baja del tubo de inmersión es

igual a la cabeza hidrostática del líquido hasta el extremo del tubo; si se conoce la densidad del líquido contenido en el tanque, se puede aplicar la ecuación:

$$h = P/\text{densidad}$$

Donde h es el nivel que se obtiene de dividir la presión P aplicada al aire para que burbujee, entre el peso específico del líquido. El valor así obtenido puede ser indicado, registrado, transmitido o controlado usando el tipo apropiado de instrumento receptor.



El tubo que se introduce al tanque para burbujeo, puede ser de 12.7 mm (1/2 pulgada) de diámetro con una muesca en V en el extremo. Si el fluido a medir contiene sólidos en suspensión como es el caso de las plantas de tratamiento de aguas negras o residuales, para prevenir el atascamiento de lodos en el extremo abierto, se puede emplear un tubo de 12.7 mm de diámetro con una ampliación de 19 mm (3/4 de pulgada), o 25.4 mm (1 pulgada), y también con una muesca en V en el extremo.

Otra forma de prevenir atascamiento del tubo de burbujeo es instalarlo dentro de un tubo mayor a través del cual se haría pasar una purga de agua lo que permitiría al tubo burbujeador operar con agua libre de partículas en suspensión. El aire o gas comprimido se suministra a través de una válvula reguladora y un rotámetro tipo

purgómetro, que se deben instalar lo más cerca posible del proceso. Como se analizó en el capítulo de medición de presión, el líquido contenido en un recipiente produce en el fondo una presión directamente proporcional a la altura del líquido e inversamente proporcional a su densidad.

Si se coloca un tubo en derivación, éste tendrá la misma presión a la que se suministra el aire en el tubo de burbujeo y que será la necesaria para vencer la presión hidrostática que ejerce el líquido en el fondo del recipiente. Cuando el nivel del líquido desciende, la presión en el fondo desciende también y esto hace que el aire a presión escape más fácilmente abatiendo la presión en el sistema y por consiguiente en el tubo en derivación.

El tubo en derivación puede tener una longitud máxima de 150 metros y se conecta a un instrumento receptor: un registrador, un indicador, un controlador local, o a un transmisor para enviar una señal proporcional remota a un tablero de control.

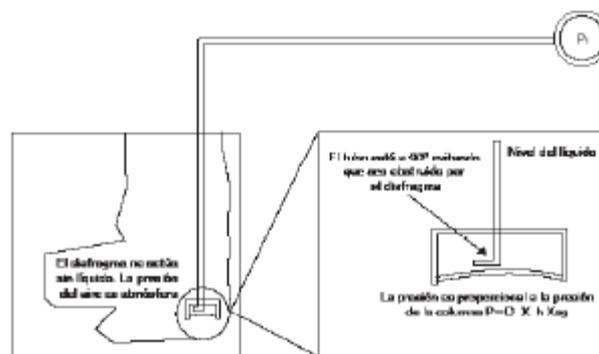
El instrumento receptor se debe proteger por sobrepresión en la línea con una válvula de corte. Si se llegara a tapan el tubo de burbujeo, se cierra la válvula de corte y se aplica aire sobrepresionado para destapar el tubo burbujeador.

Para poner el sistema en operación después de hecha la instalación del equipo, se abre la válvula del medidor de flujo, hasta que se obtenga una adecuada purga de aire; la cantidad óptima de fluido (aire o gas) a burbujear se establece experimentalmente. Este parámetro no es crítico para la operación del sistema, pues sólo debe tener suficiente presión para mantener el tubo libre de depósitos y que al mismo tiempo cause la mínima agitación del líquido en el tanque. Este arreglo está prácticamente

libre de mantenimiento y sólo requiere una inspección y limpieza del tubo burbujeador tan frecuente como sea necesario, y cuidar que esté libre de fugas.

Sistema de caja con diafragma

Los sistemas de caja de diafragma se usan para medir nivel en tanques abiertos cuando no se puede contar con aire o gas, o cuando el método por tubo de burbujeo no es recomendable. El instrumento consiste esencialmente en una copa o caja recubierta con un diafragma flexible como se muestra en la figura.

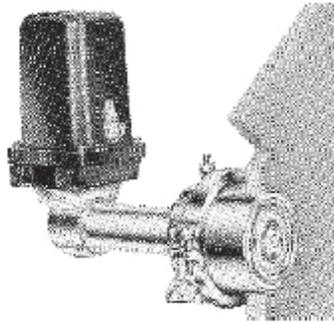


La caja está dividida en dos secciones con el diafragma inserto entre ambas y sellado a prueba de aire. La parte superior de la caja transmite el empuje que recibe el diafragma por un capilar hacia un fuelle. Los cambios de nivel causan entonces variación en el diafragma y repercuten finalmente a través del capilar a un elemento sensor, generalmente un fuelle que acciona un puntero de indicación o registro o un sistema tobera-palometa para transmisión de una señal neumática.

Transmisor de nivel de brida con diafragma.

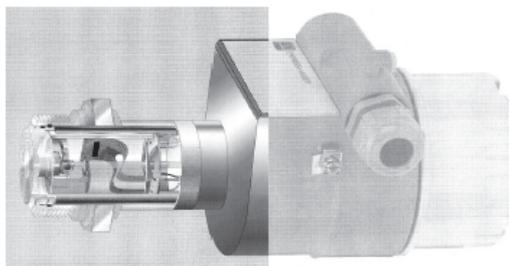
Uno de los instrumentos del tipo de diafragma más ampliamente utilizado para la medición del nivel con el principio de la presión hidrostática, sobre todo en aquellos procesos que tienen sólidos en suspensión, es el transmisor de presión diferencial bridado. En la figura, se muestra la celda de presión diferencial (d/p Cell por sus

siglas en inglés de differential pressure Cell) y diafragma con extensión que se usa cuando el líquido con sólidos en suspensión puede dejar sedimentos sobre las paredes interiores del tanque y esto pudiera impedir que el diafragma esté en contacto con el líquido perdiéndose precisión en la lectura. El diafragma con extensión se debe instalar de tal manera que quede embutido dentro de la pared interior del tanque.

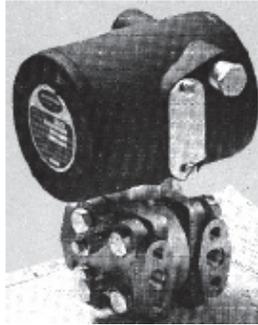


Transmisor de presión diferencial con brida y diafragma, montaje lateral en tanque.

(30) “El transmisor de presión diferencial con diafragma al ras se muestra en la figura.



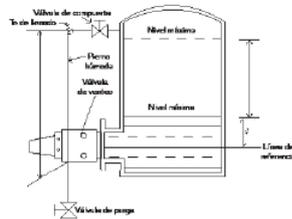
En recipientes abiertos, la presión atmosférica más la hidrostática que ejerce el líquido contenido en el tanque sobre el diafragma de alta presión hace que éste se deforme y el diafragma de baja presión se utiliza para contrarrestar la presión atmosférica; por eso son transmisores de presión diferencial como el de la figura.



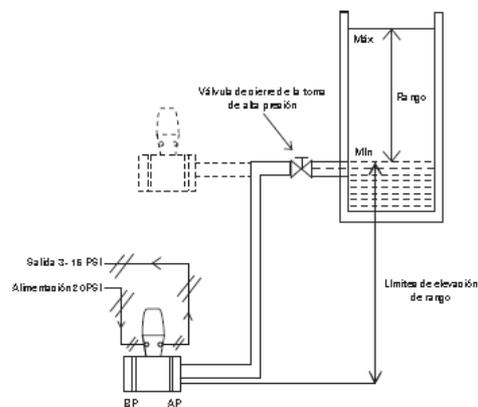
La acción de los dos diafragmas se muestra en la figura, y según el tipo de equipo seleccionado por ingeniería, se genera una señal de salida neumática o electrónica, para indicación, registro o control de esta variable. Como el diafragma no tiene prácticamente desplazamiento, no le afecta la condensación de vapores lo que permite eliminar purgas de agua y cámaras de condensación. El cuerpo del instrumento, o sea las partes en contacto con el fluido, se fabrican en metales resistentes a la corrosión como el tántalo, el hastelloy o el Monel”.

Cuando se requiere medir el nivel en un tanque cubierto, el líquido a medir puede o no desprender gases condensables, en cualquiera de los dos casos se deberá instalar una derivación de la parte superior del tanque para conectarla a la toma de baja presión del transmisor y así contrarrestar la presión positiva o negativa que se forme encima del líquido y que afectará al diafragma de alta presión.

Si el recipiente cerrado contiene un líquido que desprende gases condensables, la tubería de derivación que va de la parte superior del tanque a la toma de baja presión del transmisor se llena con el líquido que de todas formas se condensará para hacer el ajuste correspondiente de supresión de cero. El arreglo se muestra en la figura.

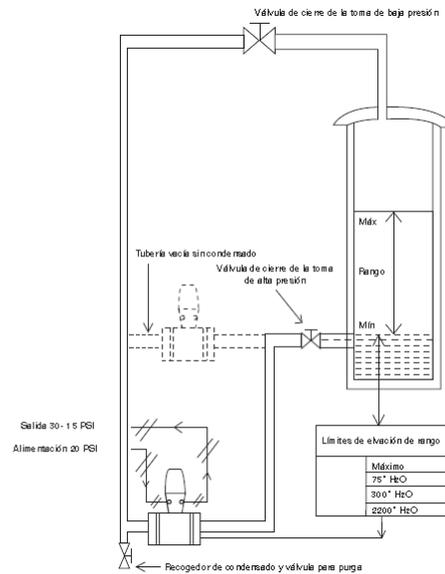


La figura, ilustra la instalación de un transmisor de presión diferencial neumático para medición de nivel en un tanque abierto a la atmósfera, el rango de medición del instrumento está referido a la línea de centro del diafragma. En este caso, como el instrumento está colocado por debajo de la base del tanque, se deberá ajustar con el tornillo de elevación de rango, calculando la presión que ejerce la columna de líquido. La conexión de baja presión del transmisor debe quedar venteadada a la atmósfera, cubierta con una malla de alambre para evitar la acumulación de insectos.



El transmisor de nivel de presión diferencial recibe en la conexión de alta, la presión hidrostática que ejerce la columna del líquido contenido en el recipiente más la presión atmosférica, por lo que se ventea a la atmósfera la conexión de baja presión para compensación. Cuando el transmisor de presión diferencial se instala en tanque presurizado conteniendo fluido no condensable, se debe hacer el arreglo de un tubo

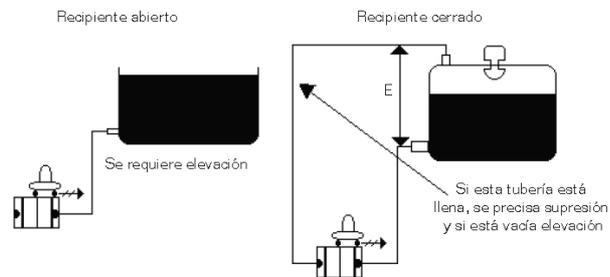
que vaya de la parte alta del tanque a la toma de baja presión además de la elevación de rango como se muestra en la figura.



Puesto que este es un fluido no condensable, la tubería de conexión de baja presión permanecerá vacía y por lo tanto, la cámara de baja presión únicamente sentirá la presión estática, positiva o negativa que hay en el tanque, mientras que la cámara de alta presión siente la misma presión estática más la presión causada por el nivel del líquido. Dado que la presión estática actúa de manera opuesta en las dos cámaras, su efecto es cancelado y el transmisor sensa exclusivamente la presión causada por el nivel. El instrumento puede ser montado en la línea de mínimo nivel a medir o en cualquier punto por debajo de la base del recipiente siempre que tal distancia esté dentro de los límites de elevación de rango del instrumento. Es recomendable colocar una trampa y una válvula de drene en el lado de baja presión, a fin de poder recolectar y expulsar cualquier líquido que pudiera introducirse a la cámara.

En la figura, se muestra la instalación de transmisores de presión diferencial llamados en la industria d/p Cell (por sus siglas en inglés differential pressure Cell), en

recipientes abiertos y cerrados y los ajustes que deberán hacerse de supresión o elevación según cada aplicación.



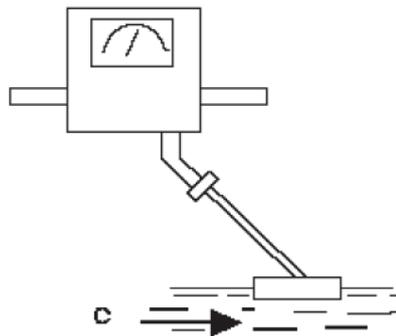
El transmisor de nivel puede ser montado en la línea de mínimo nivel a ser medido o en cualquier punto por debajo de la base del tanque. La altura entre el nivel mínimo y la ubicación física del transmisor podrá ser cualquiera dado que el lado de alta presión como el de baja presión tendrá fuerzas iguales y opuestas ocasionadas por el líquido contenido en esa misma distancia y se cancelan una a otra. Para la supresión en este caso, se considera únicamente la pierna que se ocasiona entre la tubería de la toma de alta presión (nivel mínimo) y la tubería de la parte superior del tanque, distancia E en la figura, porque la línea de baja presión se mantiene llena de condensado en toda su extensión.

Medición de nivel con instrumentos tipo flotador y desplazador.

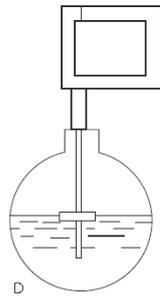
Los medidores de nivel tipo flotador y desplazador, son muy empleados en la industria y su forma varía con el tipo de aplicación. En la figura, se muestra un interruptor de nivel con flotador.



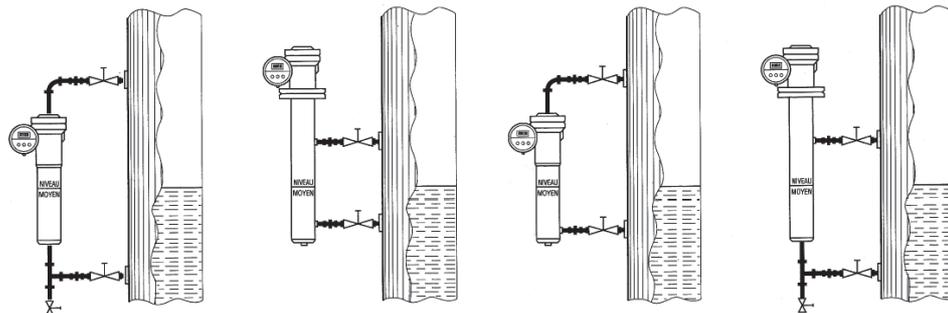
En la figura, se muestra un instrumento para medición de nivel con el flotador en la parte inferior, puede emplearse en recipientes abiertos o cerrados y también en canales abiertos para la medición de flujo. La figura, muestra un flotador lateral para medir nivel en tanques cerrados o su aplicación también en vertederos para la medición indirecta de flujo.



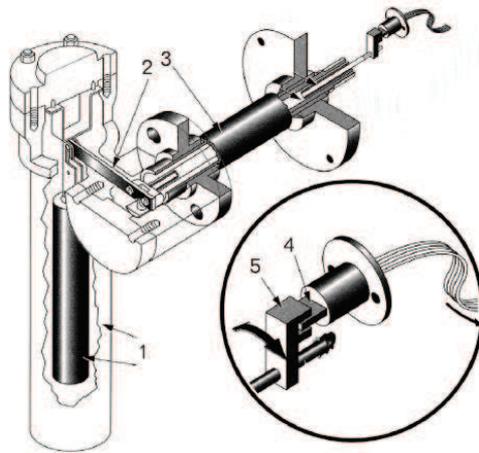
En la figura, se esquematiza un instrumento específicamente usado para medición de nivel en tanques presurizados de gases licuados, como el cloro, amoníaco y propano. También se emplea para la medición de nivel en líquidos altamente corrosivos ya que las partes en contacto con el fluido pueden ser construidas en una gran variedad de materiales resistentes a la corrosión, se llegan a hacer de vidrio inclusive. Estos instrumentos tienen un rango de medición de hasta 10 metros. La medición de nivel en tanque puede también ser medida por un desplazador como el ilustrado en la figura, para control de alto y bajo nivel.



En la figura, se presentan diferentes tipos de montaje del transmisor de nivel electrónico digital con desplazador de Masoneilan; con conexiones inferior-superior, lateral-lateral, lateral-superior e inferior-lateral.



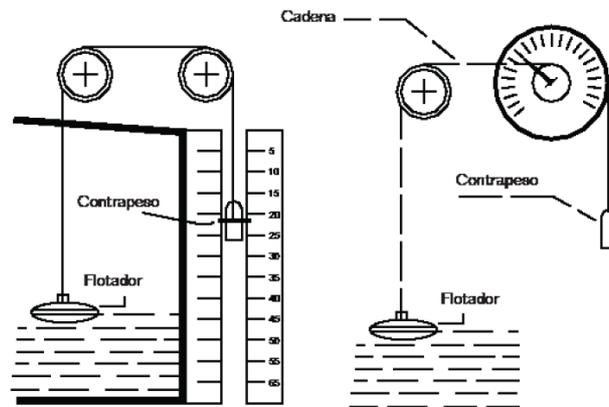
El transmisor electrónico de nivel, que se presenta en corte en la figura, actúa de la siguiente manera: cuando se presenta un cambio en el nivel del líquido, ocasiona una variación en la posición del desplazador (1), incrementando o decrementando la carga en el tubo de torque (2) una cantidad directamente proporcional al cambio del nivel del líquido. Lo anterior da como resultado la rotación de la barra de torque (3) y el magneto adjunto (4), lo que modifica el campo magnético que rodea al espacio del sensor (5) y genera por consiguiente una señal analógica proporcional al nivel del líquido. Este método de medición como se realiza sin contacto y sin fricción, permite un aislamiento total entre el sensor en movimiento y el que genera la señal de salida.



Flotador y cable

(31) “La medición directa de nivel de líquidos en tanques abiertos se lleva a cabo frecuentemente por el método del flotador y cable, pero está limitado a líquidos limpios ya que en aquellos que tienen partículas o sólidos que puedan adherirse al flotador se falsearía la lectura. La medición por medio de flotador y cable es muy usada en las plantas de tratamiento de agua y en la mayoría de los tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados. Este sistema no depende de la presión hidrostática para la medición de nivel, pues son instrumentos que se auto-operan por el movimiento del flotador sobre la superficie del líquido.

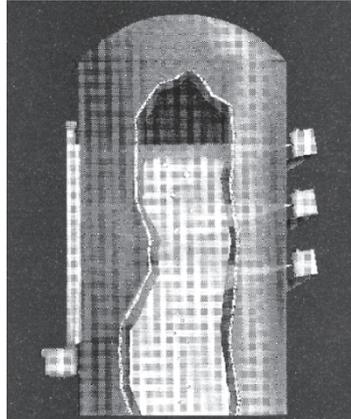
Existen muchas versiones de los instrumentos de flotador y cable, y fundamentalmente consisten de un flotador y contrapeso conectados por medio de un cable el cual opera una polea como se muestra en la figura. El flotador al subir o descender con el nivel del líquido hace que la polea se mueva y de esta manera el movimiento vertical del flotador se transforma a una medición uniforme del nivel que puede ser usado para indicación, registro o control”.



Medidor tipo radiactivo

Los sistemas radiactivos se usan para la medición de nivel en tanques cerrados, y constan de un ensamble de medición y un indicador amplificador. El ensamble de medición contiene una fuente radiactiva, como radio, cesio o cobalto, y la celda detectora de radiaciones que puede ser de la forma de un contador Geiger o una celda diseñada especialmente para ionización de gas. La celda detectora produce una señal eléctrica proporcional a la intensidad de los rayos radiactivos y esta señal se amplifica para que produzca una medición en unidades apropiadas de nivel.

Se pueden usar varios arreglos en la instalación de estos sistemas tal como se muestra en la figura; la fuente radiactiva se instala en la parte externa del tanque y la celda detectora en el costado opuesto. Cuando el nivel aumenta dentro del tanque el material absorbe parte de la radiación emitida y el detector traduce la radiación amortiguada en una señal electrónica de 4 a 20 miliamperes a través de un amplificador para transmitir esta señal de salida a un tablero para indicación, registro o control.



Transmisor de nivel por ultrasonido

Este es otro método para la medición de nivel en tanques cerrados y abiertos. La medición de nivel sónica se basa en:

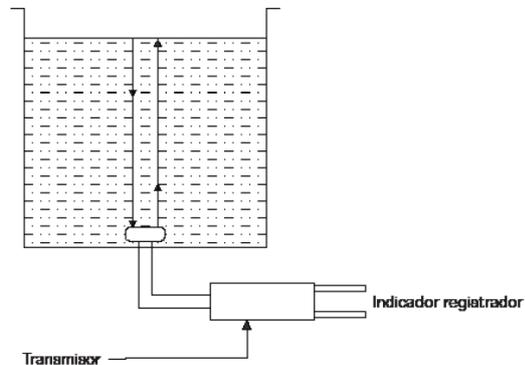
- 1) La emisión pulsante de ondas sonoras por medio de una fuente emisora.
- 2) La transmisión de esas ondas de energía a través de la fase líquida, o la fase de vapor en el tanque.
- 3) El reflejo de las ondas en la superficie para regresar hacia el emisor- receptor.

El tiempo que tarda el sonido en ir y regresar del emisor-receptor a la superficie del líquido, se usa como medición del nivel porque ese tiempo de tránsito es directamente proporcional a la cantidad de líquido en el recipiente.

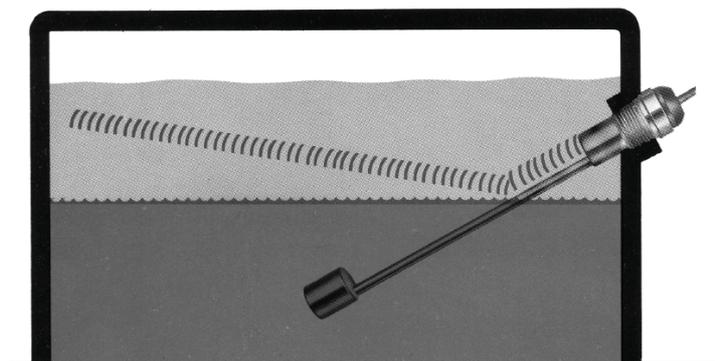
El emisor receptor traduce ese tiempo en una señal de salida de 4 a 20 miliamperes proporcional al nivel y que se puede usar en cualquier instrumento en un tablero de control.

La figura, muestra un sensor de nivel sónico para fase líquida, aquí el emisor, colocado en el fondo del recipiente, envía sus ondas sonoras a través del líquido hacia

la superficie, las ondas rebotan en la superficie y regresan al emisor; el tiempo que tarda dependerá de la altura del nivel.

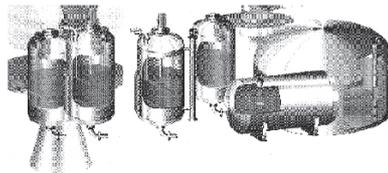


En la figura, se esquematiza un emisor-sensor colocado en la parte superior para fase de vapor o gas encima de la superficie del líquido; en este caso el tiempo de respuesta de la transmisión del pulso sónico y su recepción, es inversamente proporcional al nivel del líquido que se está midiendo. Se emplea también con mucho éxito la medición de interfase de dos líquidos en nivel de tanques de separación con el empleo de ultrasonido como el ilustrado en la figura.



En la industria moderna se emplea también la medición continua o el control de alto o bajo nivel con microondas como en los instrumentos que se ilustran en la figura. Las microondas generadas por el instrumento rebotan en la superficie del líquido y de esa manera se mide el nivel con alta exactitud sin que le afecte las variaciones en la

densidad, conductividad, constante dieléctrica del fluido, ni los cambios de presión en el recipiente o la formación de gases, pudiéndose utilizar, por supuesto, en recipientes metálicos y con una exactitud de +10 milímetros según reporta Endres+Hauser.



En la figura, se tiene una imagen el transmisor de nivel por microondas.

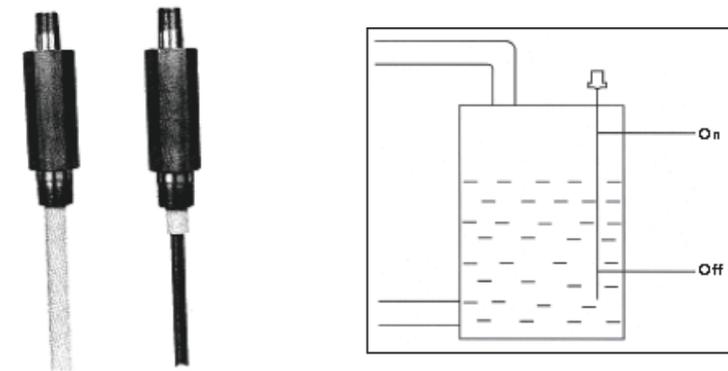


En la figura, se puede apreciar el transmisor de nivel de onda guiada por radar que se emplea con buen éxito en aplicaciones difíciles como: cambios en la densidad relativa del líquido, o de su constante dieléctrica así como la presencia de vapor o espuma.

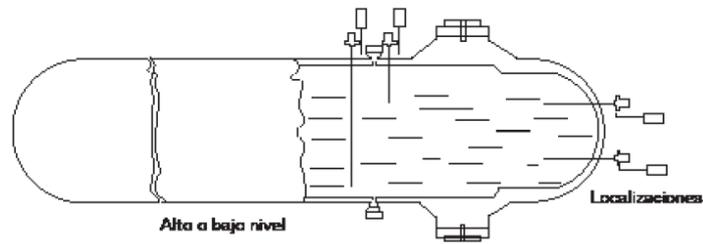


Medidor de nivel tipo capacitivo

Otro instrumento que se basa en el principio eléctrico para medir nivel de líquidos en un tanque abierto o cerrado es el tipo capacitivo, y consiste de una varilla de acero inoxidable rígida o flexible, con y sin recubrimiento de teflón que actúa como sonda o sensor y es uno de los polos del sistema; el otro polo es la pared del tanque. Cuando el recipiente no es de metal, se coloca entonces una cinta metálica en la pared para que actúe como otro polo. El sensor y la pared del tanque forman un campo capacitivo que varía conforme aumenta o disminuye el nivel del contenido del recipiente, porque cada sustancia posee una constante dieléctrica específica y genera determinada cantidad de picofaradios por unidad de volumen (en este caso por centímetro de nivel). La cantidad de picofaradios es proporcional al nivel y el instrumento lo traduce a una señal eléctrica para arranque-paro o a una señal electrónica de 4 a 20 miliamperes en la medición de nivel continuo para indicación, registro o control.



La figura, muestra las diferentes formas en las que se puede instalar el instrumento para control de alto o bajo nivel.



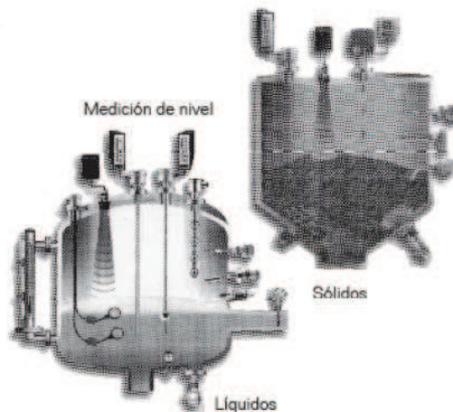
Medición de nivel de sólidos

(32) “Con cierta frecuencia, es necesario medir el nivel de material sólido en procesos como por ejemplo las astillas de madera en silos de fábricas de papel, materia prima sólida contenida en tanques para dosificación, jabón en polvo almacenado en tanques, cal, trocitos (“pellets”) de poliuretano, minerales granulados o en polvo, semillas de arroz, frijol, etc.; en tanques o silos; ya sea con controles por alto y bajo nivel o medición de nivel continuo, para estos casos se emplean los instrumentos que se detallan a continuación:

Instrumentos para control de un punto de nivel

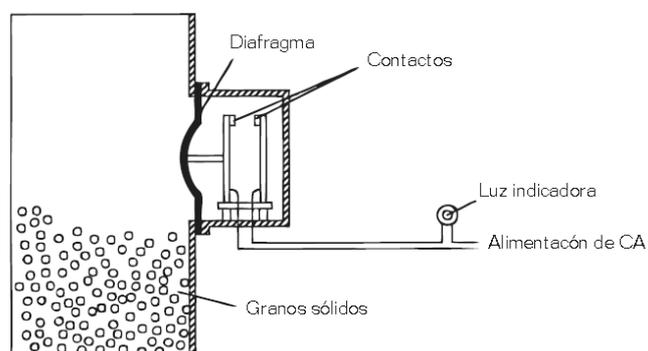
Estas unidades para la detección de nivel de sólidos, pueden efectuar la medición en uno o varios puntos de nivel, y se usan ampliamente para actuar alarmas o compuertas. Se emplean por lo general los siguientes tipos: el de diafragma, el de paleta de rotación, la horquilla de vibración, el péndulo sensible a la presión y las celdas de carga, las más importantes se describirán a continuación.

También se usan los ya descritos: radiactivos, sonar ultrasónico, sonda capacitiva, y la sonda de conductividad que opera con un principio semejante a la capacitiva. En la figura se pueden observar varios instrumentos en aplicación de medición de sólidos y líquidos”.

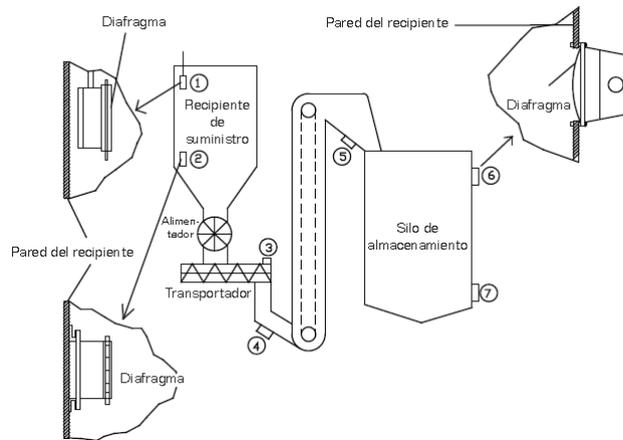


Interruptor tipo diafragma

Esta unidad emplea un diafragma flexible, el cual está expuesto al material sólido en un tanque de almacenamiento. En cuanto al nivel de sólidos se eleva, la presión causada por el peso del material, fuerza al diafragma contra un mecanismo de contrapesos que actúa un interruptor mecánicamente, la señal se puede utilizar en un tablero anunciador de alarmas, para el arranque-paro de maquinaria o apertura y cierre de compuertas. En la figura, se muestra el interruptor accionando una alarma luminosa.

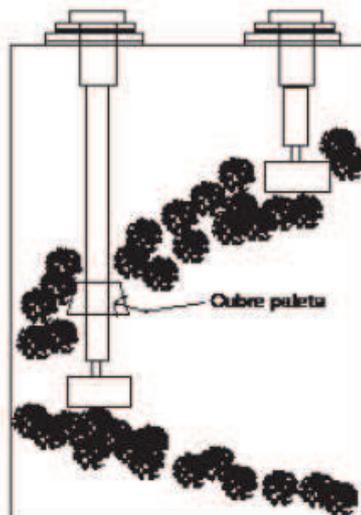


En la figura, se presenta un sistema de almacenamiento y transporte de sólidos con interruptores tipo diafragma para nivel y para detectar movimiento.



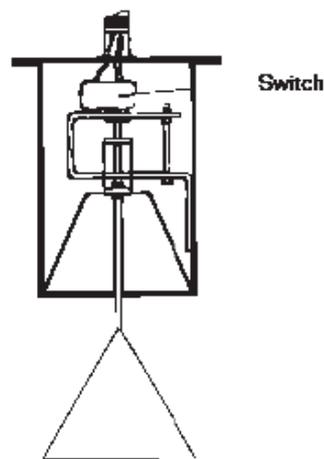
Interruptor de nivel tipo paleta

El diagrama esquemático de este instrumento se muestra en la figura, al vástago de la unidad lo mueve un motor sincrónico. Cuando la rotación de la paleta se obstaculiza por el material sólido, el soporte del motor y la caja de engranes que giran en un plano horizontal se atorán, en este momento se energizan dos microinterruptores en orden consecutivo; el primero de estos puede actuar un circuito de alarma, el segundo corta la corriente que va hacia el motor, haciendo que el sistema quede en posición “cerrada”; cuando el nivel disminuye, un resorte empuja el ensamble hacia atrás a su posición original y los interruptores se sueltan restableciéndose el movimiento giratorio de las paletas.



Interruptor de nivel de cono colgante

En la figura, se tiene un instrumento de cono colgante que consiste en un interruptor que se encuentra dentro de una caja a prueba de polvo, ésta tiene una especie de collarín de la cual se suspende el cono. Cuando el nivel de material sólido se eleva y se pone en contacto con el cono se actúa un interruptor que puede accionar una alarma u otro equipo.



Interruptor de nivel tipo celda

Cuando se quiere controlar el nivel de un material sólido que tenga una conductividad eléctrica muy alta, se puede utilizar un detector de nivel tipo celda. Cuando el material hace contacto con el electrodo, se acciona una alarma u otro tipo de equipo.

Medición continua de nivel de sólidos

Los instrumentos de medición continua de nivel de sólidos permiten una medición en toda la gama de cambio que éste pueda tener y se emplean fuentes nucleares radiactivas, unidades capacitivas y sónicas como las que ya se han descrito.

Se cuenta ya con equipos modernos como la medición continua de nivel de sólidos con instrumentos que operan con microimpulsos guiados y se detecta el tiempo entre

la transmisión y la recepción para conocer el nivel, un instrumento montado en la figura, con varios de los diferentes granos que puede medir es un ejemplo de este tipo de aparatos.



8.6.MEDIDAS DE PRESION

8.6.1. Unidades y clases de presión

(33) “La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14 que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal”.

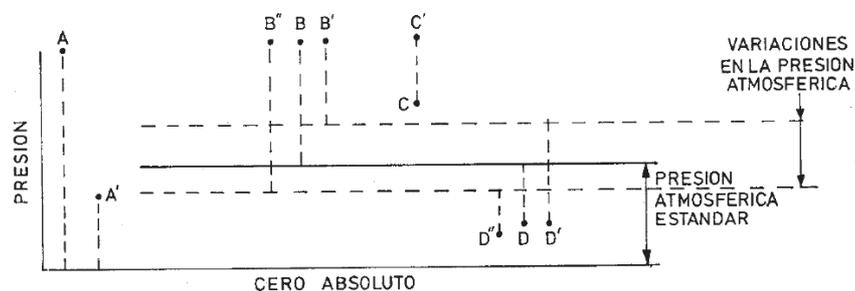
Unidad	bar	mbar	kbar	Pa	kPa	MPa
1 bar	1	1000	0,001	10 ⁵	100	0,1
1 mbar	0,001	1	10 ⁻⁶	100	0,1	10 ⁻⁴
1 kbar	1000	106	1	10 ⁸	105	100
1 Pa	10 ⁻⁵	0,01	10 ⁻⁸	1	0,001	10 ⁻⁶
1 kPa	0,01	10	10 ⁻⁵	1000	1	0,001
1 MPa	10	104	0,01	106	1000	1

Unidad	bar	Pa	MPa	kg/cm ²	mm Hg	mm CE	psi	plg H ₂ O	plg Hg
1 bar	1	10 ⁵	0,1	1,02	750	1,02 x 10 ⁴	14,50	401,5	29,53
1 Pa	10 ⁻⁵	1	10 ⁻⁶	1,02 x 10 ⁻⁵	7,5 x 10 ⁻³	0,102	0,1450 x 10 ⁻³	4,015 x 10 ⁻³	0,2953 x 10 ⁻³
1 Mpa	10	10 ⁶	1	10,2	7500	10,2 x 10 ⁴	145,0	4015	295,3
1 kg / cm ²	0,981	9,81 x 10 ⁴	9,81 x 10 ²	1	736	10 ⁴	14,22	393,7	28,96
1 mm Hg	1,333 x 10 ⁻³	133,32	1,333 x 10 ⁻⁴	1,36 x 10 ⁻³	1	13,6	1,934 x 10 ⁻²	0,535	3,937 x 10 ⁻²
1 mm CE	9,81 x 10 ⁻⁵	9,81	9,81 x 10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	7,36 x 10 ⁻²	1	1,422 x 10 ⁻³	3,937 x 10 ⁻²	2,896 x 10 ⁻³
1 psi	6,895 x 10 ⁻²	6895	6,895 x 10 ⁻³	7,031 x 10 ⁻²	51,70	703,1	1	27,88	2,036
1 plg H ₂ O	2,491 x 10 ⁻³	249,1	2,491 x 10 ⁻⁴	2,54 x 10 ⁻³	1,868	25,4	3,613 x 10 ⁻²	1	7,36 x 10 ⁻²
1 plg Hg	3,386 x 10 ⁻²	3386,4	3,386 x 10 ⁻³	3,453 x 10 ⁻²	25,4	345,3	0,491	13,6	1

La **presión absoluta** se mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura).

La **presión atmosférica** es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de mercurio absolutos o 14,7 psi (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

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



La **presión diferencial** es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'.

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

El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de bar. En la figura pueden verse los tipos de instrumentos y su campo de aplicación.

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

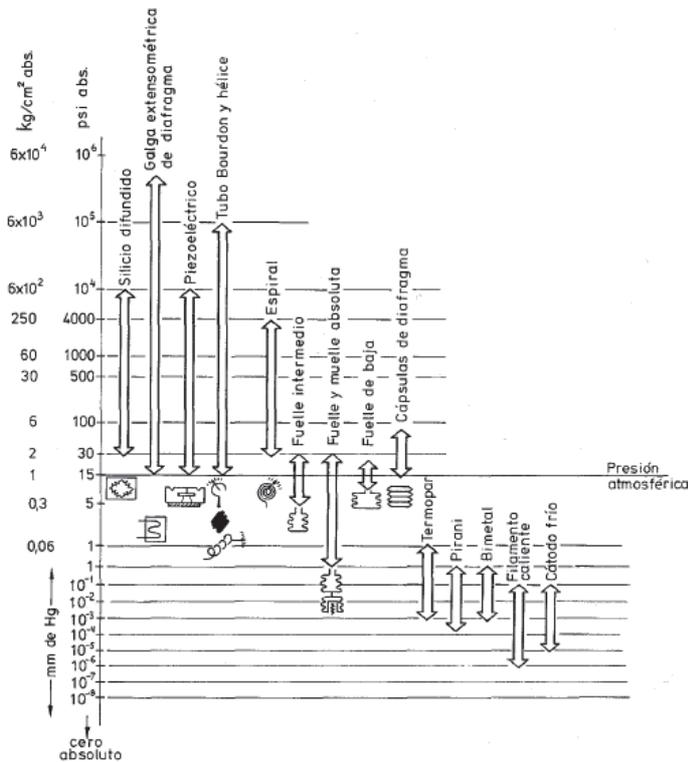
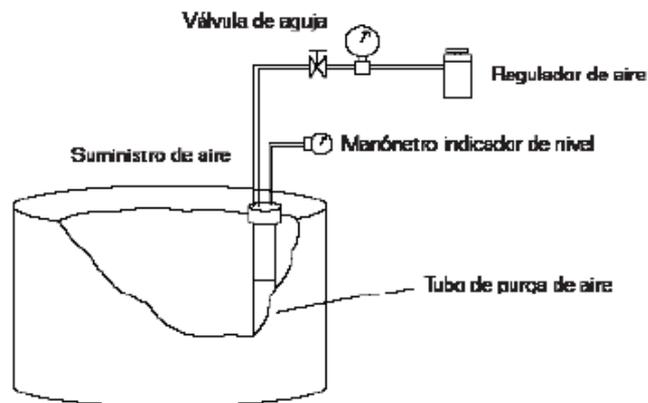


Fig. 3.2 Instrumentos de presión y campo de aplicación.



8.6..2 Elementos mecánicos

Se dividen en:

1. Elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana).
2. Elementos primarios elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

El tubo Bourdon es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora por un sector dentado y un piñón. La ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos. El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel.

El **elemento en espiral** se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el **helicoidal** arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

El **diafragma** consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la

suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento.

El material del diafragma es normalmente aleación de níquel o inconel x. Se utiliza para pequeñas presiones.

(34) “El **fuelle** es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. El material empleado para el fuelle es usualmente bronce fosforoso y el fuelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. Se emplean para pequeñas presiones.

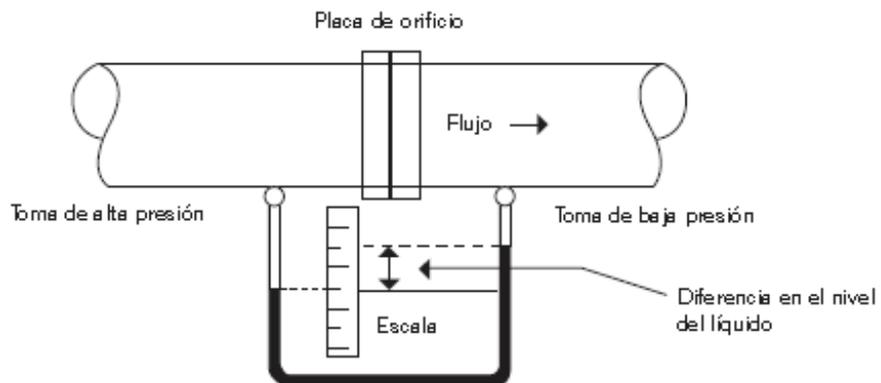
Instrumentos sensores de presión húmedos y secos

El instrumento de medición de presión se conecta al proceso para detectar la presión a medir, de tal manera que el elemento sensible que se haya seleccionado responda a los cambios de presión y esta acción genere una señal neumática de 0.21 a 1.054 kilogramos por centímetro cuadrado (3–15 libras por pulgada cuadrada), o eléctrica de 4 a 20 miliamperes de corriente directa, que pueda ser utilizada por otros elementos en el sistema de control. Existen dos familias de sensores de presión: los húmedos y los secos”.

Manómetros húmedos

(35) “Uno de los instrumentos de medición de presión más sencillos es el manómetro en U, llamado así por la forma del tubo de vidrio generalmente graduado que contiene en su interior un líquido: agua o mercurio.

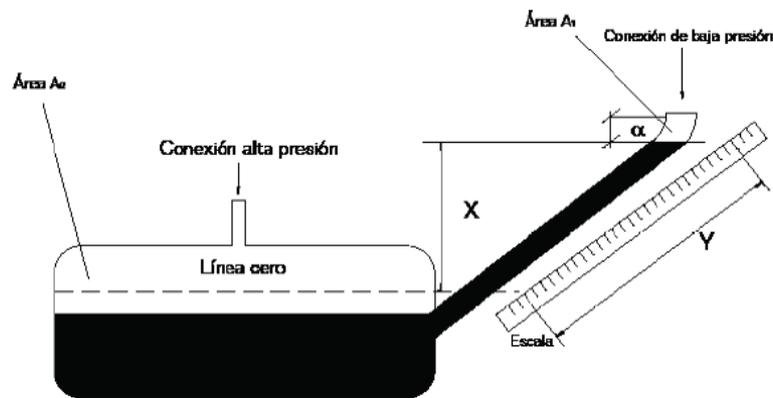
Si se desea medir presión diferencial, un extremo del tubo se conecta al proceso en la toma donde se quiera medir una presión y el otro extremo a la toma de la otra presión. Cuando hay una diferencia de presión entre los extremos del tubo, el líquido sube en el tubo del lado de baja presión y se puede leer el valor de la presión diferencial en centímetros de columna de agua o de mercurio según el líquido de llenado.



Para medir presión absoluta, un extremo del tubo en U se conecta a la toma de presión del proceso y el otro extremo se ventea a la atmósfera”.

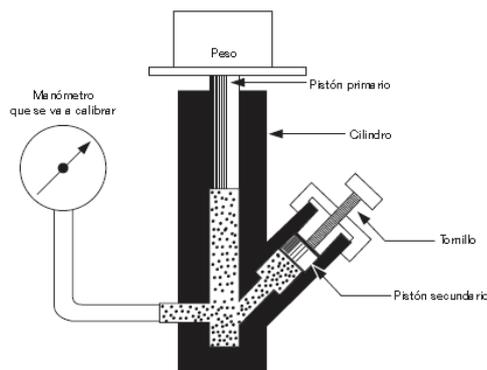
Para medir altas presiones, el tubo en U se sella en un extremo y como líquido de llenado se emplea mercurio porque es catorce veces más pesado que el agua. Si la presión a medir es muy alta, el manómetro pierde exactitud porque el aire atrapado en el extremo cerrado llega a comprimirse ligeramente. El tubo en U o columna no se usa en la industria para la medición de procesos porque es de vidrio, sin embargo por su exactitud, se emplea en el laboratorio de instrumentos para calibrar otros

manómetros. Para medir presiones muy pequeñas del orden de milímetros de columna de agua se usa un manómetro inclinado que es una U modificada y en el cual un lado de la U está inclinado; como resultado, una pequeña presión produce una variación relativamente pequeña del nivel en el depósito que a su vez produce un movimiento notable del líquido en la escala como se muestra en la figura.



Balanza de pesos muertos

Para calibrar un manómetro de cualquier tipo, se puede utilizar una balanza de pesos muertos que se incluye en la sección de manómetros húmedos porque tiene líquido en su interior que corresponde a la parte sombreada de la figura.



Como se conoce el área del pistón primario y el peso colocado sobre la superficie del pistón, se puede calibrar el manómetro con mucha exactitud porque se sabe la presión que debe indicar que es igual a la relación entre el peso y el área.

En la figura, es una fotografía de una balanza de pesos muertos marca De Wit con sus accesorios, se utiliza para calibrar elementos sensores que puedan medir presiones de hasta $2\,800\text{ kg/cm}^2$ ($40\,000\text{ psi}$), con una exactitud de 0.1% , aunque en otro modelo para una presión de hasta $1\,400\text{ kg/cm}^2$ ($20\,000\text{ psi}$), se tiene una exactitud de 0.05% . Este instrumento tiene un diseño muy sencillo y es muy fácil de manejar.

El procedimiento para calibrar un manómetro es el siguiente: se conecta el instrumento a calibrar, se coloca el peso adecuado sobre el pistón primario y después se depresiona el pistón secundario girando el tornillo; esta acción hace que el líquido interior eleve el pistón primario y su peso; de esta manera, en el seno del líquido se tendrá la presión deseada y será la que deba indicar el manómetro. Si el indicador muestra un valor diferente, se debe seguir el procedimiento de calibración que indica el manual del fabricante.

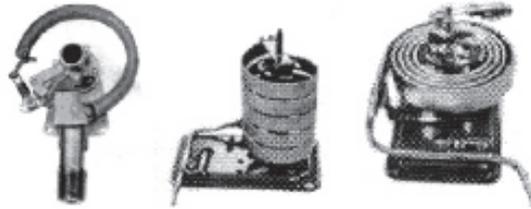
Manómetros secos

Los manómetros que no utilizan un líquido para medir la presión se llaman “secos”; en lugar de agua o mercurio tienen un elemento elástico que se basa en la Ley de Hook que dice que: “Un elemento elástico sometido a una fuerza, sufre alargamientos proporcionales a la fuerza aplicada.” Por consiguiente, la deflexión del elemento elástico será proporcional a la fuerza ejercida.

Sensores de tubo de bourdón

Un tubo de bourdón es llamado así por Eugene Bourdon, un científico francés, quien lo inventó en 1847 y consiste en un tubo de metal de sección transversal ovalada y curvado a lo largo hasta formar la sección de un círculo (bourdón tipo C); o hasta

formar varios círculos (bourdón tipo helicoidal); o hasta formar varias espiras (bourdón tipo espiral) como se muestra en la figura.



En cualquiera de los tres tipos de bourdón, un extremo del tubo se conecta al proceso y como el otro extremo está sellado, al deformarse por los cambios de presión, tienden a enderezarse si ésta aumenta o a volver a su forma original si la presión disminuye; el movimiento del extremo sellado es transmitido a un engrane o a una leva y de esta manera se puede tener indicación, registro, transmisión o control de la presión del proceso.

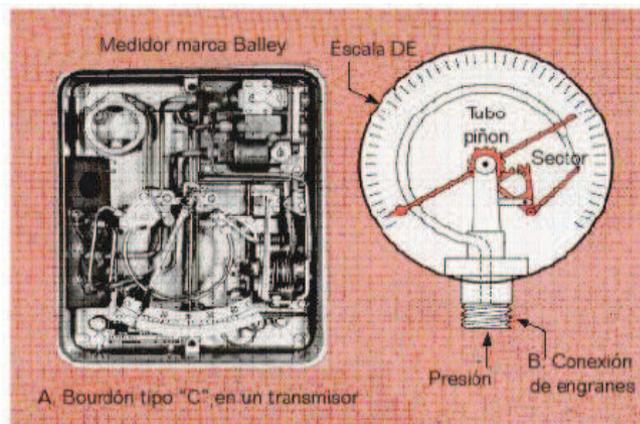
Tubo de bourdón en forma de C. Con este elemento se construyen la mayoría de los manómetros de carátula circular con diámetros que van de 6,35 cm a 30.48 cm (2.5 a 12 pulgadas) y se ha utilizado por más de 150 años. En ese lapso ha mejorado su exactitud por el empleo de materiales modernos, y miden varios rangos de presión que van desde 0 hasta 2 000 kg/cm² (0 a 30 000 psi).

El bourdón tipo C es un tubo oval, uno de los extremos se fija en una base y se conecta al proceso y el otro extremo está sellado y con libertad para moverse; la presión a medir, se transmite a lo largo del tubo y en todas sus paredes; las partes aplanadas del óvalo tienden a redondear el tubo y hacen que éste se flexione o se desplace tratando de enderezarse. El extremo abierto del tubo no puede moverse porque está fijo y es la entrada de presión, y el extremo cerrado del tubo de bourdón

permanece libre para moverse como se muestra en la figura. La cantidad de movimiento depende de la cantidad de presión.



La figura, muestra la manera en que al moverse el extremo del bourdón en C, por un sistema de palancas y engranes se mueve un puntero y la punta indica en la escala la presión correspondiente.



El bourdón tipo C puede construirse de los siguientes materiales:

1. Latón o bronce fosforado para rangos:

0 a 760 milímetros de mercurio de vacío

Rango compuesto (vacío y presión positiva):

Rango mínimo: -760 mm de mercurio a 1.05 kg/cm^2

Rango máximo: -760 mm de mercurio a 21 kg/cm^2

2. Acero o acero inoxidable 316 para rangos:

Mínimo: 0 a 1.05 kg/cm²

Máximo: 0 a 2 000 kg/cm²

3. Acero al cromo-molibdeno para medición de presión en recipientes con amoniaco:

Rango mínimo: -760 mm de mercurio a 1.05 kg/cm²

Rango máximo: -760 mm de mercurio a 21 kg/cm²

Las partes móviles del manómetro se fabrican de acero inoxidable, nylon o delrin; los dos últimos no se desgastan tan rápidamente como el metal y por consiguiente tienen mayor tiempo de vida.

En la actualidad se cuenta con manómetros digitales como el de la figura, con una exactitud de 0.05 % del total de la escala, incluyendo los efectos de linealidad, histéresis, repetibilidad y cambios de temperatura ambiente entre -20 y 65 °C.

Tubo de bourdón tipo helicoidal. Para incrementar la sensibilidad del tubo bourdón, y lograr que se detecten con precisión pequeños cambios de presión, se ideó extender el tubo usado en el tipo C y enrollarlo en forma vertical 4 o 5 vueltas lográndose una unidad compacta fácil de construir y de instalar. Este diseño aumenta considerablemente el viaje de la punta o extremo libre, lo que deja energía disponible para ser utilizada en el movimiento de mecanismos más complicados.

Un eslabón enlaza el extremo libre de la espiral con una flecha central colocada en medio de la espiral; la palanca del brazo del indicador se acopla a la flecha y así recibe la componente del movimiento circular del extremo libre del helicoide; el desplazamiento resultante es directamente proporcional a los cambios de presión.

Se muestra un helicoide solo y dos helicoides opuestos para medir presión diferencial en aplicaciones de medición de nivel y flujo.

Cuidados del tubo bourdón

(36) “El tubo bourdón es resistente y confiable si se le da el uso adecuado y para una larga vida se le debe proteger contra temperatura, vibración y presión excesiva, así como de sustancias corrosivas, congelamiento y taponamiento del extremo abierto.

Si el proceso donde se va a medir presión tiene alta temperatura o es una línea de vapor, estas condiciones pueden dañar el elemento sensor, para protegerlo, la línea entre el instrumento y el proceso deberá instalarse de tal manera que entrampe una bolsa de fluido que servirá de sello entre ambos, o adquirir con el fabricante un accesorio llamado sifón o “cola de cochino” que hace la misma función.

Cuando el equipo donde se va a instalar el instrumento vibra en exceso, de deberá colocar el sensor lejos del equipo; y cuando la vibración es interna causada por la pulsación de un fluido a la descarga de una bomba reciprocante, se deberá colocar un amortiguador de pulsaciones”.

Si el tubo bourdón es sometido a presión excesiva se deformará permanentemente; para protegerlo de una eventual sobrepresión, los fabricantes especifican una protección por sobre rango del 200 por ciento; aun así en algunos procesos es conveniente instalar válvulas de alivio en los recipientes o líneas para que la presión a medir no exceda la capacidad del instrumento.

El metal del tubo bourdón está sujeto a histéresis mecánica como todos los metales, pero ésta debe ser mínima. La histéresis mecánica es un fenómeno llamado “de remanencia” y consiste en que cuando se está haciendo la medición de la deformación

de un resorte por ejemplo, si se aplica una misma fuerza presentará diferente elongación si la medición se hace cuando se está alargando que cuando se está contrayendo.

En otras palabras, aun cuando el metal se dilata distintamente cuando la presión se incrementa que cuando ésta disminuye por el efecto de la histéresis, y por consiguiente da distintas lecturas cuando la presión aumenta que cuando disminuye se ha conseguido que la diferencia sea mínima con un efecto de 0.5 % en la exactitud del instrumento.

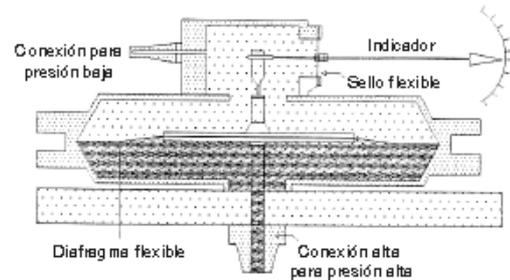
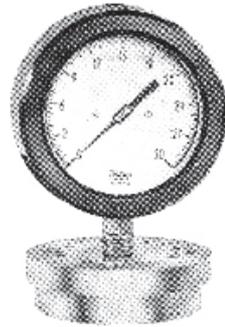
En la figura, se muestra el efecto de histéresis con valores un poco exagerados para que se vea claramente. Por ejemplo, podría leerse 98 kg/cm^2 cuando la presión esté subiendo y 102 kg/cm^2 cuando la presión esté disminuyendo, aun cuando la presión exacta sea 100 kg/cm^2 en ambos casos.

En muchos procesos se manejan fluidos muy corrosivos, que incluso atacan al acero inoxidable; en estos casos, se emplea un sello químico que consiste de un diafragma de un metal resistente al ataque del líquido corrosivo como podría ser el tántalo, así transmiten los cambios de presión al sensor por un medio hidráulico que generalmente es aceite silicón o glicerina como se muestra en la figura.

Medición de presión con diafragma

El diafragma es un metal flexible en forma de disco que cambia de forma cuando la presión del proceso cambia; está sujetado en la parte interna del cuerpo del instrumento por el borde. La presión del proceso ejerce una fuerza sobre un lado del disco y la parte central del disco se mueve hacia adentro por esta acción y este

movimiento mueve el puntero del indicador sobre una escala para indicar la presión como se muestra en la figura.



El diafragma se puede utilizar para medir presión absoluta, manométrica o diferencial. Si es evacuado el aire del lado de baja presión para que ésta sea cero, el medidor indica la presión absoluta. Si el lado de baja presión se ventea a la atmósfera, el instrumento indicará la presión manométrica. También se puede medir presión diferencial conectando al proceso la toma de alta y la de baja presión; esta aplicación es útil en la medición de nivel y de flujo que se analizan con más detalle en las secciones correspondientes.

En la figura, se muestra el cuerpo de dos sensores de presión con diafragma de diferente diámetro. Si se tienen diafragmas en ambas caras del transmisor, se forma una cápsula que se emplea en los transmisores de presión diferencial para medir nivel o flujo.



Medición de presión con cápsula

La cápsula consta de dos diafragmas unidos con soldadura por el borde exterior, se construye de bronce fosforado, acero inoxidable o de otra aleación.

Con la cápsula se puede medir también presión absoluta, manométrica o diferencial.

En este sensor, el interior de la cápsula se conecta al proceso y la presión externa se utiliza como referencia. Para medición de presión absoluta, el exterior de la cápsula está sellado al vacío; para presión manométrica, está venteado a la atmósfera; y para presión diferencial, está conectado al lado de baja presión del proceso.

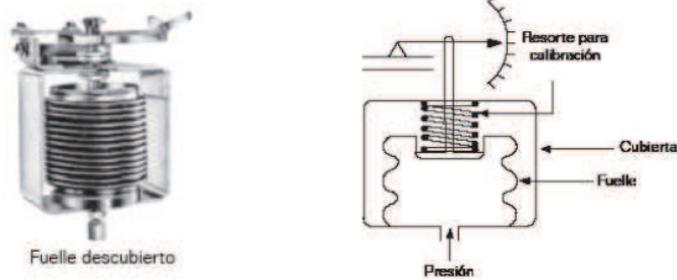
Para lograr mayor sensibilidad del instrumento, se pueden apilar varias cápsulas interconectadas interiormente de tal manera que la presión del proceso hace que todas se expandan o se contraigan con los cambios; así se produce la cantidad de movimiento necesario para dar exactitud en la lectura. La figura, muestra cinco cápsulas apiladas.



Cápsulas en pila

Medición de presión con fuelle

El fuelle tiene el aspecto exterior de un acordeón, con la base y cubierta rígidas. Los cambios de presión en el proceso hacen que se expanda y contraiga el sensor como se muestra en la figura.



Al incrementarse la presión en el interior, el fuelle se expande; la parte superior sube y comprime al resorte y cuando la fuerza hacia arriba desde el interior del fuelle (presión multiplicada por el área de la cubierta), iguala la fuerza que ejerce el resorte hacia abajo, el fuelle deja de expandirse; se emplea con frecuencia para la medición de presión menor a la atmosférica.



A los fuelles descubiertos se les aplica la presión del proceso internamente, la fuerza se ejerce internamente; en los fuelles cubiertos la presión actúa en la parte externa del fuelle y lo comprime al aumentar; en los fuelles opuestos la presión es interna en la medición de presión diferencial, los tres se muestran en la figura.

Los sensores descritos anteriormente (bourdón, fuelle, diafragma y cápsula), son elásticos; es decir, actúan como resortes y se mueven en una dirección al incrementarse la presión y regresan a su forma original cuando disminuye la presión. Este movimiento es predecible y se puede usar para operar un mecanismo con un puntero y una carátula en indicadores locales, de tal forma que un operador pueda leer la presión del proceso.

Si se desea controlar un proceso automáticamente, el indicador de presión deberá contar con un dispositivo transmisor para generar una señal neumática o eléctrica como los que se describen en la siguiente sección para que un controlador en el tablero haga las correcciones adecuadas para mantener a la variable del proceso en el valor deseado.

(37) “Los **medidores de presión absoluta** consisten en un conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido. El material empleado para los fuelles es latón o acero inoxidable. Se utilizan para la medida exacta y el control preciso de bajas presiones, a las que puedan afectar las variaciones en la presión atmosférica. Por ejemplo, en el caso de emplear un vacuómetro para el mantenimiento de una presión absoluta de 50 mm de mercurio en una columna de destilación, el punto de consigna sería de 710 mm, con una presión atmosférica de 760 mm. Si la presión atmosférica cambiase a 775 mm el vacuómetro indicaría: $710 + 15 = 725$ mm con lo cual la presión absoluta en la columna sería controlada a $50 + 15 = 65$ mm, es decir, a un 30 % más de la deseada.

En la medida de presiones de fluidos corrosivos pueden emplearse elementos primarios elásticos con materiales especiales en contacto directo con el fluido. Sin embargo, en la mayoría de los casos es más económico utilizar un fluido de sello cuando el fluido es altamente viscoso y obtura el elemento (tubo Bourdon, por ejemplo), o bien, cuando la temperatura del proceso es demasiado alta. Tal ocurre en la medición de presión del vapor de agua en que el agua condensada aísla el tubo Bourdon de la alta temperatura del vapor”.

Instrumento		Campo de medida	Precisión en % de toda la escala	Temperatura máxima de servicio	Presión estática máxima
Medida Directa	Barómetro cubeta	0.1-3m cda	0.5-1%	Ambiente	6 bar
	Tubo en U	0.2-1.2 m cda	0.5-1%	Ambiente	10 bar
	Tubo inclinado	0.01-1.2 m cda	0.5-1%	Ambiente	10 bar
	Toro pendular	0.5-10m cda	0.5-1%	Ambiente	100-600 bar
	Manómetro campana	0.005-am cda	0.5-1%	Ambiente	Atmosférica
Elásticos	Tubo Bourdon	0.5-6000 bar	0.5-1%	90°C	6000 bar
	Espiral	0.5-2500 bar	0.5-1%	90°C	2500 bar
	Helicoidal	0.5-5000 bar	0.5-1%	90°C	5000 bar
	Diafragma	50mm cda-2 bar	0.5-1%	90°C	2 bar
	Fuelle	100mm cda- 2 bar	0.5-1%	90°C	2 bar

8.6.3. Elementos neumáticos

Como elementos neumáticos consideramos los instrumentos transmisores neumáticos cuyo elemento de medida es de presión adecuado al campo de medida correspondiente. Es obvio que, por ejemplo, un transmisor de 0-20 kg/cm² utilizará un transmisor de equilibrio de fuerzas de tubo Bourdon mientras que uno de 3-15 psi será de equilibrio de movimientos con elemento de fuelle.

8.6.4 Elementos electromecánicos

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente.

El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas.

Resistivos.

Magnéticos

Capacitivos.

Extensométricas.

Piezoeléctricos.

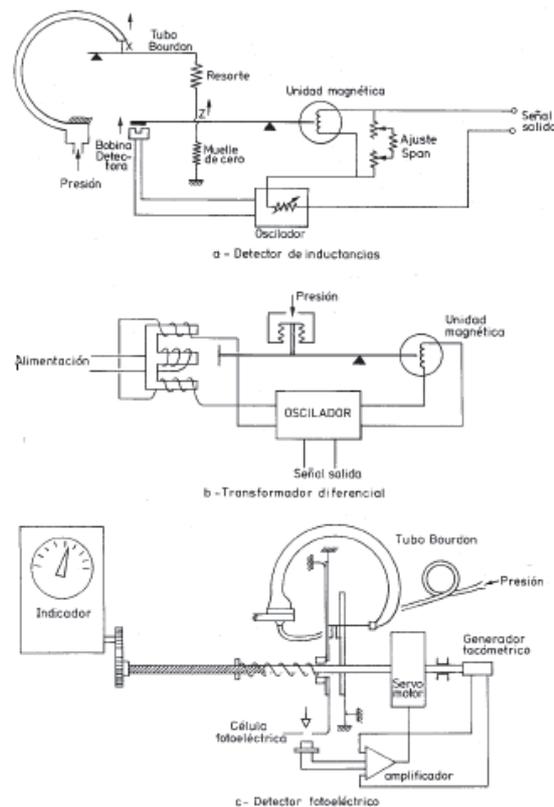
8.6.5. Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas

En este instrumento el elemento mecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle) ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor. Para cada valor de la presión, la barra adopta una posición determinada excitándose un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia, un transformador diferencial o bien un detector fotoeléctrico. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de presiones del proceso.

En el transmisor de equilibrio de fuerzas con detector fotoeléctrico, la barra rígida tiene en su extremo una ventanilla ranurada que interrumpe total o parcialmente un rayo de luz que incide en una célula fotoeléctrica de dos elementos.

Esta célula forma parte de un circuito de puente de Wheatstone autoequilibrado y, por lo tanto, cualquier variación de presión que cambie la barra de posición, moverá la ventana ranurada y desequilibrará el puente. La señal diferencial que se produce en los dos elementos de la célula es amplificada y excita un servomotor. Éste, al girar, atornilla una varilla roscada la cual comprime un resorte de realimentación que a su vez aprieta la barra de equilibrio de fuerzas con una fuerza tal que compensa la fuerza desarrollada por el elemento de presión.

De este modo, el sistema se estabiliza en una nueva posición de equilibrio.



Este transmisor dispone de un contador óptico-mecánico acoplado al servomotor que señala los valores de presión en una pantalla exterior.

Los transductores electrónicos de equilibrio de fuerzas se caracterizan por tener un movimiento muy pequeño de la barra de equilibrio, poseen realimentación, una

elasticidad muy buena y un nivel alto en la señal de salida. Por su constitución mecánica presentan un ajuste del cero y del alcance (span) complicado y una alta sensibilidad a vibraciones y su estabilidad en el tiempo es de media a pobre.

Su intervalo de medida corresponde al del elemento mecánico que utilizan (tubo Bourdon, espiral, fuelle, diafragma) y su precisión es del orden de 0,5 - 1 %.

8.6.6 Transductores resistivos

(38) “Constituyen, sin duda, uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia. Existen varios tipos de potenciómetros según sea el elemento de resistencia: potenciómetros de grafito, de resistencia bobinada, de película metálica y de plástico moldeado. En la figura puede verse un transductor resistivo representativo que consta de un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión. El muelle de referencia es el corazón del transductor ya que su desviación al comprimirse debe ser únicamente una función de la presión y además debe ser independiente de la temperatura, de la aceleración y de otros factores ambientes externos”.

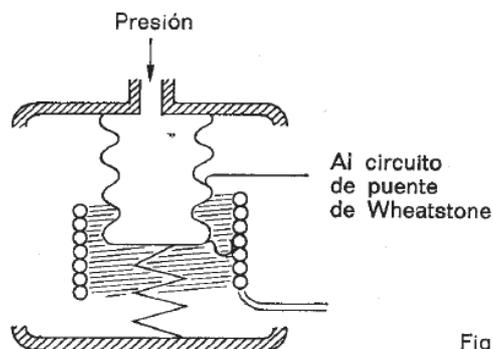


Fig. 3.!

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

Los transductores resistivos son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Sin embargo, son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor, muy sensibles a vibraciones y presentan una estabilidad pobre en el tiempo.

El intervalo de medida de estos transmisores corresponde al elemento de presión que utilizan (tubo Bourdon, fuelle) y varía en general de 0 a 0,1 a 0 a 300kg/cm². La precisión es del orden de 1 al 2 %.

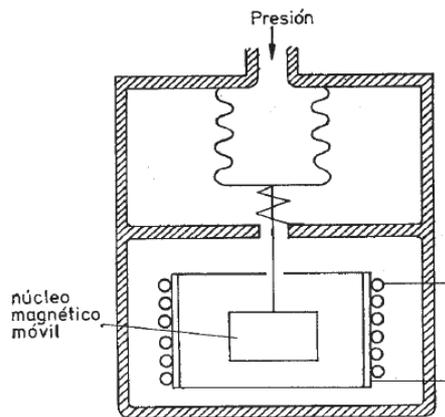
8.6.7 Transductores magnéticos

Se clasifican en dos grupos según el principio de funcionamiento.

a) **Transductores de inductancia variable** en los que el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de ésta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina. El devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la f.e.m. de autoinducción generada se opone a la f.e.m. de alimentación, de tal modo que al ir penetrando el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la f.e.m. de autoinducción.

El transformador diferencial es también un transductor de inductancia variable, si bien, en lugar de considerar una sola bobina con un núcleo móvil, se trata de tres bobinas en las que la bobina central o primaria es alimentada con una corriente

alterna y el flujo magnético generado induce tensiones en las otras dos bobinas, con la particularidad de que si el núcleo está en el centro, las dos tensiones son iguales y opuestas y si se desplaza a la derecha o a la izquierda, las tensiones son distintas.

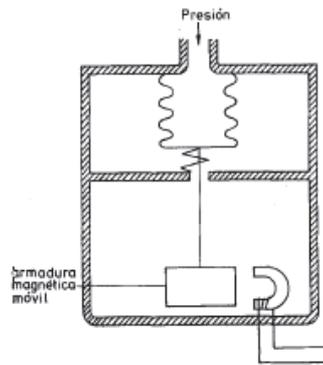


Es decir, que el transformador diferencial es más bien un aparato de relación de inductancias. Los transductores de inductancia variable tienen las siguientes ventajas: No producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje. Su precisión es del orden de + 1 %.

b) **Los transductores de reluctancia variable** consisten en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

El circuito magnético se alimenta con una fuerza magnetomotriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil. El movimiento de la armadura es pequeño (del orden de un grado como máximo en

armaduras giratorias) sin contacto alguno con las partes fijas, por lo cual no existen rozamientos eliminándose la histéresis mecánica típica de otros instrumentos.

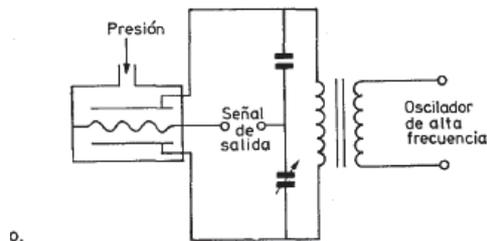


Los transductores de reluctancia variable presentan una alta sensibilidad a las vibraciones, una estabilidad media en el tiempo y son sensibles a la temperatura. Su precisión es del orden de $+ 0,5 \%$.

Ambos tipos de transductores posicionan el núcleo o la armadura móviles con un elemento de presión (tubo Bourdon, espiral) y utilizan circuitos eléctricos bobinados de puente de inductancias de corriente alterna.

8.6.8 Transductores capacitivos

Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas.



De este modo se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

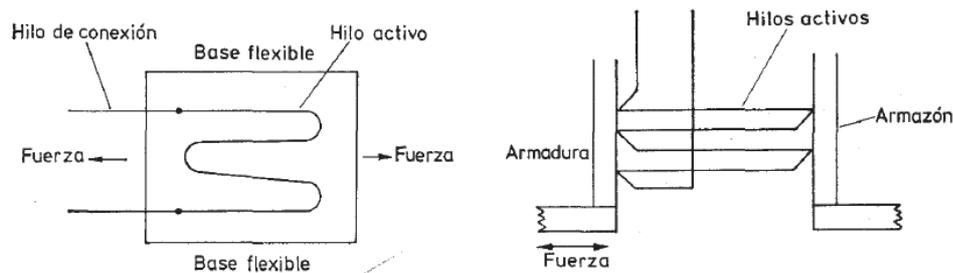
Los transductores capacitivos se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. Su señal de salida es débil por lo que precisan de amplificadores con el riesgo de introducir errores en la medición. Son sensibles a las variaciones de temperatura y a las aceleraciones transversales y precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de c.a. a los que están acoplados.

Su intervalo de medida es relativamente amplio, entre 0.05-5 a 0,5-600 bar y su precisión es del orden de ± 0.2 a ± 0.5 %.

8.6.9. Galgas extensométricas (strain gage)

(39) “Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

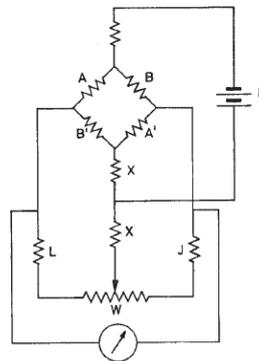
Existen dos tipos de galgas extensométricas: galgas cementadas formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.



En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos.

La galga forma parte de un puente de Wheatstone y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones”.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente. El intervalo de medida de estos transductores varía de 0-0,6 a 0-10 000 bar y su precisión es del orden de $\pm 0,5 \%$.



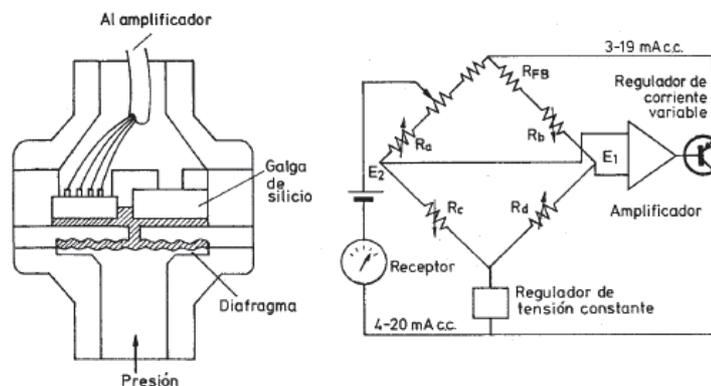
Una innovación de la galga extensométricas la constituyen los transductores de presión de silicio difundido. Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensométrica autocontenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento. Cuando no hay presión, las tensiones E_1 y E_2

son iguales y, al aplicar la presión del proceso R_b y R_c disminuyen su resistencia y R_a y R_d la aumentan dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre E_1 y E_2 .

Esta diferencia se aplica a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA c.c.

Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} y produce una caída de tensión que equilibra el puente. Como esta caída es proporcional a R_{fb} esta resistencia fija el intervalo de medida (span) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente (cero basto) y un potenciómetro en el brazo derecho (cero fino). La adición de un microprocesador permite añadir inteligencia al instrumento al hacer posible funciones adicionales, tales como la compensación de temperatura ambiente, proporcionando un aumento de la precisión de la medida, en particular si la señal de salida del instrumento es enteramente digital en lugar de la analógica de 4-20 mA c.c.

El intervalo de medida de los transductores de silicio difundido varía de 0-2 a 0-600 bar, con una precisión del orden de $\pm 0,2\%$.



Las galgas extensométricas pueden alimentarse con c.c. o c.a. Tienen una respuesta frecuencial excelente y pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas.

Presentan una compensación de temperatura relativamente fácil y generalmente no son influidas por campos magnéticos. Con excepción de las galgas de silicio difundido poseen las siguientes desventajas: señal de salida débil, pequeño movimiento de la galga, alta sensibilidad a vibraciones y estabilidad dudosa a lo largo del tiempo de funcionamiento. La galga de silicio difundido tiene la ventaja adicional de estar en contacto directo con el proceso sin mecanismos intermedios de medición de la presión pudiendo así trabajar correctamente aunque el fluido se deposite parcialmente sobre el diafragma del elemento ya que mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste hace sobre el diafragma.

8.6.10. Transductores piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos (fig. 3.13) son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150°C en servicio continuo y de 230°C en servicio intermitente.

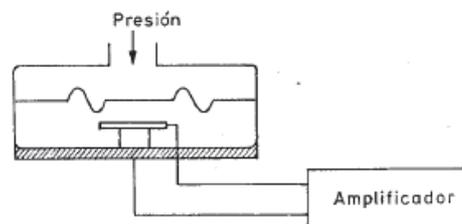


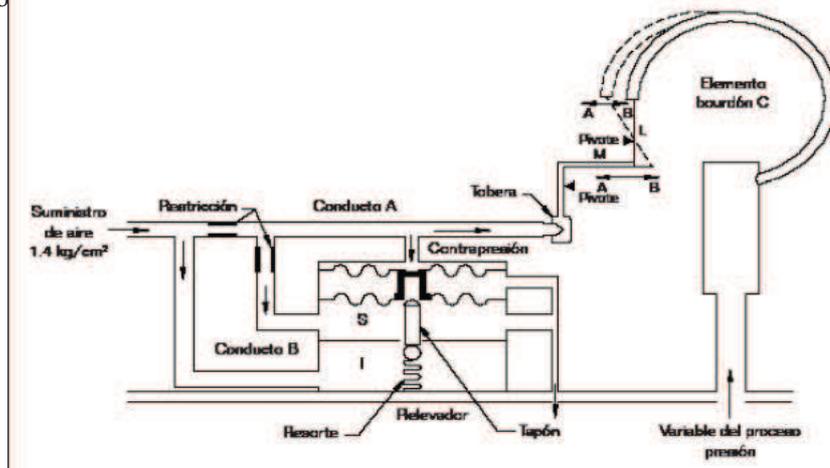
Fig. 3.13 Transductor piezoeléctrico.

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas

dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.

Transductor de presión neumático

(40) “En la figura, se muestra esquemáticamente un transductor (transmisor) neumático de presión con sus partes más importantes: el elemento sensor que en este caso es un tubo bourdón C, el sistema tobera-obturador, el relevador, y los puertos de suministro de aire a presión y de señal de salida



El tubo bourdón se conecta a proceso y los cambios de presión que ocurran, ocasionarán que el tubo tienda a enderezarse o de recuperar su forma original realizando un movimiento mostrado en la flecha A-A', esto hará que el extremo de la barra L se desplace en el sentido de la flecha B-B' y que a su vez desplace la barra M

para que su extremo mueva al obturador O. Este movimiento, hará que el obturador se aleje o se acerque a la tobera”.

Para que el instrumento pueda realizar su función requiere de energía y para ello se suministra aire a la presión de 1.4062 kg/cm^2 (20 psi); el cabezal de suministro se ramifica en los conductos A y B.

El conducto A descarga en la parte inferior I del relevador, y si el tapón está presionado hacia arriba por el resorte, la base tapa el puerto.

El aire por el conducto B pasa por una restricción de 0.1 milímetro y tiene a su vez tres vías: C, D y la tobera. El aire que toma el camino del conducto D pasa por otra restricción de 0.1 mm, descarga en la cámara S y continua hacia la salida del transmisor. El aire que toma el camino del conducto C ejerce presión sobre el diafragma; y el aire que va hacia la tobera escapa en mayor o menor grado dependiendo de lo cercano o lejano que se encuentre el obturador. La tobera tiene un diámetro interno de 0.5 mm y el máximo desplazamiento del obturador con respecto a la boquilla es de 0.02 mm.

Transductor de presión electrónico

Se puede usar un mecanismo similar a los descritos para producir una señal eléctrica.

El movimiento mecánico de los tubos bourdón, fuelle y diafragma se pueden aprovechar para generar una señal eléctrica. Primero se convierte el movimiento mecánico en un cambio de resistencia eléctrica, y después el cambio de resistencia a un cambio en voltaje o corriente eléctrica.

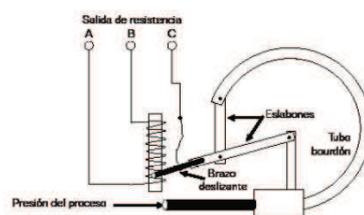
El transductor de presión eléctrico tiene tres elementos básicos:

1. Elemento sensor de presión: tubo de bourdón, fuelle o diafragma.

2. Elemento de conversión primaria: convierte la acción mecánica del elemento sensor, en una señal eléctrica, generalmente un voltaje o una resistencia eléctrica.
3. Elemento de conversión secundaria: circuito electrónico que produce una señal de salida estándar de 4 a 20 miliamperes de corriente directa.

Transductor de presión tipo potenciométrico

El potenciómetro es uno de los elementos de conversión primaria más sencillos pues consiste básicamente en una resistencia variable que es un alambre enredado alrededor de un cilindro aislado. Si se desliza a lo largo del cilindro un contacto móvil, llamado escobilla; como va tocando el alambre en un punto sobre cada vuelta, se irá variando el valor de la resistencia porque variará el largo del alambre entre su extremo y la escobilla. Un enlace mecánico del elemento sensor de presión, ubica la posición de la escobilla sobre el potenciómetro. Algunos potenciómetros son curvos, de tal forma que la escobilla gira en un movimiento circular y no en línea recta, pero de igual manera la posición de la escobilla determina la resistencia del potenciómetro. La figura muestra el diagrama de un transductor de presión potenciométrico. En este caso el elemento sensor mecánico es un tubo de bourdón C; un incremento en presión produce que el tubo de bourdón se enderece parcialmente y este movimiento origina que el enlace mueva la escobilla a través del enrollamiento sobre el potenciómetro. Al moverse la escobilla, incrementa la resistencia entre las terminales A y C.



En la figura se muestra un transductor de presión con un elemento sensor tipo tubo de bourdón helicoidal. El tubo de bourdón se enreda en una hélice alrededor de un vástago, al incrementarse la presión, hace que se desenrede parcialmente el tubo y que el extremo con una escobilla se mueva en un círculo alrededor de un potenciómetro circular originando una señal de salida de 4-20 miliamperes.

Una desventaja de los transductores de presión potenciométricos, es que tienen una resolución limitada; porque como la escobilla toca al alambre en un punto cada espira, o sea que no se desliza continuamente sobre el alambre, el valor de la medición “salta” de espira a espira, por lo que su sensibilidad es mala.

Otra desventaja es que la escobilla va desgastando el alambre por el roce continuo y con el tiempo el transductor debe ser reemplazado. Una tercera desventaja consiste en que cada vez que la escobilla hace o pierde contacto con una vuelta del alambre, se produce una señal eléctrica extra llamada ruido que distorsiona la señal de salida produciendo inexactitud en la medición.

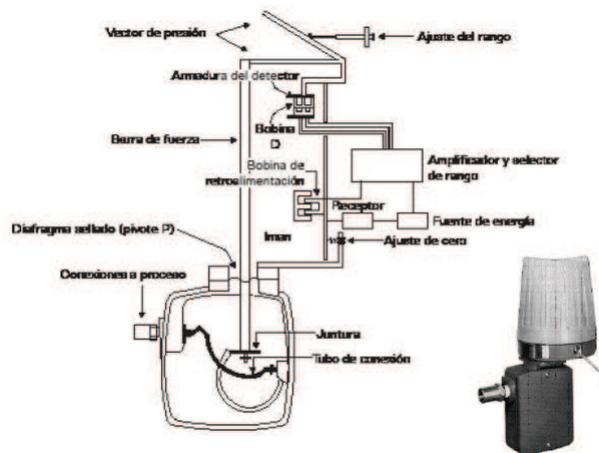
Para que la resistencia cambie de manera continua y no hayan saltos en la medición, algunos potenciómetros se fabrican depositando un material resistivo sobre una superficie de cerámica no conductora. La escobilla se desliza sobre esta superficie, como en un potenciómetro de alambre y la resistencia cambia en forma continua.

Servotransductores de presión

Los instrumentos descritos líneas arriba, por su diseño ocasionan que el elemento sensor: bourdón, fuelle o diafragma se desgasten con el tiempo y pierdan sus características mecánicas; por esta razón se ideó el servotransductor de presión que utiliza un principio diferente a los arreglos anteriores, usa retroalimentación para

reducir el tiempo que el elemento sensor se deforma por los cambios de presión en el proceso. La figura muestra los principales elementos de un transductor de presión que produce una señal de salida eléctrica de 4 a 20 miliamperes de corriente directa, a partir de un tubo de bourdón C conectado a la presión del proceso.

Cuando la presión del proceso aumenta, el tubo de bourdón jala horizontalmente hacia la izquierda a la barra de fuerza. El mecanismo de la barra de fuerza gira en el sello de diafragma en el pivote P, y este movimiento se refleja acercando la armadura del detector a la bobina detectora.

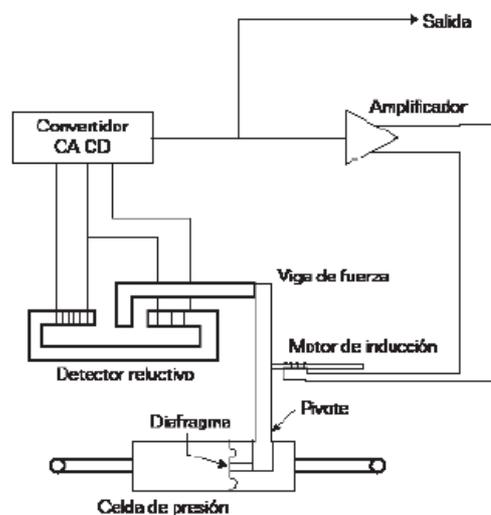


La bobina detectora está conectada a un amplificador que entrega entonces más corriente a la bobina de retroalimentación y como resultado, el imán repele la bobina de retroalimentación con una fuerza mayor. La fuerza repelente se refleja en una fuerza contraria al movimiento original de la barra de fuerza que hace retroceder al tubo bourdón a su posición original, cuando todavía no había sentido cambios de presión en el proceso.

La cantidad de corriente necesaria en la bobina de retroalimentación para mantener el tubo de bourdón en su posición original, es proporcional a la presión del proceso.

Esta corriente se pasa a un amplificador para generar una señal de salida de 4 a 20 miliamperes. La señal de salida que es estándar en los instrumentos electrónicos va a un receptor en el tablero de instrumentos en la sala de control, para registrar, indicar o controlar la presión del proceso.

Un servotransductor de presión también es llamado transductor de presión por balance de fuerzas y muchas celdas de presión diferencial industriales, hacen uso del principio del servotransductor de presión. La figura muestra esquemáticamente un servotransductor de presión, los puertos P1 y P2 se conectan al proceso y los cambios de presión flexionan el diafragma que a su vez mueve el extremo corto de la viga de fuerza que a su vez cambia la posición de un material magnético cercano al detector reluctivo.



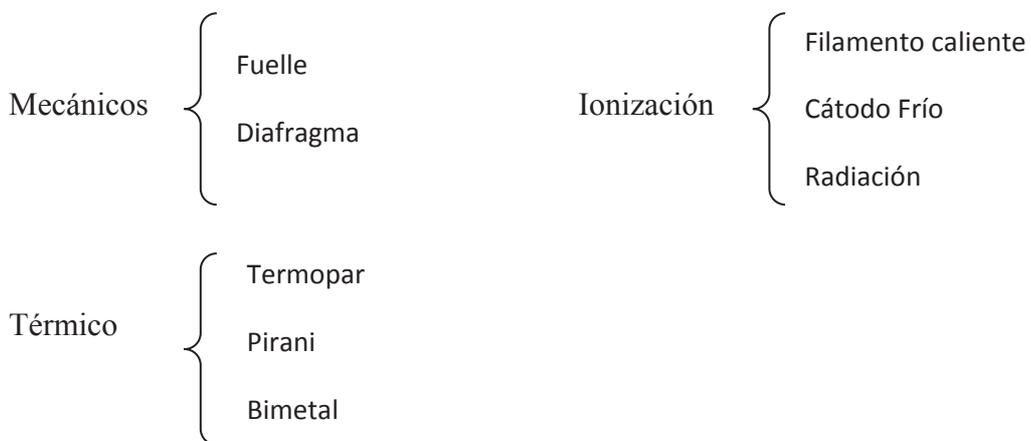
La señal del detector reluctivo pasa por un convertidor de corriente alterna a corriente directa y se bifurca dando: una señal de salida del transmisor y a un amplificador; con esta señal amplificada se activa un motor de inducción para regresar a la viga de fuerza hacia su posición original en una acción llamada de retroalimentación (feedback en inglés). La viga de fuerza mueve a su vez al diafragma regresándolo a su

posición original y con esto se logra que el sensor se desplace muy poco aun operando sobre todo el rango de presión del instrumento, como resultado el diafragma dura más.

En la figura, se ilustra un servotransductor de presión diferencial por balance de fuerza para medición de flujo o de nivel o para rangos de presión bajos, hasta un máximo de 35 kg/cm²; se pueden observar las uniones entre los diafragmas, y el diafragma de medición con su cápsula y la palanca de fuerza; la retroalimentación y los tornillos de ajuste.

8.6.11. Elementos electrónicos de vacío

Los transductores electrónicos de vacío se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:



8.6.12. Transductores mecánicos de fuelle y de diafragma

Trabajan en forma diferencial entre la presión atmosférica y la del proceso. Pueden estar compensados con relación a la presión atmosférica y calibrados en unidades absolutas. Al ser dispositivos mecánicos, las fuerzas disponibles a presiones del gas muy bajas son tan pequeñas que estos instrumentos no son adecuados para la medida

de alto vacío estando limitados a valores de 1 mm Hg. Pueden llevar acoplados transductores eléctricos del tipo de galga extensométrica o capacitivos.

Medidor McLeod

Se utiliza como aparato de precisión en la calibración de los restantes instrumentos. Se basa en comprimir una muestra del gas de gran volumen conocido a un volumen más pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar. La presión del gas se deduce aplicando la ley de Boyle-Mariotte. Su intervalo de medida es de $5 \cdot 10^{-5}$ mm Hg.

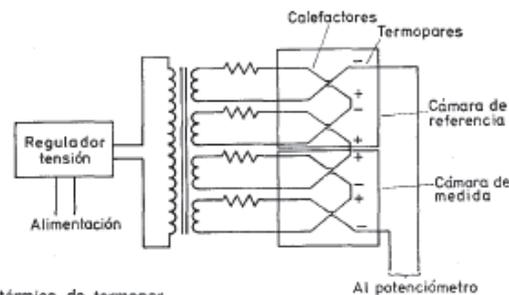


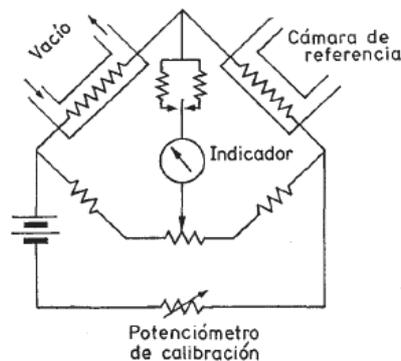
Fig. 3.14 Transductor térmico de termopar.

8.6.13. Transductores térmicos

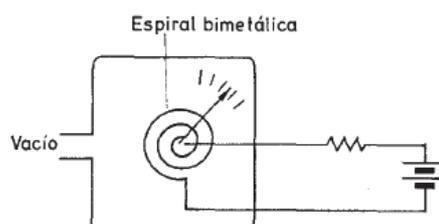
Se basan en el principio de la proporcionalidad entre la energía disipada desde la superficie caliente de un filamento calentado por una corriente constante y la presión del gas ambiente cuando el gas está a bajas presiones absolutas. El transductor térmico de termopar contiene un filamento en V que lleva incorporado un pequeño termopar. Al pasar una corriente constante a través del filamento, su temperatura es inversamente proporcional a la presión absoluta del gas. La f.e.m. generada por el termopar indica la temperatura del filamento y por lo tanto señala el vacío del ambiente. Para compensar la temperatura ambiente se emplea una segunda unidad

contenida dentro de un tubo sellado al vacío. La señal de salida diferencial de los dos termopares es proporcional a la presión.

Las ventajas principales de este tipo de transductor residen en su bajo coste, larga duración y confiabilidad. Tiene el inconveniente de ser sensible a la composición del gas, poseer características no lineales y presentar el riesgo de combustión si se expone a presión atmosférica cuando el filamento está caliente. Su intervalo de medida es de $0,5-10^{-3}$ mm Hg.



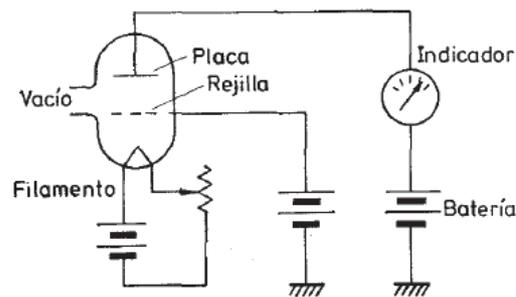
El transductor Pirani, utiliza un circuito de puente de Wheatstone que compara las resistencias de dos filamentos de tungsteno, uno sellado en alto vacío en un tubo y el otro en contacto con el gas medido y que por lo tanto pierde calor por conducción. En este transductor es la resistencia del filamento la que refleja la presión en lugar de ser su temperatura. El transductor Pirani tiene la ventaja de ser compacto y sencillo de funcionamiento, pudiendo estar a presión atmosférica sin peligro de combustión. Tiene el inconveniente de que su calibración depende de la composición del gas medido y de ser altamente no lineal. Su intervalo de medida es de $2-10^{-3}$ mm Hg.



El transductor bimetálico, utiliza una espiral bimetálica calentada por una fuente de tensión estabilizada. Cualquier cambio en la presión produce una deflexión de la espiral, que a su vez está acoplada a un índice que señala en la escala el vacío. Su intervalo de medida es de $1-10^{-3}$ mm Hg.

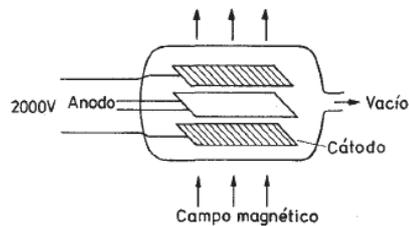
8.6.14. Transductores de ionización

Se basan en la formación de los iones que se producen en las colisiones que existen entre moléculas y electrones (o bien partículas alfa en el tipo de radiación). La velocidad de formación de estos iones, es decir la corriente iónica, varía directamente con la presión.



El transductor de filamento caliente, consiste en un tubo electrónico con un filamento de tungsteno rodeado por una rejilla en forma de bobina, la cual a su vez está envuelta por una placa colectora. Los electrones emitidos por el filamento caliente se aceleran hacia la rejilla positiva, pasan a su través y, en su camino hacia la placa colectora de carga negativa, algunos colisionan con moléculas del gas. La corriente positiva formada es una función del número de iones y, por lo tanto, constituye una medida de la presión del gas. Estos instrumentos son muy delicados y deben manejarse con cuidado. El filamento puede quemarse si se somete accidentalmente a presiones superiores a 1×10^{-3} mm Hg absolutos. Estos transductores son muy sensibles y

capaces de medir vacíos extremadamente altos. Su señal eléctrica de salida es lineal con la presión. Tienen el inconveniente de ser sensibles a la composición del gas, de tal modo que en ocasiones el filamento caliente provoca cambios significativos en su composición entre el volumen medido y el volumen contenido dentro del tubo electrónico. El intervalo de medida de estos transductores es de 10^{-3} a 10^{-11} mm Hg.



El transductor de cátodo frío, se basa en el principio de la medida de una corriente iónica producida por una descarga de alta tensión. Los electrones desprendidos del cátodo toman un movimiento en espiral al irse moviendo a través de un campo magnético en su camino hacia el ánodo. El movimiento en espiral da lugar a que el camino libre medio entre electrones sea mayor que la distancia entre electrodos. Por consiguiente, aumenta la posibilidad de colisiones con las moléculas del gas presente lo que da lugar a una mayor corriente iónica y de este modo la descarga catódica se mantiene a una presión más baja, o sea a un vacío más alto. Este instrumento no puede vaciarse de gases tan rápidamente como el de filamento caliente, pero es más robusto y no presenta el problema de la combustión del filamento. Es susceptible de contaminación por el mercurio y puede provocar la descomposición química de vapores orgánicos a altas tensiones. Su campo de aplicación abarca de 10^{-2} a 10^{-7} mm de Hg con una escala logarítmica.

8.7. OTRAS VARIABLES

En los capítulos anteriores se ha estudiado la medición y transmisión de las variables de proceso más comunes que se encuentran en la industria: la presión, el caudal, el nivel y la temperatura.

Existen otras muchas variables que son también de interés industrial y que pueden clasificarse como físicas y químicas.

(41) “Las **variables físicas** son aquellas relacionadas con las causas físicas que actúan sobre un cuerpo, con su movimiento o bien con las propiedades físicas de las sustancias. Entre ellas estudiaremos: el peso, la velocidad, la densidad y el peso específico, la humedad y el punto de rocío, la viscosidad y la consistencia, la llama, el oxígeno disuelto, la turbidez y la radiación solar.

Las **variables químicas** están relacionadas con las propiedades químicas de los cuerpos o con su composición. Entre ellas se encuentran la conductividad, el pH, redox, y la composición de los gases en una mezcla”.

8.7.1. Variables físicas.

8.7.1.1. Peso

El peso de un cuerpo es la fuerza con que es atraído por la Tierra. La relación entre la masa del cuerpo, es decir, la cantidad de materia que contiene, y su peso viene dado por la expresión en la que

$$P = m \cdot g$$

P = peso

m = masa

g = aceleración debida a la gravedad

Como la masa de un cuerpo es constante y la aceleración de la gravedad varía con el lugar (es de 9,78 en el ecuador y 9,83 en los polos) y también con la altura, es obvio que el peso del cuerpo variará según el lugar de la Tierra y la altura a que esté sobre el nivel del mar. Esto es evidente efectuando la medida con una balanza o resorte. Sin embargo, en una balanza clásica de cruz, la medida se efectúa por comparación con pesos conocidos y como éstos están sometidos también a la misma fuerza de gravitación, la lectura será independiente del lugar donde se realiza la medición. Asimismo, como los demás tipos de básculas se ajustan usualmente con pesos patrón, las medidas realizadas serán también independientes de las variaciones de g con la altura y con el lugar de la Tierra donde estén instaladas. Otro factor que influye en la medición es la diferencia de empuje del aire (por el principio de Arquímedes) sobre el cuerpo y sobre el peso patrón; su influencia es tan pequeña que el error cometido queda comprendido dentro del error normal aceptado en las operaciones de pesaje.

En la industria interesa determinar el peso de las sustancias en las operaciones de inventario de materias primas, de productos finales, en la mezcla de ingredientes, etc.

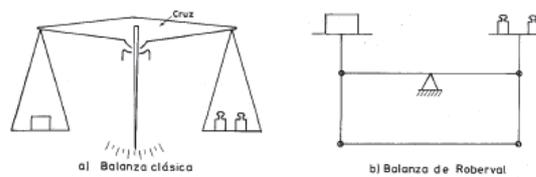
Existen varios métodos para medir el peso:

- a) Comparación con otros pesos patrones (balanzas y básculas).
- b) Células de carga a base de galgas extensométricas.
- c) Células de carga hidráulicas.
- d) Células de carga neumáticas.

La comparación con otros pesos patrones la realizan las balanzas y las 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 balanza de Roberval consiste esencialmente en un paralelogramo articulado que puede oscilar alrededor del punto central del lado superior del paralelogramo, manteniéndose verticales las varillas laterales que soportan los platillos; se caracteriza porque su equilibrio se alcanza independientemente de la posición de los pesos en los platillos. Su campo de medida llega hasta 40 kg y se emplea en las operaciones de llenado o de comprobación de pesos de objetos terminados.

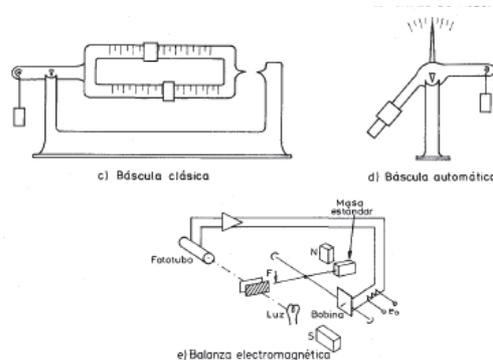
En las figuras a y b pueden verse estos dos tipos de balanzas.



La báscula clásica, (fig. c) consiste esencialmente en una palanca apoyada en un punto de la que cuelgan en un extremo el peso a medir y en el otro que tiene la forma de un rectángulo, dos pesos móviles uno para ajuste basto y el otro para ajuste fino; un fiel indica cuándo la báscula está ajustada. La báscula automática (fig. d) consiste en una palanca en ángulo apoyada en su centro con un peso conocido en un extremo y el 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 del peso.

Las balanzas y las básculas son sencillas y de gran precisión pudiendo alcanzar las primeras del $\pm 0,002$ al $0,05\%$ y las segundas el $\pm 0,1\%$. Sin embargo, presentan los inconvenientes de su lenta velocidad de respuesta, la posible corrosión que ataca al juego de palancas en particular en los puntos de apoyo y que es debida a la suciedad

al polvo, a los vapores y a la humedad presentes en los ambientes industriales y al desgaste de las piezas móviles, lo que redundaría en perjuicio de la precisión de las pesadas.



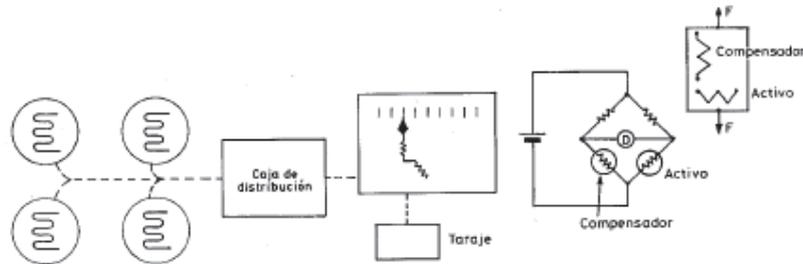
La balanza electromagnética utiliza un sensor de desplazamiento y una bobina de par montados en un servosistema que equilibra un peso patrón y el peso desconocido. La señal eléctrica de salida puede aplicarse a un microprocesador, lo que proporciona una tara automática, unas rutinas estadísticas con cálculo de la media y la desviación estándar de las pesadas y una compensación de la temperatura. Puede añadirse un módulo de comunicaciones para el envío a distancia del valor de la pesada. La precisión típica es de 1 mg en 500 g.

La **célula de carga a base de galgas extensométricas** consiste esencialmente en una célula que contiene una pieza de elasticidad conocida (tal como el 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 galga extensométrica formada por varias espiras de hilo pegado a un soporte de papel o de resina sintética.

La tensión o la compresión a que el peso somete a la célula de carga, hace variar la longitud del hilo metálico y modifica por lo tanto su resistencia eléctrica.

Esta resistencia es igual a:

$$R = \rho \frac{l_0}{A_0} = \rho \frac{l_0 + \Delta l}{A_0 - \Delta A}$$



Siendo:

R = Resistencia del hilo.

l_0 = longitud inicial sin tensión.

Δl = incremento de longitud.

ΔA = incremento de área.

Como el volumen del hilo es constante, antes y después de someterse a tensión, resulta:

$$V_0 = l_0 A_0 = (l_0 + \Delta l) x (A_0 + \Delta A)$$

$$R = \rho \frac{l_0}{A_0} \left(1 + 2 \frac{\Delta l}{l_0}\right)$$

con lo que el cambio de resistencia es:

$$\Delta R = 2R_0 \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)$$

En la realidad se usa el llamado factor de galga igual a :

$$GF = 2R_0 \left(\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}\right)$$

La temperatura influye mucho en la medida. Por ejemplo, el cambio de 1 °C da lugar a una variación de resistencia de: $\Delta R_t = R_0 \Delta t \propto$

Si la resistencia es de 100Ω , el coeficiente $\alpha = 0,004/^\circ\text{C}$, y la relación $\frac{\Delta l}{l_0} = 1000 \mu\text{m/m}$ resulta:

Sin variación de temperatura $\Delta R = 2 \times 100 \times 0.001 = 0.2 \Omega$

Se usan 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. La galga extensométrica de semiconductor cambia de resistencia con la tensión gracias a cambios en la estructura cristalina que varían la movilidad de los electrones.

El factor de galga es mayor que en las galgas metálicas, del orden de -50 a -200. El acondicionador de señal es también un puente de Wheatstone con la posibilidad de añadir un circuito a microprocesador. En los instrumentos de pesaje se aplican las normas metroológicas de la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) que clasifican los aparatos en cuatro categorías:

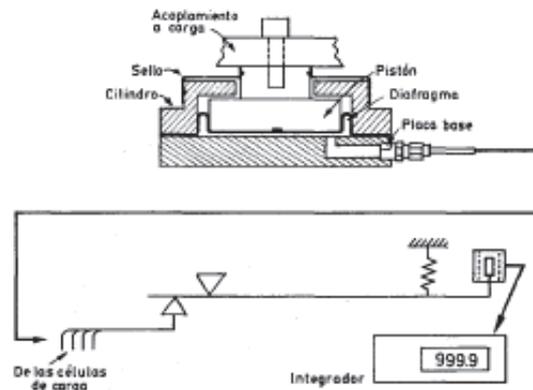
Precisión especial	Clase I
Precisión fina	Clase II
Precisión media	Clase III
Precisión ordinaria	Clase IV

El microprocesador aporta compensación de temperatura al realizar medidas promedio e ignorar los cambios de señal de las células debidos a variaciones de la

temperatura; facilita la carga repetitiva al controlar la diferencia de pesada del contenedor con relación al peso deseado; proporciona la comunicación con el sistema de control del proceso; utiliza código de barras para automatizar la pesada; con inteligencia incorporada puede formar parte del control distribuido; con un montaje adecuado son inmunes a la influencia del viento y a las interferencias electromagnéticas; y con seguridad intrínseca incorporada pueden trabajar en atmósferas explosivas.

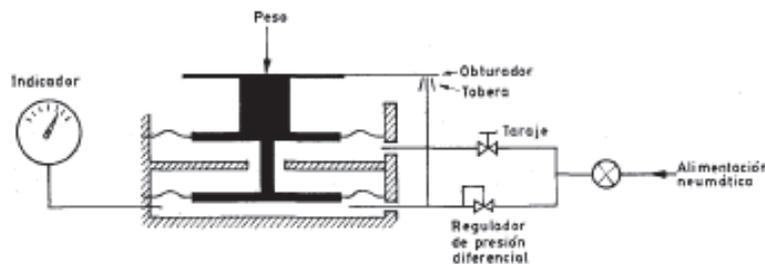
Las células están protegidas contra la humedad y el polvo, tienen una precisión de $\pm 0,2 \%$, admiten indicación a distancia y pueden medir pesos de 20 kg a más de 150 t. Necesitan compensación de temperatura del hilo de resistencia y de la pieza de acero deformable y son relativamente caras.

Las **células de carga hidráulicas**, consisten en un pistón sobre el que se apoya la carga, que ejerce una 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 Bourdon y que por lo tanto refleja directamente la carga. Sumando las presiones hidráulicas de varias células de carga y aplicándolas a 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. Las células de carga hidráulicas se fabrican para unas 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 **células 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.

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 células 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 precisar de aire comprimido de instrumentos.



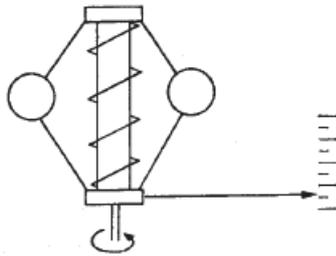
8.7.1.2. Velocidad.

La medición de la velocidad en la industria se efectúa de dos formas: con tacómetros mecánicos y con tacómetros eléctricos. Los primeros detectan el número de vueltas del eje de la máquina por medios exclusivamente mecánicos pudiendo incorporar o no la medición conjunta del tiempo para determinar el número de revoluciones por

minuto (r.p.m.), mientras que los segundos captan la velocidad por sistemas eléctricos. Para usos industriales se suelen utilizar los tacómetros eléctricos porque permiten la transformación directa de la señal para alimentar los instrumentos registradores o controladores de panel. Un caso de aplicación típica lo constituye la medida de la velocidad de giro del eje de una turbina en una central de energía.

8.7.1.2.1. Tacómetros mecánicos.

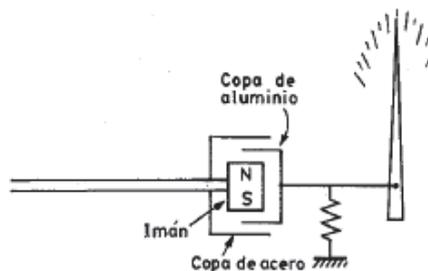
El tacómetro mecánico más utilizado es el típico contador de revoluciones empleado para medir localmente la velocidad de rotación de toda clase de máquinas o dispositivos giratorios. Este contador consiste básicamente en un eje elástico terminado en punta que se apoya sobre el centro de la pieza giratoria. El eje elástico al girar mueve a través de un tren de engranajes dos diales calibrados concéntricos. Cada división del dial exterior representa una vuelta del eje giratorio mientras que en el dial interior una división da una revolución del dial exterior; conocido el tiempo de trabajo del contador, medido mediante un cronómetro, es fácil calcular la velocidad media en r.p.m. Los **tacómetros centrífugos**, se basan en el volante centrífugo clásico empleado inicialmente en las calderas de vapor. Dos pesos rotativos articulados a un eje giratorio aumentan su radio de giro debido a la fuerza centrífuga y comprimen un resorte. La medida de la compresión del resorte leída en una escala representa la velocidad de giro del eje. La velocidad límite que pueden medir estos instrumentos es de más de 40000 r.p.m., con una precisión de $\pm 1\%$. Estos aparatos pueden disponer de transmisión hidráulica o neumática.



8.7.1.2.2. Tacómetros eléctricos

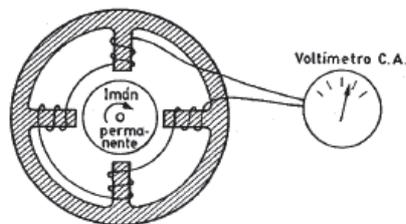
(42) “Los tacómetros eléctricos emplean un transductor que produce una señal analógica o digital como conversión de la velocidad de giro del eje de la máquina. Existen varios tipos de tacómetros según los transductores:

Tacómetro de corrientes parásitas, en el que el eje de la máquina hace girar un imán dentro de una copa de aluminio. El giro del imán induce corrientes parásitas en el aluminio que crean un par resistente proporcional a la velocidad.



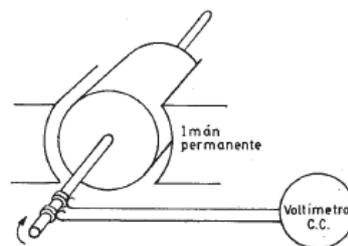
Un resorte frena el cabezal del aluminio quedando éste en una posición que se señala en un dial. De este modo funciona el tacómetro eléctrico empleado en el automóvil; en aviación la máquina hace girar el imán permanente a través de un grupo generador-motor síncronos, mientras que en las máquinas de ferrocarril se utiliza un rotor que produce un campo magnético giratorio”. En otro sistema empleado en la industria el par resistente del cilindro de aluminio se aplica a un sistema neumático de equilibrio de fuerzas. El campo de medida es de 0-15 000 revoluciones por minuto. El tacómetro de corriente alterna consiste en un estator bobinado multipolar en el que el

rotor dotado de imán permanente induce una corriente alterna. Un voltímetro señala la corriente inducida y por lo tanto el giro en r.p.m. del eje de la máquina. En la figura, puede verse este tipo de tacómetro.

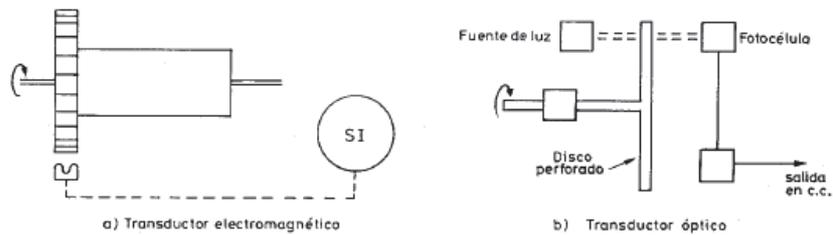


El tacómetro de corriente continua o dínamo tacométrica, consiste en un estator de imán permanente y un rotor con un entrehierro uniforme. La tensión continua recogida en las escobillas del rotor es proporcional a la velocidad en r.p.m. de la máquina. Esta tensión puede leerse en un voltímetro indicador o bien alimentar un instrumento potenciométrico a través de una resistencia divisora de tensión.

La precisión en la medida alcanza $\pm 0,5 \%$ para velocidades que llegan hasta las 6000 r.p.m.



El tacómetro de frecuencia o frecuencímetro, mide la frecuencia de la señal de c.a. captada por transductores del tipo electromagnético, capacitivo u óptico que dan impulsos cuyo número es proporcional a la velocidad de giro de la máquina. El transductor no tiene contacto mecánico con el eje rotativo. La medida de la frecuencia puede pasarse a un contador electrónico basado en la medida de las revoluciones por unidad de tiempo.



Otro modelo de tacómetro de frecuencia mide ópticamente la velocidad. Dispone de un disco opaco perforado periféricamente y acoplado al eje cuya velocidad desea medirse, de una fuente de luz y de una fotocélula. Esta genera una frecuencia dependiente de los impulsos luminosos que pasan a través del disco, es decir, es función de la velocidad.

8.7.2. Densidad y peso específico

La densidad o masa específica de un cuerpo se define como su masa por unidad de volumen, expresándose normalmente en g/cm^3 (o kg/m^3). Como la densidad varía con la temperatura y con la presión (en los gases) se especifica para un valor base de la temperatura que en líquidos suele ser de 0°C o de 15°C y en los gases de 0°C y para un valor estándar de la presión que en los gases es de 1 atmósfera.

La densidad relativa es la relación para iguales volúmenes de las masas del cuerpo y del agua a 4° e en el caso de líquidos, y en los gases la relación entre la masa del cuerpo y la del aire en condiciones normales de presión y de temperatura (0°C y 1 atmósfera). Evidentemente, la densidad relativa no tiene dimensiones. Además hay que señalar que, siendo la densidad del agua a 4°C de 1 g/cm^3 , los valores numéricos de la densidad relativa de un líquido coinciden con los de la densidad.

El peso específico es el peso del fluido por unidad de volumen. Por lo tanto, entre el peso específico y la densidad existirá la relación:

$$\text{peso específico} = \text{densidad} \times g$$

siendo g la aceleración debida a la gravedad. Si el peso específico y la densidad se refieren al agua en el caso de líquidos o al aire en el caso de gases (densidad relativa), como g tiene el mismo valor en el lugar en donde se efectúa la medición, resultará que el peso específico relativo será igual a la densidad relativa. Por esto en el lenguaje vulgar suelen tomarse como sinónimos:

$$\text{peso específico} = \text{densidad} \times g$$

$$\text{peso específico agua} = \text{densidad agua} \times g$$

Otras unidades de medida de densidad son las siguientes:

Grados API equivalen a $\frac{141.5}{\text{densidad relativa a } 15^{\circ}\text{C}} - 131.5$ y están normalizados por el

American Petroleum Institute para productos petrolíferos.

Grados Baumé empleados para ácidos, jarabes, etc., que equivalen

a: $\frac{140}{\text{densidad relativa a } 15^{\circ}\text{C}} - 130$, para líquidos más ligeros que el agua;

: $145 - \frac{145}{\text{densidad relativa a } 15^{\circ}\text{C}}$, para líquidos más pesados que el agua.

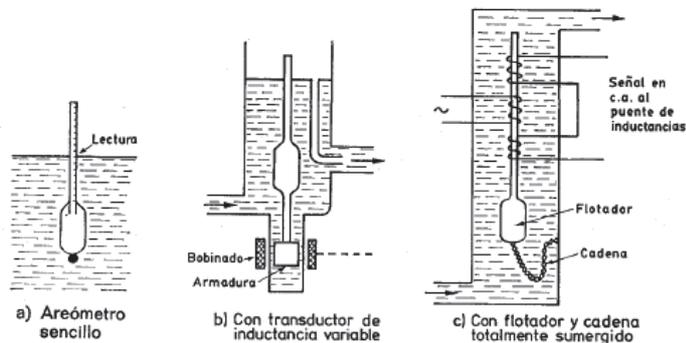
Grados Brix empleados casi exclusivamente en la industria azucarera. Representan el tanto por ciento en peso de azúcar en solución a $17,5^{\circ}\text{C}$.

En los procesos industriales la densidad es una variable cuya medida es a veces vital. Tal es el caso de la determinación de la concentración de algunos productos químicos como el ácido sulfúrico, la medida exacta del caudal en gases o vapores que viene influida por la densidad, la medida de la densidad en un producto final que garantiza las cantidades de los ingredientes que intervienen en la mezcla, etc.

Entre los diversos métodos de medida de densidad figuran los que siguen.

8.7.2.1. Areómetros

Los areómetros, consisten en un flotador lastrado en su parte inferior con un vástago superior graduado. El aparato se sumerge hasta que su peso es equilibrado por el líquido que desaloja hundiéndose tanto más cuanto menor sea la densidad del líquido. Puede graduarse en cualquiera de las unidades anteriores. Incorporándole un transductor de inductancia variable con la armadura fija en la parte inferior del flotador y con la bobina dispuesta en el exterior del recipiente es posible transmitir eléctricamente a distancia la densidad, siempre que se mantenga una altura constante del líquido con un rebosadero (fig. b). Una variante del areómetro anterior (fig. c) consiste en un flotador con un lastre en forma de cadena sujeta a un punto fijo del recipiente. El flotador está completamente sumergido dentro del líquido y según su densidad se sumerge más o menos variando proporcionalmente el peso efectivo de la cadena. Un transformador diferencial capta la posición del flotador y da una señal de salida en c.a. función de su desplazamiento. Para compensar las variaciones de densidad causadas por los cambios de temperatura en el fluido se utiliza una sonda de resistencia que se conecta al receptor eléctrico de puente de inductancias de corriente alterna. La precisión general de los areómetros es de ± 1 a ± 3 % y admiten presiones y temperaturas máximas de servicio de 6-8 bar y 120-230°C respectivamente. Las viscosidades inferiores a 50 centipoises no influyen en la lectura. A viscosidades superiores, o con caudales elevados, conviene trabajar con un caudal intermitente para así captar la posición del flotador durante los períodos de flujo nulo. Su campo de medida de densidad relativa es de 0,5 a 4 y disponen de compensación de temperatura. Son aptos para trabajar con líquidos limpios.



8.7.2.2. Métodos de presión diferencial.

En este sistema se fijan dos puntos en el tanque o en una tubería vertical del proceso y se les conecta un instrumento de presión diferencial, bien directamente o bien a través de una cámara de medida. Como la diferencia de alturas en el líquido es fija, la única variable que altera la presión diferencial es la densidad. En la figura puede verse un esquema de funcionamiento. La presión diferencial medida por el instrumento es:

$$P = h\gamma g$$

Si el campo de medida de densidad del líquido es de 0.8 a 0.9 y el instrumento a emplear tiene un margen de 0-100 mm c.a. la distancia entre las tomas, será:

$$h = \frac{100g}{(0.9 - 0.8)1000 g} = 1m$$

Como la lectura de densidad debe empezar en 0,8 el instrumento debe tener una elevación de

$$100 \times 0.8 = 80 \text{ mm c.d.a} = 0,00784 \text{ bar}$$

ya que la presión diferencial mínima es:

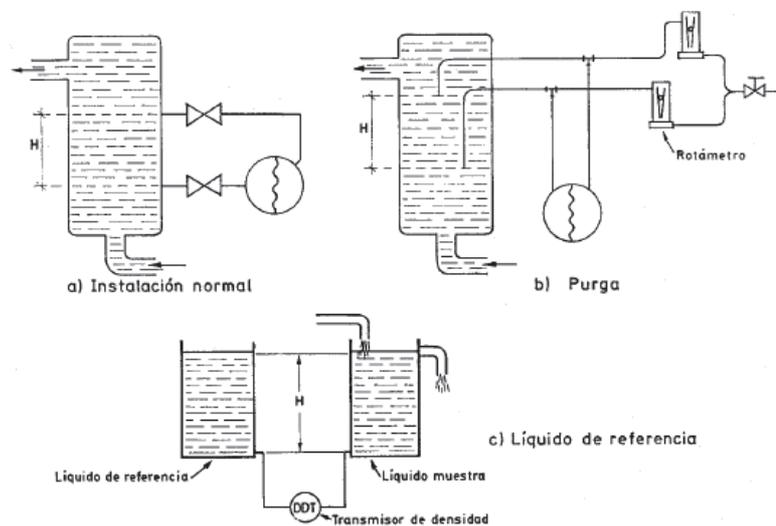
$$1m \times 0.8 = 800 \text{ mm c.d.a} = 0,0784 \text{ bar}$$

y la presión diferencial máxima es de

$$1\text{ m} \times 0,9 = 900\text{ mm c.d.a} = 0,0882\text{ bar}$$

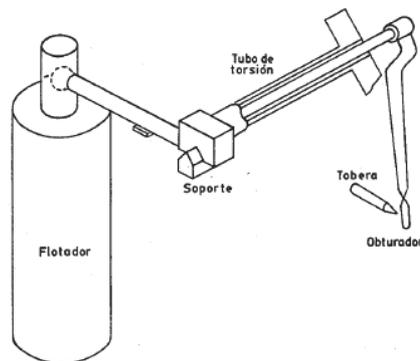
En el caso de fluidos no demasiado limpios, muy viscosos o corrosivos, existe el riesgo de que las conexiones al instrumento se obturen o se destruyan. En este caso puede emplearse el sistema de purga de aire o de gas e incluso de líquido (fig. b) a través de dos tuberías colocadas en el seno del líquido y cuyos extremos están separados una distancia fija. En el ejemplo anterior esta separación sería de 1 m y el instrumento debería disponer de un resorte de elevación ajustado a 80 mm de c. de a.

En otro sistema utilizado en cámaras de medida a presión atmosférica se llena el ramal de menor presión del instrumento con un líquido de altura constante, que sirve como referencia (fig. c), cuya densidad puede ser mayor o menor que la del líquido de proceso. Estos instrumentos de presión diferencial tienen una precisión de 0.5-1 % y pueden trabajar con presiones y temperaturas de 300 bar y 1700 °C respectivamente.



8.7.2.3. Método de desplazamiento

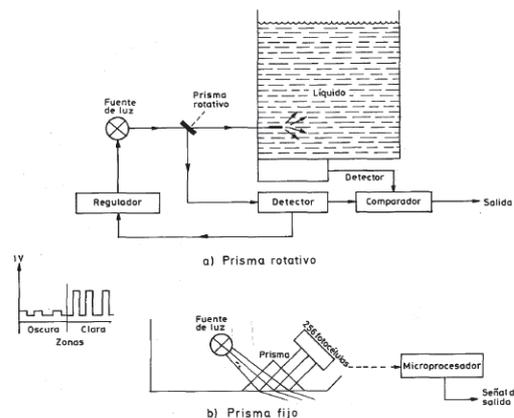
En este sistema se emplea un instrumento de desplazamiento o barra de torsión parecido al utilizado en la medición de nivel de líquidos. El flotador está totalmente sumergido en el líquido y está equilibrado exteriormente para que el par de torsión desarrollado represente directamente la densidad del líquido. El método de desplazamiento tiene una precisión de + 1 % con una amplitud de medida de densidad que puede llegar hasta un mínimo de 0,005. Las presiones y temperaturas de servicio alcanzan los 40 kg/ cm² y 200°C. Este sistema puede emplearse en líquidos limpios no siendo adecuado en los líquidos pegajosos o que tengan sólidos en suspensión ya que podrían adherirse al flotador y falsear la medida.



8.7.2.4. Refractómetro

Los refractómetros se utilizan en los fluidos limpios. El modelo de prisma rotativo (fig. a) consiste en una fuente luminosa de filamento de tungsteno que incide en el líquido con un ángulo determinado tal que la reflexión de luz pase a refracción. El haz luminoso se enfoca en un prisma rotativo que barre el líquido del proceso. La refracción que se presenta cuando el rayo luminoso incide con el ángulo crítico se detecta con una célula fotoeléctrica y la señal es amplificada para su registro o control correspondiente. El índice de refracción puede relacionarse con la concentración de

sólidos del líquido, es decir, inferencialmente con la densidad. Una variante de este modelo barre el líquido del proceso con un haz luminoso transmitido a través de fibras ópticas sumergidas en el líquido. La luz que sale de la fibra es tanto mayor, y tanto menor la que alcanza el detector, cuanto más próximo sea el índice de refracción del líquido al de la fibra. En el modelo de prisma fijo, el ángulo crítico viene determinado por la relación entre la zona sombreada/zona clara de un detector que capta la luz reflejada a través de un prisma. El detector óptico está formado por 256 fotocélulas que envían trenes de impulsos. El número de impulsos altos corresponde a la zona clara de la imagen, y por lo tanto define la posición del borde sombreado. Un microprocesador compensa las variaciones de temperatura, linealiza la señal y entrega como señal de salida las unidades de concentración del fluido. Los refractómetros no son influidos por los sólidos no disueltos ni por el aire en disolución. Su campo de medida mínimo es de 0,004 y su precisión es de 0,0001 g/cm³. Los líquidos pegajosos o con sólidos en suspensión pueden recubrir el prisma y éste precisa entonces de una limpieza periódica que puede ser automática con vapor de agua intermitente. Se emplean en evaporadores, en la concentración de licor negro en la industria papelera etc.



8.7.2.5. Método de radiación

El método de radiación se basa en la determinación del grado con que el líquido absorbe la radiación procedente de una fuente de rayos gamma. La radiación residual es medida con un contador de centelleo que suministra pulsos de tensión, cuya frecuencia es inversamente proporcional a la densidad. La intensidad de la radiación residual captada a través del fluido es:

$$I = I_0 \rho - \mu \rho l$$

en la que:

I_0 = radiación de la fuente.

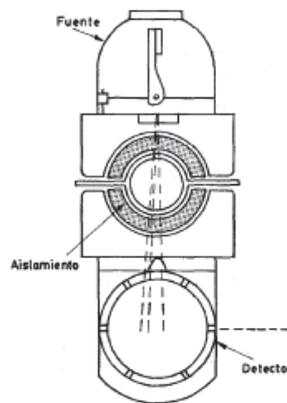
μ = coeficiente de atenuación del fluido.

ρ = densidad del fluido.

l = longitud de la radiación

La fuente de radiación utilizada industrialmente es principalmente el cesio 137 de vida media 30 años (también se emplea en casos especiales el americio 241 de vida media 458 años). Como el coeficiente de atenuación del fluido μ permanece constante para todos los elementos de peso atómico comprendido entre 2 y 30, y la longitud de la radiación es constante, se sigue que la intensidad de radiación residual es directamente proporcional a la densidad del fluido. Físicamente, el instrumento consiste en una tubería o en un tanque a cuyo través pasa el líquido, con la fuente blindada dispuesta en la parte exterior de la tubería o del tanque y con el receptor de la radiación instalado en la parte opuesta. Las conexiones eléctricas del receptor van a un registrador o controlador situado en el panel de control. El instrumento dispone de compensación de temperatura, de linealización de la señal de salida, y de reajuste de

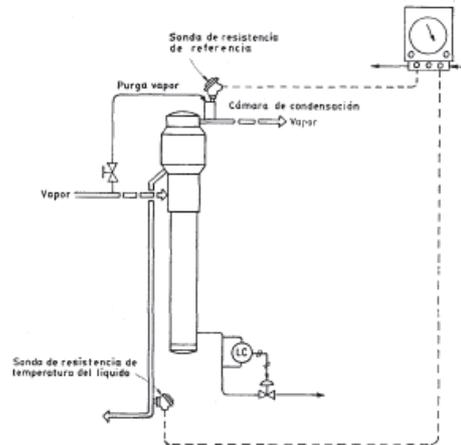
la pérdida de actividad de la fuente de radiación, extremo este último a tener en cuenta para conservar la misma precisión de la puesta en marcha. Como desventajas en su aplicación figuran el blindaje de la fuente y el cumplimiento de las leyes sobre protección de radiación, que en nuestro país están reglamentadas por la Junta de Energía Nuclear. La precisión en la medida es de $\pm 0,5$ a ± 2 % y el instrumento puede emplearse para todo tipo de líquidos ya que no está en contacto con el proceso. Su lectura viene influida por el aire o por los gases disueltos en el líquido.



8.7.2.6. Método de punto de ebullición

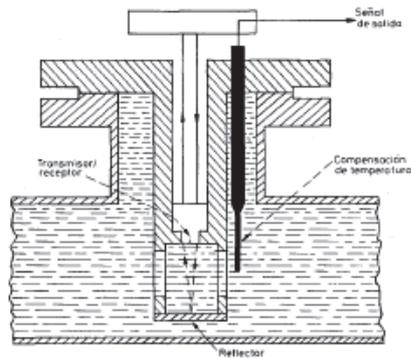
En este sistema que puede verse en la figura, se mide la diferencia de temperaturas entre el punto de ebullición del líquido que se está concentrando y el punto de ebullición del agua en las mismas condiciones de presión. Esta diferencia de temperaturas es función de la densidad del líquido y se mide mediante sondas de resistencia inmersas una en el líquido y la otra en agua, conectadas a un instrumento diferencial de puente de Wheatstone graduado directamente en densidad. El agua a la misma presión que el líquido se obtiene con una purga de vapor conectada a una pequeña cámara de condensación donde se encuentra la sonda de resistencia; esta cámara está instalada en la tubería de salida del vapor del líquido.

El método de punto de ebullición se emplea con preferencia en los evaporadores.



8.7.2.7. Medidor de ultrasonidos

(43) “Mide la velocidad del sonido dentro del fluido e inferencialmente calcula su densidad. La medida se realiza disponiendo el conjunto emisor-receptor de ultrasonidos inmerso dentro del líquido o exterior al tanque o a la tubería. Las variaciones de la velocidad del sonido son provocadas por cambios en la densidad, que varían el acoplamiento acústico entre los transductores y el fluido, pero además pueden ser factores perturbadores, los cambios en la temperatura, que debe ser compensada, y las variaciones en la viscosidad y en la compresibilidad, por lo que la medida queda restringida a una familia de líquidos de similares características. Por otro lado, si la velocidad de flujo del fluido es importante, las dos velocidades opuestas del sonido desde el emisor al receptor y del receptor al emisor son distintas, y aparece como complicación adicional las variaciones de frecuencia debidas al efector Doppler. Para compensar debidamente este efecto, es necesario efectuar una medida adicional de la velocidad en otra dirección. En la figura, puede verse un esquema de este tipo de medidor”.



8.7.2.8. Medidores inerciales

Los medidores de inercia se basan en aprovechar la variación de la masa inercial de una masa inmersa en el fluido al entrar la misma en vibración dentro de una cámara de volumen constante. Las variaciones de densidad del fluido contribuyen a una carga inercial de la masa, variando su masa efectiva. Como la frecuencia natural de un elemento depende de su masa efectiva, se sigue que midiendo la frecuencia natural o resonancia de la masa inmersa, se tendrá una medida correlacionada de la densidad del fluido. La temperatura medida del fluido debe compensarse. La fórmula de cálculo correspondiente es:

$$p_0 = k_0 + k_1 \cdot T k_2 T^2$$

en la que:

p_0 = Lectura de densidad del aparato

$k_0 k_1 \cdot k_2$ = Constantes de calibración de cada aparato

T = Período natural (inverso de la frecuencia natural)

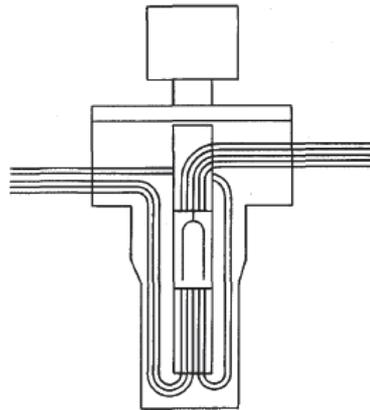
El circuito de medida incorpora un cristal piezoeléctrico para detectar la frecuencia natural en el estado de resonancia de la masa, y ésta se mantiene continuamente en dicho estado gracias a un circuito de control.

El sistema sirve tanto para la medición de densidad en líquidos como en gases.

Existen varios tipos de medidores inerciales:

El medidor de torsión consiste en dos cilindros huecos dispuestos en una tubería donde circula el fluido. La excitación y la detección de la frecuencia de resonancia son proporcionadas por activadores y sensores piezoeléctricos.

En el método de horquilla (fig.a) la masa en vibración tiene forma de horquilla y la aspiración del fluido (líquido o gas) tiene lugar mediante una bomba auxiliar a través de un by-pass. El sistema debe aislarse perfectamente para que las condiciones de servicio de temperatura correspondan exactamente a las del fluido. La precisión del sistema es del orden de $\pm 0,2 \%$.



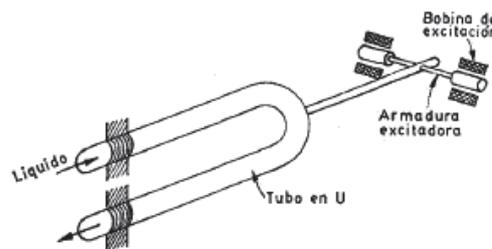
El método de tubo en U, consiste en un tubo que tiene forma de U que incorpora una armadura rígida situada dentro del campo de una bobina excitadora alimentada por una corriente pulsante. La vibración que el tubo experimenta es función de la masa del fluido contenida en el tubo y, por lo tanto, de su densidad. La excitación electromagnética correspondiente hace que el tubo vibre a su frecuencia natural:

$$f = 2 \left(\frac{C}{M_0 + V_0 \rho} \right)^{1/2}$$

f	= Frecuencia de la vibración
M_o	= Masa del tubo
V_o	= Volumen en vibración
C	= Constante de elasticidad
p	= Densidad a medir

La medida es compensada según la temperatura real del fluido a su paso a través del tubo. La vibración induce una corriente alterna en una bobina receptora y esta corriente es convertida a una señal de corriente continua y enviada a un controlador o registrador.

La precisión de medida del instrumento alcanza $\pm 0,0001 \text{ g/cm}^3$ y puede trabajar a unas presiones y temperaturas máximas de 50 kg/cm^2 y 150°C con fluidos viscosos y corrosivos gracias al material del tubo en U. Algunos fluidos tienen tendencia a recubrir el tubo a pesar de la vibración a que está sometido y obligan a parar el proceso para limpiar



8.7.2.9. Humedad y punto de rocío

Las variables humedad y punto de rocío son de extraordinaria importancia en la industria y se utilizan en el acondicionamiento de aire, en atmósferas protectoras empleadas en tratamientos térmicos, en secadores y humidificadores, en la industria textil, en la conservación de fibras, etc.

Varios términos se emplean al hablar de humedad o punto de rocío en el aire o en los gases:

Humedad absoluta. Cantidad de agua en kg por kg de aire seco.

Porcentaje de humedad. Cociente multiplicado por 100 entre la cantidad en kg del vapor de agua contenido en 1 kg de aire seco y la cantidad en kg del vapor de agua contenida en 1 kg de aire seco si el aire está en condiciones de saturación.

Humedad relativa. Es el cociente entre la presión parcial del vapor de agua a una temperatura t_o y la presión total del vapor a saturación y a la misma temperatura t_o . Equivale al porcentaje de humedad.

Temperatura seca. Temperatura del aire medida con un termómetro con el bulbo seco, es decir, en contacto directo con la atmósfera.

Temperatura húmeda. Es la temperatura de equilibrio dinámico alcanzado por una superficie húmeda cuando se la expone al aire. Puede medirse con un termómetro cuyo bulbo está en ambiente de saturación lo que se consigue envolviéndolo con un paño que se mantiene húmedo continuamente (bulbo húmedo).

Punto de rocío. Es la temperatura límite a la que el vapor de agua existente en el aire o en el gas se condensa pasando al estado líquido. En los sólidos, la humedad puede venir expresada en varias formas:

Contenido de humedad. Expresado en tanto por ciento, es la cantidad de agua existente en las sustancias sólidas por unidad de peso o de volumen del sólido seco o húmedo. El término se aplica con preferencia en relación al sólido seco, es decir, viene expresado en base seca.

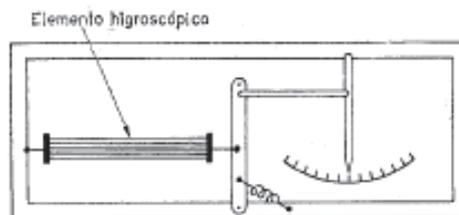
Contenido de humedad comercial. Contenido de humedad expresado en kilogramo de agua por kilogramo del material al salir éste del proceso de secado.

8.7.2.10. Humedad en aire y gases

En la determinación de la humedad en el aire y en los gases pueden emplearse varios métodos:

Método de elemento de cabello (o nailon). Se basa en la expansión o contracción lineal que son características de los materiales sensibles a las variaciones de humedad, tales como los cabellos naturales o de fibra de nailon.

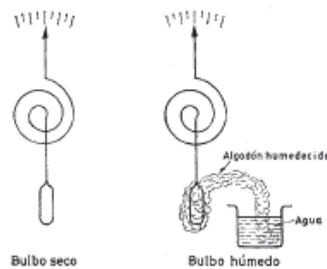
En la figura, se puede observar el funcionamiento de dichos instrumentos. Su precisión es del orden de ± 3 a ± 5 % y su campo de medida de 15 a 95 % H. R.



Bulbo seco y bulbo húmedo. Este instrumento se basa en la captación de la temperatura ambiente o seca y de la temperatura húmeda, mediante dos termómetros, uno seco y otro con su bulbo constantemente humedecido.

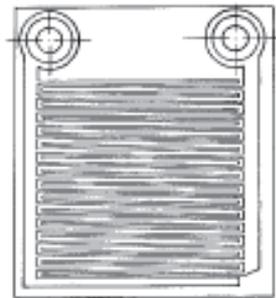
Observando en el diagrama psicométrico las temperaturas del bulbo seco y del bulbo húmedo sobre las líneas correspondientes, se obtiene por intersección la humedad relativa. En lugar de consultar el diagrama psicométrico para cada lectura puede utilizarse un instrumento que mida directamente la temperatura diferencial entre los dos bulbos, seco y húmedo respectivamente, con lo que el índice o la pluma de registro del instrumento indicará directamente la humedad relativa.

El instrumento tiene la ventaja de dar una gran precisión cuando la humedad relativa está próxima a la saturación, con lo que permite el uso de aparatos con un campo de medida muy estrecho a la H.R. próxima a 100 %. A H.R. menor de 20 % su precisión es pobre. Por otro lado, su uso es desaconsejado en pequeñas cámaras, ya que el agua del bulbo húmedo se incorpora al ambiente y falsea la lectura.



Célula de cloruro de litio. La célula de cloruro de litio para medir la humedad relativa puede verse en la figura y consiste en una célula embebida en cloruro de litio con una rejilla de láminas de oro. La sal tiene la propiedad de variar considerablemente de resistencia al aumentar o disminuir la humedad ambiente ya que libera o absorbe iones de la película soporte. Como la humedad relativa viene determinada simultáneamente por el contenido de la humedad y por la temperatura del aire, es obvio que es necesario compensar ésta. En la figura b, puede verse un gráfico resistividad H. R. en función de la temperatura ambiente. La proporción de la sal de cloruro de litio en la película que recubre la célula determina el campo de medida de la humedad; cuanto más alta sea la proporción de la sal tanto más bajo será el campo de medida. El elemento no puede utilizarse en atmósferas con mucho polvo, con dióxido de azufre, vapores ácidos, amoníaco, cloro, vapores alcalinos, acetileno, óxido de etileno y atmósferas contaminadas con sal.

El elemento envejece, disminuyendo su indicación en 1 a 2 % por año. La precisión suele ser de ± 2 a ± 3 % de humedad relativa y el elemento puede medir de 5 a 95 % de H. R.



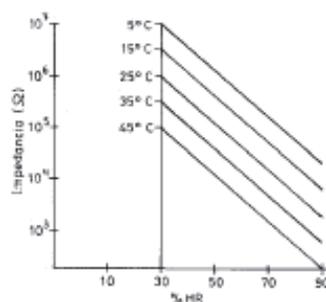
a) Célula de cloruro de litio

Sensor de polímero

El sensor está formado por una rejilla conductora con una base de poliestireno tratada con ácido sulfúrico. La variación de humedad ambiente (30 a 90 % H. R.) cambia la resistencia de la superficie del sensor, debido a que el radical sulfato (SO_4) libera o absorbe los iones hidrógeno (H^+) procedentes de la humedad del ambiente.

En la figura pueden verse las curvas de impedancia según la temperatura de trabajo.

Se utilizan compensadores de temperatura y el sensor está conectado a un puente de Wheatstone.



c) Gráfico sensor de polímero

8.7.2.11. Humedad en sólidos

En la determinación de la humedad de los sólidos se emplean varios métodos:

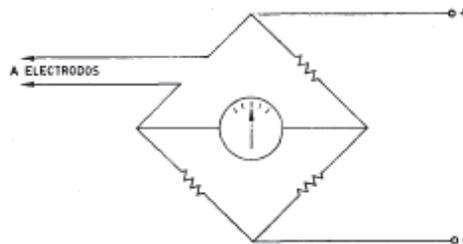
Secado térmico que es el método más antiguo; se emplea normalmente como comprobación de los demás sistemas. Consiste en aplicar calor al material en estado sólido, granular, fibroso e incluso en forma líquida hasta que no puede liberarse más agua a no ser que se aumente la temperatura. El agua se evapora mientras su presión de vapor dentro del material es mayor que la del aire del horno que le rodea; de este modo pueden mejorarse las condiciones de secado trabajando a temperaturas altas y manteniendo baja la humedad dentro del horno (con sustancias absorbentes del agua o en hornos al vacío). La muestra del producto debe mantenerse un cierto tiempo a la temperatura de secado para llegar a un equilibrio de humedad en su interior, pudiendo variar este tiempo de 2 horas a 15 horas. El método de secado es fácil de realizar, pero tiene el inconveniente del excesivo tiempo que requiere y no distingue entre la humedad y las materias volátiles que el cuerpo puede contener o que puedan producirse por descomposición térmica. No obstante, el método correctamente realizado permite comprobar los demás sistemas de determinación de humedad.

El método de conductividad se basa en la medida de la conductividad de una muestra del producto al pasar una corriente a través de los electrodos en contacto con el mismo. Estos electrodos forman parte de un puente de Wheatstone con la indicación, el registro o el control de la humedad.

El método da buenos resultados y es repetitivo. Sin embargo, la lectura viene influida considerablemente por el estado de la superficie de contacto de los electrodos, por la presión de los mismos en el material, por la temperatura, etc. En particular en los materiales de alta resistividad como el papel. El método de capacidad se basa en la

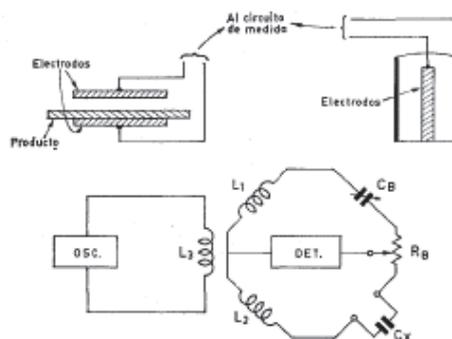
variación de la constante dieléctrica que el material experimenta entre el estado húmedo y el estado totalmente seco.

Por ejemplo, en el caso del papel, la variación puede estar entre 2.8 al salir del horno y 80 que es la constante dieléctrica del agua.



Los electrodos que constituyen las placas de un condensador cuyo dieléctrico es el material cuya humedad ha de medirse forman parte de un oscilador de radiofrecuencia cuya salida alimenta un puente de medida de capacidades.

El sistema se emplea en materiales con un contenido de humedad menor de 20 a 25 % y es independiente de la presión del contacto de los electrodos o de los cambios en la temperatura.



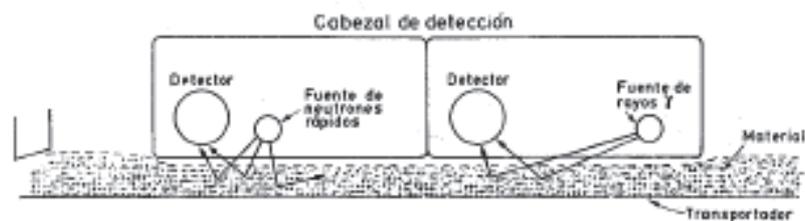
Método de infrarrojos

En el método de infrarrojos aplicado preferentemente en la fabricación del papel, una fuente de rayos infrarrojos emite un haz de rayos hacia la superficie del material cuya humedad desea medirse. La onda emitida está seleccionada de tal forma que el agua

contenida en el producto absorbe la máxima radiación infrarroja mientras que la celulosa absorbe el mínimo. De este modo, un detector capta la radiación que atraviesa el material e indica la humedad correspondiente. Para que la medida sea independiente de la capa de aire intercalada entre el emisor, el material y el detector, de las variaciones de espesor del material y de su posición relativa entre el emisor y el detector, se acostumbra a utilizar otra fuente adicional que actúa como referencia. El conjunto emisor-detector suele ser móvil para de este modo explorar toda la banda de papel.

Método de radiación

En el método de radiación, una fuente de neutrones de alta energía se dirige contra el material del proceso y parte de la radiación emitida es reflejada principalmente por los átomos de hidrógeno existentes en las moléculas del material. Como el hidrógeno está asociado químicamente con el agua, es posible determinar muy exactamente la humedad del material. El método es caro, requiere una supervisión de seguridad y una comprobación periódica de la fuente de neutrones.



8.7.2.12. Punto de rocío

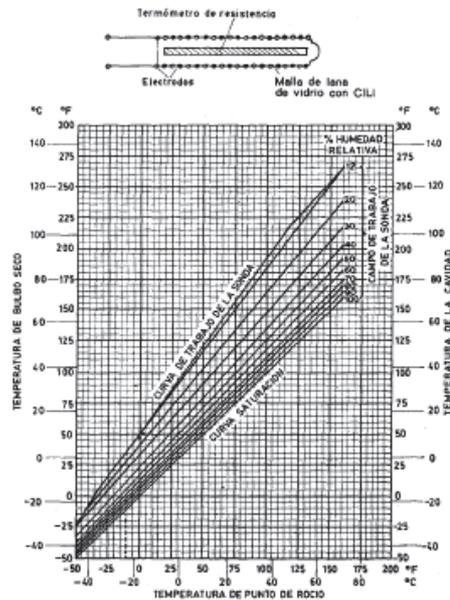
En la medición del punto de rocío se emplean la cámara de niebla, la célula de cloruro de litio, el sistema de condensación en un espejo y el analizador de infrarrojos. La cámara de niebla realiza una medida manual discontinua del punto de rocío. Consiste

en un pequeña cámara con una bomba manual que permite comprimir una muestra del gas. El operador anota la presión y la temperatura iniciales del gas y lo comprime a una presión dada. A continuación abre una válvula de escape a la atmósfera con lo que el gas sufre una expansión adiabática y baja de temperatura. El ensayo se repite varias veces comprimiendo cada vez más el gas hasta que la temperatura alcanzada en la expansión hace aparecer niebla en la cámara. Esta temperatura corresponde al punto de rocío. La célula de cloruro de litio consiste en un manguito de tela impregnado con una solución de cloruro de litio, envolviendo una bobina. Sobre el manguito está arrollado un hilo bifilar abierto en un extremo y alimentado a través del secundario de un transformador, con lo que circula una corriente entre los hilos a través de la sal de cloruro de litio. Ésta tiene la propiedad característica de mantenerse con una humedad relativa del 11% en equilibrio con la atmósfera húmeda. A valores inferiores al 11 % la sal cristaliza y deja de ser conductora.

La sal es altamente higroscópica, por lo cual tiene una gran afinidad por la humedad ambiente; cuanto más alta sea ésta tanto más conductora será la sal y tanto más se calentará la bobina por la circulación de corriente a través del hilo bifilar. La temperatura de equilibrio de la bobina está pues relacionada con el punto de rocío del aire o del gas de modo que puede medirse con una sonda de resistencia y un instrumento de puente de Wheatstone graduado directamente en temperatura del punto de rocío. En la figura pueden verse las características de trabajo de la célula de cloruro de litio.

La célula es apta para temperaturas ambientes de - 30 a 130°C (- 25 a 265°F). A temperaturas superiores a 130°C el punto de rocío puede medirse admitiendo el paso

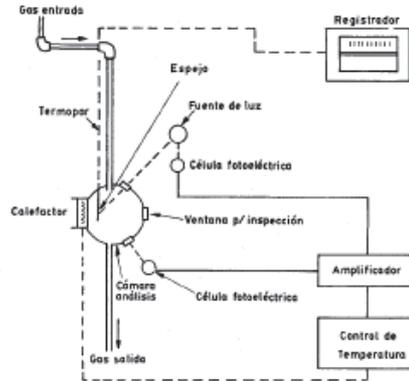
de aire a una cámara de temperatura constante y enfriándolo a menos de 80°C (180°F) antes de circular a través de la célula.



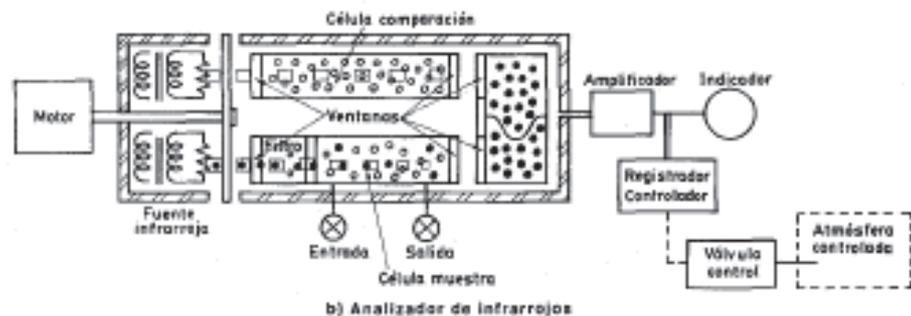
La célula exige que los gases cuyo punto de rocío se mida no contengan ni amoníaco, ni dióxido de azufre, ni cloro, ni sal, ni partículas de suspensión. En caso de contaminación de la célula, es necesario regenerarla limpiándola y sumergiéndola en una solución de cloruro de litio.

El **sistema de condensación** en un espejo está representado y consta de una cámara con un sistema calefactor y refrigerante que controla la temperatura de la superficie de un espejo situado en su interior y a cuyo través circula una corriente del gas cuyo punto de rocío hay que determinar. Una célula fotoeléctrica actúa sobre el sistema de refrigeración o calentamiento para conseguir el empañamiento constante de la superficie especular. La temperatura de esta superficie indica el punto de rocío del gas. El **analizador de infrarrojos** no sólo puede medir el punto de rocío (vapor de

agua) sino también cualquiera de varios constituyentes, tales como CO_2 , CO , CH_4 , C_3H_8 , SO_2 , NH_3 .



Hay que señalar que la radiación infrarroja es absorbida por estos gases de un modo característico. El analizador de infrarrojos que está representado en la figura b consiste en una fuente pulsante de infrarrojos (filamentos de Nichrome), dos células, una de referencia y otra de muestra a cuyo través pasan las radiaciones infrarrojas, y un detector. Si la cámara detectora está llena de vapor de agua, la radiación infrarroja es absorbida proporcionalmente a la concentración de vapor de agua en la célula de gas muestra, con lo cual disminuye la presión en esta cámara como resultado de la energía intermedia absorbida. Si se bloquean las dos radiaciones, una la que pasa por la célula de referencia y la otra la que pasa a través de la célula de muestra del gas a analizar, no hay variación de presión en la cámara.



Si la célula de referencia contiene un gas no absorbente, tal como el nitrógeno y por la célula muestra pasa el gas húmedo, la radiación a través del gas muestra, tal como

se ha indicado, estará atenuada en la longitud de onda del vapor de agua en el gas mientras que la radiación a través del gas patrón N₂ permanecerá invariable. Se obtiene así una presión variable pulsante en el detector; éste contiene dos cámaras separadas por un diafragma que actúa como un micrófono a condensador y convierte los impulsos de presión a una señal eléctrica que es amplificada, rectificada y finalmente registrada. El instrumento además de medir el punto de rocío puede determinar los porcentajes de varios componentes en el gas a analizar. Los analizadores infrarrojos son de respuesta rápida, aptos para el registro de varias muestras de gas, pueden analizar atmósferas conteniendo amoníaco y con la ayuda de cilindros patrón son de fácil calibración.

8.7.2.13. Viscosidad y consistencia.

La viscosidad y la consistencia son términos que se aplican a los fluidos y que representan la resistencia que ofrecen al flujo o a la deformación cuando están sometidos a un esfuerzo cortante. La viscosidad de un fluido definida por Newton es la resistencia que ofrece el fluido al movimiento entre dos placas paralelas separadas por una distancia unidad, una de ellas fija y la otra móvil que se mueve con la unidad de velocidad (figura a). Esta resistencia se expresa como cociente entre el esfuerzo cortante por unidad de área (F / A) y la velocidad cortante por unidad de espesor de la capa de fluido (V/e).

$$\mu = \frac{F/A}{V/e}$$

Los fluidos newtonianos se caracterizan por la relación lineal entre el esfuerzo cortante unitario y la velocidad cortante unitaria, es decir, la representación gráfica de

F / A con relación a V/e es una línea recta. Otros fluidos tienen pendientes variables y no siguen la definición de Newton, estando representados en la figura b (fluidos no newtonianos).

Muchos plásticos requieren la aplicación de una cierta fuerza a la placa móvil antes de que ésta se mueva y una vez en movimiento la viscosidad aparente disminuye al incrementarse la velocidad de la placa (la pendiente baja). Otros materiales que en reposo están coagulados, pasan al estado líquido al ser agitados (tixotrópicos). El cuerpo St Venant representa sustancias que no tienen prácticamente pendiente (pasta de papel). Hagen-Poiseuille definieron la viscosidad en términos más prácticos expresando la relación entre los esfuerzos y las velocidades cortantes para un tubo capilar en la forma siguiente

$$\mu = \frac{\Delta\rho/2l}{4Q/\pi R^4} = \frac{\pi\Delta\rho R^4}{8Ql}$$

$\Delta\rho$ = Presión diferencial a través del líquido en el tubo capilar.

R = Radio interior del tubo

Q = Caudal del fluido

l = Longitud del tubo

Consistencia

La consistencia es el grado de deformación que presentan los fluidos cuando se les somete a un esfuerzo cortante. El término representa esencialmente la viscosidad de suspensiones de partículas insolubles en un líquido y es una característica de fluidez del mismo.

El término consistencia se aplica en la industria en la fabricación de pinturas, de papel, en el envase de productos alimenticios, etc.

Las unidades de consistencia son totalmente distintas de las de viscosidad y se expresan en unidades arbitrarias. Por ejemplo, en la industria papelera, la consistencia designa la proporción entre el peso de materia seca o fibra de pulpa seca y el peso total de los sólidos más el agua que los transporta. Y así:

$$\text{Consistencia \%} = \frac{\text{Peso sólidos en Kg}}{\text{Peso sólidos secos + agua en kg.}} 100$$

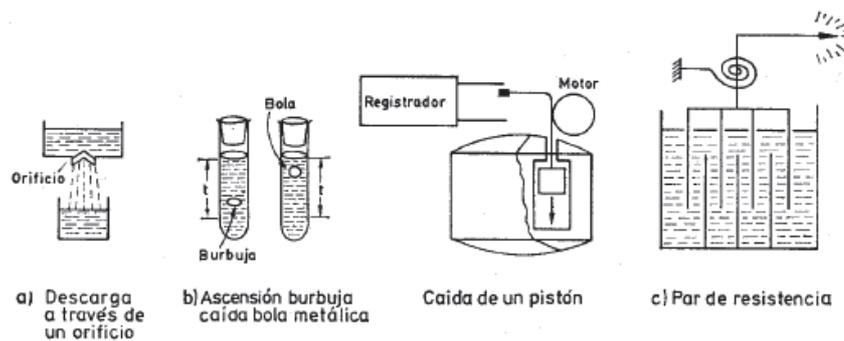
La consistencia podrá detectarse, de acuerdo con la definición dada presionando sobre la pulpa de papel con una cuchilla especialmente diseñada para eliminar el rozamiento y la fuerza de impacto. En la industria se emplean los siguientes sistemas para la medida de viscosidad.

8.7.2.14. Viscosímetros

Viscosímetros discontinuos que se basan en:

- a) Medir el tiempo que emplea un volumen dado del fluido para descargar a través de un orificio (fig. a) El orificio puede sustituirse por un tubo capilar.
- b) Tiempo de caída de una bola metálica o de ascensión de una burbuja de aire en el seno del fluido contenido en un tubo o bien de caída de un pistón en un cilindro (fig.)
- c) Par de resistencia de un elemento estacionario en una taza rotativa que gira a velocidad constante. El par se mide por el desplazamiento angular de un resorte calibrado unido al elemento fijo (fig. c).

Entre los viscosímetros continuos que permiten el control de la viscosidad se encuentran los siguientes:

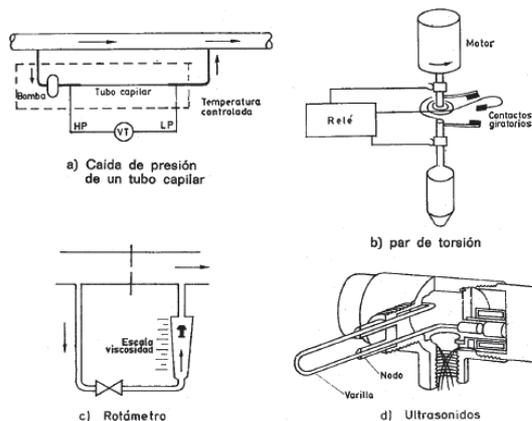


1. Caída de presión producida por un tubo capilar al paso del fluido que se bombea a caudal constante (fig. a). Dos tomas situadas antes y después del tubo capilar se conectan a un transmisor de presión diferencial neumático o electrónico.

2. Par de torsión necesario para hacer girar un elemento en el fluido. El elemento de forma dada gira a través de un resorte calibrado por medio de un motor síncrono. El ángulo de desviación en el movimiento entre el eje del motor y el elemento inmerso en el fluido es proporcional a la viscosidad. Este ángulo se mide en desplazamiento de contactos o en variación de resistencia o capacidad (fig. b).

3. Rotámetro con flotador sensible a la viscosidad (fig. c). Se mantiene un caudal constante del fluido con lo que la posición del flotador depende de la viscosidad. Al rotámetro se le puede acoplar un transmisor neumático o electrónico.

4. Vibraciones o ultrasonidos (fig. d). Se mide la energía necesaria para excitar una probeta en vibración continua o que vibra ultrasónicamente en el seno del fluido.

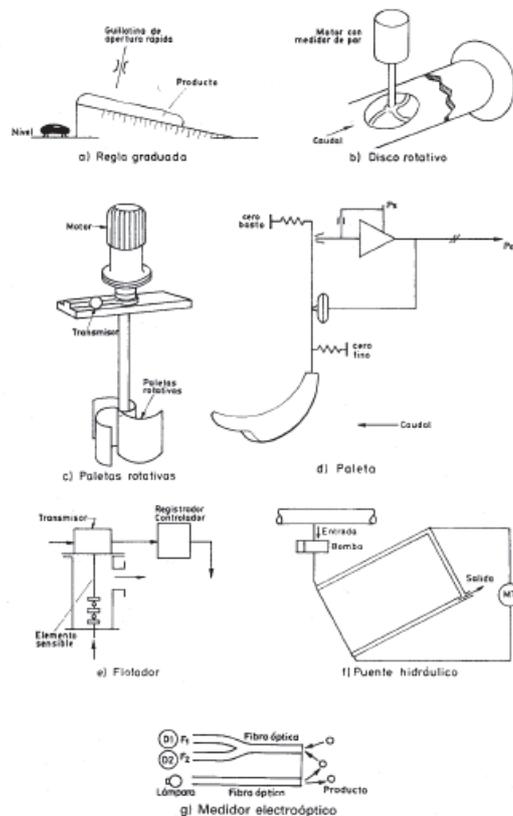


8.7.2.15. Medidores de consistencia.

La consistencia se mide en la industria de las formas siguientes:

Medida de la distancia que recorre el fluido sobre una regla graduada y en un tiempo determinado. En la figura a.

Medidor de consistencia de disco rotativo (fig. b) que mide el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un disco con perfiles caracterizados dentro del fluido. En otro instrumento parecido al anterior, apto para instalarlo en un tanque del proceso (fig. c) un motor hace girar un agitador de paletas dentro del fluido. El par desarrollado por el agitador se mide con un transmisor neumático de par que permite actuar sobre un controlador y regular así directamente la consistencia del producto.



En el medidor de paleta (fig. a), una paleta de forma especial situada en el seno del fluido mide el esfuerzo cortante, no siendo influida por las fuerzas de impacto ni por

las de rozamiento gracias a su forma geométrica. Un transmisor neumático o electrónico envía la señal correspondiente al valor de la consistencia.

En el medidor de flotador que puede verse en la figura 7.35 e el fluido es forzado a circular por un tubo en cuyo interior se encuentra un eje sensible con varias placas transversales incorporadas. La deformación que sufre el líquido al pasar entre las placas es función de la consistencia, y la fuerza resultante que experimenta el elemento sensible es detectada por un transmisor neumático o electrónico.

El medidor de puente hidráulico (fig. f) consiste en una bomba que deriva parte del fluido a través de un paralelogramo o puente hidráulico que crea una presión diferencial entre dos de sus vértices. Un transmisor de esta presión diferencial señalará directamente la consistencia del producto.

El medidor electro óptico (fig. g) se basa en la captación de la luz reflejada de una mezcla de pulpa de papel y agua. Dos detectores D_1 y D_2 captan esta luz reflejada a través de fibra óptica y de dos filtros F_1 y F_2 , de tal modo que en uno de ellos el agua del fluido absorbe la luz mientras que en el otro no interviene prácticamente. Así, el cociente de las dos señales es una función de la cantidad de agua existente entre las partículas del producto, es decir, de la consistencia de la pulpa.

8.7.3. Llama

La detección de la llama en la industria es muy importante desde el punto de vista de seguridad. Los quemadores de gas o fuel-oil utilizados en los hornos o en las calderas de vapor, necesitan para que su funcionamiento sea correcto que la llama producida por el combustible sea estable y de calidad y que se mantenga en estas condiciones mientras el quemador esté en marcha. Ante un fallo en la llama, el sistema de

protección debe actuar inmediatamente excitando el circuito eléctrico de enclavamiento previsto en la instalación para que el conjunto caiga en seguridad, y evite la entrada de combustible sin quemar eliminando así el peligro de su eventual encendido y explosión subsiguiente. Los detectores de llama aprovechan varias características de la llama para su funcionamiento: calor, ionización y radiación.

8.7.2.1. Detector de calor.

El calor lo utilizan los detectores térmicos formados por bimetales, termopares, varillas de dilatación y dispositivos a expansión de líquidos que proporcionan un control relativamente satisfactorio en instalaciones domésticas.

8.7.2.2 Detectores de ionización-rectificación.

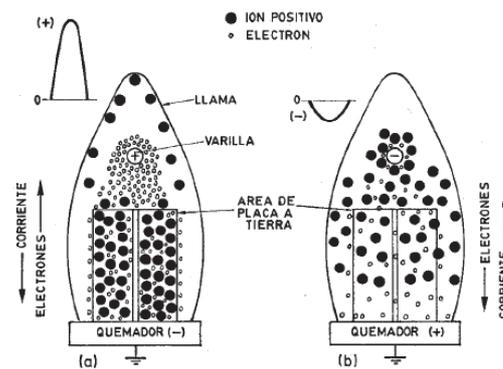
La ionización es el fundamento de los detectores de llama de rectificación. Una tensión alterna aplicada a dos electrodos colocados dentro de la llama hace circular una pequeña corriente alterna ya que los gases en la llama están ionizados.

La resistencia de la llama es bastante alta, del orden de 250000 a 150000000 ohmios y la corriente que pasa es de unos pocos microamperios. Estos detectores de conductividad tienen el inconveniente de que un cortocircuito de alta resistencia entre los electrodos simula la llama.

Los detectores de llama de rectificación (fig.) se basan en que al aplicar una tensión alterna a los electrodos (varilla y quemador) la corriente circula con mayor facilidad en un sentido que otro si la superficie activa de uno de los electrodos, superficie expuesta a la llama, es varias veces mayor que la del otro electrodo (4 : 1).

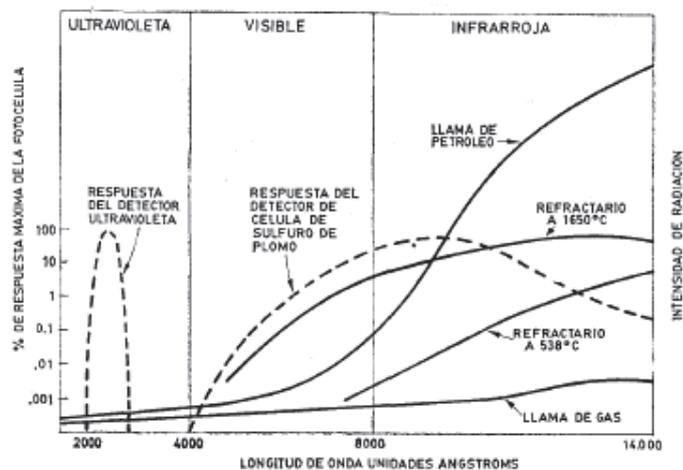
De este modo se obtiene una corriente alterna rectificada, parecida a una corriente continua pulsante, con lo cual si se presenta un cortocircuito de alta resistencia en los

electrodos se genera una señal alterna que es detectada como falsa por el circuito electrónico. Tienen el inconveniente de que no pueden usarse satisfactoriamente en quemadores de fuel-oil ya que la llama del fuel quema en despegue del inyector del quemador y además se forman sedimentos e incluso corrosiones en la varilla por la combustión de fuel-oil.



8.7.2.3. Detectores de radiación

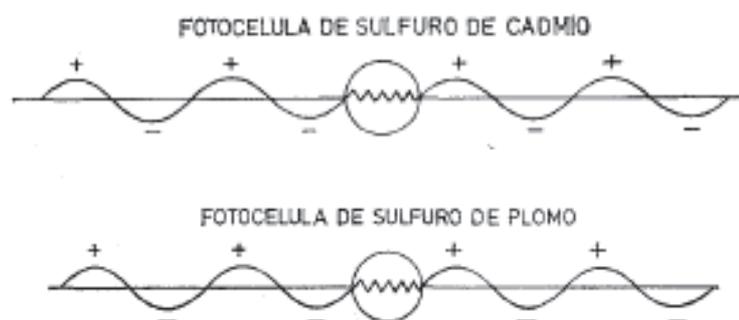
Los detectores basados en la radiación se fundan en la radiación de energía que una llama irradia en forma de ondas que producen luz y calor. En el gráfico de la figura a, pueden verse las radiaciones visible (10 % de la total) infrarrojos (90 % de la total) y ultravioleta (1 % de la total), así como las propias de la llama de fuel-oil, de gas y del refractario.



Los detectores disponibles pueden clasificarse como sigue:

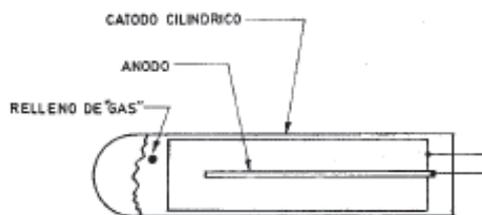
a) Los detectores de radiación visible son de dos tipos: sulfuro de cadmio y óxido de cesio. El primero (fig. a), que es el más utilizado, consiste en un elemento de sulfuro de cadmio que varía su resistencia de forma inversamente proporcional a la intensidad luminosa, mientras que el segundo consiste en un tubo de vacío que contiene un cátodo y ánodo emitiendo aquél electrones cuando la luz incide sobre su superficie. La aplicación de estos detectores requiere una llama luminosa quedando su uso limitado a quemadores de combustibles líquidos. Son incapaces de diferenciar la luz procedente de una llama de la de otras fuentes (luz natural, refractario, etc.).

b) Los detectores de radiación infrarroja emplean la célula de sulfuro de plomo (fig. 2b) cuya resistencia eléctrica decrece al aumentar la intensidad de radiación. La célula de sulfuro de plomo no distingue entre la radiación infrarroja emitida por el refractario o por la llama. Sin embargo, la emisión de energía radiante de la llama tiene una característica parpadeante que permite a un circuito electrónico especialmente concebido, discriminar entre la señal de llama y la señal uniforme del refractario. No obstante, el movimiento de los gases calientes frente al refractario puede simular este parpadeo, excitando a la célula.



c) Los detectores de radiación ultravioleta (fig.a) consisten en un tubo que contiene dos electrodos, normalmente de tungsteno. El tubo es de material permeable a la radiación ultravioleta, cuarzo por ejemplo y está lleno de un gas inerte. El funcionamiento es similar al de un tubo Geiger. Si una radiación ultravioleta penetra en el tubo e incide sobre el cátodo éste emite electrones que son atraídos por el ánodo a causa del campo eléctrico establecido entre ambos. Este proceso ioniza el gas en el tubo con lo que éste conduce una corriente. Para asegurar una verificación constante de la presencia de llama, es preciso interrumpir periódicamente la tensión entre cátodo y ánodo, con el fin de que se establezca la conductividad del tubo un número de veces por segundo, dado que dicho tubo presenta, una vez excitado, una descarga auto mantenida en tanto que exista un campo eléctrico entre los electrodos.

La ventaja principal de los detectores de radiación ultravioleta es su total insensibilidad a las radiaciones infrarroja y visible no siendo afectados por este motivo, por las radiaciones del refractario caliente. Dado que ambas llamas de gas y de fuel-oil generan radiaciones ultravioletas, estos detectores son idóneos para instalaciones mixtas.



8.8.1. La Metrología.

(44) “La metrología es la ciencia de la medición, utilizada para proporcionar, mantener y difundir un conjunto coherente de unidades, para brindar apoyo a él cumplimiento de las leyes de igualdad en el comercio de pesas y medidas o para proporcionar los datos para controlar los procesos de calidad.

Estas necesidades se pueden ver desde forma útil para requerir tres clases generales de medición:

1. Técnicas.
2. Legal
3. Científico.

Técnicas. Esta clase incluye las mediciones realizadas para asegurar la compatibilidad dimensional, conformidad con las especificaciones de diseño necesario para un funcionamiento correcto o en general, todas las mediciones se hicieron para garantizar la idoneidad para el uso previsto algún objeto.

Legal. Esta clase incluye las mediciones realizadas para garantizar el cumplimiento de la ley o reglamento. Este Clase se refiere a las instituciones de pesos y medidas, los inspectores, y los que deben hacer cumplir las leyes. Las mediciones son idénticas en especie a la técnica de metrología pero se recubren con un área más formal.

Científico. Esta clase incluye las mediciones realizadas para validar las teorías de la naturaleza del universo o sugieren nuevas teorías. Estas medidas, que puede ser llamado metrología científica presentan problemas especiales”.

Metrología Industrial:

Se aplica en:

- La calibración de los equipos de medición y prueba.
- La etapa de diseño de un producto o servicio.
- La inspección de materias primas, proceso y producto terminado.
- Durante el servicio técnico al producto.
- Durante las acciones de mantenimiento.
- Durante la prestación de un servicio.

Áreas de la Metrología:

Según el tipo de variable que se está midiendo:

- Masas y Balanzas.
- Mediciones Longitudinales y Geométricas.
- Temperatura (Termometría).
- Presión (Manometría).
- Electricidad (Mediciones Eléctricas).
- Humedad (Higrometría).
- Volumen.
- Densidad.
- Tiempo y Frecuencia.
- Fuerza.

8.8.1.1. Resultados de la medición

Ninguna rama de la ciencia o la técnica industria o el comercio se pueden organizar sin la existencia de mediciones para determinar las dimensiones y las características del producto. El resultado de cualquier medición de una cantidad física siempre da lugar a tres factores: 1. El valor numérico de la magnitud.

2. La unidad de magnitud.

3. La incertidumbre asociada con la unidad de medida.

4. La probabilidad de que el valor medido cae en los intervalos de incertidumbre.

La importancia de la incertidumbre o error medición es que oscurece la capacidad para obtener la información que desea. Hay cantidades sin unidades, como densidad relativa, índice de refracción, coeficiente de fricción, el número de Reynolds, etc.

8.8.1.2. Medición de aplicaciones

Los principales usos de la medición de procesos industriales y operaciones son los siguientes:

1. Control.

2. Monitoreo.

3. Alarma.

Control.

Control de una variable de proceso es mantener constante en un valor deseado o variando dentro de límites estrecho, sólo una variable de control. El control es tan bueno como medir la variable controlada. El control se puede obtener de forma manual, cuando el operador actúa en el proceso, se basa en la medición y la indicación de cantidades del sistema. El control manual de lazo abierto y es

matemáticamente estable. Hay varias teorías y técnicas para observar el control automático de procesos industriales. La técnica más básica es utilizado por lazo cerrado con realimentación negativa (Feedback), donde:

1. La variable controlada se mide a la salida del Proceso.
2. Lo compara con un valor de referencia.
3. Actos en la entrada del proceso.
4. Para mantener la variable controlada igual al valor deseado o variando alrededor de este valor.

Control automático con realimentación negativa puede ser más complejo, el proceso que involucra muchas variables simultáneamente. Son casos particulares de control de retroalimentación negativo multivariable: cascada, rango partido (split range) y autoselector.

Monitoreo

Monitoreo es un observar el sistema, proceso o máquina para verificar que funciona correctamente durante su operación. En la instrumentación, es común utilizar los instrumentos para medir de forma continua o en intervalos de una condición que debe mantenerse dentro de límites predeterminados.

Son ejemplos clásicos de control: Desplazamiento axial o radial de vibración, ejes de grandes máquinas rotativas. En la industria Química la reacción en los reactores por composición análisis de sus productos.

Un sistema de seguimiento es diferente de un sistema de control automático, ya que el Sistema automático para la actuación o incapacidad física, debido a la actuación las largas demoras entre las muestras, medidas. En el sistema de seguimiento de toda la

información y registros se evalúan continuamente analizando las condiciones del proceso y, en casos extremos, usted puede apagar el sistema, por lo que este puede ser automático o manual, cuando los límites críticos de seguridad se han perdido.

Alarma

En los sistemas de control y la vigilancia es común tener alarmas. Un sistema de alarma son dispositivos activos de aviso (luz, sonido) después de la ocurrencia de unas condiciones indeseables o peligrosas en el proceso. El sistema de alarma se utiliza para llamar la atención del operador por condiciones anormales del proceso, porque los indicadores visuales y audibles dispositivos. La visual muestra generalmente lámparas de destello o luz piloto para determinar las condiciones anormales o el de color de proceso, y son codificados para distinguir entre las condiciones de alarma (normalmente blanco) y el cierre (por lo general rojo). Diferentes tonos audibles y puede ser utilizado para distinguir las condiciones de alarma y apagado. Un sistema de alarma tiene varios puntos de alarma que son alimentados por una sola fuente de alimentación.

8.8.1.3. Tipos de Mediciones.

Los tres tipos principales de medición son las siguientes:

1. La medición directa.
2. Comparación.
3. Sustitución.

La medición directa.

Como su nombre lo indica, esta es la Medición más sencilla. El método directo se basa en medir comportamiento de un sistema físico (sensor y procesador de señal)

para convertir la cantidad medida (señal de entrada) en una cantidad observable (señal de salida). Para el voltímetro, el proceso físico es la rotación la bobina de voz cuando la corriente pasa a través ella.

Comparativa de medición (Saldo de cero).

El método es muy simple, es comparar dos valores diferentes. Por ejemplo, una medición eléctrica. Uno puede producir una conocida tensión y luego se compara con una desconocida tensión. La Comparación real se realiza usando un galvanómetro que detecta si hay o no hay paso de corriente por ella. Cuando los voltajes son diferentes, no hay flujo de corriente en algunos de las ambas direcciones, en función del valor relativo de las cepas. Cuando son iguales, no habrá corriente a través del galvanómetro. Cuando se pone la posición cero (nula), se garantiza que las tensiones son exactamente iguales. Este método, llamado un saldo de cero, es extremadamente exacto, ya que no se basa en ningún otro sistema físico para obtener el valor de cantidad que se mide.

8.8.2. Los Instrumentos de medida.

Los instrumentos se pueden clasificar, de acuerdo con su aplicación, el modo de operación, método de conversión de energía, la naturaleza de la señal de salida. Todas estas clasificaciones usualmente resultan en superposición. Sin embargo, los instrumentos pueden ser utilizados en la práctica, divididos en las siguientes categorías:

1. Manual y Automático.
2. Contacto y de no contacto.

3. Análogo y digital.
4. Instrumentos controlados por microprocesador.

8.8.2.1. Manual y Automático.

La medición se hace más sencilla manualmente, con una intervención directa del operador. La medición se realiza manualmente para un instrumento portátil. Las medidas se hacen generalmente manualmente anotado por el operador para su uso posterior. La medición puede hacerse de manera automática y continua.

El instrumento está directamente relacionado con el proceso, el sentido y variable continuamente para indicar su valor instantáneo.

De contacto y sin contacto

Otro criterio importante en el estudio de los dispositivos de medición es su colocación e interacción con el proceso de medida. La Medición puede hacerse con y sin contacto físico. Hay medidas con contacto instrumento físico con el proceso. Por ejemplo, la medición de temperatura con un termómetro clínico, el bulbo del termómetro entra en contacto físico con el cuerpo que se desea medir la temperatura.

El contacto es la medición de la corriente eléctrica con la un amperímetro. El amperímetro utilizado para corriente de medición se coloca físicamente en circuito de medición. La resistencia interna de amperímetro puede afectar a la medición realizada. En la mayoría de las mediciones se hicieron sin contacto Físico entre el elemento sensor y el proceso. La principal desventaja directa de la medición y el contacto es la posibilidad de cambiar el sensor, el valor de la variable medida.

Medición sin contacto. Es posible realizar mediciones sin contacto físico entre el instrumento y el proceso. Por ejemplo, los astrónomos hacen largos estudios

para saber con precisión la temperatura de la superficie de los planetas, que nunca han estado en estos lugares.

8.8.2.2. Auto-alimentado con una fuente externa

La energía se asocia a los instrumentos del Método de transducción. Cualquier instrumento para funcionar requiere una fuente de alimentación. Esta fuente de energía puede ser externa para encender el instrumento. Las dos fuentes Herramientas clásicas de poder son la electrónica y la neumática.

Los instrumentos electrónicos se alimentan por una fuente externa de tensión, típicamente 24 V CC. El patrón de transmisión de la señal de corriente es 4 a 20 mA CC. Las herramientas neumáticas son alimentadas por una fuente externa de aire comprimido 140 kPa (20 psi). Cada instrumento Neumático montado en el campo se alimenta individualmente a través de un conjunto filtro-regulador ajustable o fijo. El filtro elimina una etapa final, las impurezas, humedad y aceite, contaminantes de aire comprimido. El regulador, ajustable o fijo, generalmente disminuye la presión mayor distribución de valor típico 140 kPa. El patrón de transmisión de la señal Neumático es de 20 a 100 kPa. También hay herramientas de montaje ubicación que no requiere ninguna fuente de energía externa para su funcionamiento. Se les llama autoalimentado. Ellos utilizar su propia energía para procesar su operación. Ejemplos de indicadores y registros que no necesitan Alimentación externa son: Un indicador local de presión, con el elemento bourdon C Tipo de sensor, helicoidal, espiral, helicoidal o fuelle.

8.8.2.3. Analógico y Digital

Depende de estos factores:

- Una Señal.
- Una función matemática.
- Uso de Tecnología.
- Display.

Señal.

Señal analógica es la que varía continuamente, salta al paso. El parámetro fundamental de la señal analógica es su amplitud. Medir una señal analógica es determinar el valor de la amplitud. Son ejemplos de señal analógica: Un Patrón de señal neumática 20-100 kPa, donde el 20% corresponde a 0 kPa y 100 kPa al 100%.

Las variables del proceso son analógicas. Una temperatura puede variar desde 20°C hasta 50 °C, suponiendo que todos los valores infinitos intermedios. Una presión del proceso puede variar de 20 a 100 kPa, de manera continua.

Señal digital o discreta es uno que sólo puede asumir valores discretos, la señal Digital consta de pulsos o bits. Pulsos sólo puede contarse; bits puede ser manipulado.

Función Matemática.

Hay funciones o tareas que son típicamente analógicos, como el registro y control proceso. Sólo se puede registrar una señal analógica. Por ejemplo, si uno quiere registrar el flujo, tomando una turbina medir con pulsos de salida, debe ser convertir la señal de impulso analógica. El control es también una función análoga, su algoritmo fundamental, PID, es analógica y matemáticamente todavía aún más. La control on-off es un caso particular, con una salida discreta (digital). Un controlador Digital a la tecnología

digital implica que se pueden realizar la función de control analógico. Las funciones son típicamente alarma digital evento de recuento y agregación de flujo.

Tecnología

La tecnología puede ser electrónica analógica o digital. La base de circuitos analógicos es amplificador operacional. Los componentes pasivos (Resistencia, condensador y el inductor). Los componentes activos (Transistores, amplificadores operacionales) funcionando en la región lineal de la amplificación.

Los Instrumentos utilizan circuitos digitales y técnicas lógicas para realizar la medición o proceso de datos. Básicamente, un instrumento digital puede ser visto como una matriz de puertas de estados lógicos que cambian las velocidades demasiado alto para hacer la medición. La base de los circuitos digitales son los circuitos integrados digitales, que consiste en puertas lógicas (AND, OR, NAND, NOR, NOT), multivibradores (flip-flop) contadores y temporizadores. Actualmente, todos estos circuitos y la lógica están integrados en el microprocesador.

Pantalla Digital (Display).

La pantalla LCD es la presentación de datos visuales. Puede ser analógica o digital. Pantalla analógica está constituido, en general de una escala fija y un puntero Móvil (puede ser de escala móvil y el puntero fijos). El puntero se mueve continuamente en una escala graduada, que permite la lectura de los valores medidos. La pantalla digital es uno que consiste en números o dígitos. Los números varían tan discreto y discontinuo, permitiendo leer el valor medido. El factor más importante que favorece a los instrumentos digitales, en comparación con la analógica es la facilidad de lectura, cuando el operador lee un instrumento analógico, lo que

debería posicionarse correctamente, haga interpolación uso de escalas. La lectura analógica es susceptible de error, consume tiempo.

Comparación Digital Versus analógico.

Hay que diferenciar un instrumento digital y una herramienta con la pantalla digital. Instrumento digital es un aparato sofisticado en la que los circuitos lógicos están integrados para la medición de un diseño digital. Un instrumento con pantalla digital es uno que el circuito de medición es el diseño analógico y es sólo una indicación de diseño digital. La ventaja principal de la pantalla digital es conveniencia de la lectura, cuando usted no tiene la preocupación de cometer errores de paralaje, cuando se coloca erróneamente en relación con la lectura del instrumento.

Sin embargo, la lectura del instrumento es análogo para la interpretación más rápido y más fácil, especialmente cuando las comparaciones entre dos mediciones. Por lo tanto, incluso con instrumentación electrónica sofisticada. La tecnología digital tiene medidores que simulan indicaciones analógicas.

Por ejemplo, Un Controlador de bucle simple tiene indicios de medición y el punto de ajuste realizado por gráfico de barras.

La precisión es una segunda ventaja de instrumento digital sobre la analógico, aunque la precisión depende de la calidad y el diseño instrumento, en general, el instrumento digital es más preciso que el mismo costo con un medidor analógico. Típicamente, la precisión de la tecnología digital es 0,1% y el análogo es 1%. Los instrumentos digitales ofrecen una mejor resolución que la analógica.

Errores contador digital.

El principal errores de medición con un contador electrónico son:

- Error de ± 1 .
- Error en tiempo de base.
- Error de disparo.
- Error sistemático.

Cuando se realiza una medición con un contador electrónico, existe incertidumbre en dígito menos significativo de ± 1 . La incertidumbre es una consecuencia de la falta de coherencia entre señal de reloj interno y la señal de entrada. El error causado por esta ambigüedad está en términos absolutos de ± 1 cuenta para recuento acumulado total, el error relativo disminuye cuando el total acumulado recuento crece.

Este error es conocido como **error de base de tiempo** y es generalmente dado por un número adimensional expresados en partes por millón.

Error de disparo, es un error aleatorio causado por el ruido en la señal de entrada y dentro de contador. El principal efecto de ruido, del error de disparo es la interpretación en un periodo de tiempo incorrecto.

El **error sistemático** existe en el instrumento asociado con su calibración y depende la calidad y el tiempo transcurrido después de la calibración.

8.8.2.4. Instrumento controlado por microprocesador

Función de microprocesador

El instrumento basado en microprocesador se llama inteligente. En el instrumento convencional, la información debe ser interpretada por el operador inteligente; en el instrumento ya viene incorporada la información inteligente interpretada y proporcionada en un formato más ameno, por lo que incluso un operador sin experiencia puede entender.

El microprocesador revolucionó la instrumentación electrónica. El uso de instrumentos de microprocesadores aumentó su precisión, expandió dramáticamente sus capacidades, una mayor fiabilidad y proporcionó una herramienta para realizar tareas que antes eran imaginables. El microprocesador proporciona

- Procedimientos de cálculo más eficiente.
- El análisis estadístico de los resultados.
- Resultados lineales y corregidos.
- Funciones programables.

Las principales ventajas del microprocesador instrumento son:

- Una funcionalidad extendida y multi-expandida para programas flexibles.
- El consumo de energía se redujo drásticamente.
- Fácil adaptación a las interfaces estándar de bus integrado para la medición.
- Facilidad de control debido a su interfaz.
- Mayor fiabilidad, con pocos componentes, los componentes más fiables debido a la encapsulación que lo hace inmune a la humedad y temperatura.

8.8.3. Sistema de Medición.

8.8.3.1. Concepto.

Aunque hay varios tipos de control, varios niveles de complejidad, enfoques diversos diferentes, hay un parámetro en común el control, vigilancia y alarma de proceso: medición de las variables y las cantidades de proceso. La medición es fundamental. La base correcto control es la medición precisa de variable controlada. La instrumentación para hacer esta medición es vital para la industria.

Los instrumentos han producido un significativo ahorro de tiempo y mano de obra necesaria.

Los sistemas de instrumentos, actúan como extensiones de los sentidos humanos y facilitar las condiciones de almacenamiento de información compleja.

1. El Elemento sensor o elemento transductor, que detecta y convierte la entrada deseado para una más conveniente y práctico para ser manipulado el sistema de medición. El elemento también se conoce como un elemento sensor primario o transductor. Es el interfaz de la herramienta de proceso.
2. Elemento acondicionador de señal, la cual manipula y procesa la salida del sensor convenientemente. La principal función del acondicionador de señal esta en amplificar, filtrar, convertir e integrar de analógico a digital y de digital a analógico.
3. Elemento de datos de presentación, dar información sobre la medición en forma cuantitativa, llamado de lectura o visualización. Él es la interfaz con el instrumento el operador del proceso.

8.8.3.2. Sensor.

El elemento sensor no es un instrumento sino que forma parte de la mayoría absoluta de instrumentos de medición. El elemento sensor o elemento transductor es el componente de instrumento que convierte una variable física de entrada a otra cosa más útil. Cumple los rangos:

- Principio de Transducción.
- Variable de medición.

- Variable de modificación restrictiva.
- Rango.
- Unidad de ingeniería.

Ejemplos de elementos de detección:

Transductor de presión diferencial, kPa potenciométrico, de 0-100.

Presión de sonido del transductor capacitivo, 100-160 dB.

Los elementos sensores pueden estar clasificados de acuerdo con la naturaleza de la señal como:

- Mecánico.
- Electrónico

Las principales ventajas de señal electrónica en la mecánica son:

1. No hay efectos de la inercia y la fricción.
2. La amplificación se obtiene más fácilmente.
3. El registro y la distancia son más fácil de lectura.

El elemento sensor depende principalmente la variable que se está midiendo. En general, el elemento transductor es, dispositivo o instrumento que recibe la información en forma de cantidad y devuelve la información a este mismo en forma diferente.

8.8.3.3. Acondicionador de señal.

La salida del elemento sensor generalmente no es conveniente para operar directamente se necesita un elemento indicador, registrador o un controlador.

Por lo tanto, hay que añadir otro elemento al proceso, para modificar y la convertir la señal de salida del sensor en otra señal más adecuado en forma y amplitud. La señal

de salida del sensor puede ser alimentada a la entrada del elemento acondicionado por diferentes medios, tales como

- Un enlace mecánico, tal como engranaje, palanca, barra, eje,
- Cables.
- Fluido, tal como aceite (hidráulico), el aire comprimido.
- Componente electrónico, como potenciómetro, el condensador y el inductor.

8.8.4. Rendimiento de instrumentos. (Ejecución).

(45) “La medición se una descripción de las propiedades del objeto no, la descripción del objeto. La medición se comparar una cantidad desconocido valor con un patrón predeterminado adoptado. El resultado de una medición completa incluye:

Un número que indica la unidad patrón y la unidad de ingeniería (cantidad). La tolerancia de la medida, expresada por límites de error o incertidumbre. Medir una variable de proceso, directamente o indirectamente.

El valor de la magnitud medida debe ser presentada en la unidad ingeniería y no en términos de corriente eléctrico, neumática o movimiento mecánico. Para hacer funcionar el medidor Función de indicación, registro o control, es necesario para convertir la señal de salida en otro más cómodo y manejable, pero preservar la información contenida en la señal original”.

8.8.4.1. Características del instrumento.

Las características de rendimiento de instrumento son importantes porque son la base para la elección de los instrumentos más apropiados para la aplicación específica. El instrumento tiene características estáticas y dinámicas. Un sistema es llamado estático si su relación de entrada / salida es independiente de la velocidad de variación

de la entrada. Un sistema se llama dinámica si su entrada y la salida dependen de la tasa de variación de la entrada. El sistema dinámico tiene almacenamiento de energía y su descripción requiere más de una ecuación diferencial. El tiempo de respuesta de un sistema dinámico se caracteriza por su constante de tiempo y frecuencia natural.

Los Sistemas de instrumentación son dinámicos, pero son diseñado para tener constantes de tiempo, menores frecuencias naturales mayor que el sistema que se está midiendo. Por ejemplo, en un sistema de control con realimentación negativo, el tiempo de respuesta del elemento sensor está diseñado y seleccionado para ser mucho más rápido que el sistema de medida. El comportamiento dinámico y transitorio un instrumento es más importante que estático. Las características dinámicas del instrumento son: velocidad de respuesta, fiabilidad, retraso y error dinámico. La precisión tiene parámetros constitutivos de linealidad, repetibilidad, reproducibilidad y sensibilidad.

8.8.4.2 Precisión y Exactitud.

Precisión (precisión) es el grado de mutuo acuerdo y consistente a través de múltiples mediciones individuales, en particular y repetitividad relacionados reproducibilidad. La precisión es una medida de grado de libertad de los errores aleatorios instrumento. La precisión es la cualidad que cuenta con un instrumento de medición para dar indicaciones equivalentes al valor real de cantidad medida. La precisión esta relacionada con la calidad del instrumento.

8.8.4.3. Exactitud y precisión.

La precisión y la exactitud son conceptos diferentes. La precisión es una condición necesaria para exactitud, sin embargo, no es suficiente. Se puede disponer de un

instrumento muy preciso, pero calibrado de manera que su medición no es exacta. Pero con un pequeño instrumento preciso, incluso si se suministra una medición exacta, justa después de la calibración con el tiempo se desvía y no proporciona mediciones más exactas.

Tolerancia.

La tolerancia es la máxima eliminación un valor de medición admisible para el real o nominal. La tolerancia es la gama específica que una cantidad total es permite que varíe. Numéricamente, la tolerancia es de diferencia algebraica entre el máximo y mínima límites de error permitido.

8.8.4.4. Los parámetros de precisión.

Cuando un fabricante establece la exactitud de instrumento, realmente establece el error máximo posible si el instrumento está siendo utilizado en condiciones definidas. Para encontrar este error máximo, el instrumento se comprueba frente a un estándar y exactitud de cada punto se calcula teóricamente. La precisión absoluta puede darse sólo la diferencia entre el valor medido y el de verdad

8.8.4.5. Especificación de la Precisión.

La exactitud de un instrumento industrial se puede expresar numéricamente diferentes maneras diferentes:

- Porcentaje de la escala completa de medición.
- Porcentaje del límite superior de la capacidad del instrumento.
- Porcentaje de ancho de banda de la medición.
- Porcentaje del valor medido real.
- Unidad de ingeniería de la variable.

A pesar de que los valores numéricos son igual a un valor dado de la medición, la clase de exactitud del instrumento puede ser diferente a lo largo de toda la gama.

Porcentaje de escala completa.

Los medidores que tienen errores debido a cero y el ancho de pista tienen la precisión poco ajustada se expresa en porcentaje relativo a la escala completa. La instrumentos con error determinado porcentaje de escala muestran un error constante absoluta (valor porcentual veces el fondo de escala) y el error relativo aumenta cuando disminuye la medición. Esta clase de instrumentos aparece principalmente en la medición de flujo y ejemplo es el error en la placa de orificio porcentaje de la escala completa.

Porcentaje de ancho de banda.

Cuando el rango de medición se refiere a cero. La precisión se refiere al ancho de banda y Fondo de escala son idénticos. Cuando la pista el cero de medición es alta, el ancho rango es mayor que el valor de la escala, y cuando el intervalo de medición es cero eliminada, el ancho de banda es menor que el valor de la escala completa.

Porcentaje del valor medido.

Los medidores que sólo tienen los errores debidos a ancho de banda y los calibrados los errores debidos a la falta de cero, porque los Cero está definido con precisión, tienen la precisión expresada como un porcentaje el valor medido. Los instrumentos con error determinado porcentaje del valor medido exhiben un error relativo constante (valor definido por la calidad del instrumento) y error absoluto aumenta cuando la medición aumenta.

8.8.4.6. La precisión requerida (Rango).

Cuando se realiza el diseño de una planta, el diseñador debe establecer la precisión de los instrumentos compatibles con el Especificaciones del producto final. No siempre esto se hace con criterios técnicos, tales como definición requiere conocimientos de diseño, proceso, instrumentación, control y estadísticas.

Incluso después de especificar el instrumento no se tiene el rigor para verificar que el instrumento que se compró se lo recibieron de acuerdo con la precisión especificada.

También es común con la compra instrumento una mayor precisión de lo necesario.

En este caso, además del costo obvio superior, hay problemas técnicos de la especificación del producto debido a que el intento de obtener un mejor control de lo necesario es una de las causas de pérdida de control industrial.

8.8.4.7. Relación entre el instrumento nominal y el instrumento patrón.

La calibración correcta de un instrumento requiere un patrón de trazado. La primera pregunta que surge es: ¿cuál debe ser la relación entre la precisión del instrumento y estándar?

Una proporción típica varía de 1:1 a 10:1. La alta proporción (10:1) entre el patrón y el elemento calibrado (o inferior instrumento estándar) proporcionar un alto grado de confianza en la medición. Por otro lado, un bajo (1:1) se reflejan una bajo grado de confianza en la medición. El error medición de potencial puede ser minimizado con la selección adecuada de las relaciones entre la norma y la calibración del instrumento de medición y prueba. Sin duda hay que rechazar un valor medido para estos artículos donde la medición está fuera de las tolerancias permitidas. Es importante señalar que la relación 01:01 de incertidumbre pueden o no indicar que el elementos

están calibrados bajo estas condiciones de conformidad con las tolerancias prescritas. Una relación de 1:1 de incertidumbres no puede proporcionar la confianza necesaria para medición. Además, se pueden requerir acciones correctivas costos y aumentar la calidad. Cuando las mediciones caen dentro de la zona de aceptación, la medición entre en confianza puede ser alcanzada. Sin embargo, cuando las mediciones caen dentro de la zona de incertidumbre, una decisión de aceptar o rechazar una medida puede ser cuestionable.

8.8.4.8. Diseño, Producción e Inspección.

La especificación del producto o instrumento involucra las áreas de diseño, producción e inspección. El diseñador piensa en el producto ideal, el ingeniero la fabricación y el máximo posible de la producción y el inspector cree que el producto final se encuentra dentro de las especificaciones nominales.

Cada una de estas personas tiene un punto de vista diferente de la tolerancia especificación producto. El diseñador trata de condiciones ideales, asumiendo instrumentos y equipos nuevos operadores bien entrenados, supervisiones competentes, instrumentos calibrados, materiales dentro de las especificaciones nominales.

Desde esta visión, las tolerancias son pequeñas y a veces no se pueden realizar en la práctica el grado de la economía del proceso industrial. Incluso puede ser que las condiciones ideales el proceso se puede lograr durante alguna parte del proceso, pero nunca por mucho tiempo. El Ingeniero sabe de producción, su experiencia práctica, cuando el operador falla y la materia prima no es constante, el equipo no se establece correctamente, el instrumento pierde calibración y todo lo que contribuye al producto

final difiere de las especificaciones nominales. Para esto se produce menos a menudo, se acepta mayores tolerancias. Él hace lo mejor que puede, pero no siempre se evalúa cómo puede mejorar lo que ya hace.

Cuando se tiene tolerancias más pequeñas que se tienen en cuenta, sin consecuencia grave, crea una cultura de que técnica muy pobre, falta de respeto por parte de las especificaciones producción y la inspección personal. A veces es importante que las especificaciones fueran sanciones. Si la inspección personal y producción tiende a no respetar las especificaciones de diseño, debido a que son difíciles de alcanzar y por qué no lo hizo comprender las razones de precisión, este personal también no cumple con las especificaciones críticas y no críticas.

En resumen:

1. Todas las especificaciones de tolerancias se deben cumplir.
2. La mejora la tolerancia en los instrumentos de medición debe ser muy estricta.
3. La Tolerancia muy alta aumenta el coste final del producto, debido, a los excedentes de desechos y re-procesos por un mal control de calidad.
4. La Tolerancia muy estricta es difícil de lograr; requieren de personal de operación, instrumentos calibrados, equipo de control extremadamente costoso y procedimientos complejos.

8.8.5 Errores de medición.

Introducción.

Es imposible medir sin error o incertidumbre. De hecho, lo que se busca es

mantener los errores dentro de los límites tolerables y estimar sus valores con una precisión aceptable. Cada medición se ve influida por muchas incertidumbres, que se combinan para producir resultados dispersos. Las incertidumbres de medición no puede ser nunca completamente eliminadas, ya que el verdadero valor de cualquier cantidad es desconocida. Sin embargo, el valor probable del error de medida puede ser evaluado. Desde el punto de vista matemático, el error puede ser positivo o negativo. Un error positivo denota que la medida es mayor que el valor ideal. El valor ideal se obtiene restando este valor indicado. Un error negativo indica que instrumento de medición es menor que el valor ideal. El valor ideal se obtiene sumando está el valor indicado.

8.8.5.1 Tipos de errores.

Los errores de medición y el instrumento se pueden clasificar en varios criterios, como una expresión matemática, en respuesta tiempo, la responsabilidad, la causa y la previsibilidad. Por ejemplo, un error puede ser tanto estático sistemática, previsible intrínseco a instrumento y debido a la reducción a cero. Los errores matemáticos expresión se pueden clasificar como:

1. Absoluto.
2. Relativo

En cuanto al tiempo, los errores pueden ser:

1. Dinámico.
2. Estático.

En cuanto al origen, los errores estáticos pueden ser categorizados como:

- Grosero.

- Sistemático.
- Azar

Los errores sistemáticos pueden alterar la lectura de medición y se dividen en:

1. Intrínseco al instrumento.
2. Influir.
3. Modificación

Los errores intrínsecos pueden ser:

1. Cierta.
2. Indeterminado

A su vez, los errores instrumentales determinados pueden ser:

1. Cero.
2. Ancho de banda o de ganancia.
3. Angularidad.
4. Cuantización.

Los errores pueden ser incierto debido a:

1. Desgaste.
2. Fricción.
3. Inercia.

La influencia de los errores puede ser de tipo:

1. Mecánico.
2. Eléctrico.
3. Físico.
4. Químico.

8.8.5.2. Error absoluto y relativo.

Error absoluto.

Error absoluto es simplemente la desviación de medida tomada en la misma unidad de ingeniería de medición. En el ejemplar $\pm 9,0 \pm 0,1$ mm, el error absoluto es 0,1 mm.

El error Absoluto no es una herramienta de gran utilidad la medición.

Error relativo

La calidad de una medición se caracteriza desarrollando el error relativo, tomado como:

$$e_r = \frac{e}{a} \times 100\%$$

e_r = es el error relativo.

e =Error absoluto.

a = es el valor de la cantidad medida.

El error relativo es adimensional y generalmente expresado como un porcentaje. La precisión de $\pm 1\%$ y $\pm 10\%$ es generalmente suficiente para la mayoría de aplicaciones hasta residenciales e industriales, aplicaciones científicas tiene un $\pm 0,1$ $\pm 0,01\%$. El error absoluto puede tomar valores positivos y negativos, que el valor error absoluto, que sólo toma valores positivos.

8.8.5.3. Error Dinámico y Estático

Error dinámico.

Error dinámico es uno que depende del tiempo. Cuando una medida cambia su valor de significativamente durante la medición, puede tener errores dinámicos. El error dinámico es más común debido al tiempo de respuesta o el tiempo característico de instrumento, cuando hay retrasos en la variable medida. El error dinámico puede

desaparecer naturalmente, con el paso del tiempo o cuando las condiciones de funcionamiento son iguales a las condiciones especificadas para utilizar. El error dinámico puede ser eliminado, conociendo los tiempos de respuesta del instrumento constante de la variable, el tiempo de alcance y las condiciones para la entrada del aparato de lectura constante. Uno de los problemas asociados con el error dinámico es el retraso de los bulbos y los pozos temperatura y sellos de presión.

Error estático.

El Error estático es uno que es independiente de tiempo. Cuando una medida no altera su valor substancialmente durante la medición, sólo está sujeto a los errores estáticos.

Los errores estáticos son de tres tipos diferentes:

1. Errores groseros.
2. Errores sistemáticos.
3. Errores aleatorios

Error Grueso (Grosero).

El error también se llama espurio accidental, el operador puede tener una confusión o lapso, esto implica un atípico fenómeno. La medición con un error grosero es el que difiere en gran medida de todo otro conjunto de mediciones. Muchas mediciones requieren juicios personales. Una fuente universal de error es el personal prejuicio. La mayoría de las personas, independientemente de su honestidad y competencia, tiene una tendencia natural a estimar las lecturas de la escala en la dirección aumenta la precisión de un conjunto de resultados. Cuando se tiene una noción preconcebida del verdadero valor de la medición, mente subconsciente hace que el operador de resultados que se encuentran cerca de este valor. La ventaja de los instrumentos

digitales en analógica que es independiente de su lectura los juicios, eliminan la polarización. El error causado por el operador debido a errores humanos, pueden ser tales como:

1. Una lectura no cuidadosa, (Anotación equivocada).
2. Mala aplicación del factor de corrección.
3. Malentendido del factor de escala y multiplicación,
4. Extrapolación o interpolación injustificada.
5. Errores informáticos.

8.8.5.4. Error Sistemático.

El error sistemático es también llamado consistente, fijo, determinable, predecible, evaluables. Las características de error sistemático son las siguientes:

1. Se mantiene constante en el valor absoluto de la señal al realizar varias mediciones del mismo valor de una variable en las mismas condiciones.
2. Varía según una ley definida cuando las condiciones varían.
3. Se debe a los efectos cuantificables afectar a todas las mediciones.
4. Pueden ser eliminados mediante la calibración.

Los errores sistemáticos pueden ser contenidos o dependientes del valor de la variable medida. El error determinado valor constante es independiente de la cantidad medida.

Los errores sistemáticos afectan a la precisión de los resultados.

8.8.5.5. Error aleatorio

Los errores aleatorios se deben a la probabilidad y el azar. Ellos son impredecibles y parecen irregulares y sus causas probabilísticas. Ellos son diferentes en las mediciones repetidas del mismo valor una cantidad medida en las mismas

condiciones. Los errores aleatorios son las medidas extendido más o menos simétricamente y alrededor del valor promedio. Los errores aleatorios afectar a la exactitud de las mediciones. Hay muchas fuentes de este tipo de error, pero ni puede ser positivamente identificado o medido, porque muchos de ellos son pequeños y no se puede detectar individualmente. Las causas de los errores son aleatorios debido a:

1. Variabilidad natural de la constante.
2. Errores intrínsecos al instrumento depende de la calidad de los circuitos y mecanismos.
3. Errores irregulares debido a la histéresis de banda muerta fricción.
4. Los errores indeterminados intrínsecos relacionados con el desgaste, utilizando la fricción y la resistencia de contacto.

8.8.5.5. Error final resultante

El error de medición es no sólo en instrumento indicación (display) pero todos los componentes del circuito de medición, como acondicionador de señal del sensor de elemento linealizador y filtro.

La precisión de la medición por lo tanto puede ser se define como la suma de los errores sistemáticos y Aleatorios de los componentes de cada sistema o la malla. Esta es una hipótesis pesimista, donde se supone que todos los errores son los mismos en dirección y pueden acumularse. Alguien más optimista podría establecer la precisión final del sistema como igual a la peor precisión entre los componentes. Esto es, considerar solamente la precisión de los peores instrumentos y menospreciará al otro precisiones mejores. La precisión final como la media ponderada de las precisiones individuales.

8.9. CALIBRACION DE LOS INSTRUMENTOS

Introducción

(46) “Se ha visto que los instrumentos industriales pueden medir, transmitir y controlar las variables que intervienen en un proceso. En la realización de todas estas funciones existe una relación entre la variable de entrada y la de salida del instrumento. Por ejemplo: presión del proceso a la lectura de presión en la escala de un manómetro; temperatura real a señal de salida neumática en un transmisor neumático de temperatura; señal eléctrica (4-20 mA c.c.) de entrada a señal neumática de salida en un convertidor I/P (intensidad a presión); señal de entrada neumática a posición del vástago del obturador en una válvula de control; nivel de un tanque a señal eléctrica estándar en un transmisor electrónico de nivel, etc.

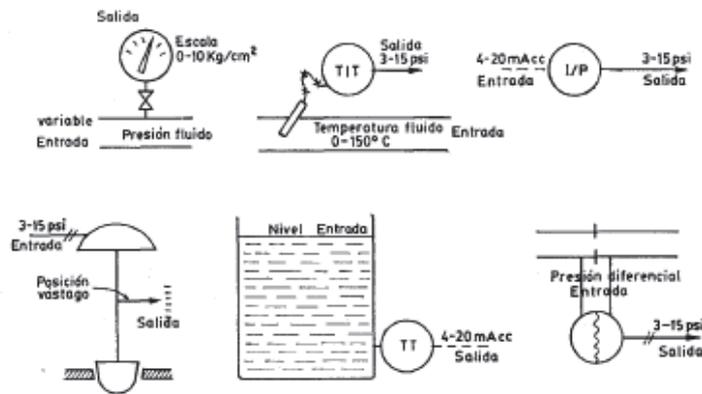
Esta relación puede encontrarse también en las partes internas del instrumento en particular cuando éste es complejo, como en el caso de un instrumento controlador miniatura para montaje en panel que está compuesto por varios bloques: unidad de punto de consigna (valor deseado de la variable medida), unidad de mando manual, unidad de control, etc.

En la unidad de punto de consigna existirá una relación entre la posición del botón de mando y la señal estándar que va al bloque controlador. En la unidad de mando manual, la relación existirá entre la posición del botón del mando o indicación de posición y la señal de salida a la válvula de control”.

Finalmente, en la unidad de control estarán ligadas la señal de error (diferencia entre el punto de consigna y la variable) y la señal de salida a la válvula de control, relación que será función de las acciones que posea el controlador. En el caso de un transmisor

de caudal de diafragma pueden considerarse dos bloques: el elemento de presión diferencial y el transmisor. En el primero estarán relacionados la diferencia de presiones de entrada (provocada por el elemento de presión diferencial-placa-orificio) con el giro del eje de salida del cuerpo, mientras que en el segundo la entrada será el giro del eje de salida del cuerpo y la salida la señal estándar de salida del transmisor.

En la figura, pueden verse estas funciones en varios tipos de instrumentos.



Así pues, un instrumento o una de sus partes pueden considerarse como dispositivos de conversión de señales (transductores) que pasan de una variable de entrada (presión, caudal, nivel, temperatura, posición, pH, conductividad, etc.), a una o varias de las siguientes funciones en la salida: indicación de la variable de entrada, lectura de un índice o de una pluma de registro; transmisión de la variable de entrada en señal neumática o eléctrica; fijación de la posición de una palanca o de un vástago de una varilla interna del instrumento o del vástago del obturador de una válvula.

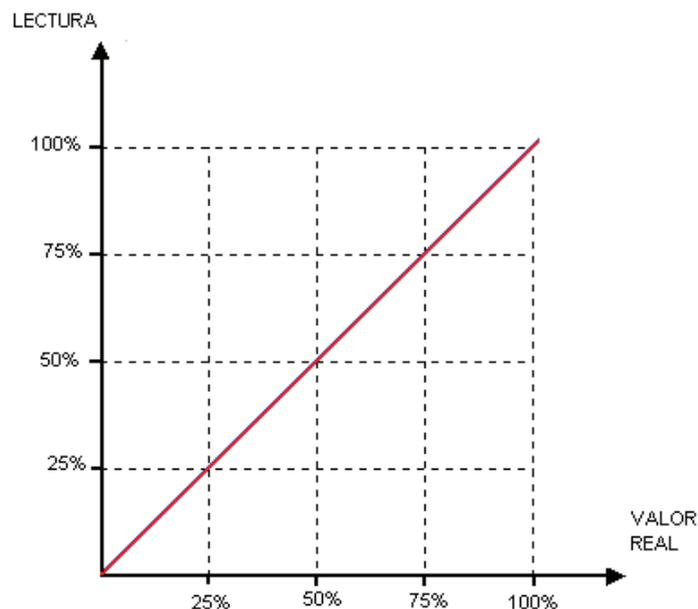
Existirá, pues, una correspondencia entre la variable de entrada y la de salida, representando esta última el valor de la variable de entrada. Siempre que el valor representado corresponda exactamente al de la variable de entrada el instrumento estará efectuando una medición correcta. Ahora bien, en la práctica, los instrumentos

determinan en general unos valores inexactos en la salida que se apartan en mayor o menor grado del valor verdadero de la variable de entrada, lo cual constituye el error de la medida.

El error es universal e inevitable y acompaña a toda medida, aunque ésta sea muy elaborada, o aunque se efectúe un gran número de veces. Es decir, el valor verdadero no puede establecerse con completa exactitud y es necesario encontrar unos límites que lo definan, de modo que sea práctico calcular la tolerancia de la medida.

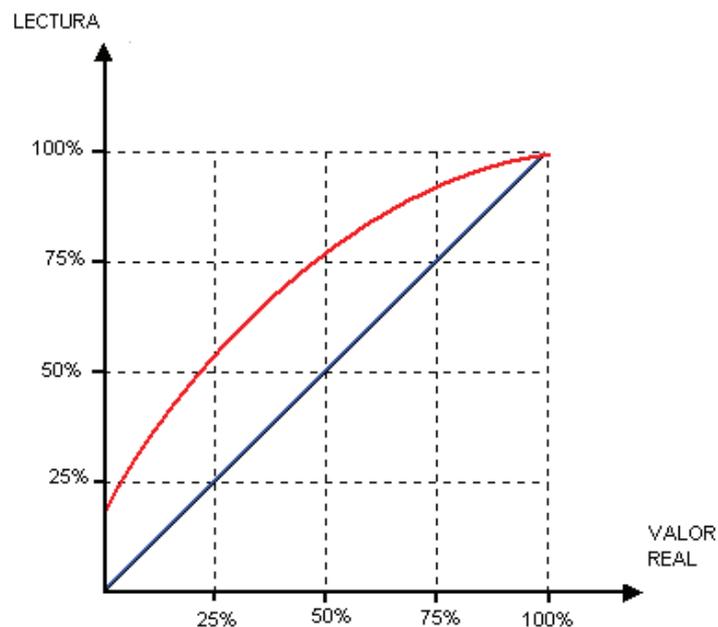
8.9.1. Errores de los instrumentos. Procedimiento general de calibración.

(47) “Un instrumento representativo, se considera que está bien calibrado cuando en todos los puntos de su campo de medida, la diferencia entre el valor real de la variable y el valor indicado o registrado o transmitido, está comprendida entre los límites determinados por la precisión del instrumento.



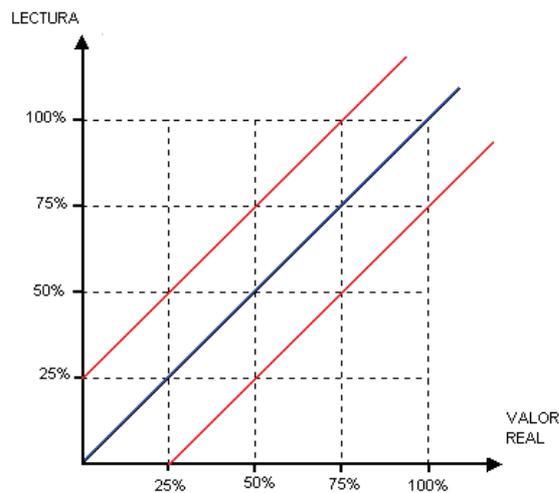
En un instrumento ideal (sin error), como se presenta en la figura, la relación entre los valores reales de la variable comprendidos dentro del campo de medida, y los valores de lectura del aparato, es lineal. En la figura, puede verse esta relación. En

particular, si el instrumento es un transmisor neumático, cuando el índice adopta las posiciones 0, 50, 100 % de la escala, las señales de salida correspondientes son: 3, 9 y 15 psi respectivamente. Si el instrumento fuera electrónico, las señales de salida serían: 4, 12 y 20 mA c.c., respectivamente. En condiciones de funcionamiento estático, las desviaciones respecto a la relación lineal indicada, dan lugar a los errores de calibración de los instrumentos, suponiendo que estas desviaciones no superan la exactitud dada por el fabricante del instrumento ya que en este caso consideraríamos el instrumento calibrado aunque no coincidiera exactamente la curva variable-lectura con la recta ideal”

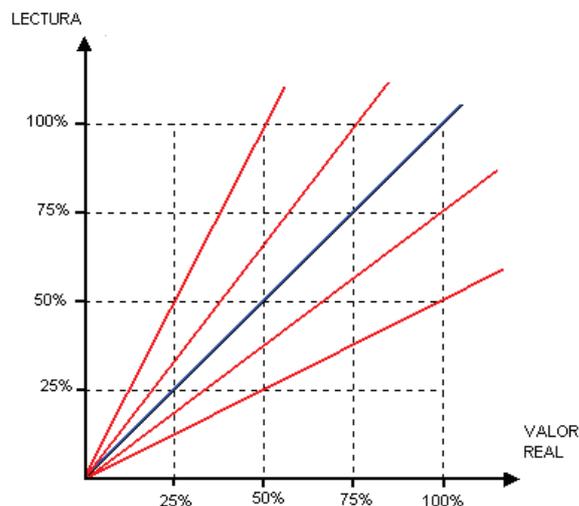


Las desviaciones de la curva variable real-lectura de un instrumento típico, tal como el de la figura, con relación a la recta ideal representan los errores de medida del aparato. Esta curva puede descomponerse en tres que representan individualmente los tres tipos de errores que pueden hallarse en forma aislada o combinada en los instrumentos:

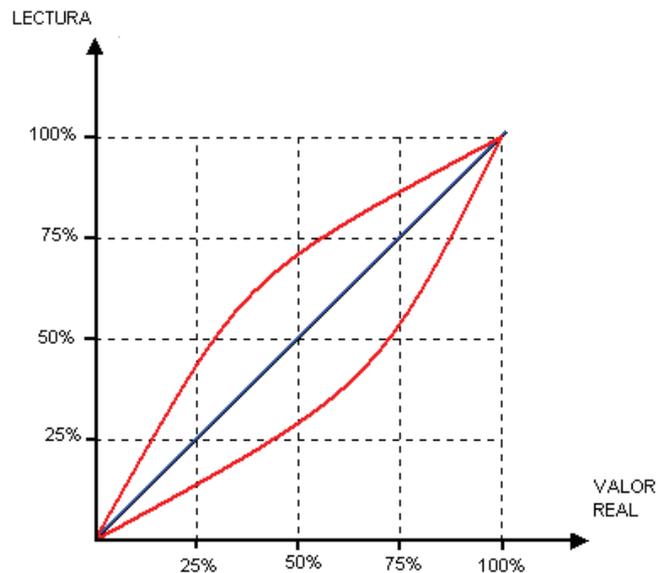
Error de cero. Todas las lecturas están desplazadas un mismo valor con relación a la recta representativa del instrumento. Este tipo de error puede verse en la figura 10.4, en la que se observará que el desplazamiento puede ser positivo o negativo. El punto de partida o de base de la recta representativa cambia sin que varíe la inclinación o la forma de la curva.



Error de multiplicación (spam). Todas las lecturas aumentan o disminuyen progresivamente con relación a la recta representativa, según puede verse en la figura, en la que se observará que el punto base no cambia y que la desviación progresiva puede ser positiva o negativa.



Error de angularidad. La curva real coincide con los puntos 0 y 100 % de la recta representativa, pero se aparta de la misma en los restantes. En la figura, puede verse un error de este tipo. El máximo de la desviación suele estar hacia la mitad de la escala. Los instrumentos pueden ajustarse para corregir estos errores, si bien hay que señalar que algunos instrumentos, por su tipo de construcción, no pueden tener error de angularidad. La combinación de estos tres errores da lugar a una curva de relación medida real-lectura, tal como la representada en la figura.



En general, el error de cero se corrige con el llamado tornillo de cero, que modifica directamente la posición del índice o de la pluma de registro cambiando la curva variable-lectura paralelamente a sí misma, o bien sacando el índice y fijándolo al eje de lectura en otra posición. El error de multiplicación se corrige actuando sobre el tornillo de multiplicación (o span, en inglés) que modifica directamente la relación de amplitud de movimientos de la variable al Índice o a la pluma, es decir, que aumenta o disminuye progresivamente las lecturas sobre la escala. Para calibrar un instrumento conviene, en primer lugar, eliminar o reducir al mínimo el error de angularidad. Este

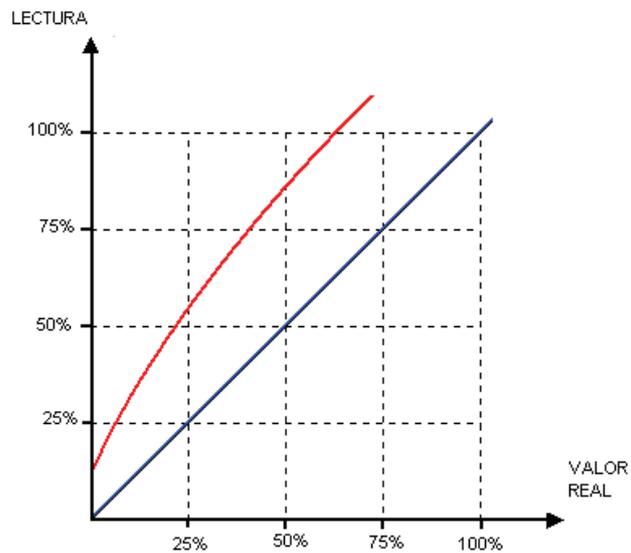
señalará un valor alto para el valor medio de la variable; este valor es el N'' con la condición de que el ángulo $N' IN'' = \alpha$

El error de angularidad anterior se ha obtenido acortando la varilla de conexión, de modo que para eliminarlo hay que aumentar la longitud de ésta. Pero, con el ajuste de cero efectuado, este alargamiento da lugar a que la pluma señale un valor todavía más alto para el valor medio de la variable. Por consiguiente, para corregir el error de angularidad es necesario realizarlo en la dirección contraria a la lógica, es decir, en la misma dirección del error. De lo expuesto se desprende que el error de angularidad puede eliminarse procediendo al escuadrado previo de las palancas para el valor de 50 % de la variable, o bien, actuando sobre el tornillo de angularidad para aumentar el valor del error en la dirección del mismo. En la práctica se suele considerar que este aumento es de unas cinco veces el error encontrado. Hay que hacer notar que la acción del tornillo de angularidad consiste en realidad en alargar o acortar la longitud de la varilla de unión entre el brazo de la variable y el del índice o pluma.

También puede ajustarse la angularidad deslizando la palanca de la variable sobre su eje de tal modo que el ángulo que forma con la palanca de interconexión sea recto para el valor de 50 % de la variable.

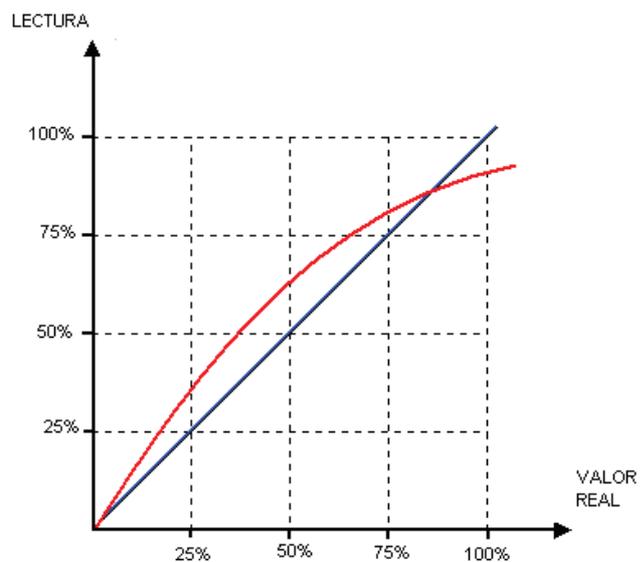
Sentadas estas bases, el procedimiento general para calibrar un instrumento será el siguiente:

Procedimiento General para Calibrar un Instrumento.



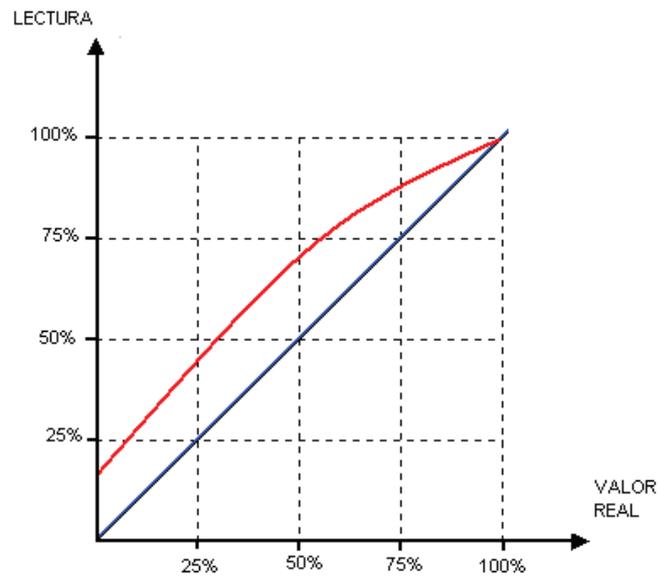
Inicial

1. Situar la variable en el valor mínimo del campo de medida, y en este valor ajustar el tornillo de cero del instrumento hasta que el índice señale el punto de base (fig. b).



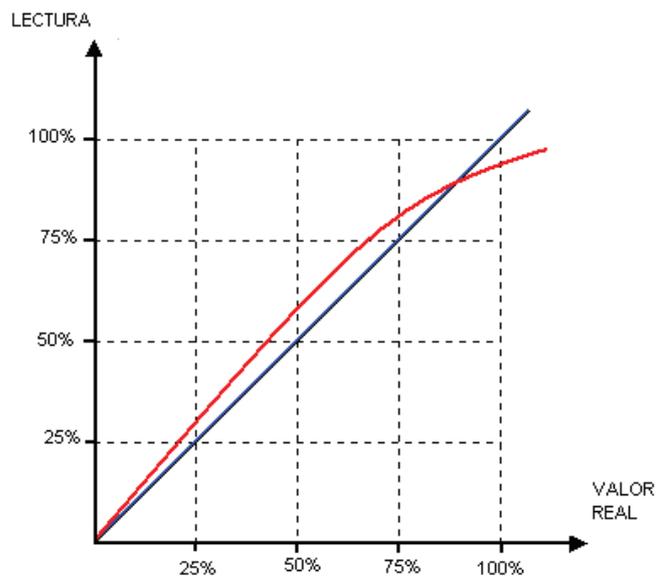
Ajuste de Cero

- Colocar la variable en el valor máximo del campo de medida, y en este valor ajustar el tornillo de multiplicación hasta que el índice señale el valor máximo de la variable (fig. c).

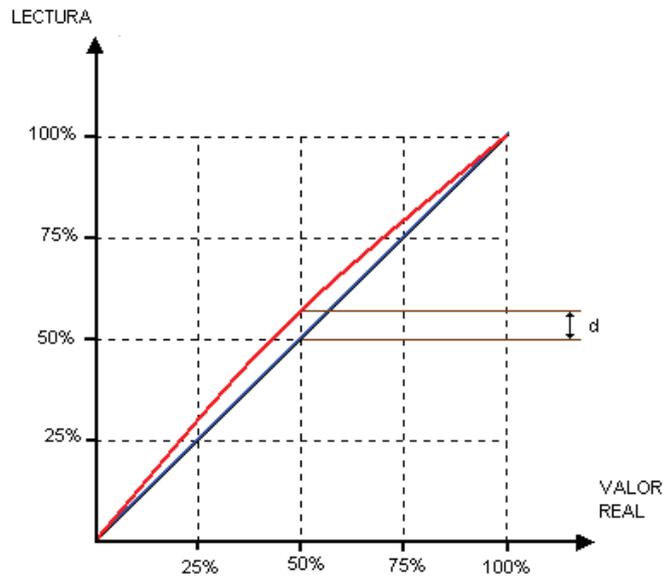


Ajuste de Multiplicación o Spam

- Repetir los puntos anteriores 1 y 2 sucesivamente, hasta que las lecturas sean correctas en los valores mínimo y máximo (figs. d y e).

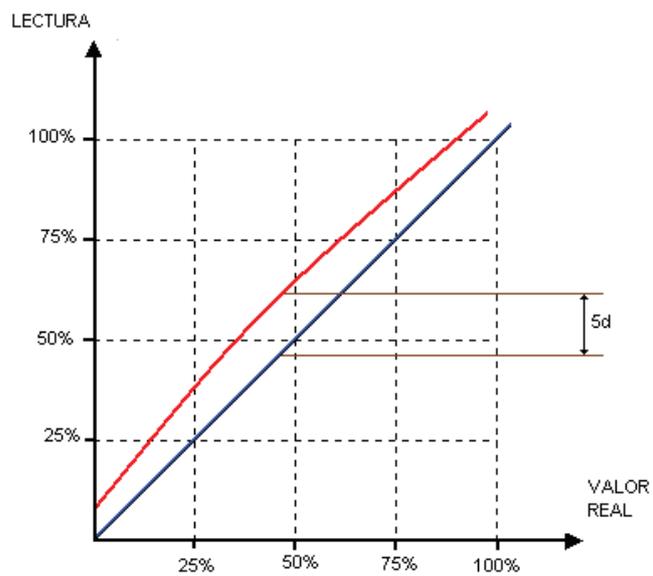


Ajuste de Cero



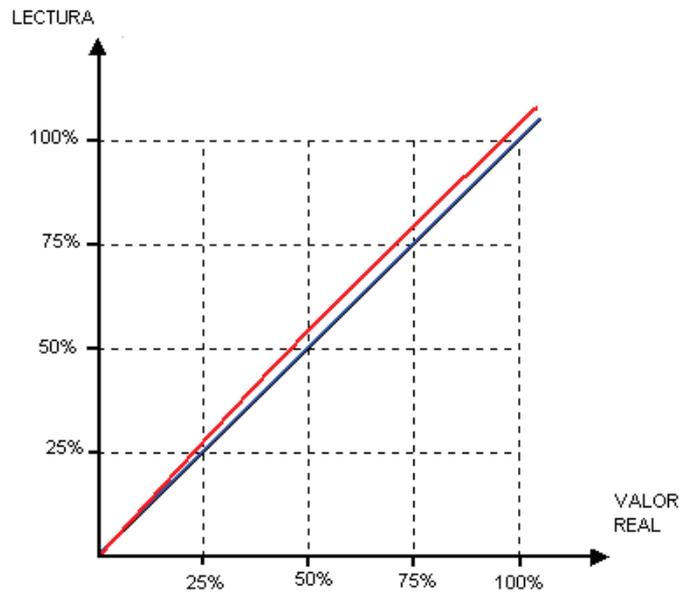
Ajuste de span y comprobación del error de angularidad

4. Colocar la variable en el cincuenta por ciento del intervalo de medida, y en este punto ajustar el tornillo de angularidad hasta mover el índice cinco veces el valor del error en la dirección del mismo (la curva real se aplana). Es de interés señalar que puede prescindirse de este paso procediendo previamente al escuadrado de las palancas para el 50 % de la variable (fig. f).

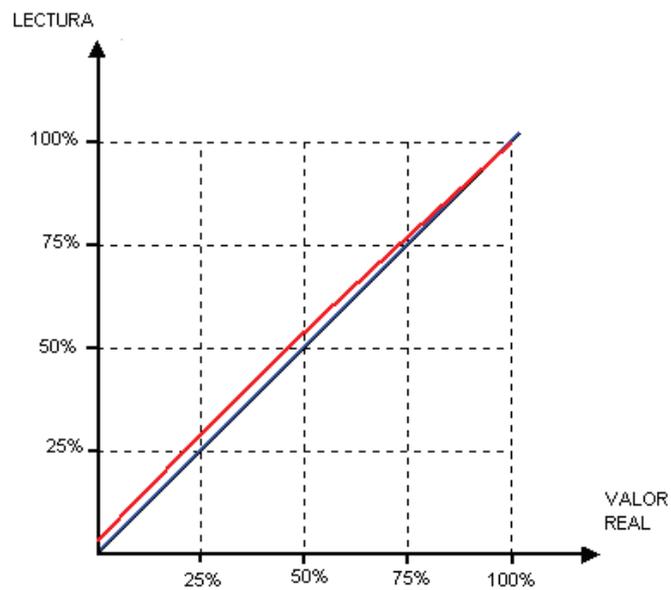


Ajuste de angularidad

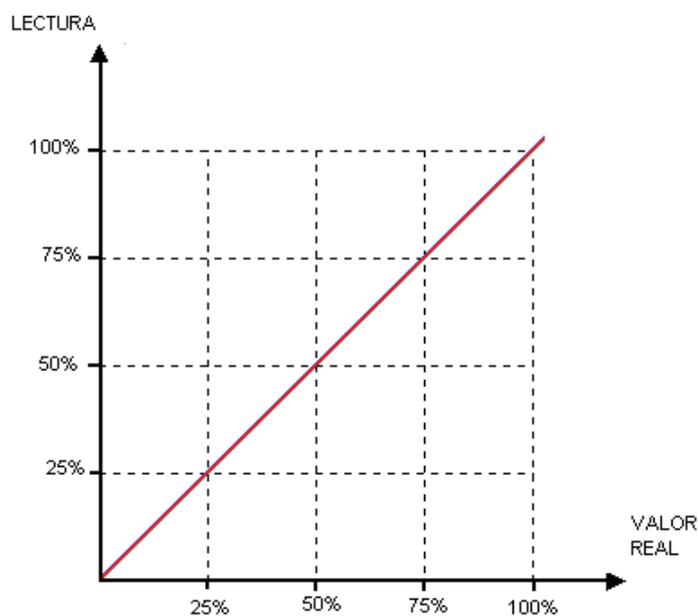
5. Reajustar sucesivamente el tornillo de cero y el de multiplicación, hasta conseguir la exactitud deseada o requerida (figs. g, h, i). Si fuera necesario, efectuar una nueva corrección de angularidad



Ajuste de Cero



Ajuste de Multiplicación o Spam

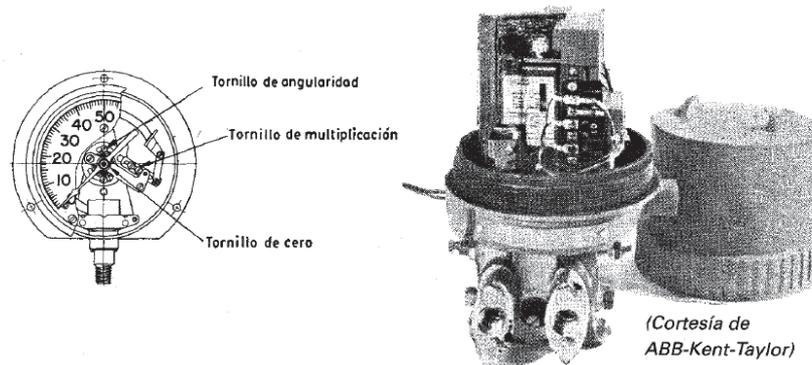


Ajuste de cero y final

Este procedimiento es general, con la salvedad de sustituir la palabra índice por pluma y señal de salida en los casos de instrumentos registradores y transmisores neumáticos (señal de salida, 3-15 psi) o electrónicos (4-20 mA c.c.) respectivamente. La posición de los tornillos de ajuste de cero, de multiplicación y de angularidad, varía según el instrumento; algunos tipos carecen de alguno de ellos.

En particular debe señalarse que los termómetros bimetálicos tienen usualmente tornillo de cero; los manómetros poseen tornillo de cero (o en su lugar es posible desmontar el índice y ajustarlo al eje en otra posición), de multiplicación y de angularidad, y los instrumentos electrónicos no suelen tener error de angularidad (figura). Lo dicho hasta ahora se refiere a los instrumentos convencionales neumáticos y electrónicos. En los instrumentos digitales inteligentes, en particular en los transmisores, la calibración se ve facilitada por la inteligencia proporcionada por

el microprocesador incorporado en el instrumento. Éste guarda digitalmente en una EPROM los datos que proporcionan correcciones precisas de las no linealidades de los sensores ante variaciones en la temperatura y en la presión ambiente, para toda la vida útil del instrumento.



Se encuentran grabados unos 126 puntos o más en lugar de los cinco típicos (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %) con los que se calibra un instrumento convencional. Un comunicador portátil dotado de visualizador de cristal líquido y teclado alfanumérico permite comprobar desde el propio transmisor, o bien desde el controlador, o desde cualquier punto de la línea de conexión (dos hilos), el estado y calibración del transmisor. Estos instrumentos presentan pues la ventaja de que no es necesaria su calibración. En todo caso, puede ajustarse el aparato enviando a través del teclado alfanumérico del comunicador el número de identificación del instrumento y los valores inferior y superior del campo de medida con los que se desea reajustar el aparato. Si se presenta una avería directa en el elemento en contacto con el proceso (por ejemplo, una perforación en la membrana de un transmisor de nivel) precisará el cambio del aparato o el del módulo en contacto con el proceso, pero tampoco será necesaria la calibración en el taller con aparatos patrón. A señalar que la utilización

de los instrumentos inteligentes representa un ahorro del 95 % con relación a los costos de recalibración de los instrumentos convencionales.

La exposición precedente se ha referido a los instrumentos representativos. Es evidente que el sistema de calibración es general, si bien, en algunos instrumentos particulares existen otros procedimientos más rápidos que están incluidos en el manual de instrucciones del fabricante. Otros tipos de errores provienen de la lectura del instrumento por el observador, y son:

(48) “Error de paralaje, que se produce cuando el observador efectúa la lectura de modo que su línea de observación al Índice no es perpendicular a la escala del instrumento. La importancia de este error depende de la separación entre el índice y la escala y del ángulo de inclinación de la línea de observación. Para disminuirlo, algunos instrumentos tienen el sector graduado separado de la escala y a muy poca distancia del índice, y otros poseen un sector especular, con lo que la línea de observación debe ser perpendicular a la escala para que coincidan el índice y su imagen.

Error de interpolación, que se presenta cuando el índice no coincide exactamente con la graduación de la escala, y el observador redondea sus lecturas por exceso o por defecto. Evidentemente, estos errores de paralaje y de interpolación no existen en los instrumentos de salida digital”.

La calibración de los instrumentos requiere disponer de aparatos patrones y de dispositivos de comprobación colocados usualmente en el taller de instrumentos. La precisión de estos instrumentos patrón debe ser como mínimo 1/4 de la precisión de los instrumentos a comprobar (Normas DIN 16-005, Mil-std-45662A). Es decir, si el

instrumento a comprobar tiene una precisión de $\pm 0,5 \%$, el instrumento patrón debe tener un mínimo de precisión de $\pm 0,125 \%$. Si los aparatos patrón tienen una precisión de 1/10 de los instrumentos a comprobar, su efecto sobre la medida puede ignorarse.

8.9.2. Calibración de instrumentos de presión, nivel y caudal.

Para calibrar los instrumentos de presión pueden emplearse varios dispositivos que figuran a continuación, y que utilizan en general manómetros patrón.

Los manómetros patrón (fig. a) se emplean como testigos de la correcta calibración de los instrumentos de presión.



Son manómetros de alta precisión con un valor mínimo de 0,2 % de toda la escala.

Esta precisión se consigue de varias formas:

1. Dial con una superficie especular, de modo que la lectura se efectúa por coincidencia exacta del índice y de su imagen, eliminando así el error de paralaje.
2. Dial con graduación lineal, lo que permite su fácil y rápida calibración.
3. Finura del índice y de las graduaciones de la escala.
4. Compensación de temperatura con un bimetálico.
5. Tubo Bourdon de varias espiras.
6. Se consigue una mayor precisión (de 0,1 %) situando marcas móviles para cada incremento de lectura del instrumento.

También pueden utilizarse como aparatos patrón de presión, los transmisores digitales inteligentes, por la precisión elevada que poseen, del orden del $\pm 0,2 \%$.

La calibración periódica de los manómetros patrón se consigue con el comprobador de manómetros de peso muerto, o con el digital.



Puede verse en la figura, y consiste en una bomba de aceite o de fluido hidráulico con dos conexiones de salida, una conectada al manómetro patrón que se está comprobando, y la otra a un cuerpo de cilindro dentro del cual desliza un pistón de sección calibrada que incorpora un juego de pesas.

La calibración se lleva a cabo accionando la bomba hasta levantar el pistón con las pesas y haciendo girar éstas con la mano; su giro libre indica que la presión es la adecuada, ya que el conjunto pistón-pesas está flotando sin roces. Una pequeña válvula de alivio de paso fino y una válvula de desplazamiento, permiten fijar exactamente la presión deseada cuando se cambian las pesas en la misma prueba para obtener distintas presiones, o cuando se da inadvertidamente una presión excesiva.

Existen dos tipos de pistones, de baja y de alta presión, con juegos de pesas que permiten obtener márgenes muy variados (por ejemplo: 0-20, 2-100, 30-150, 70-350. 140-700 bar).

La precisión de la medida llega a ser del orden de 0,1 %. Un comprobador de manómetros de peso muerto puede alcanzar una precisión de $\pm 0,06$ %, y los pistones y las pesas utilizados pueden certificarse a $\pm 0,008$ %. El uso frecuente del comprobador puede degradar la precisión en $\pm 0,015$ % por año, por lo que puede ser necesaria una recertificación periódica.

El comprobador de manómetros portátil utiliza la misma bomba empleada en el comprobador anterior (fig. b) y se utiliza para comprobar manómetros e instrumentos de presión, utilizando un manómetro patrón.



Su funcionamiento es parecido al del comprobador anterior, excepto que las dos conexiones de salida se destinan una al manómetro patrón y la otra al instrumento de presión a comprobar.

El comprobador de manómetros digital , consiste en un tubo Bourdon con un espejo soldado que refleja una fuente luminosa sobre un par de foto diodos equilibrados. Se genera así una señal de corriente que crea un par igual y opuesto al de la presión que

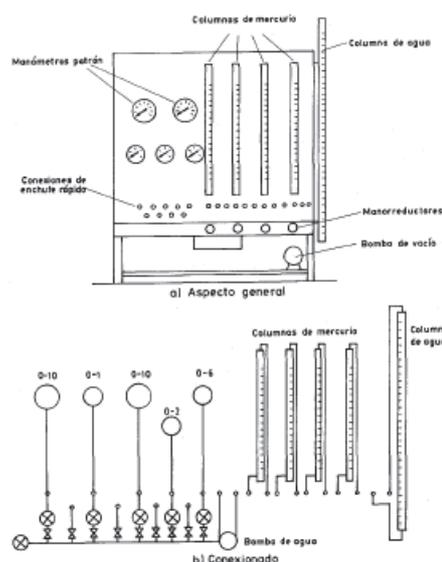
actúa sobre el tubo Bourdon. Una resistencia de precisión crea una señal de tensión directamente proporcional a la presión del sistema.

Complementando el instrumento anterior con potenciómetros de ajuste y una servoválvula se obtiene un comprobador de presión de precisión. La precisión del comprobador de manómetros digital alcanza $\pm 0,003 \%$ de toda la escala, con una estabilidad de $\pm 0,005 \%$ de la lectura.

Añadiendo un ordenador y el software adecuado se consigue una automatización de la calibración con salida gráfica y por impresora, lo que permite satisfacer los requerimientos de la norma de calidad ISO 9000.

Para presiones bajas, del orden de 1 bar, se emplean columnas de mercurio portátiles para pruebas en campo, o de fijación mural en el taller de instrumentos.

Según el modelo disponen de tres tipos de graduaciones: 0-1000 mm columna de mercurio (c. de Hg.), 0-1,4 bar o de 0-20 psi. Estas columnas de mercurio tienen conexiones en la parte inferior y superior aptas para la medida de presión y de vacío, respectivamente.



Para la medida de presiones más bajas se utilizan columnas de agua hasta 1,5 m de longitud, que tienen asimismo conexiones en la parte inferior y superior para medir presión o vacío, respectivamente. Las columnas de mercurio y de agua descritas y un juego de manómetros patrón, se disponen generalmente en un panel o banco de pruebas de instrumentos que incorpora una bomba de vacío y filtros manorreductores de aire de precisión conectados al aire de instrumentos de la planta.

En la figura puede verse un esquema del banco de pruebas de instrumentos. Los calibradores de presión portátiles de precisión son un buen sustituto del banco de pruebas de instrumentos descrito para presiones hasta 20 bar. Mediante una bomba manual pueden generar vacíos hasta - 800 mbar y presiones hasta 20 bar. En la figura puede verse un esquema del calibrador.



Los resultados de la calibración pueden almacenarse en la memoria del instrumento y analizarse más adelante o transferirse a un ordenador vía la interfaz RS232. El sistema de calibración integrado permite el uso de la norma de calidad ISO 9000. El calibrador alcanza una precisión de $\pm 0,05\%$ de la lectura de presión efectuada. Un instrumento de nivel de presión diferencial se calibra disponiéndolo en el banco de pruebas con la conexión de alta conectada a un manorreductor y a una columna de

agua o de mercurio para simular el campo de medida y la conexión de baja abierta a la atmósfera; la parte transmisora neumática o electrónica se alimenta aparte y su señal de salida va a una columna de mercurio del banco, en caso de señal neumática, o a una maleta comprobadora de instrumentos electrónicos en caso de señal eléctrica. La simulación del campo de medida se consigue transformando a presión la altura del líquido en el tanque del proceso y reproduciendo esta presión con el manorreductor del banco de pruebas. Un instrumento de nivel de desplazamiento se calibra conectándolo a un tubo en U transparente que permite ver la altura de agua. La variación de la altura de agua en el tubo simula los puntos de nivel en todo el campo de medida y en el ensayo se sitúa el ajuste de densidad del instrumento en el valor 1. Una vez calibrado el instrumento bastará cambiar el ajuste de densidad al valor que tenga el líquido del proceso. En algunos instrumentos, el fabricante proporciona pesos calibrados para simular el nivel; en este caso no hay necesidad de sumergir el flotador en agua. Los rotámetros no pueden calibrarse, exceptuando la parte transmisora cuando la llevan incorporada. Los rotámetros para líquidos se comprueban haciendo pasar agua, de modo tal que la indicación del rotámetro se mantenga en un valor constante y recogiendo el agua en un tanque de capacidad conocida o en un depósito colocado sobre una báscula. Esta capacidad dividida por el tiempo transcurrido en la experiencia dará el caudal, que deberá coincidir con la indicación del rotámetro, teniendo en cuenta naturalmente las correcciones de peso específico, temperatura y viscosidad del fluido real comparado con el agua (fluido de ensayo). La comprobación del rotámetro puede realizarse también intercalando otro rotámetro de precisión en serie y comparando las dos indicaciones.

Los rotámetros para gases se calibran con un rotámetro de precisión en serie haciendo pasar aire. Se comparan las dos indicaciones afectadas de los correspondientes factores de corrección de peso específico, temperatura y presión. Otro sistema de calibración, utilizado en rotámetros de pequeño tamaño, emplea un tubo cilíndrico graduado con un pistón sellado mediante mercurio para evitar fugas. Al bajar el pistón con regularidad hace pasar aire a través del rotámetro bajo observación. El volumen de aire gastado dividido por la duración del ensayo, medida mediante un cronómetro, da el caudal que debe corresponderse con la posición del flotador afectada lógicamente de los coeficientes de corrección correspondientes.

8.9.3. Calibración de instrumentos de temperatura.

(49) “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 (figura a) consiste en un bloque metálico calentado por resistencias con un controlador de temperatura de precisión ($\pm 2^\circ \text{C}$) 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 un termopar patrón y la sonda de temperatura a comprobar. Pueden programarse las temperaturas y la pendiente de subida o bajada y comunicarse a un ordenador.

El calibrador de baño de arena (figura b) consiste en un depósito de arena muy fina que contiene tubos de inserción para la sonda de resistencia o el termopar 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 de líquido (figura c), 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 un juego de resistencias calefactoras y sobre un refrigerador mecánico dotado de una bobina de refrigeración.



En algunos modelos no existe el refrigerador. El agitador mueve totalmente el líquido, disminuye los gradientes de temperatura en el seno del líquido y facilita una transferencia rápida de calor; el termómetro patrón es de tipo laboratorio, con una gran precisión; el controlador de temperatura puede ser todo-nada, proporcional o proporcional más integral.

Los hornos de temperatura (fig. h) son hornos de mufla calentados por resistencias eléctricas y con tomas adecuadas para introducir los elementos primarios (termopar) del instrumento a comprobar.



Si bien estos hornos son de temperatura controlada disponiendo de indicador controlador, un termopar de precisión y de un juego de resistencias de calentamiento, una calibración muy precisa se conseguirá disponiendo en el interior del horno crisoles con materiales específicos que funden a temperaturas determinadas.

Los comprobadores potenciométricos se emplean para comprobar las características f.e.m.-temperatura de los termopares, para medir la temperatura con un termopar y para calibrar los instrumentos galvanométricos y potenciométricos.

Constan de un galvanómetro, un elemento de estandarización de tensión y un reóstato de selección de f.e.m., combinado 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 elevada, del orden del 0-2 %. Hay que 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 modo siguiente:

1. Se determina la temperatura de la unión fría del instrumento por lectura del termómetro de vidrio.
2. 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.
3. 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 un termopar los pasos a seguir son los anteriores, pero sumando los valores en m V de la temperatura ambiente y de la generada por el termopar. Los mV resultantes se pasan a temperatura mediante la tabla de f.e.m.

Escala Internacional de Temperatura

Punto fijo	Temp. (K)	Temp. (°C)
Punto triple del hidrógeno	13.8033	-259.3467
Hidrógeno a 32,9 kPa	17	-256,15

Hidrógeno a 102,2 kPa	20,3	-252,85
Punto triple del neón	24,5561	-248,5939
Punto triple del oxígeno	54,3584	-218,7916
Punto triple del argón	83,8058	-189,3442
Punto triple del mercurio	234,3156	-38,8344
Punto triple del agua	273,16	0,01
Punto de fusión del galio	302,9146	29,7646
Punto de congelación del indio	429,7485	156,5985
Punto de congelación del estaño	505,1181	231,928
Punto de congelación del zinc	692,73	419,527
Punto de congelación del aluminio	933,473	660,323
Punto de congelación de la plata	1234,93	961,78
Punto de congelación del oro	1337,33	1064,18
Punto de congelación del cobre	1357,77	1084,62

8.9.4. Aparatos electrónicos de comprobación

(50) “Los diversos aparatos utilizados en la detección de averías de los instrumentos electrónicos permiten efectuar todas las operaciones de calibración y prueba de los instrumentos electrónicos, tales como: alimentación del instrumento, suministro de una tensión o corriente de entrada que simule la señal del proceso, indicación de la señal de entrada o salida, comprobación de la sensibilidad, tiempo de respuesta, linealidad e histéresis de los instrumentos y localización rápida de las averías en los bucles de control.

Medidor Geiger para verificación y calibración de instrumentos de radiación que emplean isótopos radiactivos.

Ordenador personal que puede utilizarse como procesamiento de textos, bases de datos, calibración automática y como registro general de variables de proceso mediante placas de entrada y salida de datos.

Osciloscopio, que permite comprobar partes del circuito de un instrumento electrónico por comparación de las curvas de salida con las dadas por el fabricante, aparte del uso normal del mismo en la detección general de averías en los circuitos electrónicos y en la medida de tensiones. Su precisión típica es de 3 a 5 % para frecuencias hasta 100 Hz. A señalar que en algunas aplicaciones es sustituido por el ordenador personal.

Estabilizador de tensión, para la alimentación general de los aparatos electrónicos del taller.

Polímetro general, para medidas generales de tensión, intensidad, resistencia y capacidad.

Voltímetro digital de c.c., que permite medir tensiones con una precisión de $\pm 0,1$ % e incluso de $\pm 0,01$ %.

Generador de funciones.

Estroboscopio.

Tacómetros”.

Otros accesorios forman parte del taller de instrumentos, y entre ellos se encuentran:

Tomos de pequeñas dimensiones, máquinas para limpieza de piezas grandes y medianas, máquinas de taladrar, fijas y portátiles, pulidora, herramientas varias de taller (equipo para soldadura de plata, soldador eléctrico, soldador a la autógena, juego de llaves inglesas y fijas, cortador de juntas, cortatubos, machos y terrajas de roscar, etc.), equipo especial de soldadura para la fabricación de termopares, etc.

Herramientas manuales (destornilladores de relojero, pinzas, llaves inglesas y de tubo, limpiadores de plumilla para aparatos registradores, martillos, alicates, mordazas, sierras de mano, etc.).

Conjuntos de emisor-receptor portátil para intercomunicación en la calibración de instrumentos y detección de averías en la planta.

8.9.5. Calidad de calibración según Norma ISO 9002

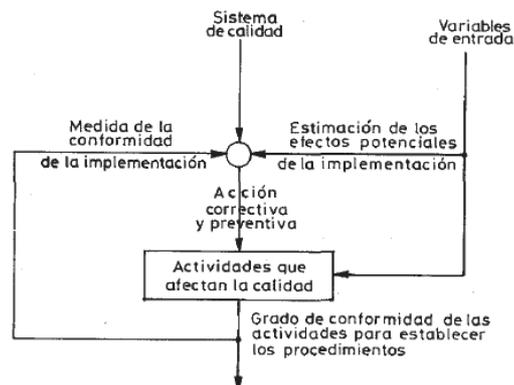
La norma ISO 9000 (ISO es International Organization for Standardization) fue publicada en 1987 y consta de cinco partes:

- ISO 9000. Generalidades.
- ISO 9001. Proyecto, fabricación, instalación y servicios.
- ISO 9002. Producción e instalación.
- ISO 9003. Inspección y ensayo final del producto.

- ISO 9004. Sistemas de dirección de la calidad.

La norma ISO 9002 abarca específicamente la dirección de la calidad en el proceso de producción del producto y define, en forma de instrucciones y procedimientos, la forma específica en que debe operar una empresa. Todo el conjunto de la información generada constituye el Sistema de Calidad, el cual asegura a los clientes de la empresa que los productos que ellos compran están perfectamente controlados. La calidad queda mejor asegurada a través del control de la fabricación y de los procesos, que después de la inspección de los productos terminados.

En la figura, puede verse una representación en forma de lazo de control de realimentación y anticipativo de la Norma ISO 9000.



Desde el punto de vista de la aplicación de la norma ISO 9002, el término verificación de los instrumentos significa la comprobación de que cada instrumento incluido dentro de la norma ISO 9002 está dentro de la tolerancia en la medida aceptada por el Departamento de fabricación de la empresa. Esta definición se aparta de la clásica de calibración realización de las operaciones necesarias para que el instrumento tenga los mínimos errores posibles como si hubiera salido de inspección de la fábrica del suministrador.

Con relación al apartado de Equipos de inspección, medida y ensayo , el sistema de calidad ISO 9002 establece que el suministrador de un producto debe:

- Identificar, calibrar y ajustar todo el equipo de inspección, medida y ensayo que puede afectar la calidad del producto, a intervalos definidos con relación a equipos de calibración certificados por un organismo reconocido.
- Establecer, documentar y mantener los procedimientos de calibración de los instrumentos y de los equipos de calibración.
- Asegurar que las condiciones ambientales son adecuadas para las operaciones de calibración, inspección, medida y ensayos que se efectúen en los instrumentos.

La implantación de la norma ISO 9002 presupone la redacción de manuales de calibración de los instrumentos afectados (clave en la obtención de la calidad esperada del producto fabricado por la empresa), la creación de procedimientos documentados para la calibración y la conformidad o no conformidad de los instrumentos y equipos de calibración, el entrenamiento del personal destinado a la calibración ISO 9002, y la creación de un área separada dentro del taller de instrumentos donde se encontrarán ubicados los equipos y herramientas de calibración.

El período de calibración de cada instrumento es fijado por la propia empresa, de acuerdo con la experiencia que posea sobre el trabajo en la planta. Normalmente suele ser de un año para los aparatos normales.

A señalar que existen en el mercado calibradores compactos controlados por microprocesador para la calibración de presión, temperatura, frecuencia y otras

variables de proceso, que, ligados con un pc, automatizan el proceso de calibración permitiendo almacenar en disquete y registrar en impresora los datos de los instrumentos calibrados. Las compañías que suministran estas herramientas indican que constituyen el sistema ideal de calibración para cumplir con la norma ISO 9000, y de hecho lo son, puesto que alcanzan una precisión del orden de $\pm 0,05\%$.

Aparentemente, la implantación de la norma ISO 9002 parece sencilla, pero no es una tarea fácil. Es necesario que el equipo de calibración esté certificado por un organismo reconocido, que dicho equipo se calibre periódicamente así como los instrumentos de medición y control afectados, que se identifiquen perfectamente los instrumentos, se entrene al personal y que todo ello esté perfectamente documentado. Supone una mentalidad totalmente nueva dentro de la empresa englobando a todos sus departamentos y personal y contando con su convencimiento y con su aportación individual. Si no es así, será difícil conseguir una implantación adecuada.

9. Descripción del Banco de Entrenamiento.

El banco de Entrenamiento está compuesto, principalmente por un panel de control y dos estructuras metálicas, cada una de estas partes cumple una función determinada y se describen a continuación.

9.1.Estructura del módulo.

Tablero de control. El tablero de control está construido en láminas de acero galvanizado, tiene las medidas mostradas.

Altura	80cms
Ancho	70 cms.
Fondo	30 cm parte superior x 40 cm parte inferior.

Los elementos que intervienen en cada módulo se detallan a continuación:

9.1.1. Módulo de medición de temperatura.

La variable a medir corresponde a la temperatura del agua almacenada en el tanque de proceso. En este proceso intervienen los siguientes componentes.

9.1.1.1.Resistencia de calentamiento.

Es el elemento generador de energía para el calentamiento del agua del proceso. Consiste de una resistencia de inmersión a 220 Vca, de 2.5 kW de potencia y con conexión roscada como lo muestra la figura.



9.1.2. Sensor de temperatura.

Como se va a manejar una temperatura bastante baja en el proyecto se necesita un sensor que ofreciera gran sensibilidad y muy buena precisión, para esto se analizaron los sensores de temperatura más usados en la industria como son los termopares, las PT100 y los termistores analizando características como el acondicionamiento de señal requerido, la precisión y la sensibilidad. Se puede observar que la PT100 es un sensor que ofrece una excelente precisión, muy buena sensibilidad, es muy preciso, estable, entrega una señal excitación de corriente, trabaja en un rango de temperatura de 0 a 400°C con una exactitud de 0.5°C por lo cual logró captar muy fácilmente los pequeños cambios de temperatura producidos en el proceso instalado, además cumplió con los requerimientos necesarios para la instalación en el proyecto. Por las razones anteriores y por la disponibilidad en el mercado se optó por trabajar con el sensor de temperatura tipo PT100, el cual se explica detalladamente a continuación de la tabla de comparación de sensores.

Sensor	Acondicionamiento de señal requerido	Precisión	Sensibilidad	Comparación.
Termopares	Amplificación Filtrado	Bueno	Bueno	Auto-energizado. Económico.
PT100	Filtrado. Amplificación.	Excelente	Mejor	Muy preciso. Muy estable.
Termistor	Amplificación Filtrado	Mejor	Excelente	Alta resistencia. Baja masa térmica.

9.1.2.1.Sensor tipo pt100.

Es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de platino bobinado entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico. Generalmente va montado en un termopozo junto con el transmisor de temperatura como se muestra en la figura. El cual permite un fácil montaje y conexionado.



Figura. Montaje Pt100 en termo pozo.

El material que forma el conductor, posee un coeficiente de temperatura de resistencia infinita, el cual determina la variación de la resistencia del conductor para cada grado que cambia su temperatura.

Características técnicas.	
Tipo de sensor	Resistencia de platino 100Ω a 0°C.
Rango de temperatura Operativo	0 a 400°C
Material del Cuerpo	Incomel 600.
Exactitud.	0.5°C
Conexión	3 hilos.

Características pt100.

Conexión.	
Hilos	Señal
A	RTD
B	RTD
b	Compensación

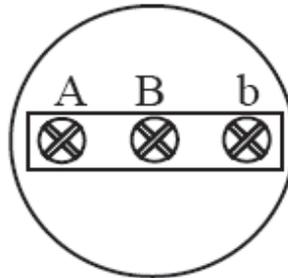


Figura. Conexión Pt100

9.1.3. Transmisor de temperatura.

Para mejorar la señal analógica de la PT100 se necesita un transmisor de temperatura para lo cual se analizaron los que nos ofrece la marca SIEMENS y encontramos los que se encuentran en la **tabla 1**.

Trasmisor	Tipo	Montaje	Señal de salida
SITRANS TH100	PT100	Sensor con conexión tipo DIN B	4-20mA.
SITRANS TH200	Termocuplas. RTD	Sensor con conexión tipo DIN	4-20mA.

Se puede observar que ambos transmisores cumplen con la condición para trabajar con la PT100 y tienen salidas de 4 – 20mA.

9.1.3.1. Transmisor de temperatura SITRANS TH100.

Como ya se había dicho es para linealizar las variaciones de voltaje de la PT 100 y entregar una salida 4 a 20mA proporcional a dichas variaciones.



Figura. Transmisor de temperatura.

El transmisor de temperatura SITRANS TH100, entre otras aplicaciones se utiliza para la medida de temperatura con termo-resistencias y PT100 en todos los sectores. La señal de salida es una corriente continua de 4 a 20 mA proporcional a la temperatura e independiente de la carga.

Este transmisor permite ser parametrizado y se efectúa por medio de un computador con el software SIPROM T y con un módem para SITRANS TH100/TH200, para este caso se adquirió parametrizado para PT100 a tres hilos y rango de 0 a 100.

9.1.3.2. Funcionamiento.

La señal suministrada por una termorresistencia Pt100 (conexión a 2, 3 o 4 hilos) se amplifica en la etapa de entrada. La tensión proporcional a la magnitud de entrada se digitaliza por medio de un multiplexor en un convertidor analógico-digital. El micro-controlador realiza la conversión de la señal en función de la característica del sensor y de otros parámetros (rango de medición, amortiguación, temperatura ambiente, etc.).

La señal preparada se transforma en una corriente continua de 4 a 20 mA independiente de la carga en un convertidor digital analógico. Los circuitos de entrada y de salida están protegidos cada uno por un filtro CEM contra las interferencias electromagnéticas.

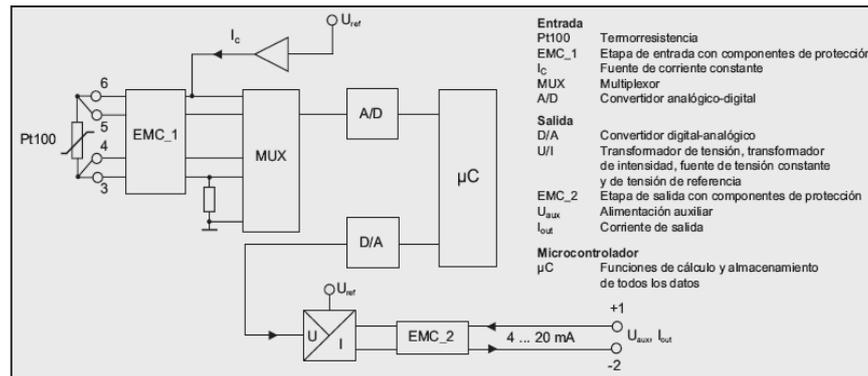


Figura. Diagrama de Función.

Entrada.

- Magnitud de medida** : Temperatura.
- Tipo de Entrada** : PT 100.
- Características** : Lineal con temperatura.
- Tipo de Conexión** : 2, 3,4 hilos.
- Resolución** : 14 bit.
- Alcance de medida** : <250°C (450°F).
- Repetitividad** : <0.1 °C (0.18°F).
- Corriente de medida** : 0.4mA.
- Rango de medición** : -200... 850°C
- Off set programable** : -100°C hasta 100°C

Salida.

Señal de salida : 4 a 20mA.

Alimentación auxiliary : 8.5 a 36Vcc.

Carga máxima : 8.5 V/0.0023A

Margen de Saturación : 3.6 a 23mA ajustable.

Señal de fallo (en caso de ruptura del sensor): 3.6 a 23 mA

Protección : Contra inversión de polaridad

9.1.4. Módulo de medición de presión.

La variable de presión a medir corresponde a la fuerza de impulsión de la motobomba de llenado del tanque de proceso. En este proceso intervienen los siguientes componentes.

Transmisor de presión.

La elección de este sensor se hizo con el fin de proteger la tubería y la motobomba de subidas de presión indeseadas

Serie	Presión a medir	Rango	out	Display	Conexión.
Z	Manométrica	0 -1 BAR (0 -14.5 PSI)	4 - 20mA	No	½ NPT
Z	Manométrica	0 – 4 BAR (0 – 58PSI)	4 - 20mA	No	½ NPT
Z	Manométrica	0 – 6 Bar (0 -87 PSI)	4 - 20mA	No	½ NPT

Teniendo en cuenta el cálculo de la presión generada por la motobomba en el sistema, y que la tubería tiene un rango de trabajo de 3.15 a 13.5 psi, el transmisor de presión más indicado es el SITRANS P SERIE Z con el rango de medida de 0 a 14,5 psi (0 a 1 bar).

9.1.4.1. Transmisor de presión SITRANS P Serie Z.

Para la medición de presión se utilizó el transmisor de presión SIEMENS, modelo SITRANS P de la serie Z con una salida de 4 a 20 mA, proporcional a las variaciones de presión en la tubería. Este dispositivo se muestra en la figura.



Figura. Transmisor de Presión SITRANS P.

El transmisor SITRANS P de la serie Z mide la presión relativa y absoluta y el nivel de líquidos y gases.

Beneficios

Alta precisión de medida.

Para fluidos corrosivos y no corrosivos.

Para medir la presión de gases, líquidos y vapores.

Célula de medida con compensación de temperatura. Fabricación de maquinaria.

Aplicaciones.

Industria Química.

Industria farmacéutica.

Industria Alimenticia.

Construcción. La construcción del transmisor de presión depende del rango de medida y en nuestro proyecto se utiliza el siguiente.

Rango de medida > 1 bar (> 14.5 psi) Componentes principales:

✚ Caja de acero inoxidable con célula de medida en cerámica y módulo electrónico.

La célula de medida en cerámica con compensación de temperatura tiene una galga extensométrica de película fina, la cual está alojada en una membrana

cerámica. La membrana cerámica puede utilizarse también con fluidos corrosivos.

- ✚ Conexión al proceso de acero inoxidable en diversas variantes
- ✚ Conexión eléctrica mediante conectores de enchufe según DIN 43650 con pasacables M16x1.5, /-14 NPT o con conectores macho redondos M12.

9.1.4.2. Funcionamiento.

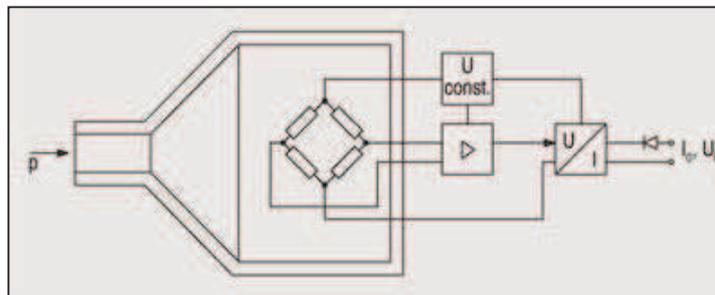


Figura. Diagrama de función SITRANS P.

El funcionamiento del transmisor de presión depende del rango de medida y para nuestro proyecto se utiliza el siguiente.

Rango de medida > 1 bar (> 14.5 psi)

La célula de medida de película fina dispone de un puente de resistencias de película fina, al cual la presión de servicio “p” se transmite a través de una membrana cerámica.

La tensión de salida de la célula de medida se conduce hacia el amplificador y se transforma en una señal de salida tipo corriente de 4 a 20 mA o en una tensión de salida de 0 a 10 V DC.

La corriente y la tensión de salida son linealmente proporcionales a la presión de entrada.

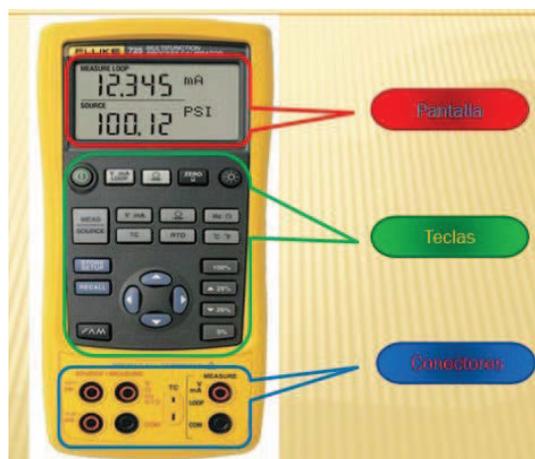
9.1.5. Diseño del Modulo Experimental de Pruebas y Contrastación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725

CALIBRADOR DE PROCESOS FLUKE 725.

Introducción.

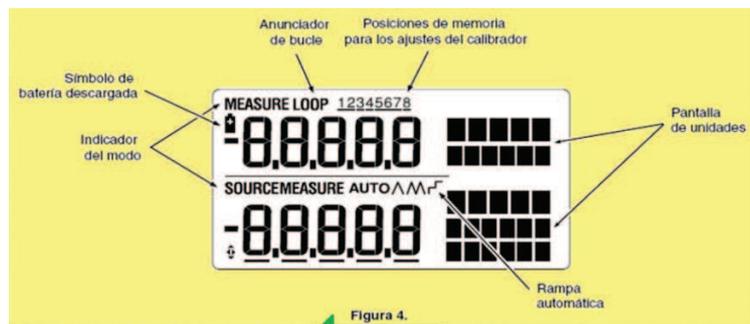
El Calibrador de Procesos es un instrumento manual, alimentado por baterías que mide y suministra parámetros eléctricos y físicos. Está diseñado específicamente para la industria de procesos, con características y precisión inmejorables, está equipado para poder medir, comprobar y calibrar casi cualquier variable de proceso. El calibrador permite diagnosticar, calibrar y verificar.

Partes del calibrador Multifunción Fluke 725.



Diseño y pantalla.

Una pantalla dividida. La parte superior de la pantalla sólo le permite medir tensión, corriente y presión. La parte inferior de la pantalla permite a usted medir y servir de fuente de tensión, corriente, presión, detectores termométricos de resistencia, termopares, frecuencia y ohmios.



Teclas y Funciones.



Número 1.

Símbolo



Descripción: Enciende y apaga la alimentación.

Número 2.

Símbolo



Descripción: Selecciona tensión, mA o alimentación de bucle como la función de medición en la parte superior de la pantalla.

Número 3.

Símbolo.



Descripción: Selecciona la medición de presión en la parte superior de la pantalla. Pulsándola repetidamente avanza cíclicamente por las diferentes unidades de presión.

Número 4.

Símbolo



Descripción: Pone a cero la lectura del módulo de presión. Esto es válido para ambas pantallas, superior e inferior.

Número 5

Símbolo



Descripción: Enciende o apaga la retro iluminación. Activa el modo Ajuste del contraste durante el encendido.

Número 6

Símbolo



Descripción: Avanza cíclicamente el calibrador a través de los modos MEASURE y SOURCE en la parte inferior de la pantalla.

Número 7.

Símbolo



Descripción: Conmuta entre las funciones fuente de tensión o mA y simulación de mA en la parte inferior de la pantalla.

Número 8.

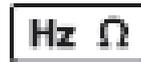
Símbolo.



Descripción: Selecciona la función medición y fuente de presión. Pulsándola repetidamente avanza cíclicamente por las diferentes unidades de presión.

Número 9.

Símbolo.



Descripción: Conmuta las funciones de medición y fuente de frecuencia y ohmios.

Número 10.

Símbolo.



Descripción: Selecciona la función medición y fuente TC (termopar) en la parte inferior de la pantalla. Pulsándola repetidamente avanza cíclicamente a través de los tipos de termopares.

Número 11.

Símbolo.



Descripción: Selecciona la función medición y fuente de RTD (detectores termométricos de temperatura) en la parte inferior de la pantalla. Pulsándola repetidamente avanza cíclicamente a través de los tipos de RTD.

Número 12.

Símbolo.



Descripción: Conmuta entre grados centígrados o Fahrenheit al estar activas la funciones TC o RTD.

Número 13.

Símbolo.



Descripción: Guarda los ajustes del calibrador. Guarda la configuración de Ajuste del contraste.

Número 14.

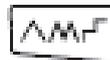
Símbolo.



Descripción: Recupera un ajuste previo del calibrador desde una posición de memoria.

Número 15.

Símbolo.



Descripción: Avanza cíclicamente a través de:

^ Repetición lenta de rampa 0 % -100 %

M Repetición rápida de rampa 0 % -100 %

┌ Repetición de rampa 0 % -100 % con escalonamiento de 25 %.

Número 16.

Símbolo.



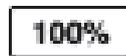
Descripción:

1. Incrementa o decrece el nivel de fuente.
2. Avanza cíclicamente a través de las selecciones 2, 3 y 4 conductores.

Avanza a través de las posiciones de memoria de los ajustes del calibrador

Número 17.

Símbolo.



Descripción: Recupera de la memoria un valor de fuente correspondiente al 100 % de la amplitud y lo fija como el valor de fuente. Púlsela y sosténgala pulsada para guardar el valor de fuente como el valor del 100 %.

Número 18.

Símbolo.



Descripción: Incrementa la salida en el 25 % de la amplitud.

Número 19.

Símbolo.



Descripción: Decrece la salida en el 25 % de la amplitud.

Número 20.

Símbolo.



Descripción: Recupera de la memoria un valor de fuente correspondiente al 0 % de la amplitud y lo fija como el valor de fuente. Púlsela y sosténgala pulsada para guardar el valor de fuente como el valor del 0 %.

Terminales y conectores de entrada y salida.



Número 1.

Nombre: Conector del módulo de presión

Descripción: Conecta el calibrador a un módulo de presión o a un ordenador para conexión a control remoto.

Número 2 y 3.

Nombre: Terminales MEASURE V, mA

Descripción: Conecta el calibrador a un módulo de presión o a un ordenador para conexión a control remoto.

Número 4.

Nombre. Entrada/salida TC (Termopar)

Descripción: Terminal para la medición o simulación de termopares. Este terminal acepta conectores machos miniatura, polarizados de termopar con patillas planas, en línea con separación de 7,9 mm (0,312 pulg.) entre centros.

Número 5 y 6.

Nombre: Terminales SOURCE/ MEASURE V, RTD, Hz, Ω .

Descripción: Terminales para fuente o medición de tensión, resistencia, frecuencia y RTD.

Números 7 y 8.

Nombre: Terminales SOURCE/ MEASURE mA y 3W, 4W.

Descripción: Terminales para fuente y medición de corriente y para realizar mediciones de RTD con 3W y 4W (3 y 4 conductores).

Tipos de termopares aceptados.

Tipo	Conductor positivo Material.	Color del conductor positivo (H)		Conductor negativo Material.	Rango Específico (°C).
		ANSI	IEC		
E	Cromel	Púrpura	Violeta	Constantán	-200 a 950
N	Ni –Cr – Si.	Anaranjado	Rosado	Ni-Si-Mg.	-200 a 1300
J	Hierro.	Blanco	Negro	Constantán	-200 a 1200
K	Cromel.	Amarillo	Verde	Alumel	-200 a 1370
T	Cobre.	Azul	Marrón	Constantán	-200 a 400
B	Platino (30% de rodio)	Gris		Platino	600 a 1800
R	Platino (13% de rodio)	Negro	Anaranjado	Platino	-20 a 1750
L	Hierro			Constantán	-200 a 900
U	Cobre			Constantán	-200 a 400

Controlador de temperatura NX series (HANYOUNG).

Controlador de alta precisión: Clase 0.5, de respuesta 250mseg.

Características del producto.

- ✚ Fuzzy.
- ✚ Auto Tuning.
- ✚ Salida de Alarma.
- ✚ Salida de Retransmisión.
- ✚ Entrada y salidas universales.
- ✚ Función de escala libre (entrada tensión/ intensidad).
- ✚ Función de rampa – segmento.
- ✚ Salida Calor/ Frío.
- ✚ Zona PID.
- ✚ Grupo PID (1,2,3) (19 tipos).
- ✚ Tensión auxiliar para el sensor (24 Vcc).
- ✚ Salidas Límite.
- ✚ 3 Set points.
- ✚ Alarma por rotura del calentador (HBA).
- ✚ Grado de protección Frontal IP65.

El instrumento dispone de 2 displays; uno (PV) para visualizar el valor del proceso y otro (SV) para visualizar el valor de consigna, cada uno de ellos es de 4 dígitos de 7 segmentos FND. El instrumento se presenta en 2 versiones: tipo Universal o tipo Frío / Calor. Cada una tiene 10 grupos de selección.

Función y características: Salida universal (Relé, SSR, intensidad), Entrada Local y Remota, Entrada de contacto externo, Función Rampa/Segmento, Auto tuning de 2 tipos (estándar o bajo PV), Salida de retransmisión, Salida comunicación (RS485 / 422), Tensión auxiliar para el sensor, 21 alarmas diferentes, Ciclo de muestreo de 250ms, alta precisión 0.5% FS.

Características funcionales del Controlador de temperatura.

Entrada.

Entrada : Termopares: K, J, E, T, R, S, B, L, N, U.
RTD: PT 100Ω, kPT 100Ω.

Tensión directa : 1-5v, -10 – 20mV, 0 – 100mV (Tipo de escala programable).

Tiempo de muestreo : 250mseg.

Resolución de entrada: Punto decimal del rango de medida.

Impedancia de entrada: Entrada en T/C y mV; 1 MΩ mínimo.

Carga de resistencia admisible en el cable: RTD 10Ω, máximo por cable.

Tensión admisible de entrada: ±10V (T/C, RTD), ±20V (tensión Vcc).

Tolerancia de compensación estándar en el empalme: ± 1.5°C (15 a 35°C), ±2.0°C (0 - 50 °C).

Precisión : ±0.5 % (Escala completa).

Burn – out :T/C: off, Selección superior/inferior.

Salida.

1. Alarma (Salida HBA)

Contacto de Salida de Relé:

Capacidad del contacto: 240 Vca, 1 A, 30Vcc 1A (Carga resistiva).

Alarma de rotura del calentador HBA:

Para los modelos (NX2, NX3, NX4, NX7, NX9).

Rango de medida de corriente:

1 a 50A corriente alterna (resolución de 0.5 A, $\pm 5\%$, ± 1).

Alarma de salida, seleccionable.

Banda: 0 a 100% del rango máximo.

HBA está disponible con el control On/Off o proporcional.

2. Salida de Retransmisión.

Corriente de salida

Rango de corriente de salida : 4 a 20mA. Corriente continua.

Carga resistiva : 600 Ω máximo.

Precisión : $\pm 0.5\%$ de la escala máxima.

Rizo de salida : 0.3% (P-P) del máximo de escala (150Hz).

Muestreo : 250mseg.

Contacto de salida del relé.

Capacidad del contacto : 240Vca 3 A, 30Vcc 3A (carga resistiva).

1 contacto NC.

Operación de Salida : Control PID On/Off.

Ciclo proporcional : 1 -1000 segundos.

Salida límite : Rango de límite superior (HI) o inferior (LO) seleccionable entre el 0.0 a 100%.

Tensión de salida del drive SSR.

Tensión On : 24 Vcc mínimo (carga resistiva mínima 600Ω, 30mA límite en cortocircuito).

Tensión Off : 0.1 Vcc máximo.

Operación de salida : Control P.I.D.

Tiempo de resolución : 0.1 % o 10mSeg.

Corriente de salida.

Rango de corriente de salida: 4 a 20mA corriente alterna.

Operación de salida : Control P.I.D.

3. Función.

Medida de entrada.

Corrección de entrada : -100 a 100 % del rango del instrumento.

Escala : Acorde al SH, SL del rango de medida.

Filtro : Off, 1 1 120 segundos.

Control.

3 puntos de selección (SV1, SV2 y SV3) con control P.I.D. en cada uno.

Auto tuning : Conforme al valor seleccionado (Tipo estándar, tipo bajo Pv.)

Integral de tiempo : Off, 1 a 6000 segundos.

Derivada de tiempo : Off, 1 a 6000 segundos.

Control On/Off : Mediante la selección del código de salida (OT).

Reset manual : -0.5 a 105 % de la salida.

Histéresis (HYS) On/Off : 0 a 100% del rango del instrumento.

Histéresis Calor/Frío : -100 a 50% del valor de salida.

Fuzzy : Selección On/Off mediante parámetros.

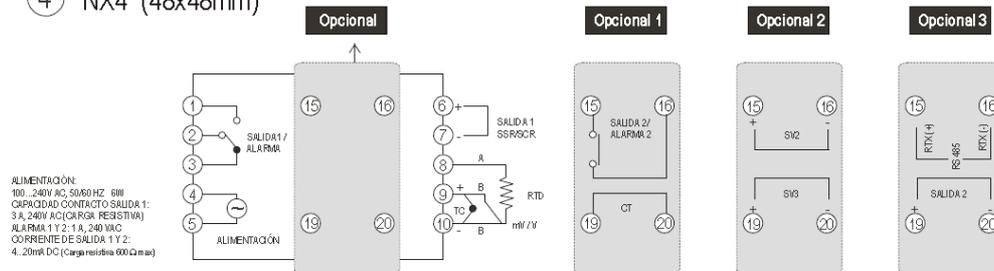
Salida de retransmisión.

Señal : Valor del proceso (PV), Valor de consigna (SV), Valor de salida (MV).

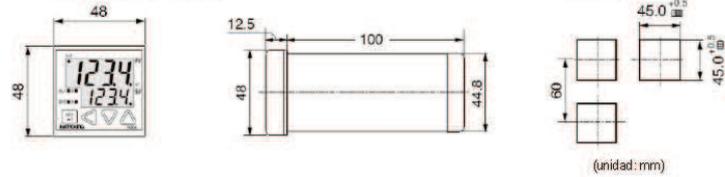
Escalado : PV, SV.

Tipo de entrada (Señal)		Código de entrada	Rango (°C)	Precisión.
Termopar (T.C)	K	1	-200 a 1370	±0.5 % of F.S ±1 dígito
	K	2	-199.9 a 999.9	
	J	3	-199.9 a 999.9	
	C	4	-199.9 a 999.9	
	T	5	-199 a 400	
	R	6	0 a 1700	
	B	7	0 a 1800	±0.5 % of F.S
	S	8	0 a 1700	±1 dígito
	L	9	-199 a 900	±0.5 % of F.S ±1 dígito
	N	10	-200 a 1300	±1 % of F.S ±1 dígito
	U	11	-199 a 400	±0.5 % of F.S ±1 dígito
	W	12	0 a 2300	
	Platino I	13	0 a 1390	
R.T.D.	PT1000	20	-199.9 a 500	±0.5 % of F.S ±1 dígito
	PT100	21	-199.9 a 640	
Tensión Directa (Vcc/mVcc)	1 – 5V	30	1 a 5V	±0.5 % of F.S ±1 dígito
	-10 – 20mV.	32	-10 a 20mV	
	0 – 100mV	33	0 a 100 mV	

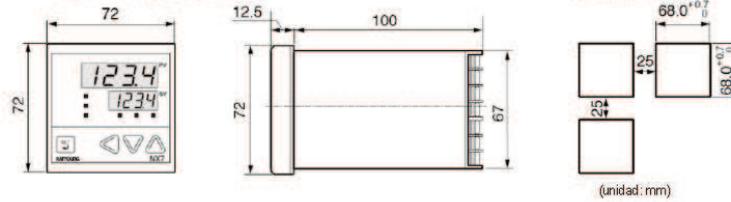
④ NX4 (48x48mm)



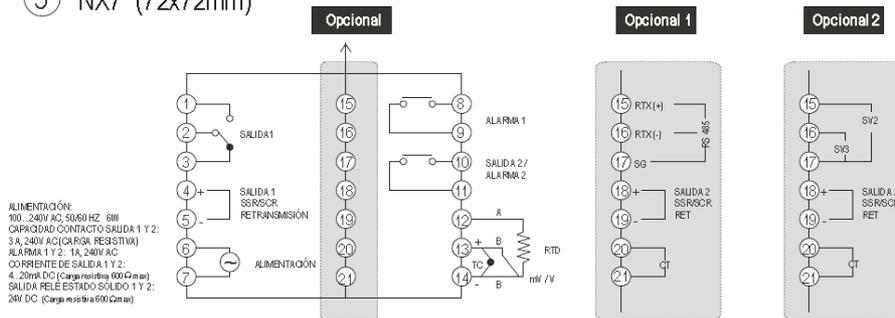
② NX4 (48x48mm)



③ NX7 (72x72mm)



⑤ NX7 (72x72mm)



⑥ NX9 (96x96mm)

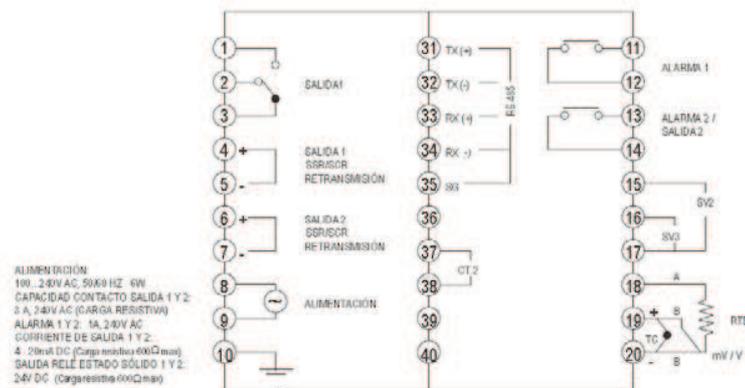
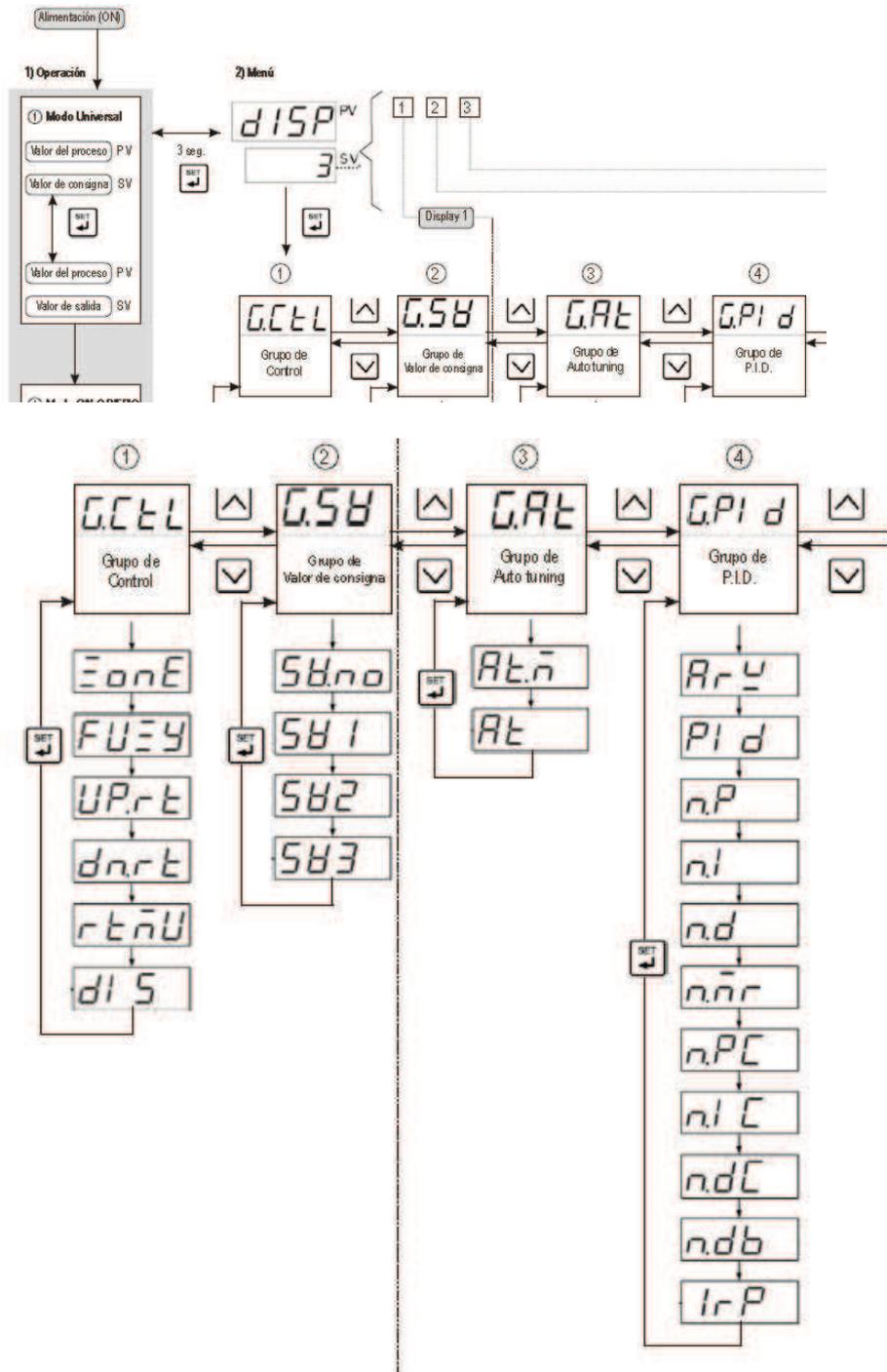
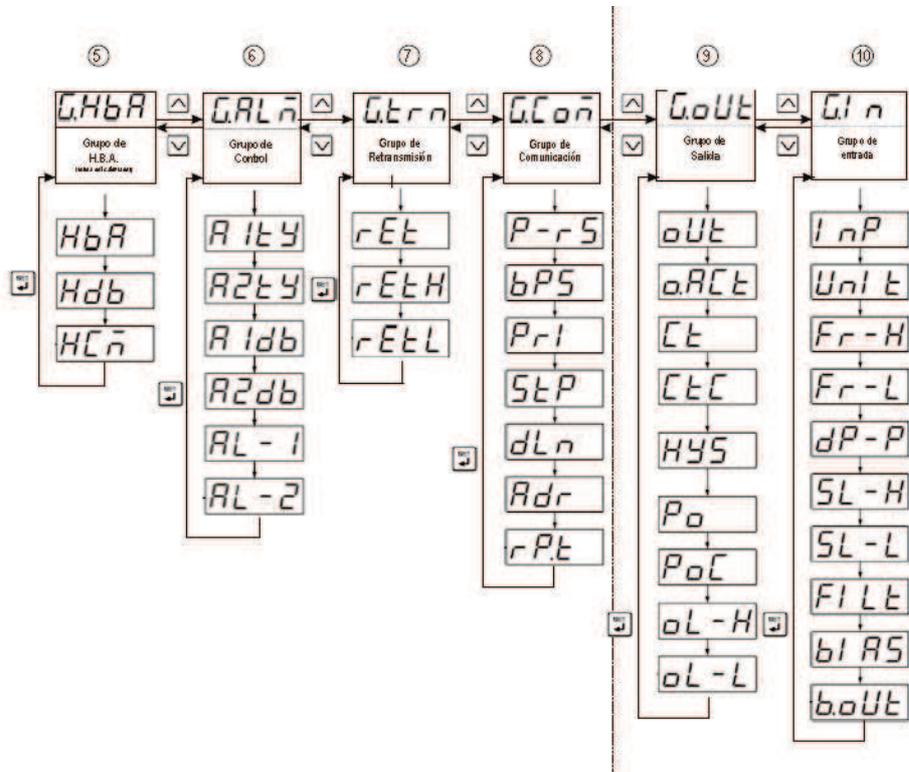


Tabla de selección de funciones.





Grupo de control.

- ✚ Disponible función RAMPA, FUZZY y ZONA DE CONTROL.
- ✚ La función FUZZY se configura en el control P.I.D. (no está disponible en el control ON/OFF).
- ✚ Empleando dos contactos externos de entrada (DI) como ON/OFF, es posible controlar 3 tipos de valores de consigna.

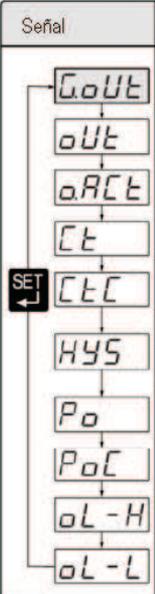
Señal	Nombre	Operación	Condición del display	Valor inicial
	Grupo de control	Seleccionar modo de control	—	—
	Zona de selección *1	ON / OFF	Siempre en display	OFF
	Selección FUZZY	ON / OFF	Control P.I.D.	OFF
	Temperatura de incremento inicial	ON / EUS (0...100%)	Siempre en display	OFF
	Temperatura de decremento inicial	ON / EUS (0...100%)	Siempre en display	OFF
	Unidad de tiempo	HORA / MINUTO	Siempre en display	HORA
	Selección de contacto de entrada externo	(Reféndo a la carta 1) ON / OFF	Siempre en display	OFF

1. Selección de zona de control Se emplea esta función cuando el rango de temperaturas es elevado.
2. Función FUZZY Cuando existe una gran diferencia entre SV y P V, automáticamente el valor de consigna cambiará a uno por debajo del valor de consigna para eliminar el conflicto. Una vez superado, el valor inicial retornará a su origen.
3. Función RAMPA Es el ratio del valor de consigna para poder alcanzar el valor de consigna deseado (SV1, SV2, SV3) de acuerdo al tiempo y temperatura seleccionada.

Señal	Nombre	Descripción	Condición	Valor inicial
	Introducción del grupo	Introducción del tipo y modo de selección	—	—
	Selección de señal de entrada	Introducir el tipo de señal y el rango	Siempre	Selección de NO.1
	Unidad del rango de medida	°C/°F	Temporar o R.T.D.	°C
	Límite superior	Selección de los límites de la señal de entrada. Asegurarse de que el valor FR-H (límite superior) sea siempre superior al valor FR-L (límite inferior)	Siempre	1370
	Límite inferior		Siempre	-200
	Punto decimal	Temporar o R.T.D.: punto decimal del instrumento / tensión V DC : 0 ~3	En la tensión de entrada (mV, V)	1
	Máximo de escala (en entrada de tensión)	-1999 ~9999 Asegurarse de que el valor SL-H (límite superior) sea siempre superior al valor SL-L (límite inferior) Punto decimal: Conforme al DP-P (punto decimal)	En la tensión de entrada (mV, V)	100.0
	Mínimo de escala (en entrada de tensión)			0.0
	Filtro PV	OFF/1 ~120s	Siempre	OFF
	PV bias	EUS (+100.0~100.0%)	Siempre	EUS(0.0%)
	Calentamiento	OFF / UP / DOWN	Siempre	UP

Selección del grupo de salida.

Este proceso de control se divide en 2 tipos: UNIVERSAL y CALOR / FRIO. La salida es seleccionable como Relé, SSR (relé de estado sólido) y corriente (4 a 20mA corriente continua). El rango para salida Universal 0 - 3 y la salida CALOR / FRIO 4 - 12. En algunas ocasiones la salida de retransmisión y de alarma no están disponibles con el control de salida (Ejemplo: Cuando se selecciona el código de salida 2 “output code OT”, en la salida de corriente en el modo Universal. En este caso, la salida de retransmisión y de alarma está disponible. Pero, en el modo CALOR / FRIO con el relé de estado sólido para el control de calor y el relé electromecánico para el control del frío (código de salida 10) la salida de retransmisión estará disponible, pero la alarma de salida 2 no estará operativa.

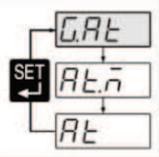
Señal	Nombre	Descripción	Condición	Valor inicial
	Grupo de salida	Tipo de salida y modo de selección	—	—
O <u>U</u> t	Señal de salida	Referido al tipo de control de salida	Siempre	(3 / 12)
O <u>A</u> Rct	Operación de salida	REV: Reverse DIR: Acción directa	Código de salida 1-3	REV
C <u>t</u>	Ciclo de tiempo	1~1000 s	Relé / SSR	30 sec
C <u>t</u> c	Ciclo de tiempo para la salida FRIO	1~1000 s	Código de salida 4~12	30 sec
H <u>Y</u> S	Hystéresis del modo Universal	EUS(0.0~100.0%)	ON/OFF Control	EUS(0.5%)
H <u>Y</u> S	Hystéresis del modo CALOR / FRIO	0.0~10.0%	CALOR / FRIO	0.5%
P <u>o</u>	Volumen de salida cuando se desconecta la salida 1 (Out1)	UNIVERSAL: -5.0~105.0% CALOR / FRIO: 0.0~105.0%	Siempre	0.0%
P <u>o</u> l	Volumen de salida cuando se desconecta la salida 2 (Out2)	0.0~105.0%	CALOR / FRIO	0.0%
O <u>L</u> -H	Valor máximo	UNIVERSAL: OL-L + 1Digit~ 105.0% CALOR / FRIO: 0.0~ 105.0%	PD Control	100.0%
O <u>L</u> -L	Valor mínimo	UNIVERSAL: -0.5%~ OL-H-1Digit CALOR / FRIO: 0.0~ 105.0%	PD Control	0.0 % 100.0%

Auto tuning.

Este controlador dispone de 2 tipos de Auto tuning: Estándar (STD) y Ba jo (LOW PV).

El Bajo PV es el 10% del valor seleccionado.

Auto-tuning: Esta función realiza automáticamente medidas, las procesa y selecciona el P.I.D. y el ARW más adecuado. Se puede activar en cualquier momento durante el proceso, una vez alimentado el equipo y mientras se eleva la temperatura o cuando el control se estabiliza. El Auto-tuning no es operativo cuando se selecciona "OFF" en el modo de selección del Auto-tuning. Cuando seleccione 1 - 3, entre los 3 tipos de valores de consigna (SV1, SV2 y SV3) el número seleccionado comenzará automáticamente a auto tinear "Auto" cuando esté en ZONE ON. Cuando se programe un valor en 1rp 2rp, será separado en grupo 1, 2, 3.

Señal	Nombre	Descripción	Condición	Valor inicial
	Grupo de Auto-tuning	Indica el Auto-tuning	—	—
	Tipo de Auto-tuning	Estándar (STD): STD / Bajo PV (LOW)	ABS	STD
	Inicio de Auto-tuning	OFF / 1~3 / AUTO	ABS	OFF

GRUPO P.I.D.

Para chequear los valores del P.I.D. o seleccionar SV en modo manual, esto se puede realizar en Grupo P.I.D.

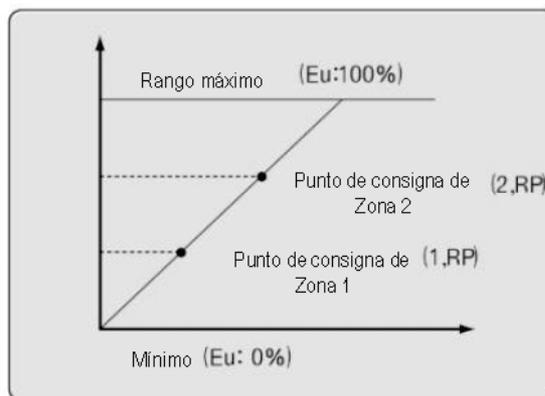
Presionar  para acceder al valor Anti Reset de forma automática o manual.

Presionar  de nuevo y se indicará el modo de P.I.D. seleccionable entre 3 opciones distintas (0 - 3) dentro del grupo P.I.D. Por ejemplo, “0” no es un modo P.I.D., se puede seleccionar “1” como Auto-tuning empleando  y confirmando con .

Es posible cambiar el valor del P.I.D. en la zona “1” (“2” y “3” es idéntico caso que “1”).

Cuando la integral de tiempo es 0, se indica el modo de reset manual y entonces se pueden resetear los valores y eliminarlos del sistema (Rango: -5% - 105.5% de la banda proporcional). Se podría seleccionar 3 zonas mediante la selección de Zona en modo ON.

En el diagrama, “n” está disponible para seleccionar 1 - 3 y la banda proporcional de FRIO, Integral de tiempo de FRIO e histéresis del modo CALOR / FRIO.



Señal	Nombre	Descripción	Condición	Valor inicial
	Grupo de P.I.D.	Selección de modo P.I.D.	—	—
	Anti Reset	Auto / 50.0~200.0%	P.I.D control	Auto
	Selección del grupo P.I.D.	0 / 1~3	Siempre	0
	n. Banda Proporcional (P)	0.1 (H/C TYPE:0.0)~999.9%	P.I.D. control	5.0%
	n. Integral de tiempo (I)	OFF / 1~600 sec.	Siempre	240 sec.
	n. Derivada del tiempo (D)	OFF / 1~6000sec.	Siempre	60 sec.
	n. Reset Manual	-5.0~105.0%	Integral de tiempo OFF	50.0%
	n. Banda Proporcional del FRIO (P)	0.0 (ON/OFF control) / 0.1~999.9	FRIO / CALOR	5.0%
	n. Integral de tiempo del FRIO (I)	OFF / 1~6000 sec.	FRIO / CALOR	240 sec.
	n. Derivada integral del FRIO (D)	OFF / 1~6000 sec.	FRIO / CALOR	60 sec.
	n. Hystéresis	-100.0~50.0%	FRIO / CALOR	3.0%
	n. Punto de Zona	EU (0) < 1.RP < 2.RP < EU (100.0%)	ZONA = ON	EU(100.0%)

10. Prácticas Industriales.

TRANSMISOR DE PRESION.

Definición: El transmisor de presión proporciona una medida de un fluido para una amplia variedad de configuración de tanques.

Conexión del Transmisor de Presión.

Objetivo: Calibrar y verificar el funcionamiento del transmisor de presión.

Procedimiento de instalación.

1. Verificar que la alimentación principal este cerrado.



2. Probar la fuente de alimentación si genera voltaje de 24vac.



3. Realizamos la conexión de acuerdo al esquema eléctrico.



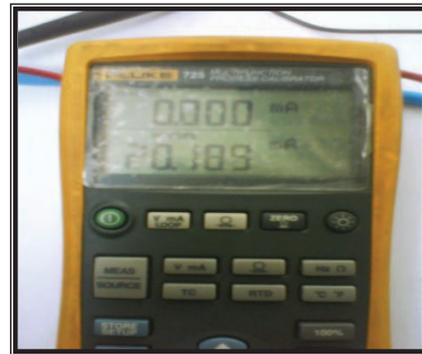
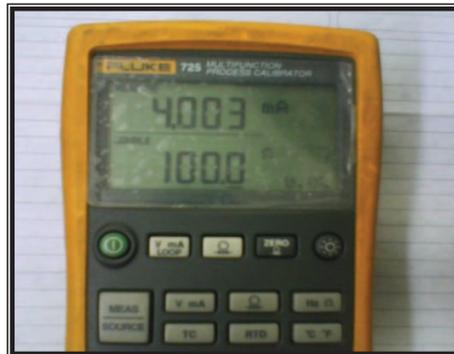
4. Realizamos la instalación neumática del circuito usando el calibrador de presión.



5. Abrir la válvula de alimentación de aire para generar presión al transmisor y al calibrador.

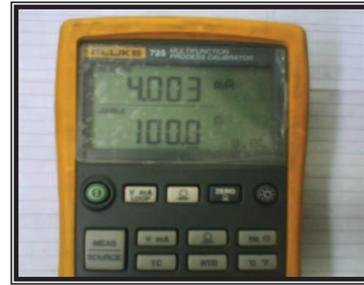


6. El calibrador de procesos estará midiendo la corriente que circula en el circuito.

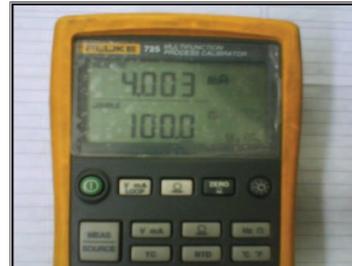
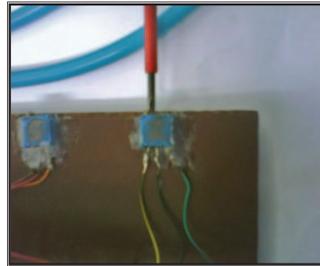


CALIBRACION DEL TRANSMISOR DE PRESION

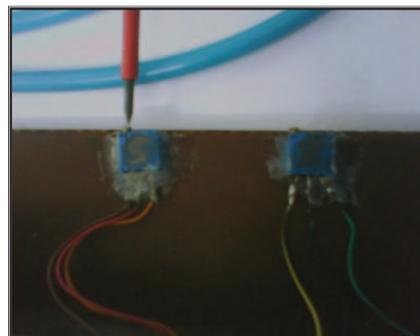
1. Poner la presión de alimentación de aire de 0 Psi para calibrar el zero del transmisor.



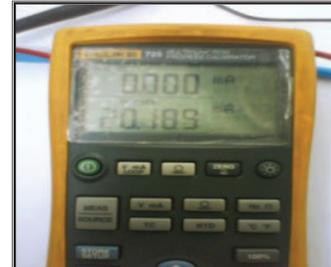
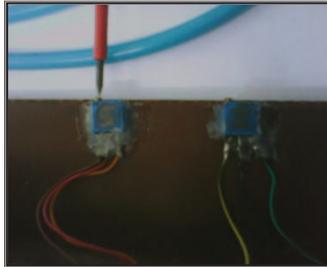
2. Con el ajuste de zero calibramos la salida de corriente a 4mA.



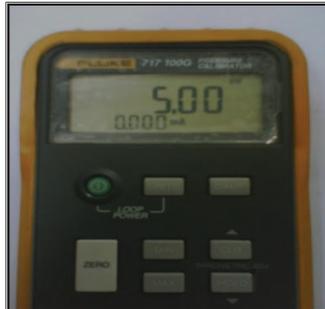
3. Subir la presión de aire a 10 PSI para calibrar el span.



4. Ahora ajustamos el span hasta obtener una lectura de 20 mA.



5. Bajamos la presión hasta 5PSI.



6. Como ya quedo calibrado deberá marcar una lectura de 12mA ya que se encuentra al 50%.

TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Definición: Constituye en las medidas más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida en cada tipo de aplicación por la velocidad de captación de temperatura.

Conexión del Transmisor de Temperatura.

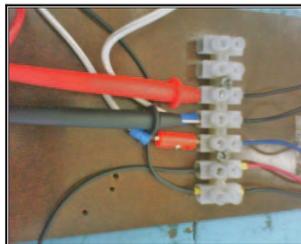
Objetivo: Capacidad de calibrar y verificar el funcionamiento del transmisor de temperatura.

Procedimiento.

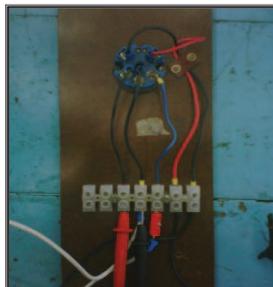
1. Verificar que la fuente de alimentación este correctamente en 24vac.



2. Realizar la conexión eléctrica de acuerdo al esquema.



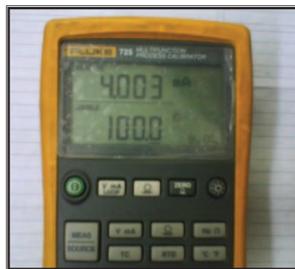
3. Realizar el puente en el transmisor de temperatura.



4. Antes de energizar configurar el calibrador de procesos para generar ohmios.

Calibración del Transmisor de temperatura.

1. Generar 100Ω al transmisor que significa 0°C .
2. Nos daremos cuenta que el calibrador está midiendo alrededor de 4 mA.
3. Ajustar el zero del transmisor hasta que de 4mA.



4. Generar 146Ω del transmisor que significaría 120°C .
5. Nos damos cuenta que el calibrador está midiendo alrededor de 20mA.
6. Ajustar el span del transmisor hasta que de lectura de 20mA.



7. Así quedara calibrado el transmisor y listo para su funcionamiento.

Materiales.

1. Una fuente de alimentación de 24vac.



2. Un calibrador de procesos.

Marca: FLUKE 725



3. Un transmisor de temperatura.



4. Cable 14 AWG.

Medición de temperatura (Relación entre voltaje y Temperatura).

Usando Termopares y RTD, tomamos medidas de mV y ohmios, respectivamente a diferentes grados de temperatura.

Materiales necesarios.

- ✚ Un recipiente de Pirex.
- ✚ Una cocina eléctrica



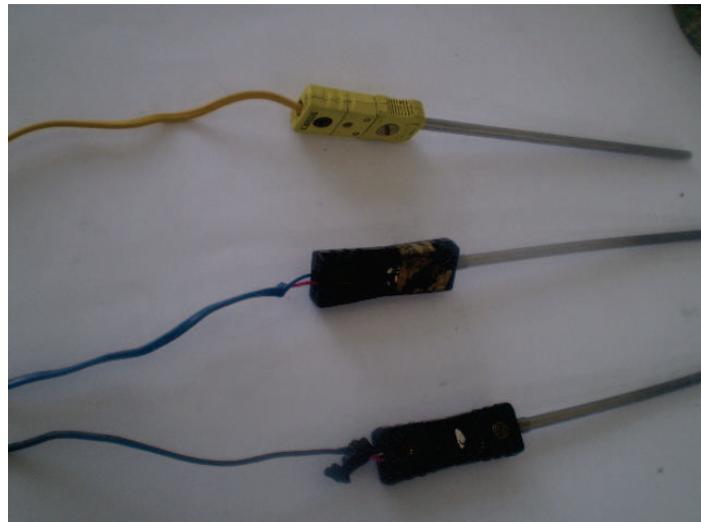
Instrumentos Necesarios.

- ✚ Termómetro.



✚ Termopares, Tipo J, K, T

	COLORES				RANGO		COMPOSICION
	ANSI	DIN	BS	JIS	°C	mV	
J	MARRON NEGRO +BLANCO -ROJO	AZUL +ROJO -AZUL	NEGRO +AMARILLO -AZUL	AMARILLO +ROJO -BLANCO	-40 °C a los 760 °C	-1,960 hasta +42,922 mV	HIERRO – CONSTANTAN HIERRO VS COBRE –NIQUEL 99,5 % 58% 42%
K	MARRON AMARILLO +AMARILLO -ROJO	VERDE +ROJO -VERDE	ROJO +MARRON -AZUL	AZUL +ROJO -BLANCO	-200 °C a los +1260 °C	-5,891 a +50,99 mV	CROMEL – ALUMEL NIQUEL - CROMO 90% - 10% NIQUEL –ALUMINIO 95,4% - 1.2 %
T	MARRON AZUL +AZUL -ROJO	MARRON +ROJO -MARRON	AZUL +BLANCO -AZUL	MARRON +ROJO -BLANCO	-200 °C hasta 370 °C	-5,603 hasta +19,027 mV	COBRE – CONSTANTAN COBRE VS COBRE – NIQUEL 99,9% 58% 42%



✚ PT 100

✚ Calibrador de Procesos Multifunción Fluke.



Descripción del proceso.

1. Colocar la cocina eléctrica sobre una zona adecuada.
2. Llenar el recipiente de Pirex con agua potable.
3. Colocar recipiente sobre la hornilla de la cocina.
4. Enchufar al tomacorriente la cocina eléctrica.
5. Colocar el termómetro dentro del pirex.
6. Ingresar el termopar o el RTD, del cual tomaremos medida.
7. Programar calibrador, para que mida voltaje ó ohmios según lo que corresponda
Termopar = mV, RTD= Ohmios.
8. Tomar las medidas del sensor de temperatura escogido, conforme los grados de la temperatura se incrementen.
9. Repetir proceso hasta obtener como mínimo dos relaciones de temperatura /mV-
 Ω

10. Realizar una tabla comparativa de cada sensor.

TABLAS DE TEMPERATURA EN UN TERMOPAR

TIPO J

GRADOS	MILI VOLTIOS	
	1era Medición	2da Medición
40 °C	0.55	0.70
50°C	1.11	1.15
60°C	1.59	1.76
70°C	2.16	2.25
80°C	2.73	2.81
90°C	3.21	3.25
100°C	3.60	3.61

En esta tabla no está incluida la temperatura de COMPENSACION, para ello le añadimos los milivoltios de 20°C (temperatura ambiente).

Voltios de un Termopar tipo J a 20°C = 1.019

GRADOS	MILIVOLTIOS	
	1° MEDICION	2° MEDICION
40 °C	1.569	1.719
50 °C	2.129	2.169
60 °C	2.609	2.779
70 °C	3.179	3.269

80 °C	3.749	3.829
90 °C	4.229	4.269
100 °C	4.619	4.629

TIPO K

GRADOS	MILIVOLTIOS	
	1era Medición	2da Medición
40 °C	0.46	0.51
50 °C	0.9	1.03
60 °C	1.27	1.45
70 °C	1.64	1.87
80 °C	2.09	2.24
90 °C	2.54	2.60
100 °C	5.88	2.75

En esta tabla no está incluida la temperatura de COMPENSACION, para ello le añadimos los milivoltios de 20°C (temperatura ambiente). Voltios de un Termopar tipo K a 20°C = 0.79

GRADOS	MILIVOLTIOS	
	1era Medición	2da Medición
40 °C	1.25	1.3
50 °C	1.69	1.82
60 °C	2.06	2.24
70 °C	2.43	2.66
80 °C	2.88	3.03

90 °C	3.33	3.39
100 °C	3.67	3.54

TIPO T

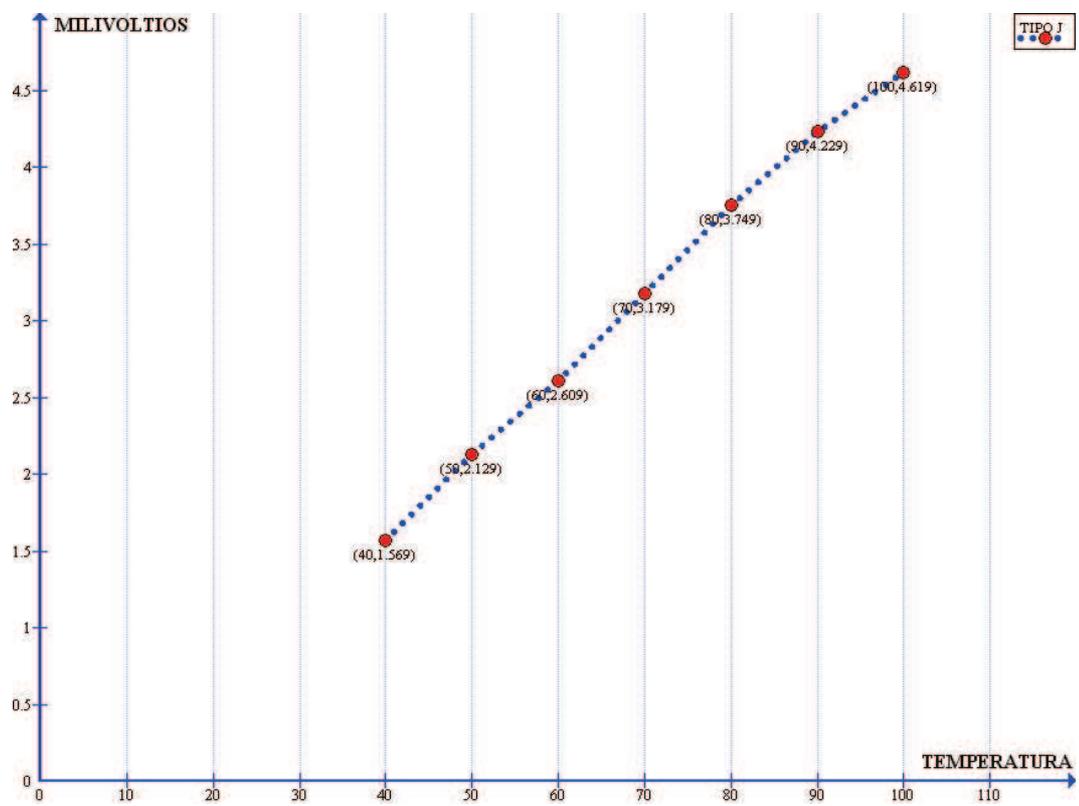
GRADOS	MILIVOLTIOS	
	1era Medición	2da Medición
40 °C	0.66	0.64
50 °C	1.12	1.19
60 °C	1.6	1.65
70 °C	2.12	2.24
80 °C	2.68	2.79
90 °C	3.24	3.28
100 °C	3.67	3.7

TABLAS DE TEMPERATURA EN UN RTD: Pt 100

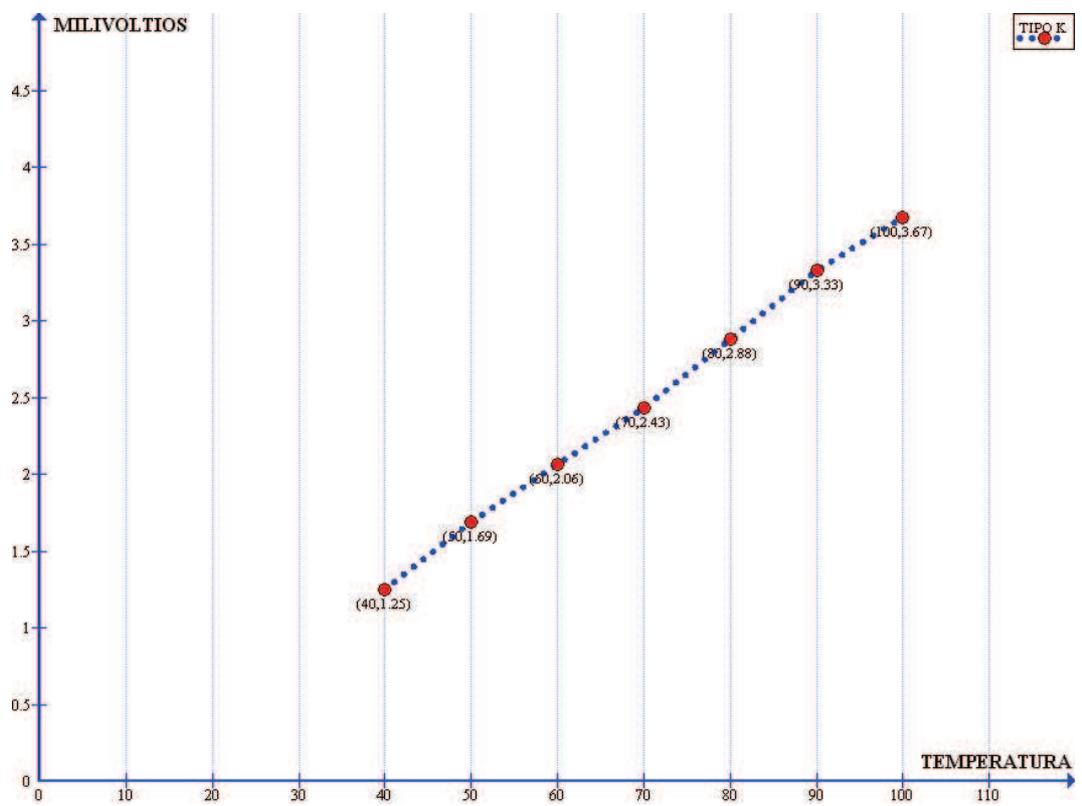
GRADOS	OHMIOS	
	1era Medición	2da Medición
40 °C	128.66	126.5
50 °C	132.05	128.23
60 °C	134.02	130.67
70 °C	136.8	132.31
80 °C	136.57	134.7
90 °C	138.34	136.14
100 °C	139.2	138.25

DIAGRAMA DE TEMPERATURA – MILIVOLTIOS.

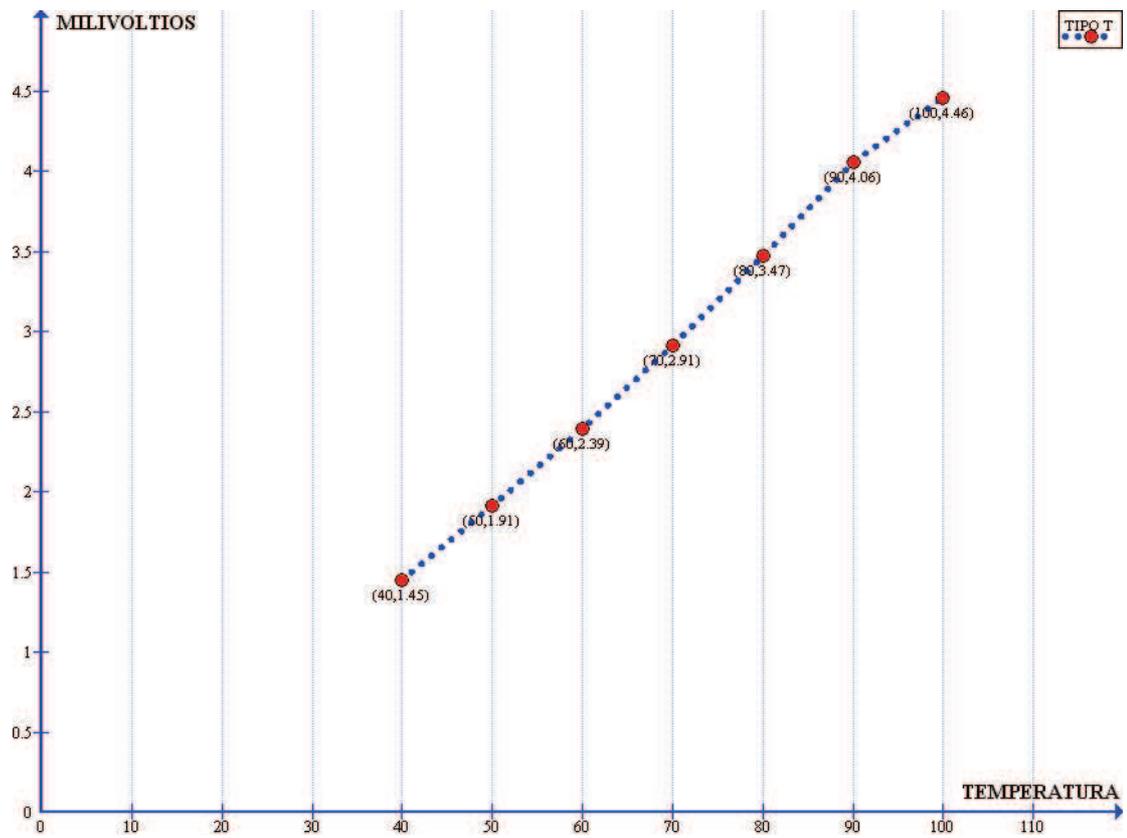
Tipo J



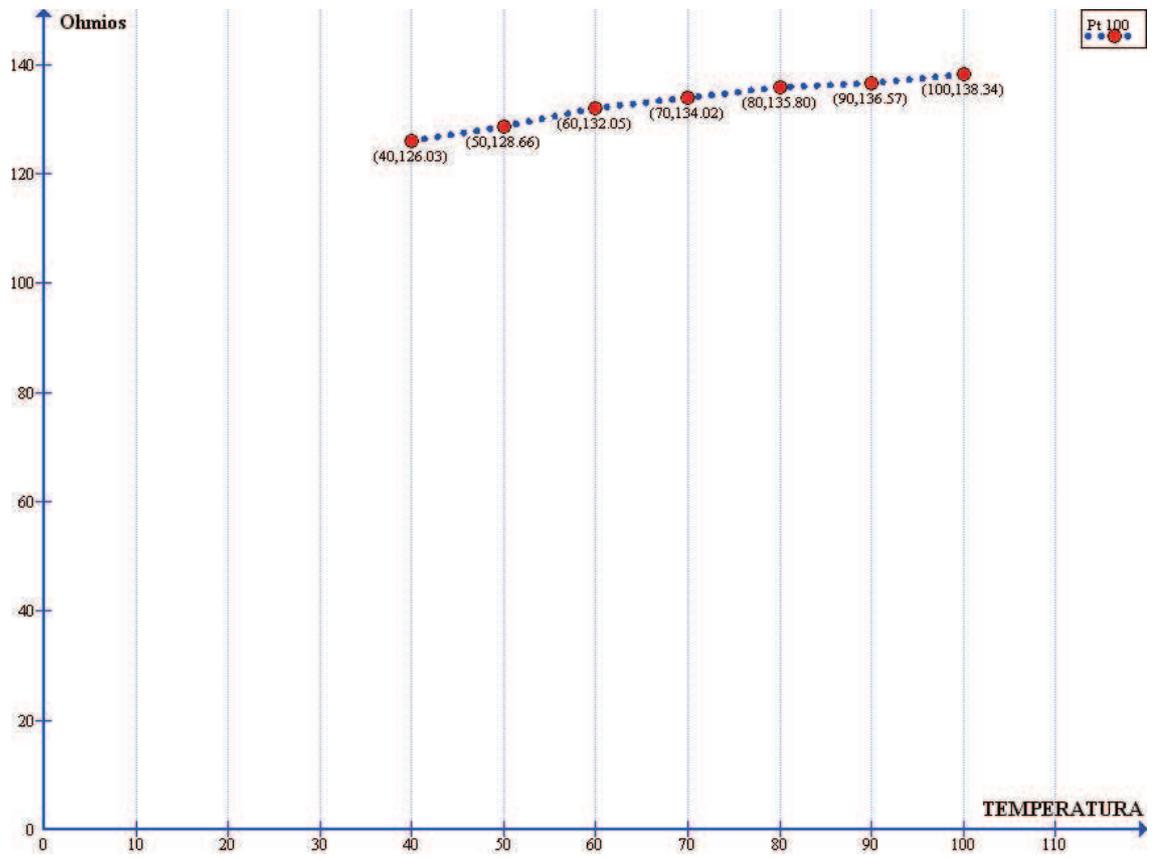
Tipo K



Tipo T



RTD: Pt 100



11. CONCLUSIONES

El presente trabajo nos lleva a concluir que un sistema de control de procesos industriales, diseñado y estructurado de forma oportuna considerando las ventajas que ofrecen su aporte de una herramienta sólida, identificar la función primordial que cumplen los dispositivos de Instrumentación, Automatización y Control de Procesos Industriales en el Campo Industrial, para mejorar Procesos Industriales o de cualquier índole en los que se pueda hacer uso de éstos en cuanto a calidad y cantidad; algo muy importante, sin incurrir en el desgaste humano.

Las razones que se argumentan en la presente indagación son el resultado de un trabajo de equipo que pretende verificar y aportar aspectos teóricos e experimentales, con la finalidad de aportar conocimiento Científico; promoviendo la Investigación Científica y el Desarrollo del Pensamiento, por lo tanto, las razones que sustentan la investigación se fundamentan en la utilización de Instrumentos de Control y Modelos Investigativos.

Esperamos que este humilde aporte sirva como una herramienta básica de control, para posteriores investigaciones de campo o de cualquier índole investigativo.

12. Bibliografía.

- ✚ COOPER, William David. Instrumentación electrónica y mediciones, 1998.
- ✚ CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación industrial, 8ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2011.
- ✚ <https://pia.khe.siemens.com>
- ✚ <http://www.seapal.gob.mx/controlsupervisorio.htm>
- ✚ SIEMENS. Instrumentación de campo para la automatización de procesos, 2011.
- ✚ ACEDO SANCHEZ, José. Instrumentación y Control Avanzado de Procesos.
- ✚ Catálogo de datos Siemens.
- ✚ <http://www.Foros de electronica.com>.
- ✚ CREUS SOLE, Antonio. Instrumentos Industriales, 3ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2009.
- ✚ Apuntes de Internet, Foro Electrónica y Control.

REFERENCIAS Y NOTAS BIBLIOGRAFICAS.

- ✚ **1, 2, 3, 4, 5, 6 CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentación industrial, 8ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2011. Páginas #. 1, 2, 5, 6, 10, 12.
- ✚ **7, 8, 9, 10, 11, 12 CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentación industrial, 7ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2010. Páginas #. 18, 20, 21, 25, 28, 29-30.
- ✚ **13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 COOPER, William David.** Instrumentación electrónica y mediciones, 1998. Páginas # 44-45, 51-52, 56, 62, 64, 65, 68.
- ✚ **20, 21, 22, 23, 24, 25 COOPER, William David.** Instrumentación electrónica y mediciones, 1998. Páginas # 70, 75, 78, 80-81, 83, 88.
- ✚ **26, 27 28, 29, 30 CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentos Industriales, 3ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2009. Páginas # 92, 100, 107, 113-114, 119-120.
- ✚ **31, 32, 33, 34, 35 CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentos Industriales, 3ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2009. Páginas # 125, 131, 136, 140, 141.
- ✚ **36, 37, 38, 39, 40 SIEMENS.** Instrumentación de campo para la automatización de procesos, 2011. Páginas #147, 152, 156, 160-161, 164-165.
- ✚ **41, 42, 43, 44 CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentación industrial, 8ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2011.

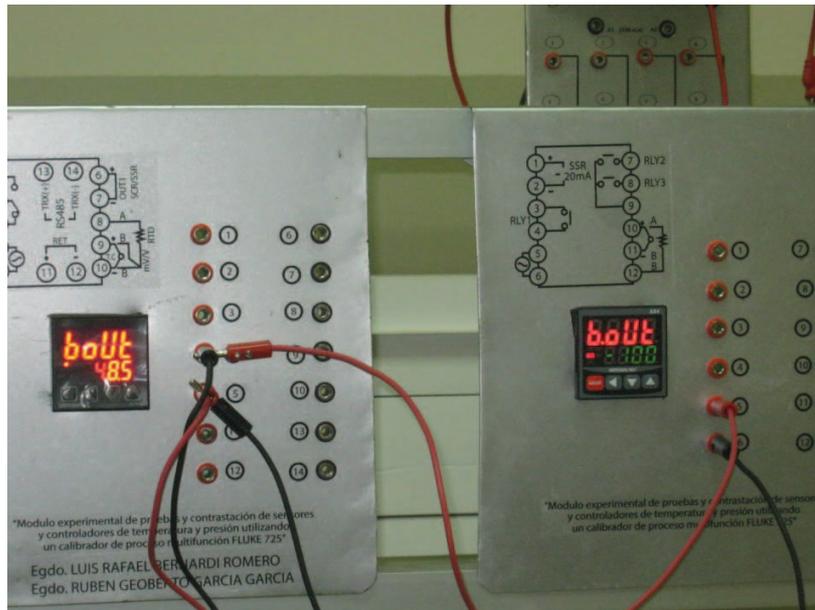
Páginas # 175, 184, 195, 219.

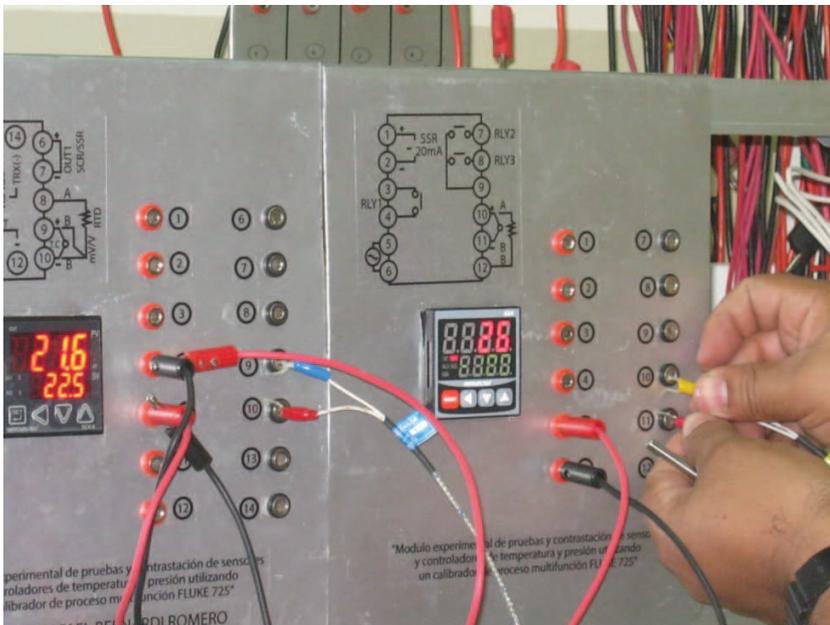
✚ **45, 46, 47, 48** **CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentación industrial, 8ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2011. Páginas #. 234, 247, 249-250, 261.

✚ **49, 50** **CREUS SOLE, Antonio.** Instrumentación industrial, 8ª Edición. Editorial Alfaomega Marcombo. Ediciones Técnicas. Año 2011. Páginas #. 268, 273 -274.

13. Anexos

Modulo Experimental de Pruebas y Contratación de Sensores y Controladores de Temperatura y Presión utilizando un Calibrador de Procesos Multifunción Fluke 725









CRONOGRAMA DE INVESTIGACIÓN.

MES DE SEPTIEMBRE A DICIEMBRE DEL 2011

Actividad	Objetivo	Rol de la Investigación	Instrumento	Espacio
Fase Uno: Definición de la Situación / Problema "Formulación Teórica"				
Planeación	Planear el tiempo, las prácticas y las fases de la Investigación.	Planear y Organizar Datos de Investigación.	Libros e Investigaciones de Campo	ULEAM Bibliotecas
Formulación del Proyecto de Investigación.	Revisión Teórica, tesis, Investigaciones.	Libros Profesionales. Normas ISO, INEN, ANSI	Bibliotecas e Internet	ULEAM.
Fase Dos: Trabajo de Campo.				
Recolección de Información.	Codificar información, y Normas a utilizar.	Normas ISO, INEN, ANSI	Estructura de Calibración de Instrumentos	Modulo experimental de calibración de instrumentos
Organización de la Información.	Organizar Información.	Investigación y Trabajo de Campo	Normas ISO, INEN, ANSI	Modulo experimental de calibración de instrumentos
Fase tres: Implementación del módulo experimental de Pruebas.				

Plan de Trabajo	Cronograma 2012 -2013												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene
Elaboración del plan de Investigación.	X												
Coordinación de Actividades.	X	X	X	X	X								
Organización de datos.		X	X	X	X								
Implementación.						X	X						
Elaboración de Instrumentos.					X	X	X	X					
Aplicación de Instrumentos.							X	X	X				
Procesamientos de datos								X	X	X			
Análisis de datos.								X	X	X			
Interpretación de datos.									X	X			
Elaboración de informe.										X	X		
Comunicación de resultados.											X	X	
Tutorías Académicas.										X	X	X	X