

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS

Autor/es: **JUAN CARLOS MARAÑA**

Area técnica: **Industria y Energía**

Edición: **28/04/2005**

INDICE

1. INTRODUCCIÓN. CONCEPTOS BÁSICOS.....	3
1.1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES BÁSICAS	8
2. INGENIERIA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	12
2.1. INGENIERÍA CONCEPTUAL DE I&C	13
2.2. INGENIERÍA DEL SISTEMA DE CONTROL	14
2.3. INGENIERÍA DE MONTAJE O INSTALACIÓN.....	15
2.4. RELACIÓN CON OTRAS ESPECIALIDADES.....	16
3. CONCEPTOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROL	18
3.1. CLASIFICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS	18
3.1.1. Instrumentos por Función.....	18
3.1.2. Instrumentos por Variable de Proceso	19
3.2. MEDIDAS DE PRESIÓN.....	20
3.2.1. Indicadores locales de Presión.....	20
3.2.2. Interruptores de Presión	21
3.2.3. Transmisores de Presión.....	21
3.3. MEDIDAS DE CAUDAL	24
3.3.1. Medidores Deprimógenos	24
3.3.2. Medidores de Área Variable	30
3.3.3. Medidores de Desplazamiento Positivo	30
3.3.4. Medidores Másicos.....	32
3.3.5. Otros tipos de medidores de caudal.....	33
3.4. MEDIDAS DE TEMPERATURA.....	37
3.4.1. Indicadores locales de Temperatura (termómetros).....	38
3.4.2. Elementos Primarios de Temperatura.....	39
3.5. MEDIDAS DE NIVEL	44
3.5.1. Indicadores de nivel de Vidrio	44
3.5.2. Indicadores de nivel Magnéticos	44
3.5.3. Indicadores de nivel con Manómetro.....	45
3.5.4. Indicadores de nivel de Cinta, regleta o flotador/cuerda	46
3.5.5. Interruptor de Nivel por Flotador.....	46
3.5.6. Interruptor de Nivel por Láminas Vibrantes	47
3.5.7. Transmisor de Nivel por Desplazador	48
3.5.8. Transmisor de Nivel por Servomotor.....	49
3.5.9. Transmisor de Nivel por “Burbujeo”.....	49
3.5.10. Transmisor de Nivel por presión Hidrostática y Diferencial.	50
3.5.11. Transmisores de Nivel Conductivos	50
3.5.12. Transmisores de Nivel Capacitivos.....	51
3.5.13. Transmisores de Nivel Ultrasónicos	51
3.5.14. Transmisores de Nivel por Radar	52
3.5.15. Transmisores de Nivel Radioactivos.....	53
3.6. MEDIDAS DE ANÁLISIS.....	53
3.7. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.....	60
4. SISTEMAS DE CONTROL.....	67

Referencias:

“Control Avanzado de Procesos” J. Acedo Sanchez

“Instrumentación Industrial” Antonio Creus.

1. INTRODUCCIÓN. CONCEPTOS BÁSICOS

La Instrumentación y Control, como especialidad de Ingeniería, es aquella parte de la ingeniería que es responsable de definir el nivel de automatización de cualquier planta de proceso e instalación industrial, la instrumentación de campo y el sistema de control para un buen funcionamiento del proceso, dentro de la seguridad para los equipos y personas, de acuerdo a la planificación y dentro de los costos establecidos y manteniendo la calidad.

Otro concepto más técnico, diría que la instrumentación y control son aquellos dispositivos que permiten:

- **Capturar** variables de los procesos.
- **Analizar** las variables de los procesos.
- **Modificar** las variables de los procesos.
- **Controlar** los procesos.
- **Traducir** los procesos a unidades de ingeniería.

Como se verá más adelante, la especialidad de Instrumentación y Control requiere de una coordinación necesaria con casi todas las especialidades de un proyecto, lo que hace necesario unos mínimos conocimientos de casi todas ellas.

En la actualidad, y al no existir unos estudios específicos que vayan enfocados a esta especialidad, un ingeniero de esta especialidad debe tener una combinación de ciertos conocimientos que la gran mayoría de las veces se adquieren con una buena base de formación y sobre todo con experiencia.

Grandes autoridades en el mundo de la Instrumentación como Bela G. Liptak, menciona en su libro “Instrument Engineers Handbook” frases como:

“Antes de poder controlar un proceso es necesario comprenderlo”

“Un ingeniero de control es un buen profesional si dice lo que la gente necesita conocer, no lo que la gente quiere oír”

“Si un instrumento está mal instalado tendrá problemas tanto de mantenimiento, como de calibración y respuesta”.

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 como pueden ser derivados del petróleo, agua, vapor, gases, ácidos, pasta para producir papel, etc. teniendo todos ellos la necesidad de ser medidos y controlados, así como se deben mantener unas constantes dentro de unos márgenes establecidos.

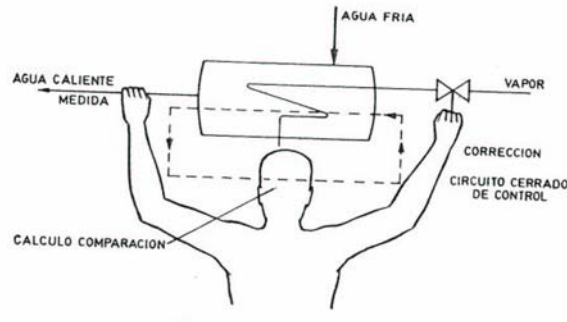
Haciendo un poco de historia, la instrumentación y el control nace de la necesidad de:

- **Optimizar los recursos** humanos, materias primas, y productos finales.
- **Producir productos competitivos** con un alto rendimiento.
- **Producir productos con características repetitivas.**
- Fomento del **Ahorro Energético.**
- Fomento de la **Conservación del Medio Ambiente.**

Para lo anterior, en los inicios de la industria, todas estas operaciones se llevaban de una manera manual utilizando instrumentos sencillos como pueden ser manómetros, termómetros, columnas manométricas, válvulas manuales, etc.



Esta forma de medir y controlar un proceso era totalmente **manual y localizada en el área de proceso**.



Como se puede entender, este tipo de control tiene unos inconvenientes como son:

- ◆ Simplicidad de los procesos. Difícil evolución debido al difícil control.
- ◆ Poca repetibilidad de los productos finales.
- ◆ Pérdidas energéticas.
- ◆ Necesidad de muchos operadores.

Debido a las necesidades de mejora continua, los procesos se han ido desarrollando progresivamente lo que ha exigido que el grado de automatización de las instalaciones haya evolucionado en consecuencia.

El siguiente paso fue el centralizar los instrumentos antes mencionados (termómetros, manómetros, etc.) en un panel centralizado.

De esta manera el proceso pasó a ser totalmente **manual y localizado fuera del área de proceso**.

Este tipo de control tiene como inconveniente, adicionalmente a los ya comentados antes, el inconveniente de tener que llevar la variable de proceso hasta el panel de control con el peligro que ello conlleva. Pero tiene la ventaja de que el operador ya no tiene que estar localizado en el proceso, ahorrando a su vez las horas/hombre en horas de supervisión y control, así como haciendo más cómoda la situación de los operadores.

Un gran avance cualitativo fue la aparición de la instrumentación neumática, que básicamente consistía en instrumentos que traducían las variables de proceso, caudal, presión, etc. en señales neumáticas. Este paso evita que las variables de proceso sean conducidas hasta un panel local. En el propio proceso se convierte la señal de proceso en señal neumática.

Para ello se estandarizó como rango para las señales neumáticas de control 3-15 psi. Así por ejemplo, la conversión de una señal de temperatura a señal de control sería de la forma:

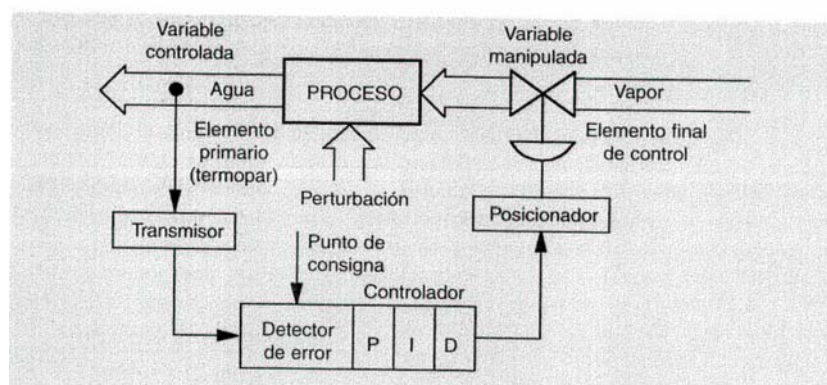
$$0-100^{\circ} \text{ C} \longrightarrow 3-15 \text{ psi}$$

De esta manera el proceso sigue siendo totalmente **manual y localizado fuera del área de proceso**.

Los inconvenientes que tiene este tipo de control son:

- ◆ Consumo elevado de aire comprimido.
- ◆ Limitación de distancia entre el proceso y el panel de control (150 m)
- ◆ Poca repetibilidad de los productos finales.
- ◆ Pérdidas energéticas.

El siguiente avance fue la aparición del primer controlador neumático. El controlador neumático dio una independencia al proceso que antes no existía. La principal misión del controlador era el tomar la variable del proceso, compararla con una referencia establecida y en función de la diferencia, actuar sobre la variable manipulada. Todo ello utilizando señales neumáticas, tanto para las entradas del proceso como para las salidas a elementos finales de control.



De esta manera el proceso pasa a ser **automático y localizado fuera del área de proceso**.

Tiene como ventajas:

- ◆ Reducción de operadores
- ◆ Mayor precisión.
- ◆ Ahorro Energético.
- ◆ Mejor producto final.

Los inconvenientes que tiene este tipo de control son:

- ◆ Consumo elevado de aire comprimido.
- ◆ Limitación de distancia entre el proceso y el panel de control (150 m)

El último gran paso conceptual ocurrió con la aparición de la instrumentación electrónica, cuya principal diferencia es que desaparece parte del protagonismo del aire comprimido, pasando este a las señales eléctricas. Los transmisores pasan de convertir la señal de proceso a señal eléctrica. Así por ejemplo, la conversión de una señal de temperatura a señal de control sería de la forma:

$$0-100^{\circ} \text{C} \longrightarrow 4-20 \text{ mA}$$

Se adopta como rango de control los 4-20 mA.

De esta manera el proceso sigue siendo **automático y localizado fuera del área de proceso**.

Tiene como ventajas:

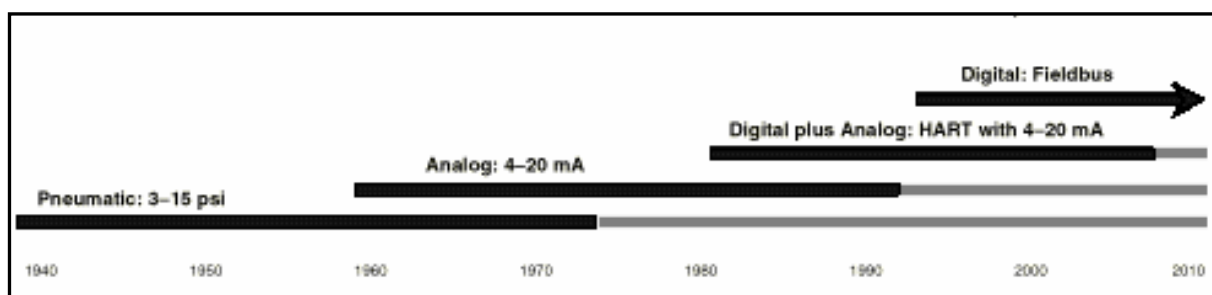
- ◆ Reducción de operadores
- ◆ Mayor precisión.
- ◆ Ahorro Energético.
- ◆ Mejor producto final.
- ◆ Eliminación de parte del consumo de aire.

Aparecen los primeros paneles electrónicos, sinópticos, registradores de señales, indicadores electrónicos, etc.

Por último indicar, que posteriormente aparecieron conceptos como:

- ◆ Sistemas de Control.
- ◆ PLC's
- ◆ SCADAS
- ◆ Buses de campo
- ◆ Etc.

Que entendemos no son para tratar en un curso de instrumentación básico. En el último punto se darán algunas nociones de los sistemas de control.



1.1. Conceptos y Definiciones Básicas

Con el fin de que se puedan entender mejor los conceptos, a continuación se definen algunos términos que pueden ser interesantes, y cuya definición puede que no sea la más correcta, pero creemos que es la más entendible por todo el mundo:

Automatización: Acción por la cual se ejecuta un proceso de producción sin la intervención del operador de forma permanente.

Control Avanzado: Técnicas que se apartan del control convencional PID y que se aplican en procesos muy complejos, no lineales, con retardos

importantes y acoplamiento entre las variables. Se emplean en general para mejorar el rendimiento económico del proceso.

Control Distribuido: Control digital realizado “distribuyendo” el riesgo del control único por ordenador en varios controladores o tarjetas de control de tipo universal con algoritmos de control seleccionables por software. Los transmisores electrónicos de campo, las tarjetas de control y la estación del operador están unidos mediante una red de comunicaciones y cada componente se ubica en el lugar más idóneo de la planta.

Control en Lazo Cerrado (feedback): La variable controlada se mide constantemente y se compara con el valor de referencia. Si se produce desviación entre ambos valores se aplica una acción correctora al elemento final de control para retornar la variable controlada al valor deseado. Equivale a mantener el controlador en modo automático.

Control Manual: El operador mantiene la variable controlada en su valor de referencia modificando directamente el valor de la variable manipulada.

Control Todo-Nada: La salida del controlador se conmuta de abierta a cerrada cuando la señal de error pasa por cero. Es la forma más simple de control, donde el elemento final de control sólo puede ocupar una de las dos posiciones posibles.

Controlador: Instrumento o función de software que compara la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

Controlador Programable: Instrumento basado en microordenador que realiza funciones de secuencia y enclavamiento de circuitos y, como complemento, funciones de control PID.

Deriva: Desviación permanente de una señal que se produce de forma muy lenta a lo largo de un cierto periodo de tiempo.

Elemento Final de Control: Recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. La válvula de control es el elemento final típico.

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

Multiplexión: Selección en secuencia automática de una señal entre un grupo de señales. La señal seleccionada se transmite a través de un canal único para todas ellas.

Precisión: Es el grado de repetición de valores obtenidos al medir la misma cantidad. No significa necesariamente que las medias realizadas sean exactas.

Proceso Continuo: Proceso en el cuál entran componentes y salen productos en caudales sin restringir y durante largos periodos de tiempo. Por ejemplo, un proceso de destilación en una refinería.

Proceso Discontinuo: Proceso que se lleva a cabo con una cantidad dada de material dentro de un equipo o sistema sin que se añada material adicional durante la operación. Por ejemplo un proceso del sector farmacéutico utilizando un reactor.

Proceso: Desde el punto de vista de operación es un lugar donde materia, y muy a menudo energía, son tratados para dar como resultado un producto deseado o establecido. Desde el punto de vista de control es un bloque con una o varias variables de salida que ha de ser controladas actuando sobre las variables de entrada manipuladas.

Punto de Consigna: Variable de entrada en el controlador que fija el valor deseado de la variable controlada. Puede fijarse manual o automáticamente, o bien programarse.

Rango o campo de medida: Conjunto de valores de la variable medida comprendidos dentro de los límites superior e inferior del campo de medición de un instrumento. Siempre viene establecido con los dos valores extremos, como por ejemplo, 0-50 °C, 0-220 bar(g), 20-80 Kg/h, 0-0,5 μ S/cm.

Repetitividad: Capacidad de reproducción de los valores 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. Viene expresada en tanto por ciento del rango. Ejemplo: $\pm 0,1 \%$ de $150^{\circ} \text{C} = \pm 0,15^{\circ} \text{C}$ (campo- 50 a 100°C)

Sensibilidad: Razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del rango de la medida. Ejemplo: $\pm 0,05$ por ciento de $200^{\circ} \text{C} = \pm 0,1^{\circ} \text{C}$ (campo 100 - 300°C)

Sensor: Convierte una variable física (presión, temperatura, caudal, etc.), en otra señal compatible con el sistema de medida o control.

Señal de Salida: Señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

Transmisor: Capta la variable de proceso a través del elemento primario y la convierte a una señal de transmisión estándar.

Variable Controlada: Dentro del bucle de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de realimentación.

Variable Manipulada: Cantidad o condición del proceso variada por el elemento o elementos finales de control.

2. INGENIERIA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Como se ha comentado anteriormente, los Ingenieros de Instrumentación y Control son los responsables de definir y aplicar el nivel de automatización de las plantas de proceso e instalaciones industriales, la instrumentación de campo y el sistema de control, para el buen funcionamiento del proceso, dentro de la mayor seguridad para los equipos y personas, y con el mínimo coste.

Dentro de un proyecto de Ingeniería convencional de plantas de proceso o industriales, Instrumentación y Control es una especialidad mas dentro de la organización del proyecto.

Como norma general un proyecto de instrumentación consiste en generar la ingeniería necesaria para poder:

- Definir, especificar, comprar, instalar, poner en marcha y poder hacer un mantenimiento de los **Instrumentos locales y remotos** para poder capturar las variables de proceso.
- Definir, especificar, comprar, instalar, poner en marcha y poder hacer un mantenimiento del **Sistema de Control** para poder manejar el proceso.
- Definir, especificar, comprar, instalar, poner en marcha y poder hacer un mantenimiento de los **Instrumentos Finales de Control (Válvulas, Variadores de Velocidad, etc.)** para poder modificar las variables del proceso.
- Definir, especificar, comprar, instalar, poner en marcha y poder hacer un mantenimiento de los **Materiales** para poder instalar los instrumentos, sistema de control y elementos finales de control.

Si bien no está claramente definido, a mi entender un proyecto de Instrumentación y Control consta principalmente de tres partes bien diferenciadas:

- ✓ Ingeniería conceptual.
- ✓ Ingeniería del Sistema de Control.
- ✓ Ingeniería de Montaje o Instalación.

Cada una de ellas va enfocada a una misión determinada, estando la última ligada a la ejecución de las dos anteriores.

Para poder llegar a ejecutar correctamente las tres partes antes mencionadas, es muy importante partir de unas bases que no siempre están totalmente disponibles, y que deben proceder de otras especialidades o del cliente final. La documentación habitual de partida suele ser:

- ◆ Ingeniería básica y bases de diseño
- ◆ Especificaciones de cumplimiento del usuario final y normas locales de cumplimiento.
- ◆ P&ID's.
- ◆ Hojas de datos de proceso.
- ◆ Planos de implantación de tuberías y equipos.
- ◆ Especificaciones de tuberías.
- ◆ Planos de clasificación de áreas peligrosas.

2.1. Ingeniería Conceptual de I&C

Esta parte de la ingeniería comprende la parte relacionada con el análisis del proyecto y sirve para generar los documentos básicos para llevar el control de la instrumentación, así como generar la documentación necesaria para la compra de los instrumentos y analizadores.

Los documentos que habitualmente se incluyen en esta parte suelen ser:

- ✓ Criterios de diseño generales de Instrumentación.
- ✓ Criterios de diseño generales de Control.
- ✓ Criterios de diseño generales de Instalación.
- ✓ Criterios de diseño generales de Instrumentación y control para unidades paquete.
- ✓ Listado de Instrumentos.
- ✓ Plano de Arquitectura del Sistema de Control.
- ✓ Especificaciones Técnicas de Instrumentos, válvulas de control y analizadores (una por tipo de instrumento).
- ✓ Hojas de datos de Instrumentos, válvulas de control y analizadores (una por tipo de instrumento).

Dentro de este apartado también existen una serie de actividades que deben ser realizadas por el ingeniero de Instrumentación, tales como:

- ✓ Planificación de la parte correspondiente de Ingeniería.
- ✓ Seguimiento de los avances de Ingeniería
- ✓ Realización del listado de documentos.
- ✓ Aporte de datos y comentarios a P&ID's.
- ✓ Comentarios a Unidades Paquete.
- ✓ Coordinación con otros departamentos (proceso, electricidad, etc.).
- ✓ Apoyo a contratación.

2.2. Ingeniería del Sistema de Control

Esta parte de la ingeniería comprende la parte relacionada con la información necesaria para poder ejecutar todo el trabajo relacionado con el Sistema de Control.

Como veremos en el último apartado, el Sistema de Control puede tener diferentes tipologías, dependiendo estas de muchos factores, siendo entre otros uno de los importantes el tamaño de la instalación.

El objetivo es crear una serie de documentos para poder comprar, integrar, suministrar, probar y poner en operación el sistema de control.

Los documentos que habitualmente se incluyen en esta parte suelen ser:

- ✓ Especificación técnica del Sistema de Control.
- ✓ Lista de Entradas/Salidas para el Sistema de Control.
- ✓ Base de datos del Sistema de Control.
- ✓ Diagramas de Control. Diagramas funcionales.
- ✓ Diagramas Lógicos.
- ✓ Definición de las comunicaciones con otros sistemas y unidades paquete.
- ✓ Planos de implantación de cuadros de control y estaciones de operación.
- ✓ Esquemas de Interconexión en lado Sistema de Control.

Dentro de este apartado también existen una serie de actividades que deben ser realizadas por el ingeniero de Instrumentación, tales como:

- ✓ Asistencia al cliente para la selección de la tecnología a utilizar.

- ✓ Estudios de mercado de posibles tecnologías.
- ✓ Seguimiento del suministro del sistema de control.
- ✓ Asistencia a Pruebas en fábrica (FAT) y campo (SAT).
- ✓ Aprobación de documentación del suministrador.
- ✓ Seguimiento de los avances de Ingeniería.

2.3. Ingeniería de Montaje o Instalación

Esta parte de la ingeniería comprende la parte relacionada con la información necesaria para poder ejecutar todo el montaje e instalación de todo lo relacionado con los instrumentos, el Sistema de Control y la unión entre ellos.

Es decir, desde la captura de la variable de proceso a medir hasta su llegada al Sistema de Control, así como el poder llevar la salida del Sistema de Control hasta el elemento final.

El objetivo es crear una serie de documentos para poder especificar, comprar, e instalar lo anteriormente indicado.

Los documentos que habitualmente se incluyen en esta parte suelen ser:

- ✓ Especificación técnica de Montaje.
- ✓ Esquemas de conexionado a proceso.
- ✓ Esquemas de conexionado neumático.
- ✓ Planos de implantación de instrumentos.
- ✓ Planos de implantación de consumidores neumáticos.
- ✓ Planos de implantación de cajas y rutados de caminos de cables.
- ✓ Hojas de datos de cables.
- ✓ Esquemas de conexionado.
- ✓ Listas de cables de Instrumentación.
- ✓ Listas de materiales.

2.4. Relación con otras Especialidades

A la vista de lo comentado hasta ahora es evidente que la especialidad de instrumentación y control, como el resto, requieren de una relación y coordinación con el resto de las especialidades de un proyecto de ingeniería.

A continuación damos una rápida visión de las relaciones con otras especialidades.

Proceso

La principal relación con esta especialidad es para:

- Gestionar los P&ID's.
- Conseguir los datos de proceso para especificar los instrumentos y válvulas.
- Adecuar las descripciones mecánicas para generar los documentos de control.

Implantaciones/Obra Civil

La principal relación con esta especialidad es para:

- Localización de salas de control, salas eléctricas, salas satélite, etc.
- Implantación de equipos, racks y sistemas para localizar cajas, hacer previsiones de caminos de cables, definir clasificación de áreas, etc.
- Definir caminos enterrados de cables, evitar interferencias con sistemas enterrados, etc.
- Coordinación de instalación de instrumentos en losas de hormigón, fosas, etc.
- Definición de sistemas de HVAC, falsos suelos, sistemas de Fire & Gas, etc.

Tuberías

La principal relación con esta especialidad es para:

- Definición del documento de conexiones a proceso y conexiones neumáticas.

- Definición de materiales y condiciones para instrumentos y válvulas.
- Definición y coordinación de la localización de los instrumentos y válvulas en las tuberías.
- Localización de los instrumentos en los planos de tuberías para hacer planos de implantación de instrumentos.

Electricidad

La principal relación con esta especialidad es para:

- Definición de criterios de alimentación a instrumentos y cuadros de control.
- Definición de criterios para cableado (tipos de cables, tierras, cajas, etc.).
- Definición de límites de responsabilidad en sistemas indeterminados (cableado de sondas de motores, cableado entre sistema de control y CCM's, etc.).
- Coordinación para rutados de cables.

3. CONCEPTOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROL

Con el fin de poder entender mejor los apartados siguientes conviene aclarar previamente algunos conceptos acerca de los tipos de instrumentos.

Los instrumentos de medición y control son relativamente complejos y su función puede entenderse si se clasifican de manera adecuada.

Dos clasificaciones bastante extendidas pueden ser: por función del instrumento y otra por variable de proceso a medir.

En el primer apartado de este capítulo hablaremos de dichas clasificaciones.

3.1. Clasificaciones de los Instrumentos

3.1.1. Instrumentos por Función

Los instrumentos por tipo de función pueden subdividirse en los siguientes tipos:

Elementos Primarios

Son aquellos instrumentos que están en contacto con el fluido o variable, utilizando o absorbiendo energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. Los ejemplos más típicos son las placas de orificio y los elementos de temperatura (termopares o termorresistencias). Cabe indicar que a los instrumentos compactos como manómetros, termómetros, transmisores de presión, etc. ya se supone que el elemento primario está incluido dentro del propio instrumento.

Transmisores

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, generalmente puede ser a través de un elemento primario, y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3-15 psi), electrónica (4-20 mA), pulsos, protocolarizada (hart) o bus de campo (Fieldbus Foundation, Profibus, etc.). Estos instrumentos dan una señal continua de la variable de proceso.

Dentro de los transmisores los hay ciegos (sin indicador local) y con indicador local incorporado.

Indicadores Locales

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso y la muestran en una escala visible localmente. Los indicadores locales más utilizados son los manómetros (presión), termómetros (temperatura), rotámetros (caudal), etc. Normalmente estos instrumentos no llevan electrónica asociada, aunque también se consideran indicadores locales a los indicadores electrónicos conectados a los transmisores. Estos últimos pueden ser analógicos o digitales.

Interruptores

Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, y para un valor establecido actúan sobre un interruptor. Es decir, cambian de estado de reposo a activado cuando el proceso llega a un valor predeterminado. Es un instrumento todo-nada.

Los instrumentos más habituales son los presostatos (presión), termostatos (temperatura), interruptores de nivel, flujostatos (caudal), etc.

Convertidores

Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifican a otro tipo de señal.

Pueden ser convertidores de señal neumática a electrónica, de mV a mA, de señal continua a tipo contacto, etc. Se usan habitualmente por necesidades de los sistemas de control de homogeneización.

Elementos finales de control

Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal procedente de un controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control.

Los más habituales son las válvulas de control, servomotor o variador de frecuencia.

Otros tipos de instrumentos cada vez menos utilizados son los registradores y controladores locales.

3.1.2. Instrumentos por Variable de Proceso

A continuación se pasa a desglosar en detalle las posibles variables de proceso a medir, y los diferentes tipos por función.

3.2. Medidas de Presión

La medición de presión, junto a la de temperatura y nivel, son las variables de proceso más utilizadas en los procesos industriales. No es este el curso en el que se deba explicar físicamente en que consiste la presión, pero si es bueno indicar que las medidas de presión comúnmente utilizadas en la industria son:

- Presión relativa o manométrica.
- Presión absoluta.
- Presión diferencial.

En cuanto a las unidades utilizadas para las presiones, las más utilizadas son “bar”, “kg/cm²”, “mm.c.a”, para la mayoría de los proyectos. En proyectos americanos la unidad de presión por excelencia es el “psi”.

Para definir la clasificación de las diferentes tecnologías, diversos autores utilizan diferentes clasificaciones cada una de ellas basadas en diferentes conceptos. Nosotros intentaremos hacer una clasificación acorde con las prácticas mas habituales de utilización. Así podemos hacer la siguiente clasificación.

3.2.1. Indicadores locales de Presión

Los indicadores de presión o manómetros mas utilizados son los basados en el tubo “bourdon”. 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, este tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora. El efecto es similar al producido por un “matasuegras”. El metal solo se puede deformar dentro de un rango limitado para evitar la deformación permanente. El material habitualmente utilizado suele ser acero inoxidable o aleaciones especiales tipo hastelloy o monel. Los rangos de utilización son desde 0 bar a cientos de bar.

Otra tecnología de medición local de presión, es con la utilización de manómetros de Diafragma. 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. 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. Se suelen emplear para pequeñas presiones.

Por último, otra forma de medición local es la basada en el principio del fuelle. El principio es parecido al diafragma compuesto, pero basado en una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. Tienen como ventaja su gran duración y se suelen emplear para pequeñas presiones.

3.2.2. Interruptores de Presión

Los interruptores de presión o presostatos, utilizan las mismas tecnologías que los manómetros, con la diferencia que se les incluye un contacto eléctrico calibrado a un valor de presión, de tal manera que dicho contacto cambia de estado cuando el valor de la presión llega a dicho valor.

3.2.3. Transmisores de Presión

Este tipo de instrumentos de presión convierten la deformación producida por la presión en señales eléctricas. Una diferencia respecto a los anteriores es la necesidad de incluir una fuente de alimentación eléctrica, mientras que tienen como ventaja las excelentes características dinámicas, es decir, el menor cambio producido por deformación debida a la presión, es suficiente para obtener una señal perfectamente detectable por el sensor.

A continuación relatamos brevemente algunas de las tecnologías más habituales para los transmisores de presión y presión diferencial.

Transmisores de Presión Capacitivos

Son instrumentos que 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. Tienen un tamaño reducido, son robustos y

adecuados para medidas estáticas y dinámicas. La precisión es del orden de 0,2-0,5% (bastante buena).

Transmisores de Presión Resistivos.

Son instrumentos que se consisten en un elemento elástico (tubo bourdon o cápsula), que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. Son instrumentos sencillos y la señal de salida es potente, por lo que no requiere de amplificación. Son insensibles a pequeñas variaciones, sensibles a vibraciones y tienen peor estabilidad que otras tecnologías. La precisión es del orden de 1-2% (bastante baja).

Transmisores de Presión Piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y construcción robusta. Son sensibles a los cambios de temperatura y requieren de amplificadores de señal. La estabilidad en el tiempo es bastante pobre.

Transmisores de Presión Piezoresistivos o “Strain Gage”

Están basados en la variación de longitud y 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. El hilo o galga forma parte de un puente de Wheatstone, que cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente. Una innovación de esta tecnología lo constituyen los transductores de presión de silicio difundido, al que se le añaden microprocesadores para añadir inteligencia al instrumento. La precisión es del orden de 0,2%.

Transmisores de Presión de Equilibrio de Fuerzas

En estos transmisores el elemento mecánico de medición (tubo bourdon, espiral, fuelle, etc.) ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor. Para cada valor de presión, la barra adopta una posición determinada excitándose un transductor de

desplazamiento tal como un detector de inductancia, un transformador diferencial o 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 caracterizan por tener un movimiento muy pequeño de la barra de equilibrio, poseen realimentación, buena elasticidad y alto nivel de señal de salida. Son sensibles a las vibraciones, por lo que su estabilidad es pobre. Su precisión es del orden de 0,5-1%.

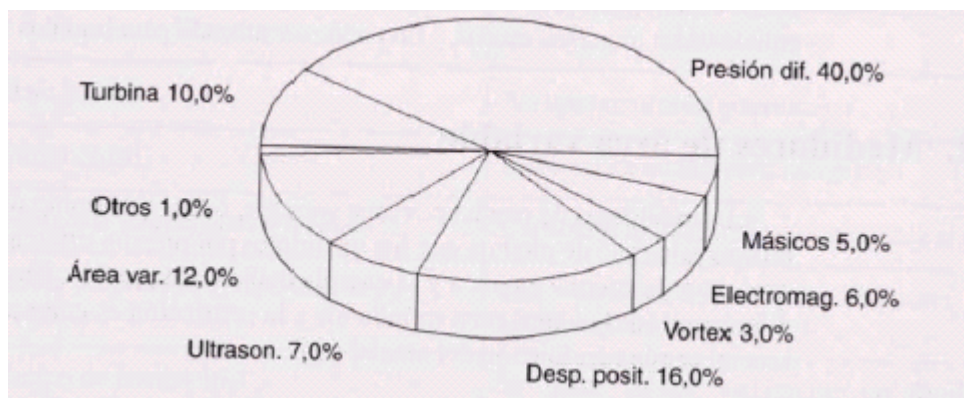


3.3. Medidas de Caudal

Las medidas de caudal tienen una gran importancia dentro de los procesos ya que se utilizan habitualmente para control del proceso y para medidas de contabilidad (facturación, importación/exportación de productos, etc.), por lo que la selección de la mejor tecnología tiene una gran implicación.

Así por ejemplo, los caudalímetros se utilizan para contabilizar productos dentro de la propia planta, con el exterior, etc. En cuanto al control de procesos, la medición de caudal es imprescindible para poder realizar control automático, así como para optimizar rendimientos en las unidades de producción aplicando balances de materia.

A continuación se incluye una gráfica representativa de las diferentes tecnologías y su porcentaje de utilización.



Hay muchas formas de diferenciar los diferentes tipos de mediciones de caudal, siendo una de ellas la siguiente:

- Medidores Deprimógenos
- Medidores de Área Variable.
- Medidores de Desplazamiento Positivo.
- Medidores Másicos.

3.3.1. Medidores Deprimógenos

El método más ampliamente utilizado para la medida de caudal en las plantas de proceso es el utilizado por presión diferencial. Para esto se utilizan elementos primarios del tipo:

- Tubos Venturi.
- Toberas.
- Tubos Pitot.
- Placas de orificio.
- Tubos Annubar.

Dentro de los anteriores, el sistema mas barato y utilizado son las placas de orificio. Los elementos deprimógenos están basados en crear una restricción en la tubería al paso de un fluido, lo que hace aumentar la velocidad disminuyendo al mismo tiempo la presión, permaneciendo la energía total (cinética, potencial e interna) constante.

Hay una serie de conceptos hidráulicos que influyen notablemente en los cálculos de los elementos primarios de caudal, y que no analizaremos en este curso, como son el nº de Reynolds, Relación Beta (relación de diámetros), Coeficiente de descarga, recuperación de presión, factor de expansión, etc.

En definitiva, el cálculo del orificio es un cálculo hidráulico basado en el teorema de Bernoulli, que dice como resumen, que el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial.

Como se puede entender perfectamente, estos elementos requieren de un transmisor de presión diferencial para medir la presión antes y después del elemento, y así poder sacar el caudal, ya que una presión diferencial es función del caudal.

Las principales ventajas de estos elementos se pueden enumerar en:

- Sencillez de construcción, no hay partes móviles.
- Tecnología sencilla.
- Baratos para grandes dimensiones de tuberías.
- Válidos para casi todas las aplicaciones.

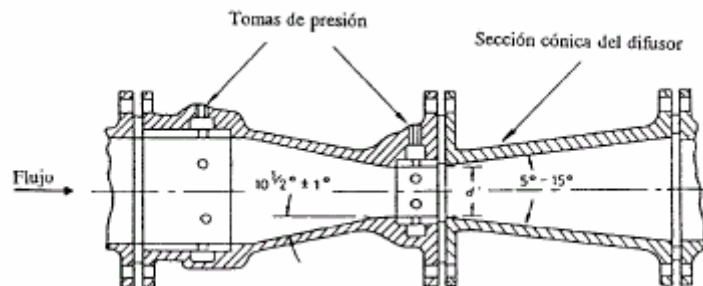
Las principales desventajas de estos elementos se pueden enumerar en:

- No válidos para condiciones de proceso (presión, temperatura, densidad, etc.) cambiantes.

- Producen caídas de presión no recuperables.
- Señal de salida no es lineal (hay que extraer su raíz cuadrada).
- Se necesita un flujo laminar, es decir, tramos rectos de tuberías antes y después del elemento.
- Menos precisión que otras tecnologías.

Tubos Venturi

Los tubos Venturi son unos elementos primarios de caudal del tipo Deprimógenos que se componen de tres partes bien diferenciadas, una sección de entrada cónica convergente en la que la sección transversal disminuye, lo que se traduce en un aumento de la velocidad del fluido y una disminución de la presión, una sección cilíndrica en la que se sitúa la toma de baja presión, y donde la velocidad del fluido se mantiene prácticamente constante, y por último una tercera sección de salida cónica divergente en la que la sección transversal aumenta disminuyendo la velocidad y aumentando la presión. Esta última sección permite la recuperación de parte de la presión y por lo tanto de energía.

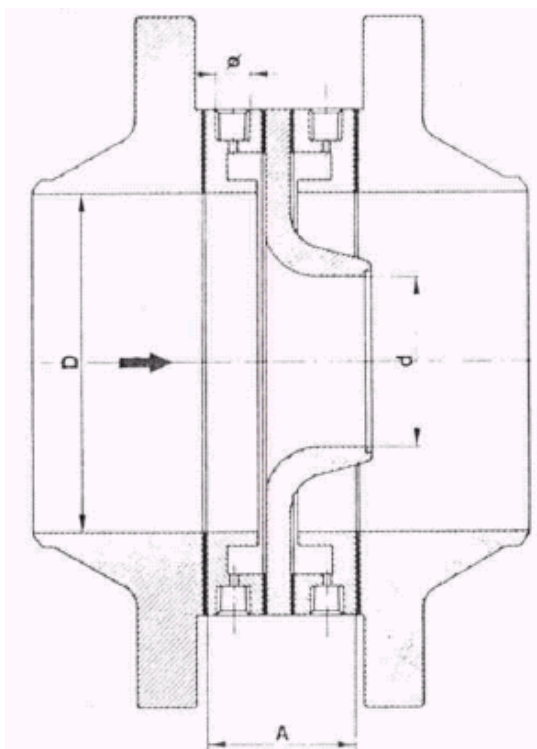


Las principales limitaciones de los tubos Venturi son su elevado coste y la longitud necesaria para su instalación. Como ventaja principal tiene su baja pérdida de carga, así como su buena precisión.

Toberas

Las Toberas presentan una entrada curvada que se prolonga en un cuello cilíndrico, si bien el coeficiente de descarga es similar al del tubo venturi, la caída de presión es similar a la de la placa orificio, en las mismas condiciones.

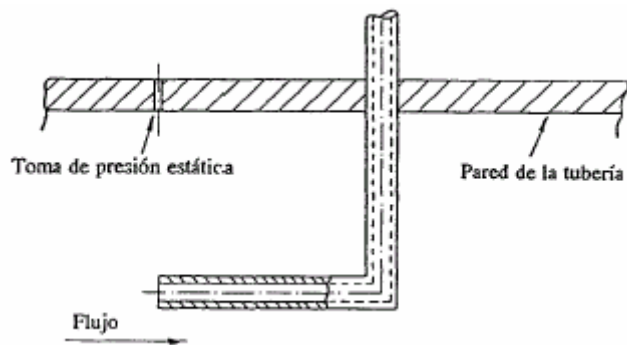
Las toberas son habitualmente utilizadas cuando se requiere una precisión mayor que la que pueden aportar las placas de orificio.



Tubos Pitot

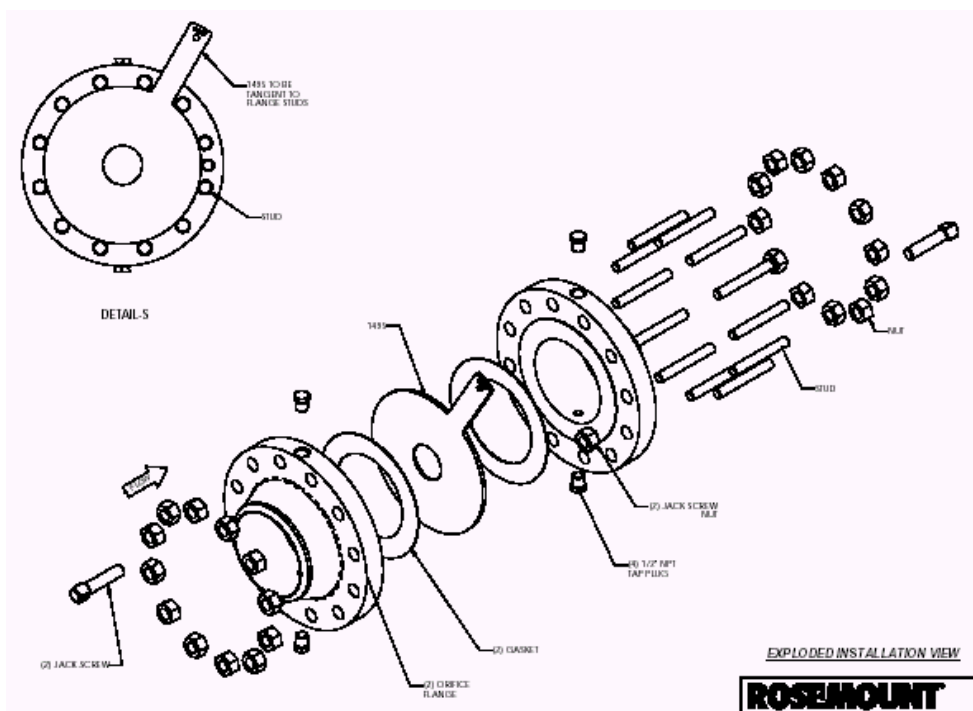
Los tubos Pitot son una de las formas de medir caudal más antigua. Los tubos Pitot son instrumentos sencillos, económicos y disponibles en un amplio margen de tamaños. Si se utilizan adecuadamente pueden conseguirse presiones moderadas, y aunque su principal aplicación sea para medir la velocidad del aire, se usan también para medir el caudal en grandes conductos y con cualquier gas. La principal desventaja de esta técnica es cuando existen bajas velocidades de fluido.

También se puede utilizar para medir líquidos aunque se corre el peligro de rotura de la sonda.



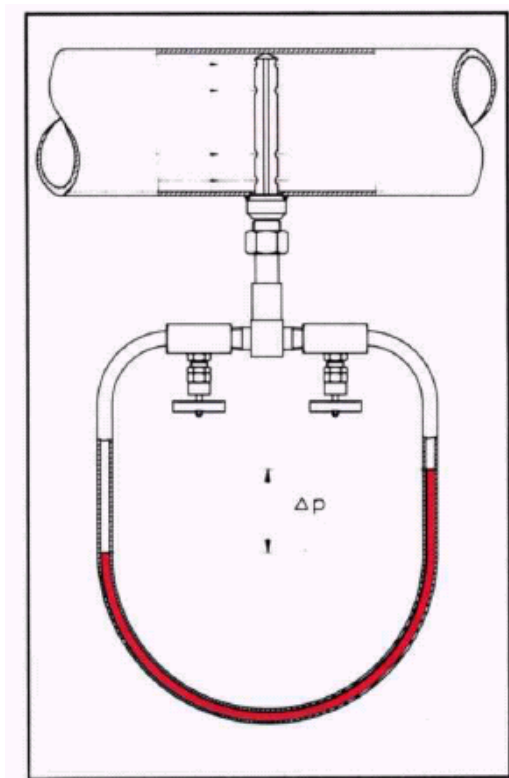
Placas de Orificio

Las Placas de Orificio son las más utilizadas y consiste en una placa perforada que se instala en la tubería. Para captar la presión diferencial es necesario conectar dos tomas, una antes y otra después de la placa. La posición de las tomas puede ser en las propias bridas (tamaños hasta 10-12") o en la tubería (tamaños mayores de 10-12"). Es quizás la forma más barata de medir caudal para tamaños desde 6".



Annubar

El tubo Annubar es una innovación del tubo Pitot. Consta de un tubo exterior situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería, y de dos tubos interiores. El tubo exterior consta de cuatro orificios en la cara aguas arriba de la corriente, que se utilizan para interpolar los perfiles de velocidad y poder realizar un promedio, y otro orificio en el centro del tubo pero en la cara aguas debajo de la corriente. De los dos tubos que están en el interior, uno sirve para promediar las presiones obtenidas en los cuatro orificios, midiendo la presión total, mientras que el otro tubo que se encuentra en la parte posterior, mide la presión estática en el orificio central aguas debajo de la corriente. Tiene mayor precisión que el pitot y baja pérdida de carga.



3.3.2. Medidores de Área Variable

Los medidores de caudal por área variable utilizan el mismo principio de medida que los medidores por presión diferencial, es decir, la relación entre la energía cinética y la energía debida a la presión.

En éstos instrumentos el área de la restricción cambia al mismo tiempo que el caudal, permaneciendo constante la presión diferencial. El instrumento de área variable por excelencia es el rotámetro, el cuál consta básicamente de un tubo vertical troncocónico, de cristal o con armadura metálica, en cuyo interior se encuentra un flotador. El fluido entra por la parte inferior del tubo, arrastrando el flotador en dirección ascendente. Al ascender el flotador va dejando libre un área en forma anular hasta que la fuerza producida por la presión diferencial en las caras superior e inferior del flotador se equilibra. Es por lo tanto un sistema basado en equilibrio de fuerzas. La posición de equilibrio alcanzada por el flotador dentro del tubo es una indicación directa del caudal de paso, marcado sobre el propio tubo o armadura. Esta técnica de medición se utiliza para bajos caudales y fluidos limpios. Las precisiones para este tipo de instrumentos vienen a ser del +/- 2%, por lo que no son aconsejables cuando se requieren altas precisiones, tiene alguna limitación en cuanto a instalación (montaje vertical), y habitualmente son utilizados para medidas locales. Por otra parte, son instrumentos baratos, simples, aptos para caudales pequeños y la lectura de caudal es lineal.

3.3.3. Medidores de Desplazamiento Positivo

Los medidores de desplazamiento positivo operan atrapando un volumen unitario y conocido de líquido, desplazándolo desde la entrada hasta la salida, y contando el número de volúmenes desplazados en un tiempo determinado. También se suelen conocer con el nombre de contadores por que cuentan el volumen de líquido independientemente del tiempo transcurrido.

En cada medidor se pueden destacar tres componentes:

- Cámara.
- Desplazador.
- Mecanismo que cuenta en número de veces que el desplazador se mueve.

Un punto importante a tener en cuenta en este tipo de instrumentos, es el conseguir una buena estanqueidad de las partes móviles, evitando un par de rozamiento inaceptable y que la cantidad de líquido de escape a través del medidor sea moderada. Por esto es necesario calibrar el medidor para varios caudales, dentro del margen de utilización y con un fluido de viscosidad conocida.

Con este tipo de instrumentos la medida es directa, sin tener que recurrir a ningún tipo de cálculo.

Existen varios tipos de medidores del tipo desplazamiento positivo, siendo los más utilizados los de ruedas ovales, helicoidales, tipo pistón, paletas deslizantes y tipo turbina.

Este último es el sistema más utilizado en la industria, y consta de un carrete de tubería en el centro del cuál hay un rotor de paletas múltiples, montado sobre cojinetes para que pueda girar con facilidad, y soportado aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado. También suelen incorporar un enderezador de vena fluida. La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que es proporcional a la velocidad media axial del fluido, y por lo tanto al caudal volumétrico. La salida, mediante impulsos eléctricos, se produce cuando se detecta el paso de cada paleta alrededor de uno o más sensores situados en el campo del medidor.

Las principales ventajas de estos tipos de instrumentos son:

- Buena exactitud y amplio rango de medida.
- Buena repetitibilidad.
- Buen comportamiento para fluidos muy viscosos, y para aquellos fluidos con condiciones cambiantes.
- Medida directa de caudal volumétrico.

Los principales inconvenientes son:

- Alto costo para grandes tamaños (>6”).
- Alta pérdida de carga (limitación de caudal).
- Mal funcionamiento para fluidos sucios (posibles bloqueos de las partes móviles).
- Pueden dañarse por sobrevelocidad.

Al presentar resistencia a la fricción, para bajos caudales su funcionamiento no es correcto, siendo su margen idóneo de funcionamiento entre el 20 y el 65%.

3.3.4. Medidores Másicos

Los medidores de caudal másicos están diseñados para medir directamente el caudal del fluido en unidades de masa, como por ejemplo Kg/h, en lugar de medir el caudal en volumen, como m³/h.

Se suelen utilizar dos tecnologías:

- Instrumentos volumétricos compensados por Presión y Temperatura.
- Medidores másicos directos.

El primer tipo mas sencillo puede ser una placa de orificio, con transmisor de presión diferencial compensado por presión y temperatura incorporados en el mismo conjunto.

Del segundo tipo, el mas utilizado es el medidor por efecto coriolis. Según este efecto, un objeto que se mueve en un sistema de coordenadas que rota con una velocidad angular experimenta una fuerza coriolis proporcional a la masa y velocidad del fluido, así como a la velocidad del sistema.

Los medidores del tipo coriolis pueden ser de tubo en “U” o tubo recto.

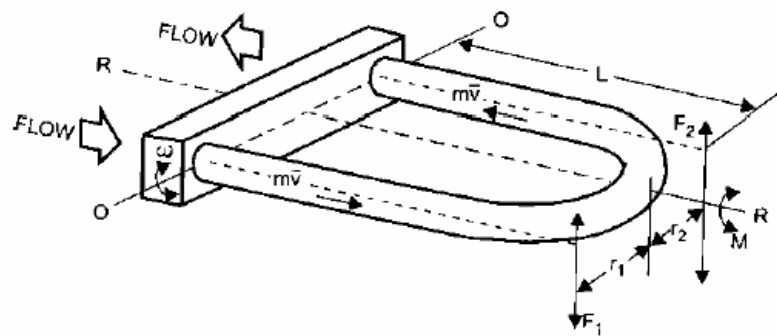
Las principales ventajas de estos tipos de instrumentos son:

- Muy buena exactitud.
- Amplia rangeabilidad.
- Lectura directa en caudal de masa.
- Reducidos costes de mantenimiento.
- Salida Lineal.

Los principales inconvenientes son:

- Alto costo.
- Alta pérdida de carga (respecto a otras tecnologías).
- Límite de utilización en altas temperaturas.
- Da problemas en tuberías de gran tamaño.

Otro tipo de medidor de caudal másico es el “másico térmico”, que están basados en los principios de elevación de la temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente y en la pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido. El más utilizado es el primero, se utiliza para medir bajos caudales de gases y la precisión típica es del +/- 1%.



3.3.5. Otros tipos de medidores de caudal

Aparte de las tecnologías indicadas anteriormente, existen otras que son utilizadas habitualmente y que a continuación enumeramos.

Medidores magnéticos

Como su nombre indica, este tipo de instrumento se basa en las leyes de los campos magnéticos. A grandes rasgos, el instrumento lleva unos electrodos, siendo la f.e.m. generada a través de los electrodos directamente proporcional a la velocidad media del fluido.

El material de los electrodos tiene que ser compatible con el fluido.

Las principales ventajas de estos tipos de instrumentos son:

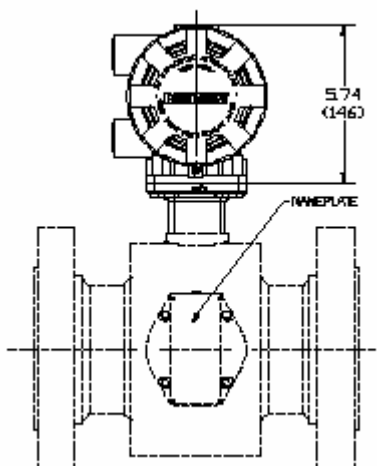
- Buen comportamiento con fluidos sucios, viscosos, pasta de papel, etc.
- Poca pérdida de carga.
- Buen comportamiento con tuberías grandes.
- Buen comportamiento ante cambios de densidad, viscosidad, etc.

- Suelen ser bidireccionales.
- Salida Lineal.

Los principales inconvenientes son:

- El fluido debe tener una conductividad eléctrica razonable (no válido para gases y líquidos orgánicos).
- Puede llegar a calentarse el instrumento por el efecto de las bobinas.
- Se pueden ver afectados por el ruido.

La precisión típica es del +/- 0,5%.



Medidores Ultrasónicos

Como su nombre indica, este tipo de instrumento mide el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse este en el sentido del fluido y en el sentido contrario.

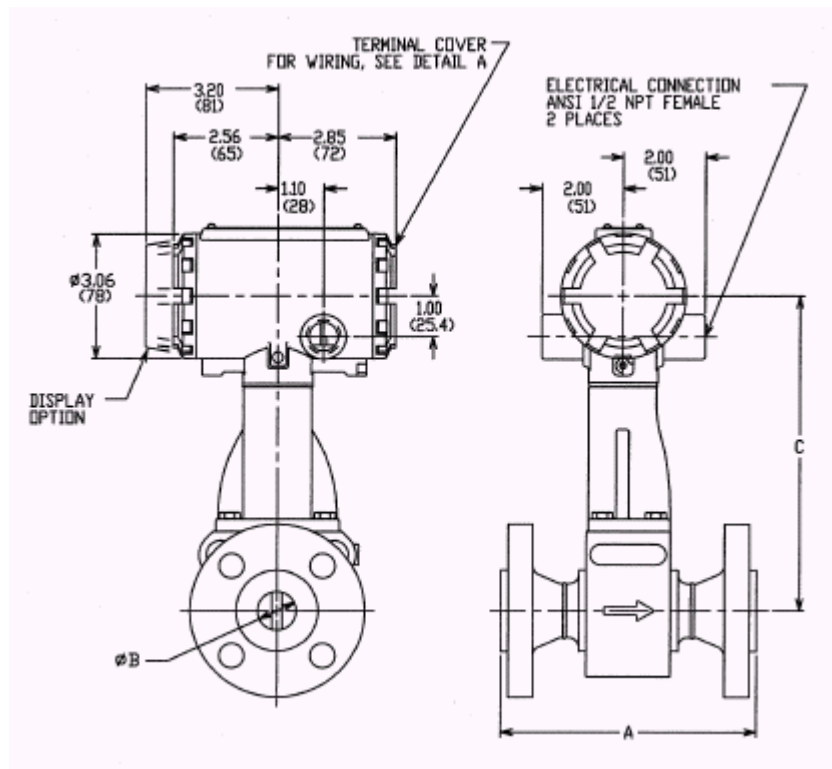
Existen dos tipos: por desviación del haz de sonido emitido por un transmisor perpendicularmente a la tubería y por efecto Doppler.

Al igual que los magnéticos, no presentan obstrucciones al flujo, no tienen pérdida de carga y no son intrusivos.

Son adecuados para casi todos los líquidos y la precisión puede llegar al +/- 0,5%.

Medidores Vortex

Utilizados principalmente para medir gases, aunque a veces también se utilizan para líquidos y vapores. Tiene una baja pérdida de carga, larga estabilidad y amplios rangos de medida.



Paradigm Case Applications for Traditional-Technology Flowmeters Flowmeter type	Paradigm case applications	Disadvantages
Differential pressure	Clean liquids, steams, and gases with low to medium accuracy requirements.	Pressure drop; orifice plates are subject to damage and wear.
Positive displacement	Clean, non-corrosive liquids, viscous liquids, and gases requiring low flowrates.	Moving parts are subject to wear.
Turbine	Clean, steady, medium to high speed flowing liquids and gases.	Bearings are subject to wear; limited ability to handle entrained impurities.
Open channel	Free flowing rivers and streams or temporary measurement of partially filled pipes.	Medium accuracy and not suited for full pipe measurements.
Thermal	Clean gases of known heat capacity and low flow rates.	Low to medium accuracy with limited ability to handle liquids.
Variable area	Clean liquids and gases where low accuracy is acceptable.	Low accuracy, many provide only local readouts.

Author Information

Jesse Yoder is president of Flow Research (Wakefield, MA), the author of 'Worldflow Handbook' and a recently released flowmeter market study. www.flowresearch.com

Paradigm Case Applications for New-Technology Flowmeters Technology	Paradigm case applications	Disadvantages
Coriolis	Clean liquids and gases flowing fast enough to operate the meter in pipes of two inches and less.	Becomes expensive and unwieldy at four inches and above; High purchase cost, though some lower-cost models now available.
Magnetic	Conductive liquids that do not damage the liner or coat the electrodes and when flowing keep the pipe full.	Cannot meter hydrocarbons, nonconductive fluids, gases, or steam.
Ultrasonic	Clean, swirl-free liquids or gases of known profile.	A multipath meter may be required for high accuracy; Most clamp-on meters are less accurate than spoolpiece meters.
Vortex	Clean, non-viscous, swirl-free liquids, gases, or steams flowing at medium to high speed.	Difficulty measuring fluids at low flowrates; Vibration and noise have traditionally been an issue, but manufacturers are developing solutions.

3.4. Medidas de Temperatura

Al igual que las medidas de presión y nivel, la medida de temperatura es una de las variables de proceso más utilizadas en los procesos industriales. No es este el curso en el que se deba explicar físicamente en que consiste la temperatura, pero si es bueno indicar que las medidas de temperatura para su transmisión remota se producen como consecuencia de una serie de fenómenos que a continuación enumeramos:

- Efecto "Seebeck" (Generación de una f.e.m. por el efecto de variación de la temperatura entre un bimetalo o termopar).
- Efecto "Peltier" (efecto contrario al Seebeck, al generar una corriente en un bimetalo, se desprende calor).

- Efecto “Thomson” (diferencia de densidad de electrones en diferentes puntos de un hilo a distinta temperatura).

Así como se utilizan diversos fenómenos, tales como:

- Variaciones en volumen o estado de cuerpos (termómetros de mercurio, gases, etc.).
- Variación de la resistencia de un conductor (termorresistencias).
- Variación de la resistencia de un semiconductor (termistores).
- F.e.m. creada en la unión de dos bimetales (termopares).
- Intensidad de radiación (pirómetros ópticos).
- Etc.

Al igual que casi todas las variables de proceso, las limitaciones de las diferentes tecnologías de medición dependen de la precisión requerida, velocidad de respuesta, condiciones del proceso, etc. A diferencia de otras mediciones, cabe mencionar que las medidas de temperatura, en general, tienen una inercia bastante mas elevada que otras variables de proceso como la presión o caudal (casi instantáneas).

Otro factor importante a tener en cuenta en las medidas de temperatura es la necesidad de instalar un elemento de protección entre el sensor y el proceso, llamado termopozo, vaina o “thermowell”. Dicho elemento debe diseñarse y coordinarse de acuerdo a las especificaciones mecánicas del proyecto.

3.4.1. Indicadores locales de Temperatura (termómetros).

Los indicadores de temperatura mas utilizados en la industria son los termómetros “bimetálicos”. Los termómetros bimetálicos se basan en el diferente coeficiente de dilatación existente entre dos metales diferentes y unidos. La unión mecánica de una aguja al bimetale, hace que por efecto de cambio de temperatura se desplace. La precisión suele ser del 1% y su campo de actuación es entre -200 y 500 °C.

Otro tipo de termómetro utilizado es el llamado de termómetro de Bulbo. Estos consisten esencialmente en un bulbo conectado por un tubo capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo varía, el volumen del gas del interior varía, enrollándose o desenrollándose la espiral moviendo la aguja en consecuencia. Además de un gas, también es posible que los bulbos contengan líquido, vapor o

mercurio. Saber, que se suele compensar la temperatura por efecto de la longitud del capilar (volumen de tubo) y por variaciones de temperatura ambiente. El campo de actuación suele estar entre 150 y 500 °C.

3.4.2. Elementos Primarios de Temperatura.

En primer lugar cabe indicar que para la transmisión de medidas de temperatura se necesitan dos o tres equipos, que son termopozo, elemento primario y si se quiere llevar una señal de 4-20 mA, convertidor de temperatura. En este apartado hablaremos de los elementos primarios o sensores de temperatura.

Existen dos tipos de elementos primarios que son los termopares y las termoresistencias. En ambos casos, la adición de un convertidor basado en microprocesador, hace que las señales se conviertan a una forma mas estandarizada (4-20 mA, hart, etc.).

Termopares

El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura.

Por el efecto Seebeck y una serie de leyes fundamentales, se ha llegado a la conclusión de que en el circuito correspondiente se desarrolla una pequeña tensión continua proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia.

Los valores de esta f.e.m. están perfectamente tabulados en tablas de conversión.

Existen diferentes tipos de termopares, siendo su diferencia en el tipo de bimetales utilizados y por lo tanto en las f.e.m. generadas en función de las temperaturas.

Se adjunta una tabla de termopares según la denominación, materiales y rangos de actuación.

Cada uno de los anteriores tiene características particulares tales como rango, linealidad, sensibilidad, etc.

Tipo de termopar	Materiales	Rango normal
J	Hierro – Constantan	-190 °C a 760 °C
T	Cobre – Constantan Cobre – (Cobre-Níquel)	-200 °C a 370 °C
K	Cromel – Alumel (Cromo – Níquel) – (Aluminio-Níquel)	-190 °C a 1.260 °C
E	Cromel – Constantan	-100 °C a 1.260 °C
S	(90 % Platino + 10 % Rodio) – Platino	0 °C a 1.480 °C
R	(87 % Platino + 13 % Rodio) – Platino	0 °C a 1.480 °C

Los límites de error de los termopares, según la norma ISA 96.1, son según la tabla adjunta:

Tipo de termopar	Estándar. El mayor error entre:	Especial. El mayor error entre:
T (0 – 350 °C)	$\pm 1,0\text{ °C}$ o $\pm 0,75\%$ de la medida	$\pm 0,5\text{ °C}$ o $\pm 0,4\%$ de la medida
K (0 – 1.250 °C)	$\pm 2,2\text{ °C}$ o $\pm 0,75\%$ de la medida	$\pm 1,1\text{ °C}$ o $\pm 0,4\%$ de la medida
S (0 – 1.450 °C)	$\pm 1,5\text{ °C}$ o $\pm 0,25\%$ de la medida	$\pm 0,6\text{ °C}$ o $\pm 0,1\%$ de la medida

Así por ejemplo, para medir 500° C con un termopar tipo K, éste puede introducir un error de +/- 3,75 °C si es de tipo estándar.

Mencionar que los termopares suelen estar encapsulados en un tubo de material apropiado al entorno donde se va a efectuar la medida, normalmente de acero inoxidable. Asimismo, la unión caliente puede estar unida al extremo de la funda de protección o aislada de la misma, para que no exista comunicación a masa o tierra de la planta.

Un concepto muy importante en la instalación de los termopares, cuya señal se quiere transmitir sin convertidor de temperatura, es la utilización del cable de extensión de termopares. Si cableamos un termopar con un cable estándar de cobre o aluminio estamos “rompiendo” la continuidad del termopar. Se debe utilizar

un cable de extensión del mismo tipo que el termopar, así por ejemplo para un termopar del tipo “K”, el cable de instalación debe ser de “Cromel-Alumel”. En el caso de utilizar un convertidor, se debe utilizar el mismo concepto desde el elemento primario hasta el convertidor.

Termorresistencia

Si se construye una bobina de un hilo metálico y se mide su resistencia a una temperatura conocida, se puede utilizar la medida de la resistencia a otra temperatura para conocer esta temperatura, este es el fenómeno en el que se basan las termorresistencias, es por lo tanto una medida indirecta ya que no se mide directamente. Para ello se requiere un circuito de medida para inferir la temperatura partiendo de la resistencia. El circuito habitualmente utilizado es el puente de Wheatstone. En este caso es necesario compensar la resistencia de los cables que forman la línea desde la termorresistencia al sistema de medida.

Los materiales que se usan normalmente en las sondas de resistencia son el platino y el níquel. El platino es el elemento mas adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad, pero también es el mas caro. La sonda mas utilizada es la Pt-100 (resistencia de 100 ohmios a 0 °C).

El níquel es mas barato que el platino y posee una resistencia más elevada con una mayor variación por grado, sin embargo tiene la desventaja de la falta de linealidad en su relación resistencia-temperatura.

El cobre es barato y estable pero tiene el inconveniente de su baja resistividad.

Se adjunta una tabla de termorresistencias como ejemplo.

<i>Metal</i>	<i>Resistividad μΩ/cm</i>	<i>Coficiente temp. Ω/Ω, °C</i>	<i>Intervalo útil de temp. °C</i>	<i>Ø min. de hilo mm</i>	<i>Coste relativo</i>	<i>Resis. sonda a 0° C, ohmios</i>	<i>Preci- sión °C</i>
Platino	9,83	0,00385	— 200 a 950	0,05	Alto	25, 100, 130	0,01
Níquel	6,38	0,0063 a 0,0066	— 150 a 300	»	Medio	100	0,50
Cobre	1,56	0,00425	— 200 a 120	»	Bajo	10	0,10

Habitualmente las termorresistencias no se utilizan por encima de los 500 ° C debido a las desviaciones producidas.

Termopares o Termorresistencias

En cualquier proyecto surge la eterna pregunta a la hora de especificar los elementos primarios de temperatura, ¿Qué instalamos termopares o termorresistencias?.

La respuesta a esta pregunta, habitualmente la contestan las especificaciones del cliente final o unos criterios de diseño de cumplimiento.

Medir la temperatura con un termopar, requiere medir además la temperatura de la junta fría, siendo ésta una fuente de posibles errores, además, se suele instalar el cable de extensión de termopares lo que suele dar un error adicional. Estos errores secundarios suelen ser mas importantes que los del propio sensor.

La exactitud de una termorresistencia es mejor que la de un termopar, ya que no requiere de una compensación de una junta fría y no requiere de cables de extensión.

Otro factor importante es el concepto de la deriva. Los termopares son propensos a tener deriva, desviación permanente de una señal que se produce de forma muy lenta a lo largo de un cierto periodo de tiempo, producidos por la propia naturaleza de construcción.

La velocidad de respuesta es similar en ambos casos, siendo el coste del termopar mas barato como equipo, aunque más caro como instalación cuando se requiere cable de compensación. El elemento primario es la punta del iceberg en cuanto al coste conjunto.

Se adjunta tabla de comparación.

Característica	RTD de Platino	Termopar
Rango normal de trabajo	-100 a 600	-200 a 1.500
Exactitud típica	± 0,1 °C a 0 °C hasta ± 1,3 °C a 600 °C	± 2,2 °C a 0 °C hasta ± 10 °C a 1.200 °C
Desviación típica (Deriva)	< ± 0,1 °C / año	< ± 5 °C / año
Linealidad	Excelente.	Buena.
Ventajas	Mejor exactitud y estabilidad.	Mayor rango de medida.
Desventajas	Menos robustos que los termopares. Errores por autocalentamiento.	Mayor deriva. Requiere compensación de la unión fría.

Convertidores o Transmisores de Temperatura

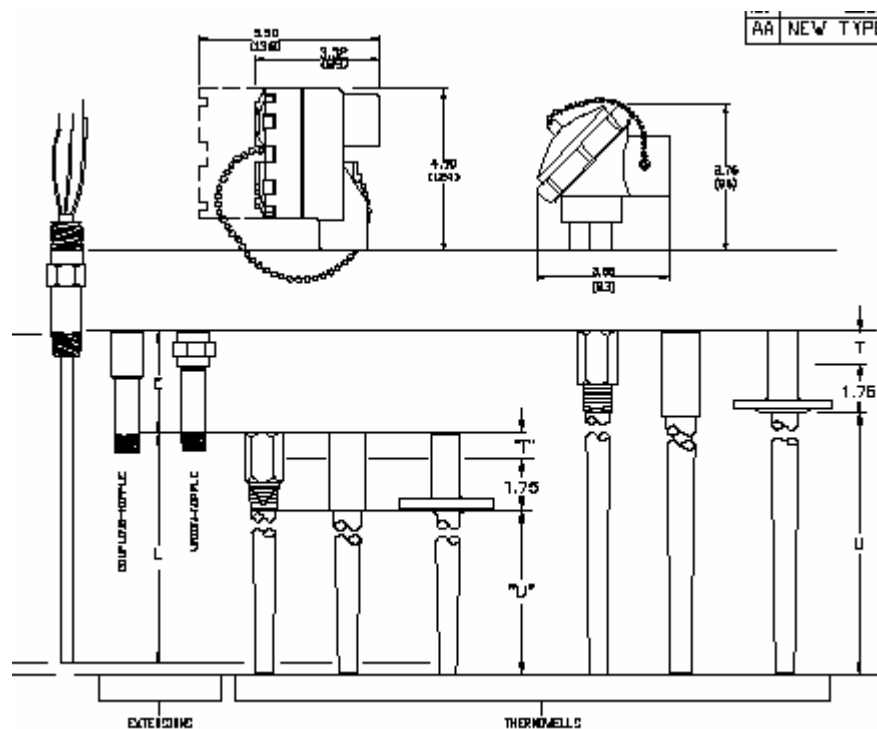
Estos equipos son instalados cuando se requiere una medida de 4-20 mA a la entrada del sistema receptor.

Lo que hacen es convertir la señal del termopar o termorresistencia a una señal de salida del tipo 4-20 mA.

Hoy en día, los convertidores son capaces de admitir cualquier tipo de elemento primario, siendo solo necesaria una pequeña configuración y calibración. Estos equipos pueden ir instalados en la propia cabeza de conexiones del elemento primario, en un armario (rail DIN), o con una envolvente tipo transmisor.

Interruptores de Temperatura o Termostatos

Las tecnologías son las mismas, con la diferencia que se les incluye un contacto eléctrico calibrado a un valor de temperatura, de tal manera que dicho contacto cambia de estado cuando el valor de la temperatura.



3.5. Medidas de Nivel

La medición de nivel quizás sea la que más tecnologías disponen para su medición, y al contrario que el resto de las variables de proceso, existen en el mercado diversos sistemas de medición para las mismas aplicaciones.

Es por ello que también la complicación que tienen los usuarios finales para poder seleccionar un sistema de medición. La forma de seleccionar la tecnología casi siempre depende de dos factores como son el precio y la precisión requerida, aparte de la validez de la tecnología para nuestro proceso.

En el pasado, las tecnologías de medición estaban basadas principalmente en métodos mecánicos y neumáticos, hasta la llegada de la tecnología electrónica.

A continuación se da una ligera visión de una selección representativa de las técnicas de medición de nivel más comúnmente utilizadas.

3.5.1. Indicadores de nivel de Vidrio

Era la medición de nivel más utilizada en la industria para indicaciones locales, aunque cada vez mas, es sustituido por los indicadores de nivel magnéticos. El sistema de medición está basado en el principio de vasos comunicantes. Se utiliza para líquidos "limpios". El depósito requiere de dos conexiones para conectar el nivel, instalando entre las conexiones del nivel y el depósito unas válvulas de aislamiento para poder separar ambos sistemas.

Ventajas: Sencillo de instalar y barato (depende de presiones y temperaturas).

Inconvenientes: No válido para fluidos sucios, viscosos, no permite instalar dispositivos para retransmitir las señales.

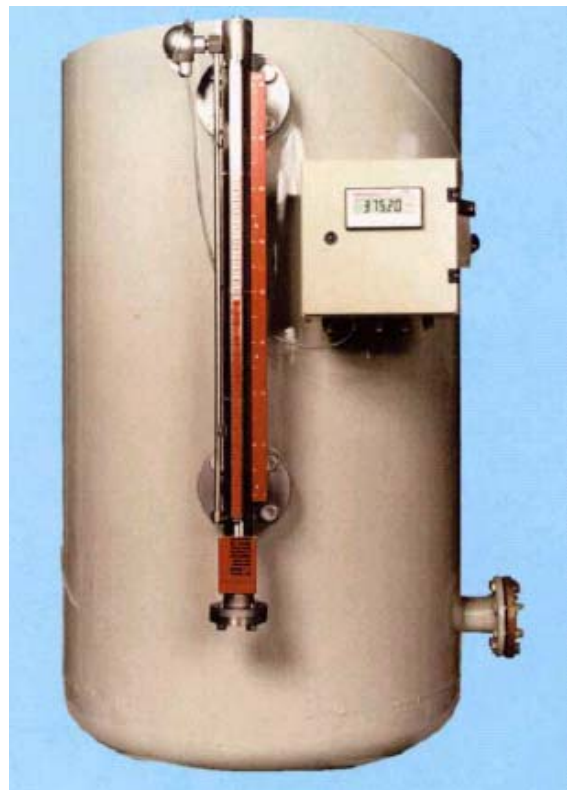
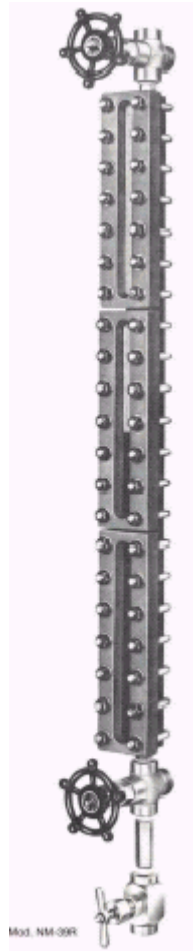
3.5.2. Indicadores de nivel Magnéticos

Es la medición de nivel más utilizada en la industria para indicaciones locales. Al igual que los niveles de vidrio, el sistema de medición están basado en el principio de vasos comunicantes, con la diferencia que se sustituye el vidrio transparente por una serie de láminas magnéticas que van cambiando de posición, y por lo tanto de color, a medida que detectan nivel. Se utiliza para cualquier tipo de líquidos compatibles con los posibles materiales de construcción. El depósito requiere de

dos conexiones para conectar el nivel, instalando entre las conexiones del nivel y el depósito unas válvulas de aislamiento para poder separar ambos sistemas.

Ventajas: Sencillo de instalar y es posible utilizar con altas presiones y temperaturas. Se le pueden acoplar contactos para utilizar como interruptor de nivel.

Inconvenientes: No válido para fluidos sucios o viscosos.



3.5.3. Indicadores de nivel con Manómetro

Es una medición de nivel sencilla, que se puede utilizar en tanques atmosféricos donde no se requiere una alta precisión. El método consiste en instalar un manómetro diferencial en la parte baja del depósito, con una conexión al tanque y la otra a la atmósfera. De esta manera el manómetro medirá la columna de agua correspondiente. En caso de que el líquido no sea agua, se debe compensar la medida con la densidad del líquido. El manómetro se debe solicitar con la escala en

“%” o calibrada en mm.c.a., m.c.a., etc. El depósito requiere de una sola conexión para conectar el manómetro.

Ventajas: Sencillo de instalar y muy barato.

Inconvenientes: Poco preciso y sensible a los cambios de densidad.

3.5.4. Indicadores de nivel de Cinta, regleta o flotador/cuerda

Es una forma de medir nivel local de manera sencilla y utilizada principalmente en tanques atmosféricos, donde por la dimensión del mismo no sale rentable la instalación de otra tecnología de medición. El sistema de medición consiste en un flotador, un cable fino, dos apoyos y un contrapeso en la parte exterior del tanque. En la parte exterior del tanque se coloca una varilla graduada, que con la posición del contrapeso indica el nivel del tanque. Este tipo de medición no suele utilizarse en mediciones de unidades de proceso, siendo su uso en grandes depósitos de almacenamiento de agua, gasóleo, etc.

Ventajas: Tecnología sencilla, adecuado para diversos productos y precisos.

Inconvenientes: No válido para fluidos sucios o viscosos, y requiere de una instalación mecánica un poco complicada.

3.5.5. Interruptor de Nivel por Flotador

Es una medición de nivel sencilla y utilizada cuando se requiere detectar un límite de nivel (alto, bajo, para realizar un permisivo o enclavamiento, etc.). La señal de salida es un contacto que cambia de estado cuando el líquido llega al punto donde se ha calibrado el flotador y no se tiene indicación local ni continua. El método consiste en un flotador, boya o cuerpo flotante montado sobre un brazo móvil y acoplado magnéticamente a un microinterruptor (externo al proceso). También hay versiones que consisten en un flotador redondo con un pequeño imán que sube a lo largo del tubo. En el tubo hay uno o varios relés de láminas, que harán conmutar el relé a medida que el flotador (imán) pase. En los interruptores de nivel se debe tener especial cuidado en el cableado del contacto en función de la detección de nivel que queramos hacer (alto, bajo, condición, etc.) y el estado del proceso en el momento de la calibración (vacío, lleno, nivel alto, etc.).

- Ventajas: Sencillo de instalar, adecuado para muchos productos y barato.
- Inconvenientes: Mal funcionamiento con productos viscosos, adherentes, etc. y requiere de una instalación directa al tanque, o a través de una derivación del mismo.



3.5.6. Interruptor de Nivel por Láminas Vibrantes

Es una medición de nivel sencilla y , al igual que los anteriores, es utilizada cuando se requiere detectar un límite de nivel (alto, bajo, para realizar un permisivo o enclavamiento, etc.). La señal de salida es un contacto que cambia de estado cuando el líquido llega al punto donde se ha calibrado. El método consiste en una horquilla oscilante preparada para que oscile en el aire a una resonancia determinada. Si la horquilla se recubre del líquido a detectar, la frecuencia de resonancia se reduce o amortigua completamente, transmitiéndose como una señal

de salida. El tipo de horquilla y la frecuencia de resonancia serán seleccionadas en función del líquido a detectar. Las aplicaciones más habituales son en medidas de sólidos y líquidos, y su utilización suele ser decisión del técnico competente.

- Ventajas: Sistema de aplicación universal, no requiere ajustes, montaje sencillo y relativamente barato.
- Inconvenientes: Mal funcionamiento con sólidos de un determinado tamaño de grano, ya que los gránulos se pueden quedar atrapados entre las horquillas.



3.5.7. Transmisor de Nivel por Desplazador

Es una medición de nivel sencilla en cuanto a tecnología, y el método consiste por desplazamiento de un flotador, boya o cuerpo flotante, y basado en la diferencia entre el peso del flotador y la fuerza de flotación hacia arriba que el medio ejerce sobre el cuerpo de desplazamiento. La fuerza de flotación hacia arriba depende del volumen del cuerpo de desplazamiento, la densidad relativa y el nivel del medio. Obviamente para que el cuerpo se desplace, debe ser mas pesado que el medio. La fuerza diferencial se transmite a un medio de transmisión basado en un sistema

de barra de torsión, acoplado a un transductor que transforma la fuerza en una señal acondicionada y estándar, siendo esta habitualmente 4-20 mA. Lo más habitual es montar el desplazador en un tubo portante, y colocarlo externamente al tanque, con el fin de mejorar las condiciones de mantenimiento, calibración y estabilidad del producto.

Ventajas: Sistema bastante preciso.
Inconvenientes: Sistema que depende de la densidad del producto y el método de instalación requiere equipamiento mecánico.

3.5.8. Transmisor de Nivel por Servomotor.

Es una medición de transmisión de nivel cuyo sistema consiste en que en la parte superior del depósito o silo, un tambor impulsado por un motor eléctrico hace descender un fleje sonda lastrado por un peso en su extremo. Una rueda de medición e interruptores de proximidad generan pulsos en lo que está descendiendo el fleje. Cuando el peso llega al producto, el fleje se destensa y el motor invierte el sentido de giro y devuelve al peso a su posición de reposo. El número de pulsos medido durante el descenso se resta de la altura total del depósito mediante un contador previamente puesto a cero. Los pulsos pueden ser enviados directamente al sistema de control o por medio de un convertidor, pasarlos a 4-20 mA.

Ventajas: Sistema adecuado para depósitos/silos altos, buena precisión y válido para diversos productos.
Inconvenientes: Requiere bastante mantenimiento y tienen consumo eléctrico.

3.5.9. Transmisor de Nivel por “Burbujeo”

Es una medición de nivel sencilla en cuanto a tecnología, y el método consiste en medir la presión hidrostática en un tanque, insertando un tubo delgado en el líquido y aplicando aire comprimido en el tubo, de modo que se empuja hacia abajo la columna de líquido del tubo hasta que salgan burbujas de aire del líquido. La presión de aire en el tubo es entonces igual a la presión de la columna de líquido y se puede medir con un transmisor de presión, que convierte la presión en 4-20 mA. El aire comprimido se puede sacar de la red de aire de planta o aire de

instrumentos, debiéndose ajustar por medio de un rotámetro. Este método se usa habitualmente cuando es un depósito o foso abierto, con fluidos sucios o corrosivos, etc.

Ventajas: Sistema bastante sencillo y apto para todo tipo de líquidos.
Inconvenientes: Sistema que requiere de aire comprimido, así como tiene un gasto continuo de aire. No utilizable en depósitos presurizados.

3.5.10. Transmisor de Nivel por presión Hidrostática y Diferencial.

Es una medición de nivel sencilla y basada en el mismo sistema que “Indicadores de nivel con Manómetro”. La presión hidrostática de la columna de líquido se mide directamente con un transmisor de presión o de presión diferencial. El transmisor se monta en la parte más baja del depósito. En el caso de depósitos presurizados, es necesaria la instalación de un transmisor de presión diferencial, de modo que a un lado de la cámara se mida la presión ejercida por la columna del líquido, mas la sobrepresión del proceso, y en el otro sólo la sobrepresión. De esta manera la diferencia de presión es el peso de la columna del líquido. Lo más habitual en estos casos es la utilización de un transmisor de presión diferencial, pero también se podrían utilizar dos transmisores de presión relativa.

Ventajas: Sistema bastante sencillo y buena precisión.
Inconvenientes: Sistema que depende de la densidad y relativamente costoso por la instalación requerida.

3.5.11. Transmisores de Nivel Conductivos

Es una medición de nivel utilizada para aquellos productos que sean conductivos. Se mide la diferencia de conductividad en un electrodo parcialmente aislado cuando la sonda está cubierta por el producto conductivo, y cuando no lo está. La pared metálica del tanque se puede emplear como segundo electrodo, o si no es posible se debe introducir otro electrodo en el tanque.

Ventajas: Sistema bastante sencillo, buena precisión, no muy caro y se puede utilizar como interruptor de nivel.

Inconvenientes: Se debe tener cuidado en aquellos productos que puedan variar su conductividad, así como los que puedan tener la posibilidad de depositarse en la superficie de los electrodos.

3.5.12. Transmisores de Nivel Capacitivos

Es una medición de nivel bastante utilizada y el principio de medición consiste en que una sonda metálica (aislada) y la propia pared del depósito actúan como dos placas de un condensador. La capacidad del condensador depende del medio que haya entre la sonda y la pared. Si sólo hay aire, es decir, si el depósito está vacío, la capacidad del conductor es baja. Cuando parte de la sonda esté cubierta por el producto, la capacidad se incrementará. El cambio en la capacidad se convertirá a una medida estándar, habitualmente siendo esta 4-20 mA. Este es un método de medición de nivel que se utiliza tanto como transmisor de nivel como interruptor de nivel. En aquellos casos en los que se pueda producir una interfase de productos (agua-lodo, aceite-agua, etc.) es una tecnología bastante utilizada.

Ventajas: Adecuado para productos corrosivos.

Inconvenientes: Por el principio de medición utilizado, está limitado a productos con propiedades eléctricas constantes.

3.5.13. Transmisores de Nivel Ultrasónicos

Es una medición de nivel bastante utilizada cuando se pretende evitar el contacto entre el instrumento y el producto, por problemas de agresividad del producto, etc. Consisten en que el método de reflexión del sonido se basa en el principio de retorno de un pulso de sonido emitido por un sensor. El pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo después de un tiempo. El tiempo de retorno es proporcional a la altura vacía del tanque, y por lo tanto al nivel del mismo. Este tiempo de retorno es convertido a señal estándar de 4-20 mA.

Ventajas: Adecuado para productos que sean problemáticos al contacto.

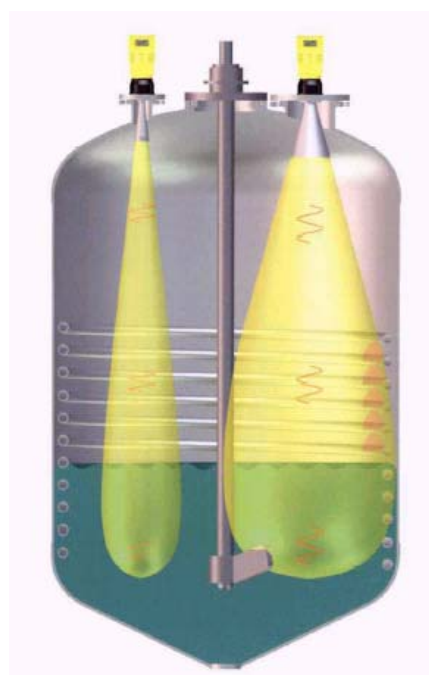
Inconvenientes: Da problemas en aquellos productos que puedan formar espuma. No es apto para fluidos a altas presiones y temperaturas, así como para procesos al vacío.

3.5.14. Transmisores de Nivel por Radar

Es una medición de nivel bastante utilizada cuando se pretende evitar el contacto entre el instrumento y el producto, por problemas de agresividad del producto, etc. Consisten en que el método de reflexión de las microondas y se basa en el principio de retorno de un pulso de microondas emitido por un sensor. Las microondas se reflejan por la diferencia de impedancia entre el aire y el producto y el mismo sensor vuelve a detectarla. El tiempo de retorno es proporcional a la altura vacía del tanque, y por lo tanto al nivel del mismo. Este tiempo de retorno es convertido a señal estándar de 4-20 mA. A diferencia de los ultrasónicos, para las medidas de sólidos existe la alternativa de la tecnología llamada por “ondas guiadas”, en la que el pulso de radar va guiado por un cable que cuelga del depósito.

Ventajas: Adecuado para productos que sean problemáticos al contacto. Fácil instalación y válido para altas presiones y temperaturas.

Inconvenientes: El producto debe tener una constante dieléctrica mínima determinada.



3.5.15. Transmisores de Nivel Radioactivos

Es una medición de nivel poco utilizada, y sólo se usa cuando el producto o las condiciones así lo requieren (tanques de ácido sulfúrico o fluorhídrico, muy altas presiones, temperaturas, altas viscosidades, etc.). Este método de medición tiene la particularidad de que no hay contacto con el fluido, ya que utiliza el principio de radiación gamma. La radiación gamma no requiere equipo dentro del depósito puesto que penetra fácilmente las paredes del tanque. El método se basa en el hecho de que la radiación electromagnética que emite una fuente de rayos gamma alcanza el detector sin impedimentos cuando el tanque está vacío, pero es absorbida en mayor grado cuanto más lleno esté el depósito.

- Ventajas: Adecuado para todos los productos y condiciones, y no requiere de modificaciones en los depósitos.
- Inconvenientes: Equipo caro y requiere de unas condiciones de seguridad especiales (productos radioactivos) en transporte, instalación y operación.

3.6. Medidas de Análisis

Una variante muy específica de las variables de proceso son las medidas de análisis (variables físicas y químicas). En el mundo de las plantas industriales existen infinidad de variables que se pueden medir, siendo estas tan complejas como uno se pueda imaginar.

No es misión de este curso el entrar en detalle sobre todas y cada una de las variables, así como en las posibles tecnologías.

Tampoco existe una diferenciación clara de cómo clasificar dichas tecnologías.

Un punto muy importante a tener en cuenta es que la mayoría de los analizadores requieren de un sistema de extracción de la muestra, de una línea de transporte de la muestra y de un sistema de acondicionamiento de muestras. En algunos casos es más importante el transporte y acondicionamiento que el propio analizador.

Una posible clasificación de las medidas de análisis podría ser:

- Analítica de Agua-Vapor.
- Analítica de Emisiones.
- Analítica de otras propiedades físicas-químicas.

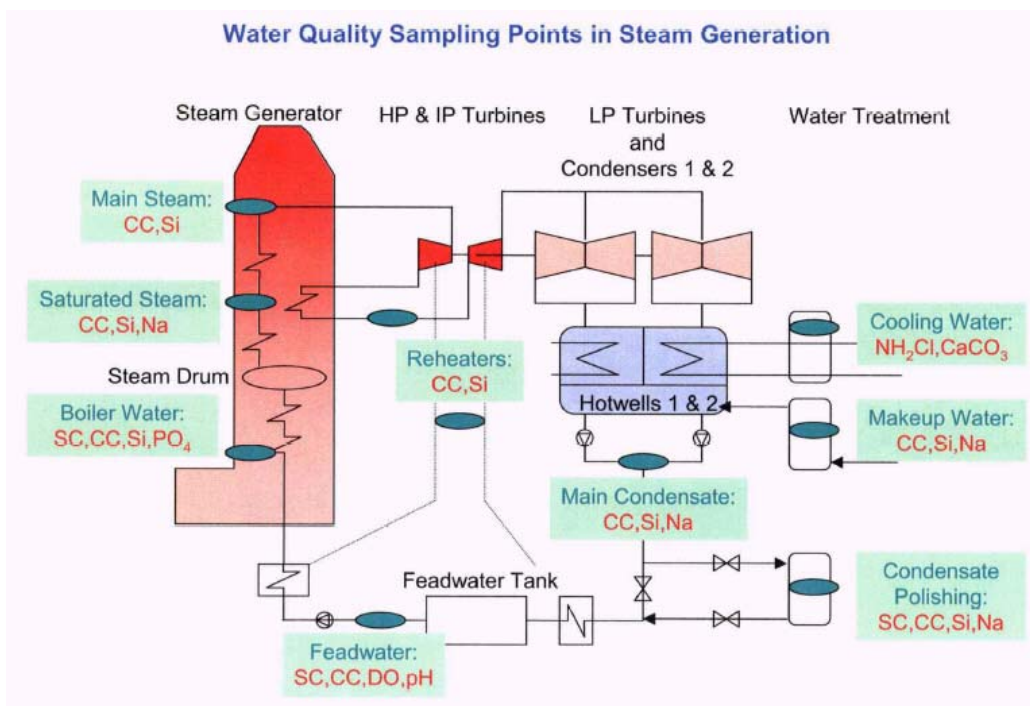
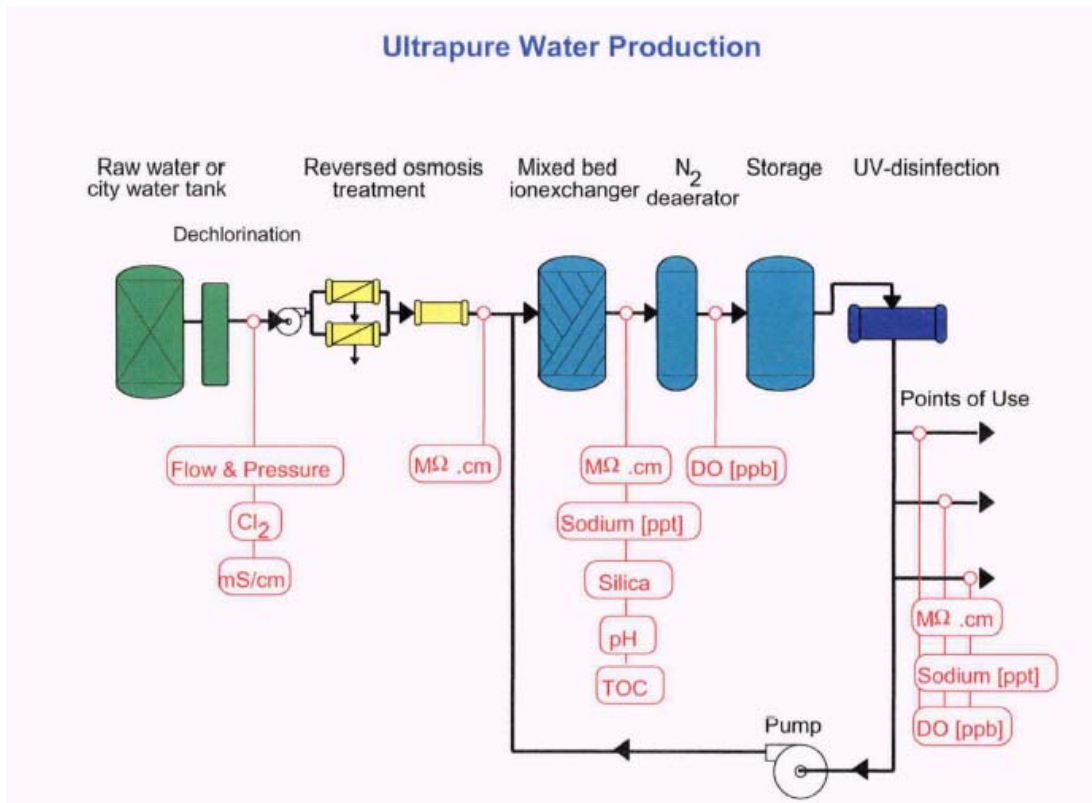
A continuación simplemente enumeramos las medidas de análisis mas utilizadas en la industria y plantas de proceso, de acuerdo a la anterior clasificación.

Analítica de Agua-Vapor

Los parámetros mas medidos en los ciclos agua-vapor son:

- Conductividad.
- pH.
- Oxígeno Disuelto.
- Ozono.
- Sólidos en suspensión
- Sílice.
- Cloro.
- Sílice.
- Sodio.
- Fosfatos.
- Turbidez.
- Hidradica.
- Cloro.
- TOC (Carbono Orgánico Total)
- Hierro/Cobre.

La misión principal de este tipo de analizadores, es la de controlar dichos parámetros, para poder proteger sistemas y “avisar” de la necesidad de tratar químicamente los fluidos (dosificar), así como para comprobar la calidad de ciertos fluidos bien de consumo o de sus efluentes.



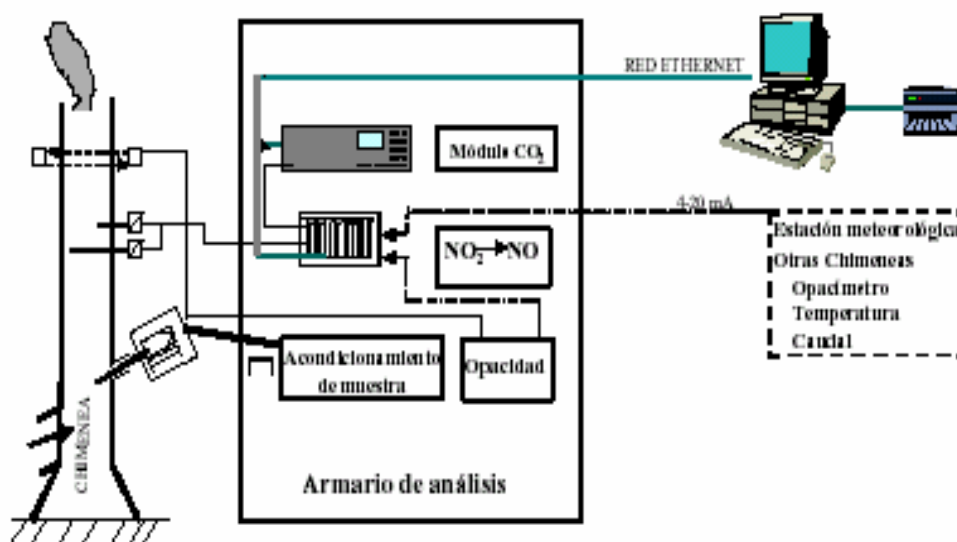
Analítica de Emisiones y Condiciones Atmosféricas.

Los parámetros más medidos para la monitorización de emisiones son:

- Contenido de Oxígeno.
- COV (Compuestos Orgánicos Volátiles)
- CO.
- CO₂.
- SO₂.
- NOx.
- Opacidad (partículas).

La misión principal de este tipo de analizadores, es la de controlar las emisiones a la atmósfera de las plantas industriales.

Hoy en día, y sobre todo a partir de los requerimientos del protocolo de Kioto, estas medidas se están requiriendo cada vez mas para poder controlar las emisiones.



Sistema de Emisiones

Dentro de este apartado, aunque no son específicamente emisiones, se podrían incluir las condiciones atmosféricas, como:

- Velocidad y Dirección del Viento.
- Pluviosidad.
- Humedad relativa
- Temperatura Ambiente.
- Radiación Solar.

Analítica de otros parámetros Físicos-Químicos

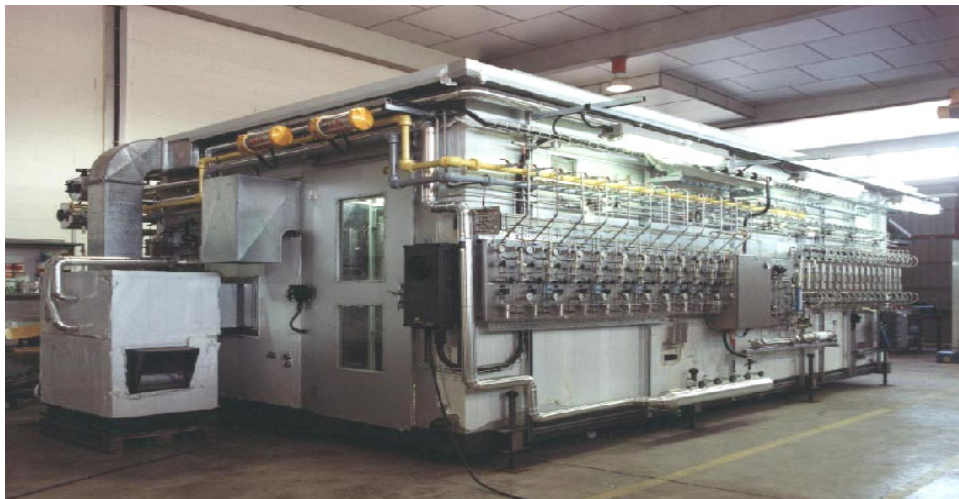
Aparte de los parámetros anteriormente indicados, que quizás sean los mas empleados en la mayoría de las plantas de proceso, existen otros muchos parámetros más específicos dependiendo del tipo de proceso.

Entre otros se podrían enumerar:

- Pour Point (Refinación y Petroquímicas).
- Presión de Vapor Reid “PVR” (Refinación y Petroquímicas).
- Punto de Inflamación (Refinación y Petroquímicas).
- Punto de Nube (Refinación y Petroquímicas).
- Punto de Congelación (Refinación y Petroquímicas).
- Viscosidad (Refinación y Petroquímicas).
- Color (Refinación y Petroquímicas).
- Poder Calorífico (Refinación y Petroquímicas).
- Índice de Wobbe (Refinación y Petroquímicas).
- Punto de destilación (Refinación y Petroquímicas).
- H₂S en Hidrocarburos (Refinación y Petroquímicas).
- Azufre Total en Hidrocarburos (Refinación y Petroquímicas).
- Hidrocarburos en Agua (Refinación y Petroquímicas).
- Cromatografía de gases (composición de gases).
- Índice de refracción (Refinación y Petroquímicas).
- Monitor de sal en crudo (Refinación y Petroquímicas).
- Humedad relativa en gases (Refinación, Petroquímicas, Plantas de prod. Gases, etc.).
- Punto de Rocío en gases (Refinación, Petroquímicas, Plantas de prod. Gases, etc.).

- Pureza de Oxígeno (Plantas de prod. Gases).
- Trazas de N₂ en corriente de Argón (Plantas de prod. Gases).
- Pureza de O₂ (Plantas de prod. Gases).
- Trazas de O₂ (Plantas de prod. Gases).
- Densidad en líquidos
- Detección de Interfases.
- Consistencia (Papeleras).
- Blancura (Papeleras).

Por último otra variante de los analizadores son los detectores de gases y fuego. Estos son utilizados en las plantas para detectar fugas de gases peligrosos para el cuerpo humano (H₂SO₄, HF, Amoniaco, etc.), o por posibles explosiones (gases de hidrocarburos, etc.).





3.7. Elementos finales de Control

En la mayor parte de los procesos industriales aparecen lazos de control formados por tres elementos típicos: transmisor, regulador y válvula. Actuando conjuntamente garantizan una operación controlada y eficiente de la planta junto con otros equipos automáticos.

Los avances de la electrónica en la instrumentación industrial han ido desplazando a la neumática clásica que fue pionera en la automatización. Más recientemente la incorporación de la electrónica digital permite usar transmisores inteligentes, sistemas de control distribuido y avanzado optimizando, aún más, los procesos de producción.

Todas estas novedades, que se desarrollan a alta velocidad, concentran la atención de los ingenieros de control a la hora de definir y diseñar los sistemas, dedicando menos tiempo y atención a las válvulas de control. Una especificación superficial de las válvulas, bien en fase de proyecto ó en fase de compra, dejaría la selección a una arriesgada “ingeniería de precio” donde no se valore adecuadamente la visión global del sistema de control y sus objetivos.

A diferencia de otros instrumentos, la válvula de control está siempre modulando energía y es pieza clave que puede minimizar la eficacia de un sistema de control sofisticado y caro. Es por esto la necesidad de elevar el nivel de exigencia en los criterios de selección de las válvulas de control para lo que se requiere una mayor formación y conocimiento de su tecnología, que también ha evolucionado en los últimos años como consecuencia de un mayor conocimiento de los fenómenos físicos que tienen lugar en plantas donde se trabaja a altas presiones y temperaturas, los nuevos materiales disponibles y la mejora en los sistemas de cálculo.

El objetivo de este curso no es el entrar con detenimiento en el diseño y cálculo de las válvulas de control, sino el apreciar la importancia que tienen dentro de los procesos industriales y tener una breve idea de los tipos y principales características.

En cuanto a constitución mecánica, las válvulas de control tienen las mismas configuraciones que las válvulas manuales, es decir, pueden ser del tipo:

- Globo o asiento.
- Mariposa.

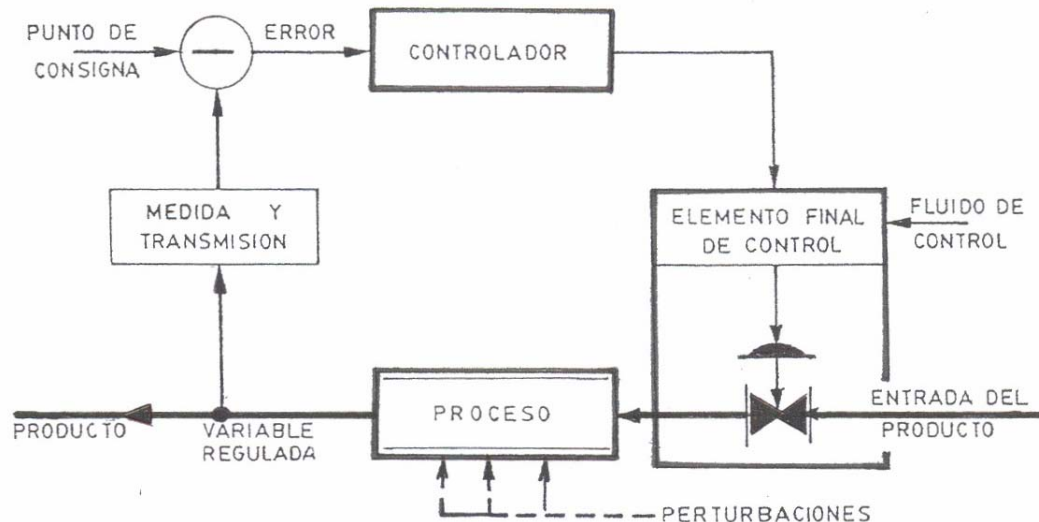
- Bola.
- Compuerta.
- Macho.
- Diafragma.
- Etc.

Dentro de las válvulas de control se podrían distinguir dos tipos en función del tipo de control:

- Válvulas Todo-Nada
- Válvulas de Control.

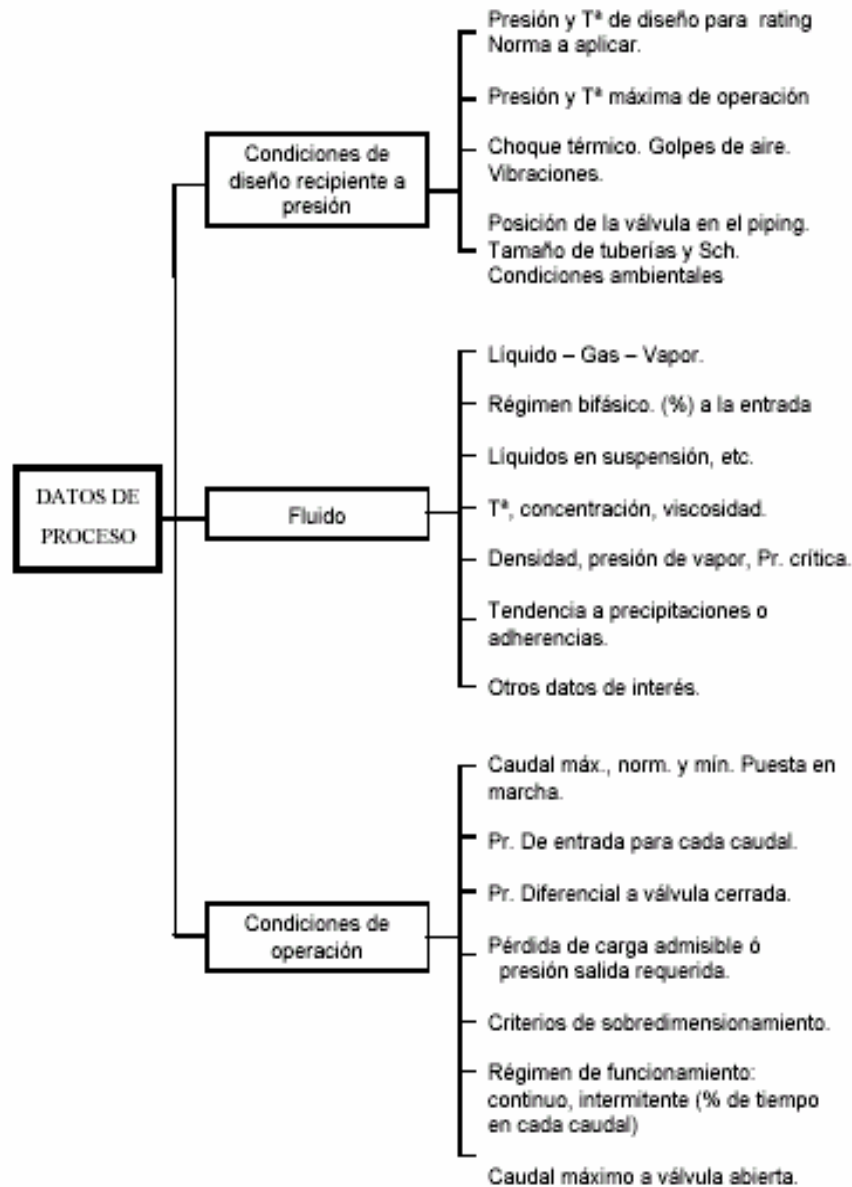
La principal diferencia entre una y otra, es que la primera solamente actúa en dos posiciones, o abierta o cerrada y se suele utilizar en controles on-off.

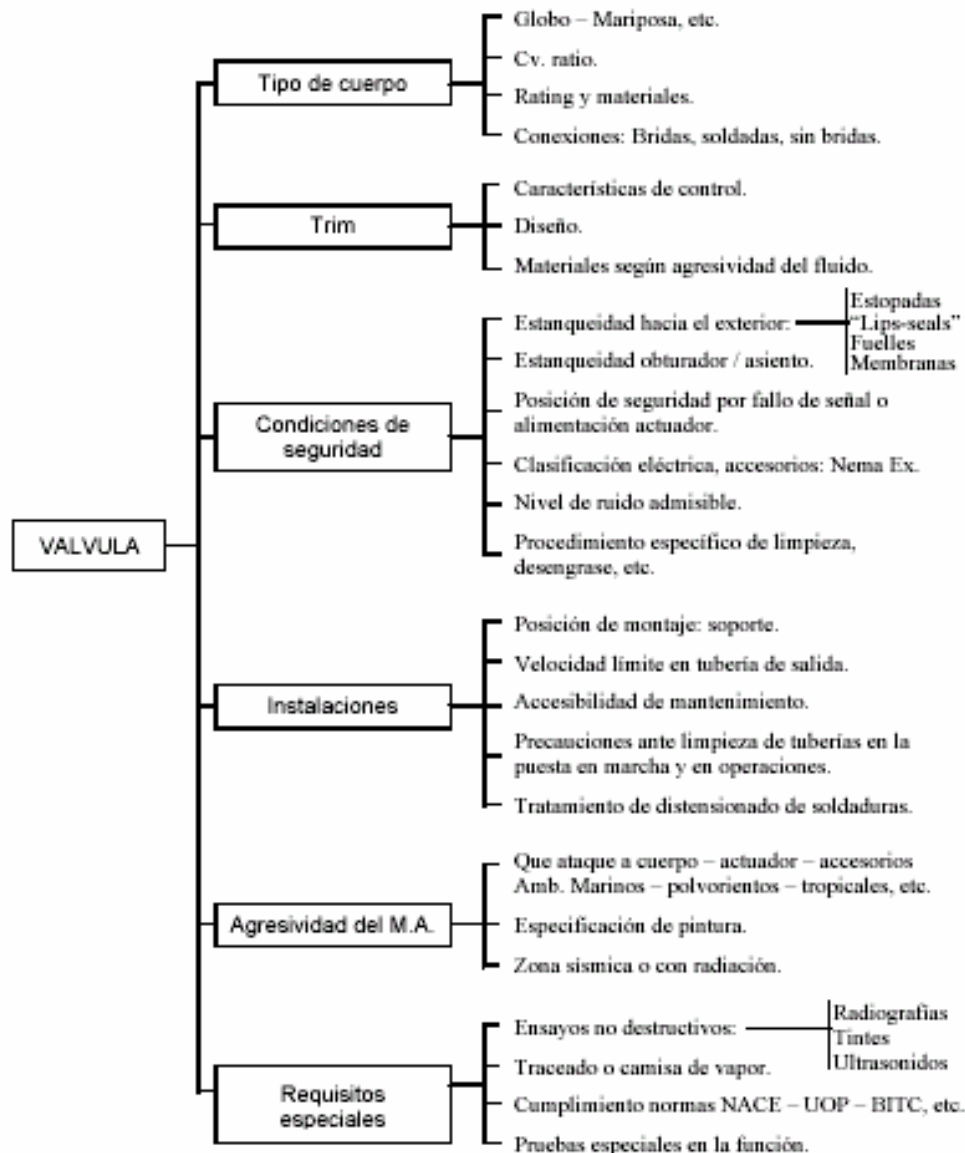
La segunda se utiliza para el control continuo de procesos y está continuamente modulando y buscando la posición de equilibrio requerida por el sistema.

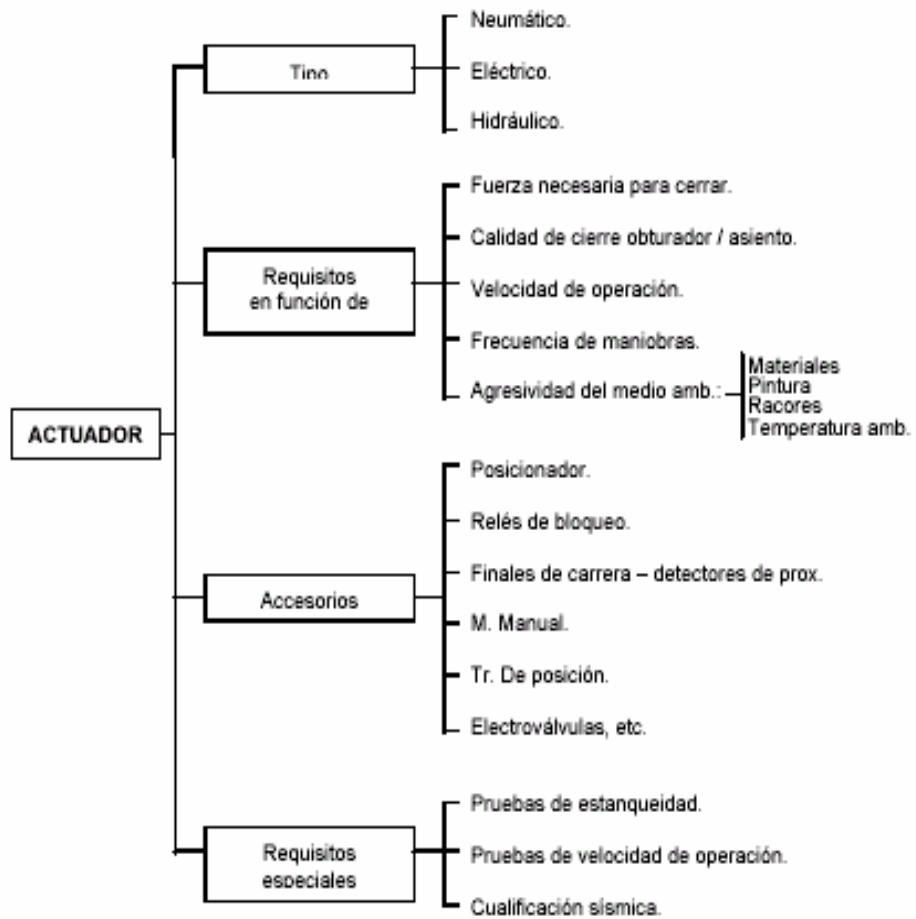


Un factor muy importante en las válvulas de control es su especificación, para ello se deben tener en cuenta una serie de factores importantes.

A continuación se dan unas pautas para la especificación y selección de la válvulas.





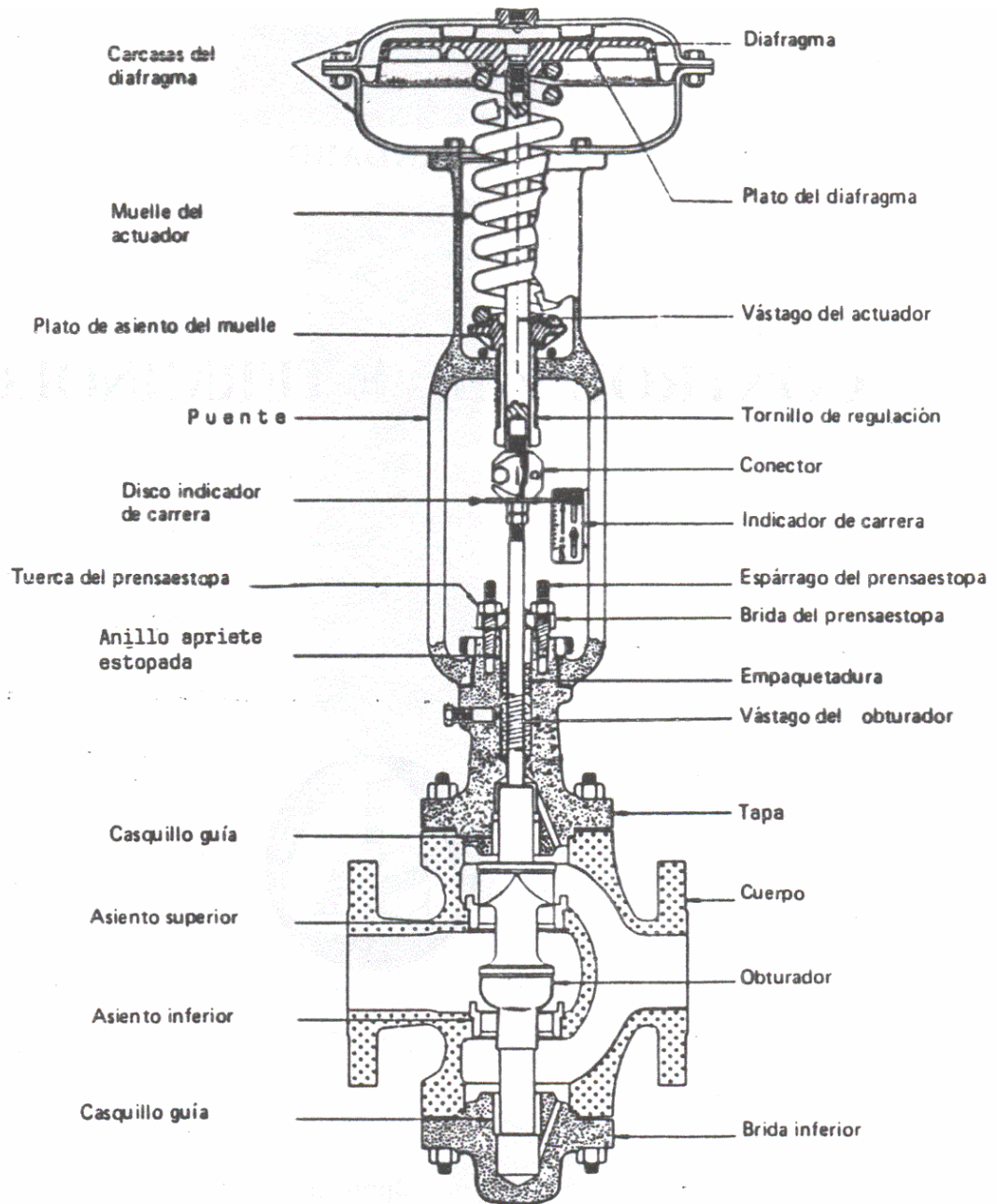


NIVEL DE SUMINISTRO

Define la cualificación del proveedor en cuanto al conjunto de medios que pueda ofrecer en el proceso de especificación, fabricación, entrega y garantía de post-venta. Se concreta en :

- Poseer un manual de Garantía de Calidad.
- Medios humanos y técnicos para:
 - Pruebas e inspecciones (hidráulicas, criogénicas, funcional, etc.)
 - Ensayos de resiliencia, dureza, etc.
 - Ensayos no destructivos.
 - Procedimientos y personal homologado.
- Control de documentación:
 - Certificados de todo tipo bajo normas: ANSI – DIN – ISO.
 - Cumplimiento normativas PED y ATEX.
 - Planos dimensionales.
 - Instrucciones de mantenimiento y montaje.
 - Listas de despieces.
 - Estudio informatizado de recambio recomendados con criterios de intercambiabilidad.
- Disponibilidad de asistencia técnica.
 - Durante la fabricación, montaje y mantenimiento posterior.
- Posibilidad de reposición y / o suministro:
 - Tanto de válvulas como de piezas de recambio.
 - Stock en bruto y piezas acabadas.

Por último, se adjunta un plano de una válvula de control con los diferentes componentes.



4. SISTEMAS DE CONTROL

El objetivo de este apartado no es el explicar en detalle lo que es un sistema de control, ni como se debe especificar, sino que se entienda como se integra dentro de todo lo que hemos hablado hasta ahora, es decir como se cierra el círculo desde un instrumento que mide la variable de proceso, hasta el elemento final de control, pasando por el sistema de control.

Los sistemas de control tienen la misión de recibir las variables de proceso procedentes de los instrumentos, procesarlas, ejecutar órdenes y gestionar las salidas a los elementos finales de control (control o todo-nada).

Como información y cultura general, a continuación se dan unas fechas de la evolución que pueden ser interesantes:

- Etapa inicial: 1958 a 1964
- Ordenador Centralizado: 1965 a 1970
- Miniordenadores: 1971 a 1975
- Control Distribuido: desde 1975

A grandes rasgos existen dos posibilidades a la hora de seleccionar el tipo de sistema de control a utilizar, por una parte están los Controladores Lógicos Programables (PLC's) unidos a un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), y por otra están los SCD's (Sistemas de Control Distribuido).

Existe un gran debate abierto sobre la conveniencia de utilizar uno u otro, especialmente generado por los grandes suministradores de sistemas, pero lo cierto es que cada vez mas se parecen unos a otros. Los primeros se utilizan cuando el control es principalmente "discreto" (todo-nada) o el volumen de señales es relativamente pequeño.

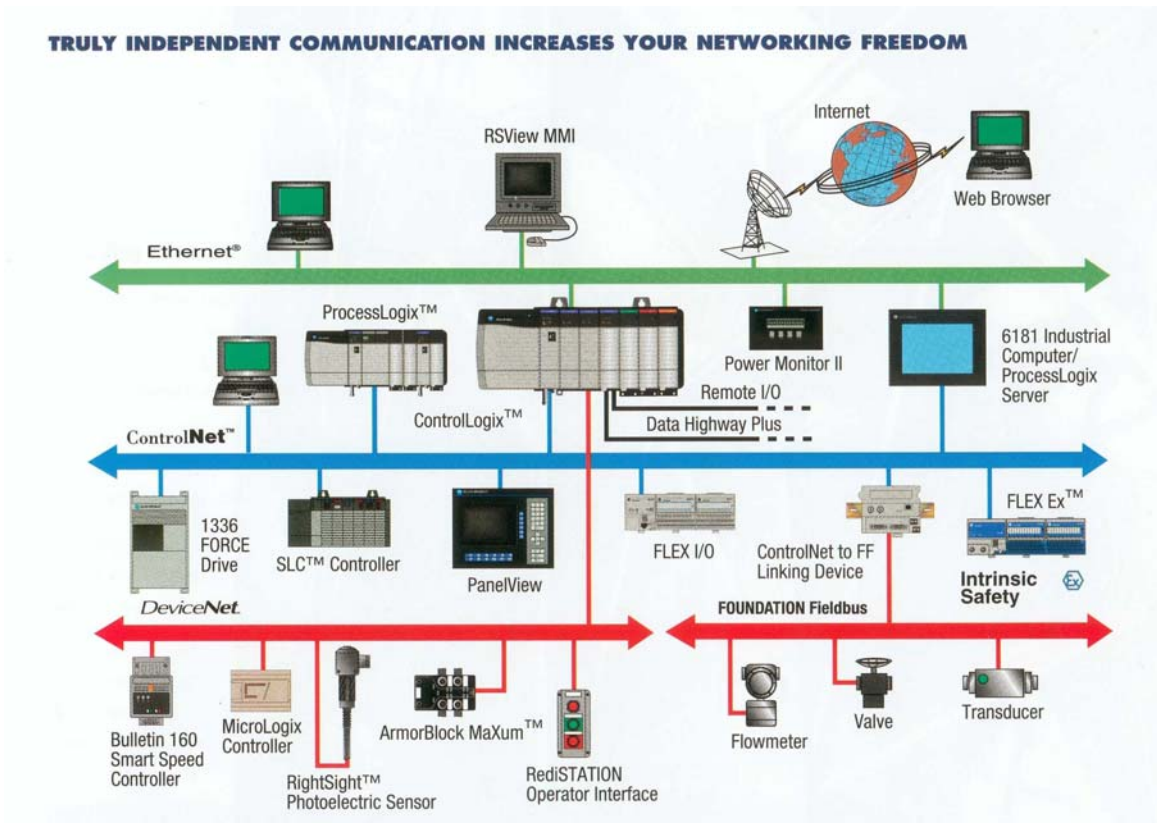
El SCD se utiliza para grandes proyectos y control mayoritariamente analógico.

Otro punto a tener en cuenta son las comunicaciones e interfases, con otros sistemas. La mayoría de suministradores ya aceptan casi todos los protocolos de comunicaciones, todo tipo de señales de entrada/salida etc.

Centrándonos un poco mas en los SCD, estos se basan en tres principales subsistemas:

- Interfase con el proceso (tarjetas de entrada/salida, controladores, etc.).
- Interfase con el operador (pantallas de visualización y software).
- Vias de datos o buses de interconexión (redes Ethernet, profibus, etc.).

A continuación se muestra un plano de arquitectura que puede valer para un PLC+SCADA o para un SCD.



Digamos que la interfase con el proceso, y mas en concreto los controladores, son el corazón de la instalación, y por el pasa toda la información.

En el sistema de control se ejecuta todas las acciones de control como pueden ser:

- Control analógico.
- Control todo-nada.
- Gestión de alarmas.
- Generación de informes.
- Registro de señales.
- Funciones de cálculo.
- Secuencias de arranque.
- Gestión de las comunicaciones.