



# GUÍA DE ASIGNATURA DE CONTROL DE PROCESOS Y AUTOMATIZACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO  
'LUIS ROGERIO GONZÁLEZ'**

**TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD**

**MAYO 2022  
Azogues-Ecuador**

## **Descripción de la Asignatura**

Control de procesos y automatización es una asignatura de carácter teórico y práctico que corresponde al eje de formación profesional dentro de la malla curricular de las carreras técnicas de nivel superior encaminada a la formación de profesionales con una sólida comprensión de los principios de operación de los elementos de la tecnología eléctrica. La asignatura proporciona a la formación del tecnólogo eléctrico el sistema de conocimientos y habilidades básicos para enfrentar los problemas más comunes y frecuentes en la necesidad de controlar procesos tecnológicos y accionamientos eléctricos que se presentan en las distintas esferas de actuación profesional.

## Tabla de Contenidos

### Contenido

Resultados de Aprendizaje:.....	4
1. CONTROL DE PROCESOS.....	4
1.1 Introducción, definición. ....	4
1.2 Evolución de control.....	4
1.3 Clasificación: Control y Automatización.....	5
2. ELEMENTOS DE CONTROL .....	10
2.1 Elementos primarios (transductores y sensores). ....	10
2.1.1 Características dinámicas y estáticas de los sensores.....	11
2.1.2 Tipos de errores que se pueden producir en los sensores.....	12
2.2 Selección de sensores y aplicaciones.....	12
2.2.1 Sensores de nivel.....	12
2.2.2 Sensores de temperatura.....	19
2.2.3 Sensores de presión.....	24
2.2.4 Sensores de caudal.....	29
2.3 Elementos actuadores.....	41
2.3.1 Válvulas de control.....	41
2.3.2 Bombas dosificadores.....	43
2.3.3 Actuadores de velocidad variable.....	43
2.4.1 Casos en los que se debe utilizar el arrancador y el variador.....	43
2.4.2 Arrancadores.....	44
2.4.3 Variadores.....	44
3. AUTÓMATAS PROGRAMABLES.....	46
3.1 Principales tipos de controladores .....	46
3.2 PLC – Controlador Lógico Programable .....	46
3.3 Aplicación de autómatas programables en la automatización.....	47
3.4 Sistema de mando. Norma IEC 61131. Programación del PLC.....	48
3.4.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	48
3.4.2 ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS DE EQUIPO.....	49
3.4.3 Información que debe de facilitar el fabricante:.....	49
3.4.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....	49
3.5 Controlador PID. El PID y el PLC. Comunicación de datos en plantas industriales .....	50

4. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE COMUNICACIÓN .....	52
4.1 Sistemas de comunicación industrial. ....	52
4.2 Protocolos de comunicaciones industriales. ....	52
4.2.1 HART (Highway-Addressable-Remote-Transducer).....	53
4.2.2 PROFIBUS (Process Field Bus).....	53
4.2.3 FOUNDATION FIELDBUS (FF).....	53
4.2.4 MODBUS.....	53
4.2.5 DEVICENET.....	53
4.3 Sistemas SCADA.....	54
4.4 Sistema de Interfaz Hombre – Máquina HMI. ....	55

## Resultados de Aprendizaje:

**Capítulo 1.** Explicar las terminologías utilizadas en los lazos de control clásico para controlar procesos mediante la automatización.

**Capítulo 2.** Identificar las características de los elementos primarios para luego utilizarlos y controlar las variables existentes en los procesos industriales.

**Capítulo 3.** Realizar simulaciones de automatización de procesos industriales mediante Controladores Lógicos Programables para que el estudiante aplique los conceptos adquiridos.

**Capítulo 4.** Identificar los protocolos de comunicación utilizados en las industrias para que el estudiante pueda aplicar en el campo laboral al momento de proceder a automatizar un proceso industrial.

### DESARROLLO

## 1. CONTROL DE PROCESOS

### 1.1 Introducción, definición.

El Control de Procesos es muy utilizado en la vida profesional, pues ayuda a controlar los diferentes elementos que intervienen en un proceso.

El Control de procesos es utilizado como por ejemplo en: sistemas de vehículos espaciales, guiado de misiles, robótica, control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso.

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelvan más y más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere de una gran cantidad de ecuaciones (Ogata, 1998).

### 1.2 Evolución de control.

El primer control automático fue realizado por James Watt, el cual inventó el **REGULADOR DE VELOCIDAD CENTRÍFUGO**, tal como se indica en la figura 1.



**Figura 1:** Regulador de velocidad centrífugo

**Fuente:** [https://www.researchgate.net/figure/Regulador-centrifugo-de-Watt\\_fig6\\_317841954](https://www.researchgate.net/figure/Regulador-centrifugo-de-Watt_fig6_317841954)

En 1992, Minorsky trabajó en controladores automáticos para dirigir embarcaciones y mostró que la estabilidad puede determinarse a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema (Ogata, 1998).

En 1993, Nyquist diseñó un procedimiento simple para determinar la estabilidad de sistemas en lazo cerrado (Ogata, 1998).

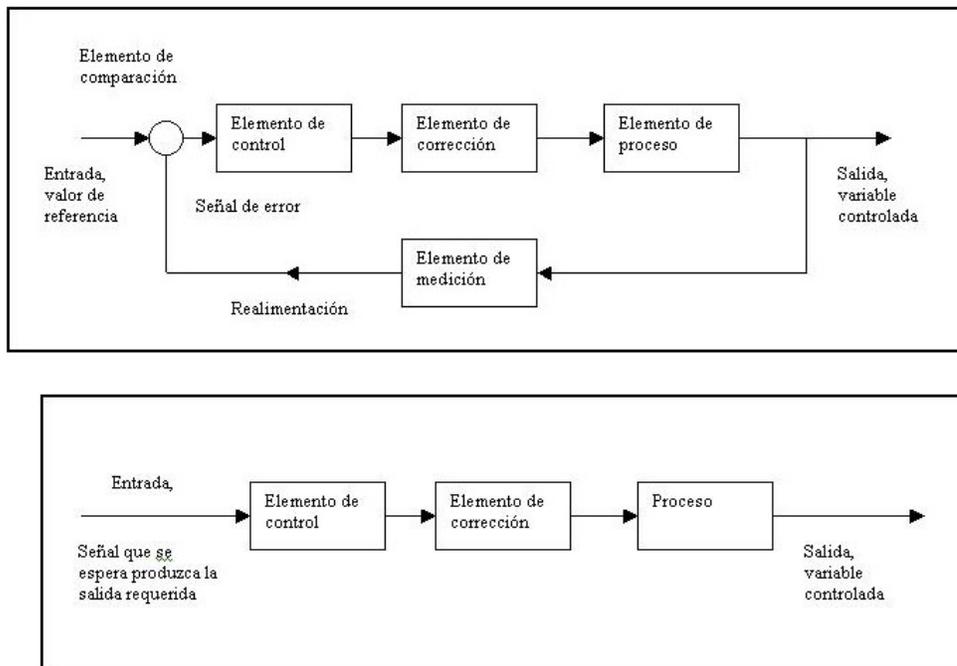
En 1934, Hazen introdujo el término de servomecanismos para los sistemas de control de posición (Ogata, 1998).

### 1.3 Clasificación: Control y Automatización.

En el control de procesos se debe considerar algunas definiciones tales como (Ogata, 1998):

- **Variable controlada:** es la cantidad o condición que se mide y controla.
- **Variable manipulada:** es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.
- **Planta:** puede ser parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el cual tiene el propósito de ejecutar una operación particular. En control la planta es cualquier objeto físico que se va a controlar, como, por ejemplo: un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial.
- **Proceso:** es cualquier operación que se va a controlar.
- **Sistema:** es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no es necesariamente físico.
- **Perturbación:** es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina INTERNA, en tanto que una perturbación EXTERNA se produce fuera del sistema y es una entrada.
- **Control realimentado:** Se refiere a una operación que en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia.
- **Sistema de control en lazo cerrado:** son sistemas retroalimentados en los cuales se compara la salida con respecto al valor de referencia requerido. En la figura 2, se indica este tipo de lazo de control.
- **Sistema de control en lazo abierto:** son sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de la entrada. En este tipo de sistema de control no se mide la salida no se realimenta para compararla con la entrada.

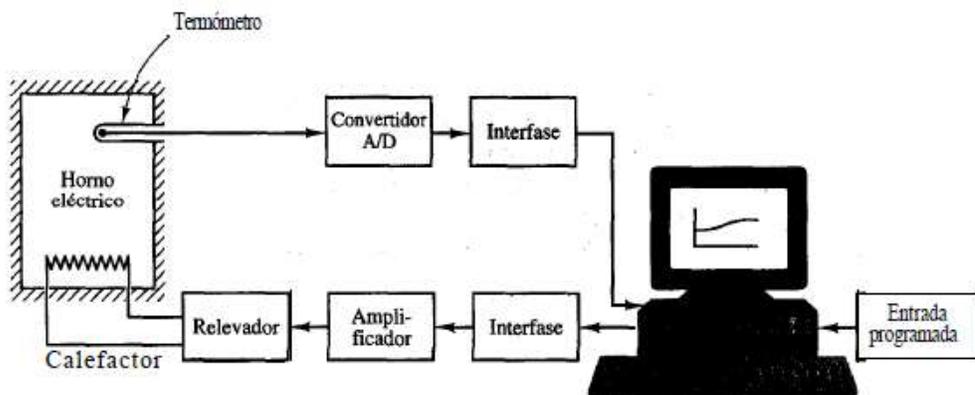
Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la figura 2, se indica este tipo de lazo de control.



**Figura 2:** Sistema de control en lazo cerrado y abierto.

**Fuente:** <http://sistemadelazoabiertoycerrado.blogspot.com/2016/02/diferencias-entre-sistema-de-lazo.html>

**EJEMPLO DE APLICACIÓN:** En la figura 3, identifique las terminologías explicadas anteriormente.



**Figura 3:** Proceso de calentamiento de un horno eléctrico

**Fuente:** (Ogata, 1998).

**EJEMPLO DE APLICACIÓN:** En la figura 4, identifique las terminologías explicadas anteriormente.



Figura 4: Sistema de control de suministro de agua.

Fuente:

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home\\_17/recursos/01\\_general/20072013/cont\\_proyecto7.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_17/recursos/01_general/20072013/cont_proyecto7.jsp)

**EJEMPLO DE APLICACIÓN:** En la figura 5, realice lo siguiente:

- Determine qué tipo de lazo de control describe de mejor manera el proceso de llenado de tanque.
- Dibuje los elementos que intervienen en el lazo de control determinado en el punto 1.

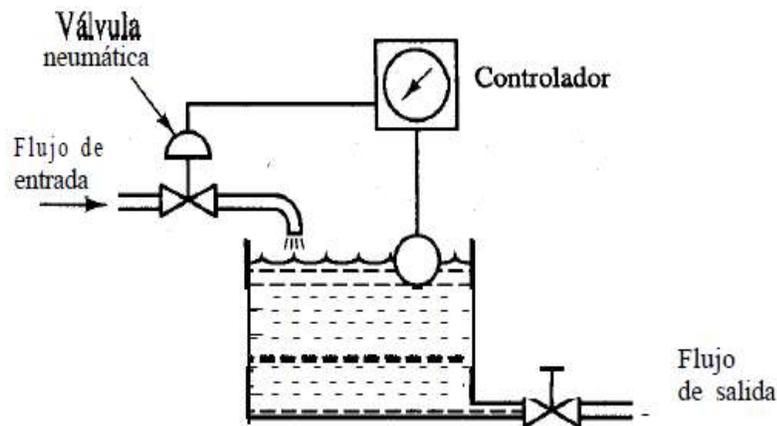


Figura 5: Control de nivel de agua.

Fuente: (Ogata, 1998).

Los sistemas de control actuales por lo general no son lineales, sin embargo, es posible aproximarlos mediante modelos matemáticos lineales (Ogata, 1998).

Aplicando la teoría de control moderno, el diseñador puede iniciar a partir de las restricciones especificadas el diseño de un sistema estable mediante un procedimiento completamente analítico (Ogata, 1998).

En CONTROL DE PROCESOS el diseñador busca satisfacer las condiciones especificadas de desempeño mediante la repetición de prueba y error.

Después de diseñar el control se verificará si satisface las condiciones especificadas de desempeño. Si no cumple, se repite el proceso de diseño afectado ajustando los parámetros o modificando las configuraciones del sistema hasta que se cumpla las especificaciones determinadas.

Para poder implementar modelos matemáticos utilizados en el control de procesos **es necesario que el estudiante este a dominio completo de la derivada, circuitos eléctricos e integrales definidas e indefinidas.**

Una aplicación del modelado se lo realiza en los circuitos eléctricos, para ellos se debe considerar las siguientes ecuaciones:

$$V_r = I * R \quad \text{ecuación (1)}$$

$$V_L = L * \frac{di}{dt} \quad \text{ecuación (2)}$$

$$V_c = \frac{1}{C} * \int i * dt \quad \text{ecuación (3)}$$

Para poder modelar los circuitos eléctricos, se debe utilizar la transformada de Laplace, la cual permite cambiar del plano del tiempo “t” al plano “s”.

Como en las ecuaciones 2 y 3 se utilizan respectivamente la derivada y la integral, la transformada de Laplace para cada una de ella se indica en la figura 6 y 7.

$$\mathcal{L}\{f^{(n)}(t)\} = s^n F(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \dots - f^{(n-1)}(0),$$

donde  $F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$ .

**Figura 6:** Transformada de Laplace para la derivada.

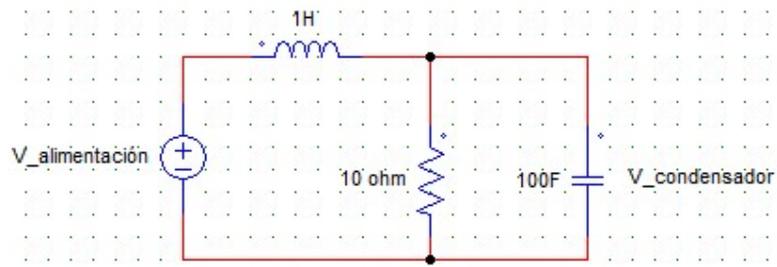
$$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(\tau) d\tau\right\} = \frac{F(s)}{s}.$$

**Figura 7:** Transformada de Laplace para la integral.

Para calcular el modelo matemático de una ecuación se utiliza el término FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA, el cual a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (señal de salida) con una señal de entrada.

A menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada y salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales e invariantes en el tiempo.

**EJEMPLO DE APLICACIÓN:** Calcule el modelo matemático del circuito de la figura 8, el cual debe relacionar la tensión del condensador con respecto a la fuente de alimentación.



**Figura 8:** Circuito RLC.

**Fuente:** Propio.

## 2. ELEMENTOS DE CONTROL

### 2.1 Elementos primarios (transductores y sensores).

A continuación, se explica la definición de cada uno (Creus, 2011):

**a) Transductor:** recibe la señal de entrada de una o más cantidades físicas y las convierte modificada a otro tipo de salida, generalmente en tensión o corriente.

En los transductores, existen las siguientes nomenclaturas:

- *PP/I*: presión de proceso a intensidad.
- *PP/P*: presión de proceso a señal neumática.

La respuesta real de los transductores nunca es lineal, tiene un rango limitado de validez, suele estar afectado por perturbaciones del entorno exterior y tiene un cierto retardo en la respuesta

En la figura 9, se indica un transductor.



**Figura 9:** Transductor (micrófono).

**Fuente:** (Creus, 2011).

**b) Sensores:** captan el valor de la variable de proceso y envían una señal de salida predeterminada.

El sensor puede formar parte de otro instrumento o bien puede estar separado.

El sensor también se denomina *DETECTOR O ELEMENTO PRIMARIO*, por estar en contacto con la variable, con lo que utiliza o absorbe energía del medio controlado, para dar, al sistema de medición, una indicación en respuesta a la variación de la variable.

Ejemplo: termopar, rotámetro.

En la figura 10, se indica un sensor.



**Figura 10:** Sensor ultrasónico.

**Fuente:** (Creus, 2011).

### 2.1.1 Características dinámicas y estáticas de los sensores.

Las principales características de un sensor se pueden clasificar de la siguiente manera (Creus, 2011):

- a) **Características estáticas:** son aquellas que exhibe el instrumento en estado estacionario, es decir, cuando la variable medida se ha estabilizado en un valor y permanece invariante en el tiempo.
- b) **Características dinámicas:** se refieren al comportamiento del mismo cuando la entrada o variable medida, está cambiando en el tiempo.

#### 2.1.1.1 Características Estáticas (Creus, 2011).

Entre los cuales tenemos:

- a) **Exactitud:** es la cualidad de un instrumento de medida, por la que, tiende a dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud de medida.

La exactitud define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado.

Ejemplo: Si la longitud de la escala del instrumento es de 150 mm, la exactitud es de  $\pm 0,5\%$  representará  $\pm 0,75\text{ mm}$  en la escala.

- b) **Precisión:** es la cualidad de un instrumento, por la que, tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras.

Un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión.

Los instrumentos de medidas estarán diseñados por los fabricantes para que sean precisos y que sean exactos.

- c) **Linealidad:** un instrumento de medición es lineal si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de la señal de salida con los respectivos incrementos de la señal de entrada en todo el rango de medida.

- d) **Sensibilidad:** es la razón entre el incremento de la señal de salida y el incremento de la variable que la ocasiona, viene expresada en por ciento.

Cuanto mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación en la señal de entrada, el sensor es más sensible.

- e) **Resolución:** es la menor diferencia de valor que el instrumento puede distinguir.

En los instrumentos digitales, la resolución es el cambio de la variable que ocasiona que el dígito menos significativo se modifique.

f) **Gama y escala:** la gama de un instrumento se define como la diferencia entre la indicación mayor y la menor que puede ofrecer el instrumento.

La gama puede estar dividida en varias escalas o una sola.

g) **Ruido:** cualquier perturbación aleatoria del propio sistema de medida que afecta la señal que se quiere medir.

h) **Rango de medida:** el conjunto de valores que puede tomar la señal de entrada comprendidos entre el máximo y el mínimo detectados por el sensor con una tolerancia de error aceptable.

#### 2.1.1.2 Características Dinámicas (Creus, 2011).

Entre las cuales tenemos:

i) **Error dinámico:** se define como la diferencia entre la cantidad indicada en un instante de tiempo dado y el verdadero valor del parámetro que se está midiendo.

j) **Tiempo de respuesta:** para un instrumento con aguja indicadora, el tiempo de respuesta, es aquél que tarda la aguja en estabilizarse.

k) **Tiempo nulo:** es el tiempo transcurrido desde que se produce el cambio brusco a la entrada del instrumento hasta que él alcanza el 5% del valor final.

l) **Sobre alcance:** la diferencia entre el valor máximo y el valor final.

m) **Velocidad de respuesta:** mide la capacidad del sensor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.

n) **Respuesta en frecuencia:** mide la capacidad del sensor para seguir las variaciones de la señal de entrada a medida que aumenta la frecuencia.

o) **Estabilidad:** indica la desviación en la salida del sensor con respecto al valor teórico dado.

#### 2.1.2 Tipos de errores que se pueden producir en los sensores.

A continuación, se describe los tipos de errores que pueden existir (Creus, 2011):

- **Sistemáticos:** perturbaciones, transmisiones (atenuaciones), humedad.
- **Aleatorios:** repetibilidad de la medida, ruido ambiental y ruido de transmisión.

## 2.2 Selección de sensores y aplicaciones.

A continuación, se describe los sensores más utilizados en el campo de aplicación de la carrera de Electricidad:

### 2.2.1 Sensores de nivel

La medición de nivel en las industrias es importante, pues así se logra una correcta utilización de la materia prima.

Con los avances de la tecnología, se ha creado los transmisores de nivel inteligentes que hacen posible la interpretación del nivel real (pueden eliminar o compensar la influencia de la espuma en los tanques), la eliminación de las falsas alarmas (producidos por las olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimientos), y la fácil calibración (Creus, 2011).

Los sensores de nivel se pueden dividir en:

- a) Medidores de nivel de líquido.
- b) Medidores de nivel de sólidos.

#### **2.2.1.1 Medidores de nivel de líquidos.**

Trabajan midiendo directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido, bien aprovechando características eléctricas del líquido (Creus, 2011).

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática son (Creus, 2011):

- a) Medidor manométrico.
- b) Medidor de tipo burbujeo.
- c) Medidor de presión diferencial de diafragma.

Los aparatos que miden el nivel aprovechando las características eléctricas del líquido son (Creus, 2011):

- d) Medidor resistivo.
- e) Medidor capacitivo.
- f) Medidor ultrasónico.
- g) Medidor de radar.
- h) Medidor de radiación.
- i) Medidor láser.

##### **2.2.1.1.1 Medidor de nivel basados en las características del líquido.**

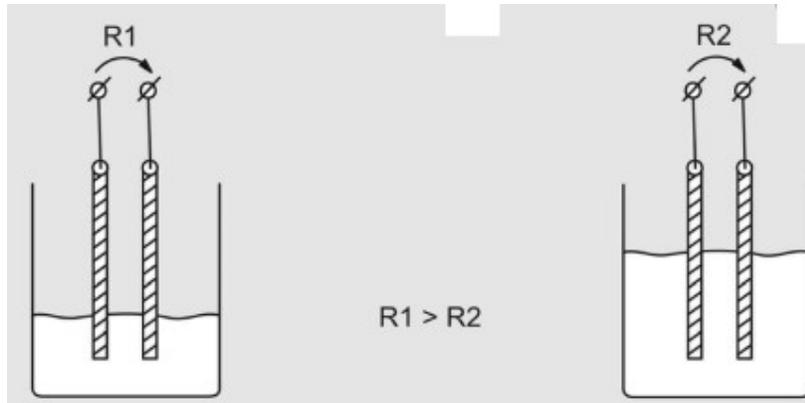
A continuación, se describen los instrumentos de medición que aprovechan las características del líquido.

**2.2.1.1.1.1 Medidor resistivo:** consiste en uno o varios electrodos y un circuito electrónico que excita un relé eléctrico al ser los electrodos mojados por el líquido.

El líquido debe ser muy conductor como para excitar el circuito electrónico y de este modo pueda distinguir entre el vapor del líquido y el líquido.

El relé electrónico posee de un retardo que impide su enclavamiento, pues así puede discriminar la falsa altura del líquido, producto de olas que su puedan generar o ante cualquier perturbación momentánea (Creus, 2011).

En la figura 24, se indica un medidor de nivel resistivo.



**Figura 1:** Medidor de nivel resistivo.

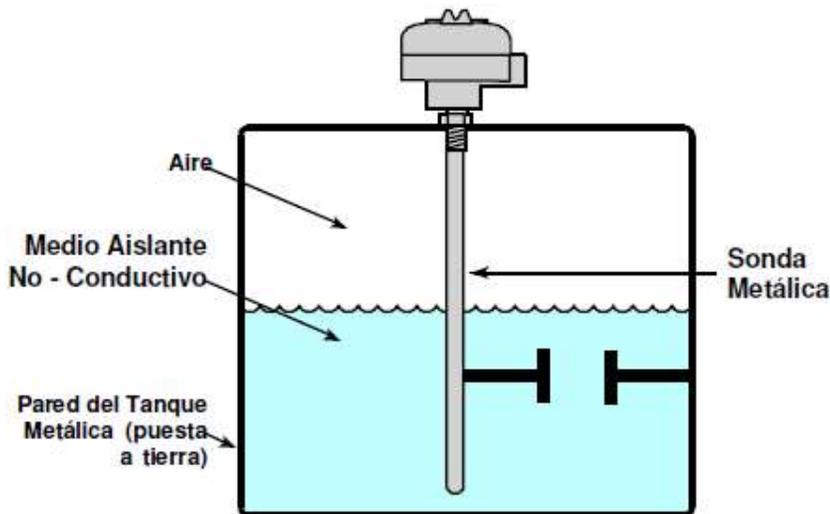
**Fuente:** [https://www.researchgate.net/figure/Figura-25-Principio-resistivo-para-la-medicion-de-nivel\\_fig17\\_316675361](https://www.researchgate.net/figure/Figura-25-Principio-resistivo-para-la-medicion-de-nivel_fig17_316675361)

**2.2.1.1.1.2 Medidor capacitivo:** mide la capacitancia del condensador formado por un electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque (Creus, 2011).

En el condensador, la distancia entre el electrodo y las paredes del tanque y el área de los conductores permanecen constantes, de modo que la única variable es el área bañada por el líquido, es decir, el nivel (Creus, 2011).

En aplicaciones de detección de nivel con electrodos horizontales, la señal de radiofrecuencia produce una pequeña corriente que circula a través del líquido hacia la pared del tanque. Si el nivel baja y el electrodo deja de ser mojado por el líquido y es expuesto a los gases que se encuentran sobre el líquido, baja la constante dieléctrica, con lo que disminuye la capacitancia y se reduce la corriente (Creus, 2011).

En la figura 25, se indica medidores de capacidad.



**Figura 2:** Medidor de nivel capacitivo.

**Fuente:** <http://daimecingeneria.blogspot.com/2013/01/medicion-de-nivel.html>

La constante dieléctrica depende de las condiciones de temperatura, humedad, densidad y tamaño de las partículas existentes en el líquido, de modo que, si el cambio de capacitancia es alto, será necesario bajar la sensibilidad para evitar falsas lecturas (Creus, 2011).

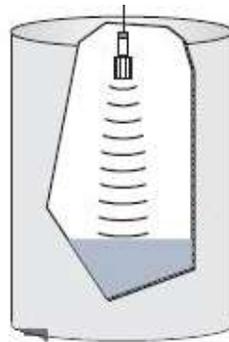
**2.2.1.1.3 Medidor de nivel ultrasónico:** se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque (Creus, 2011).

El método ultrasónico es útil para determinar si en un tanque o una tubería hay o no líquido, ya que el tipo de eco es distinto.

La medida de nivel utilizando este método puede ser afectado por los siguientes factores (Creus, 2011):

- a) La velocidad del sonido puede ser afectado por la variación de temperatura, es decir, un ambiente que pase de 0 grados centígrados a 70 grados centígrados da lugar un error de aproximadamente el 12%.
- b) La presencia de espuma en la superficie del líquido puede absorber el sonido.
- c) El material y el estado de las paredes del tanque, pueden provocar un retardo mayor en el regreso del sonido al receptor.
- d) Las burbujas de gas o vapor existente y los sedimentos en el fondo.

En la figura 26, se indica un medidor de nivel ultrasónico.



**Figura 3:** Medidor de nivel ultrasónico.

**Fuente:** <https://procoen.com/medidor-de-nivel/>

**2.2.1.1.4 Medidor de nivel de radar:** se basa en la emisión continua de ondas electromagnéticas.

El sensor está situado en la parte superior del tanque y envía las microondas hacia la superficie del líquido. Una parte de la energía enviada es reflejada en la superficie del líquido y la capta el sensor. El tiempo empleado por las microondas es función del nivel en el tanque (Creus, 2011).

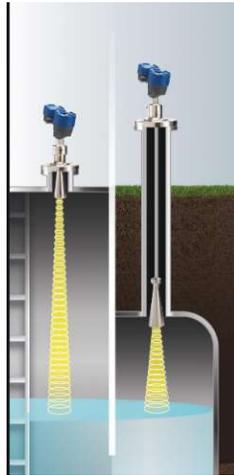
El sistema no es influido por la composición del gas o vapor que se encuentre sobre el líquido, ni por la temperatura, ni por la presión, puede trabajar en vacío sin ningún recalibración y no es afectado por la mayor parte de capas de espuma (Creus, 2011).

Una técnica empleada es utilizar una onda continua modulada en alta frecuencia de modo que se detecta la diferencia entre la señal emitida y el eco recibido, esta técnica se denomina *FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave – Onda continua modulada en frecuencia)*.

Si la constante dieléctrica del líquido es baja, puede presentarse un problema en la medida ya que, la energía reflejada es muy pequeña.

Un método utilizado en este tipo de medición de nivel es el *RADAR DE ONDA GUIADA (GWR –GUIDE WAVE RADAR)* que dispone de una varilla para guiar las microondas desde el sensor hasta la superficie del líquido y hasta el fondo del tanque y que soluciona el problema mencionado anteriormente del método *FMCW* (Creus, 2011).

En la figura 27, se indica un medidor de nivel de radar.



**Figura 4:** Medidor de nivel tipo radar.

**Fuente:** <https://www.magnetrol.com/es/radar-por-rafaga-de-pulso>

**2.2.1.1.5 Medidor de nivel de radiación:** consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua (Creus, 2011).

Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el tanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido (Creus, 2011).

Las paredes del tanque absorben parte de la radiación y al detector sólo llega un pequeño porcentaje.

Como desventaja es que debe tener blindaje la fuente y cumplir las leyes de protección de radiación.

Al utilizar este tipo de medidor debe cumplir (Creus, 2011):

- a) Certificado de aprobación de diseño.
- b) Certificado de calidad.
- c) Certificado de actividad y hermeticidad.
- d) Señalizaciones.

En la figura 28, se indica el medidor de nivel de radiación.

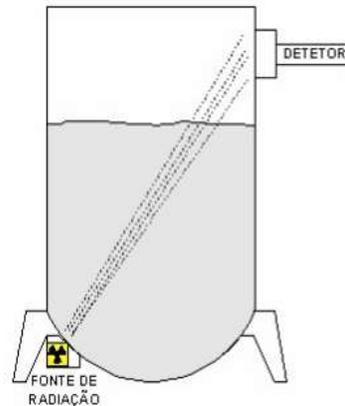


Figura 5: Medidor de nivel de radiación.

Fuente: <https://www.antechsv.com/2010/11/sensor-de-nivel-radiactivo.html?m=0>

**2.2.1.1.6 Medidor de nivel láser:** se aplica donde las condiciones son muy duras y donde los instrumentos de nivel convencional fallan, por ejemplo, en la medición de metal fundido, donde la medida del nivel debe realizarse son contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir condiciones de extrema temperatura (Creus, 2011).

En la figura 29, se indica este tipo de medidor.

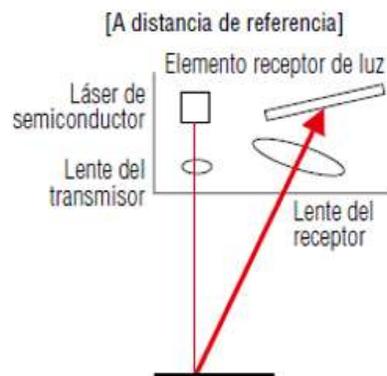


Figura 6: Medidor de nivel láser.

#### 2.2.1.1.2 Medidor de nivel que aprovechan la presión hidrostática.

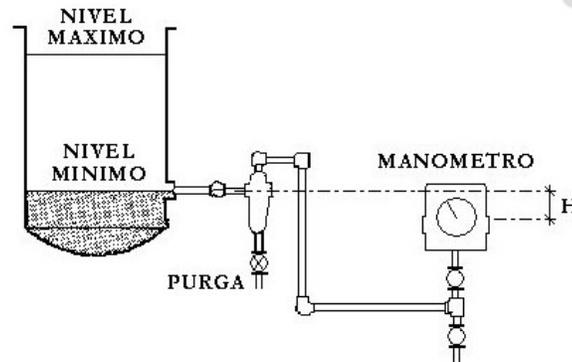
A continuación, se describe los instrumentos de medición que aprovechan la presión hidrostática.

**2.2.1.1.2.1 Medidor manométrico:** consiste en un sensor de presión piezoresistivo suspendido de la parte superior del tanque e inmerso en el líquido.

El sensor contiene un puente de Wheatstone y bajo la presión del líquido, el sensor se flexa y la tensión que crea es captada por las galgas extensiométricas, dando lugar a un desequilibrio del puente y a una señal de salida proporcional a la presión aplicada.

El sensor mide la presión a la altura del líquido.

En la figura 30, se indica un medidor manométrico.

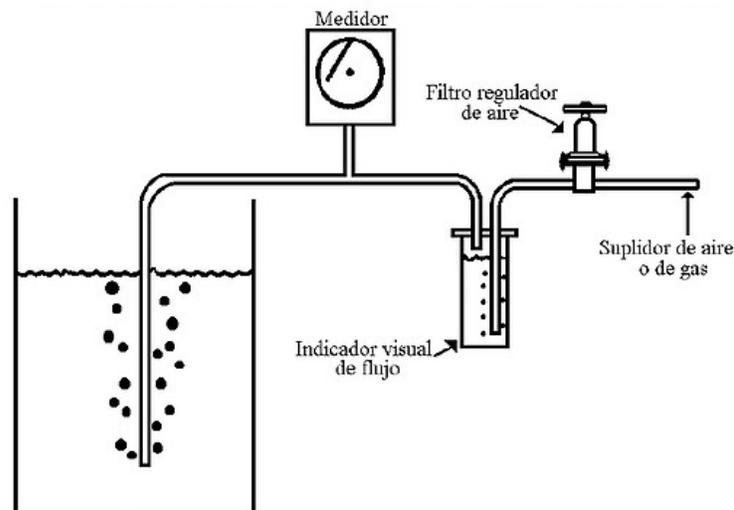


**Figura 7:** Medidor de nivel manométrico.

**Fuente:** <https://es.slideshare.net/williamchuquija/tema5-46290980>

**2.2.1.1.2.2 Medidor tipo burbujeo:** emplea un tubo sumergido en el líquido, por el cual se hace circular aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado. La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna del líquido.

En la figura 31, se indica un medidor de nivel tipo burbujeo.

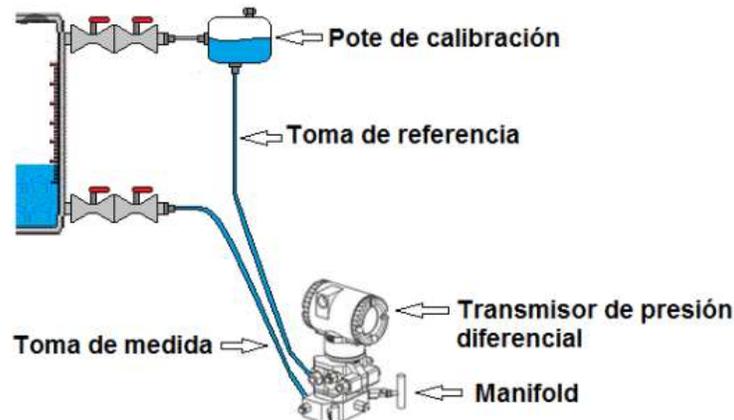


**Figura 8:** Medidor de nivel tipo burbujeo.

**Fuente:** <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/tipo-burbujeo>

**2.2.1.1.2.3 Medidor de presión diferencial:** consiste en un diafragma en contacto con el líquido, que mide la presión hidrostática en el punto del fondo del tanque. Es un tanque abierto, esta presión es proporcional a la altura del líquido.

En la figura 32, se indica el medidor de presión diferencial.



**Figura 9:** Medidor de nivel de presión diferencial

**Fuente:** <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/02/compensacion-del-nivel-en-una-caldera.html>

## 2.2.2 Sensores de temperatura

La temperatura es una de las medidas más importantes de controlar, pues es la que más está presentes en los procesos industriales.

Casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella.

A continuación, se describe algunos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla (Creus, 2011):

- a) Variación en volumen.
- b) Variación de la resistencia en los conductores.
- c) Variación de la resistencia en los semiconductores.
- d) La fuerza electromotriz en la unión de dos metales distintos.

Para medir la temperatura se utilizar los siguientes instrumentos (Creus, 2011):

- e) Termómetro de vidrio.
- f) Termómetro bimetálico.
- g) Elemento primario de bulbo y capilar, rellenos de líquido, gas o vapor.
- h) Termómetros de resistencia.
- i) Termistores.
- j) Termopares.

A continuación, se describe cada uno de los elementos mencionadas con anterioridad.

**2.2.2.1 Termómetros de vidrio:** consta de un depósito de vidrio que contiene por ejemplo mercurio, que al calentarse se expande y sube en el tubo, indicando la temperatura existente. En la figura 33, se indica un termómetro de vidrio.



Mercurio	-35 °C hasta +280 °C
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	-35 °C hasta +450 °C
Pentano	-200 °C hasta +20 °C
Alcohol	-110 °C hasta +50 °C
Tolueno	-70 °C hasta +100 °C

**Figura 10:** Termómetro de vidrio.

**Fuente:** (Creus, 2011)

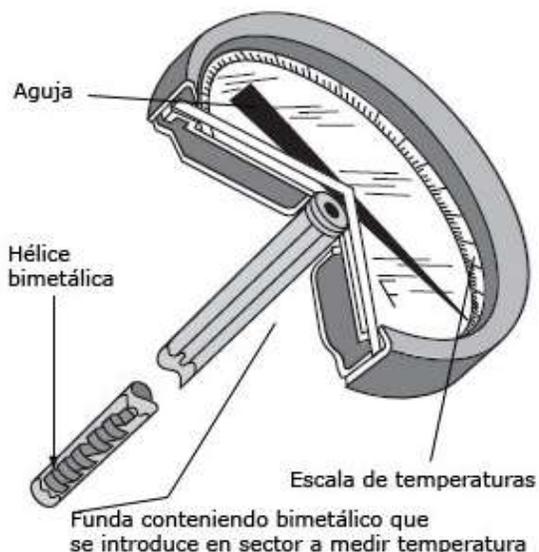
**2.2.2.2 Termómetro bimetalico:** se fundamentan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como: latón, acero, etc...

Las láminas bimetalicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.

Contiene pocas partes móviles, solo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espira o hélice y el propio elemento bimetalico (Creus, 2011).

Posee una exactitud de  $\pm 1\%$ .

En la figura 34, se indica el termómetro bimetalico.



**Figura 11:** Termómetro bimetalico.

**Fuente:** (Creus, 2011)

**2.2.2.3 Termómetro de bulbo y capilar:** Consiste en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o líquido en el bulbo se expande y la espiral tiene a desenrollarse, moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo (Creus, 2011).

Estos se dividen en (Creus, 2011):

- a) **Termómetro actuado por líquido:** tiene el sistema de medición lleno de líquido y como su dilatación es proporcional a la temperatura, la escala de medición resulta uniforme.  
Su campo de medición comprende entre los -75 grados centígrados hasta los 300 grados centígrados.
- b) **Termómetro actuado por vapor:** se basan en el principio de presión de vapor. Contiene un líquido volátil cuya interface se encuentra en el bulbo.  
Al subir la temperatura aumenta la presión de vapor del líquido.  
El campo de medición comprende entre los -40 grados centígrados hasta los 300 grados centígrados.
- c) **Termómetro actuado por gas:** están llenados de gas. Al subir la temperatura, la presión del gas aumenta prácticamente de forma proporcional, y, por lo tanto, estos termómetros tienen escalas lineales.

Su campo de medición comprende entre los -40 grados centígrados hasta los 650 grados centígrados.

**2.2.2.4 Termómetro de resistencia:** depende de la variación de resistencia en función de la temperatura.

El material que forma el conductor para la resistencia 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 (Creus, 2011).

Los materiales que forman el conductor de la resistencia debe poseer las siguientes características (Creus, 2011):

- a) Alto coeficiente de temperatura de la resistencia.
- b) Alta resistividad, ya que cuando mayor sea la resistencia a una temperatura dada, tanto mayor será la variación por grado.
- c) Relación lineal resistencia-temperatura.
- d) Estabilidad durante la vida útil del material.

**2.2.2.5 Termistores:** son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que, presenta unas variaciones rápidas y extremadamente grandes, para los cambios, relativamente pequeños en la temperatura (Creus, 2011).

Los termistores se conectan a puentes de Wheatstone, pues convierten la variación de la resistencia a una tensión de salida.

Posee un tiempo de respuesta entre 0,5 segundos 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 (Creus, 2011).

Los termistores se denominan *NTC* (*Negative Temperature Coeficiente – Coeficiente de Temperatura Negativo*) (Creus, 2011).

En la figura 35, se indica un termistor.

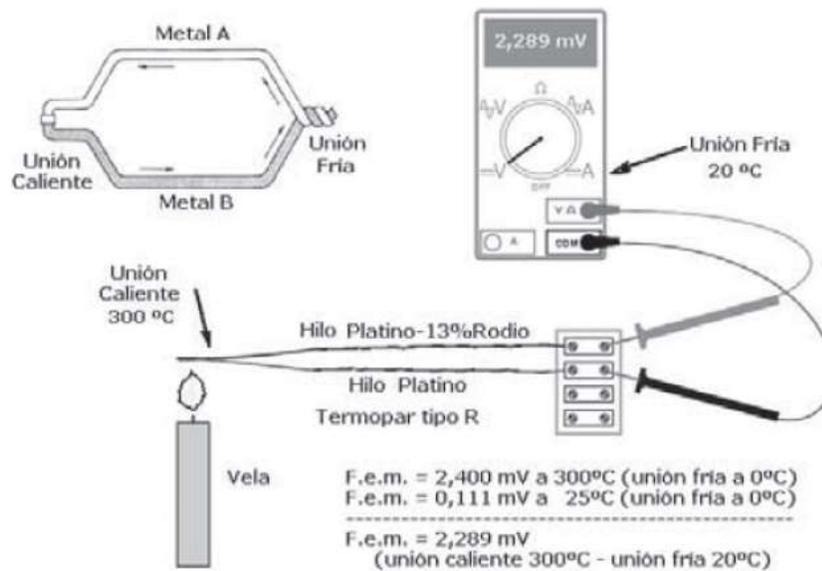


**Figura 12:** Termistor.

**Fuente:** <https://comofunciona.co.com/un-termistor/>

**2.2.2.6 Termopar:** se basa en la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura.

En la figura 36, se indica el termopar.



**Figura 13:** Termopar.

**Fuente:** (Creus, 2011).

La selección de los alambres para termopares se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, a la oxidación, que desarrollen una fuerza electromotriz relativamente alta, que sean estables, de bajo costo y baja resistencia eléctrica y que la relación entre la temperatura y la fuerza electromotriz sea tal que el aumento de ésta sea proporcional al aumento de la temperatura (Creus, 2011).

Los termopares de superficie (Skin Points), se utilizan para tomar la temperatura de una superficie. Están embebidos en una lámina que puede curvarse y que se suelda en la tubería.

Para evitar daños de los termopares de superficie debido a la corrosión, erosión y por los procesos de alta presión se utilizan fundas o vainas protectoras (Creus, 2011).

La conexión entre los cables de compensación, el termopar y el instrumento deben ser perfectas, sin empalmen en el cable de compensación, utilizando el hilo correcto y los conectores adecuados (Creus, 2011).

En la figura 37, se indica la correcta conexión de un termopar con los cables de compensación.

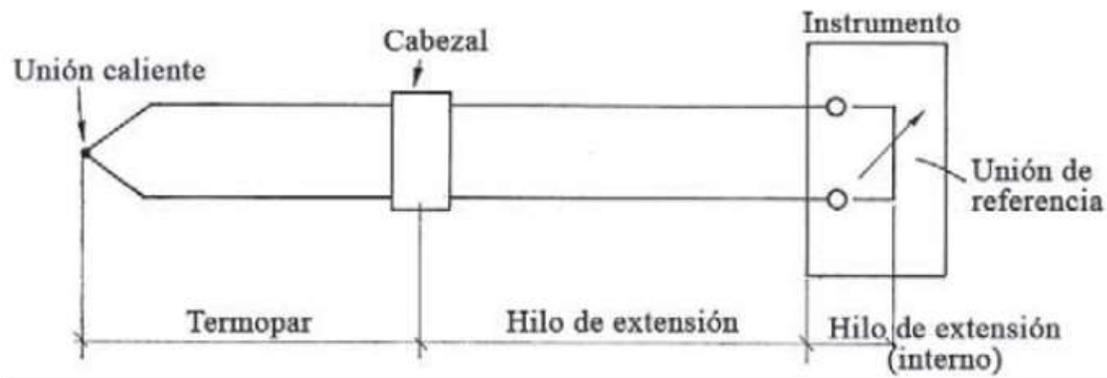


Figura 14: Conexión del termopar con los cables de compensación.

Fuente: (Creus, 2011).

### 2.2.3 Sensores de presión.

Las unidades de presión pueden expresarse con las siguientes unidades: Pascal, Bar, Atmósfera, Kilogramo por centímetro cuadrado y PSI (libras por pulgada cuadrada).

En el Sistema Internacional (SI), está normalizado en Pascal (Newton por metro cuadrado).

Existen algunos tipos de presiones descritas a continuación:

- a) **Presión absoluta:** se mide con relación al cero absoluto.
- b) **Presión atmosférica:** es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro.
- c) **Presión relativa:** que es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica, donde se realiza la medición.
- d) **Presión diferencial:** es la diferencia entre dos presiones.
- e) **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 atmósfera.

En la figura 38, se indica los tipos de presión descritas anteriormente.

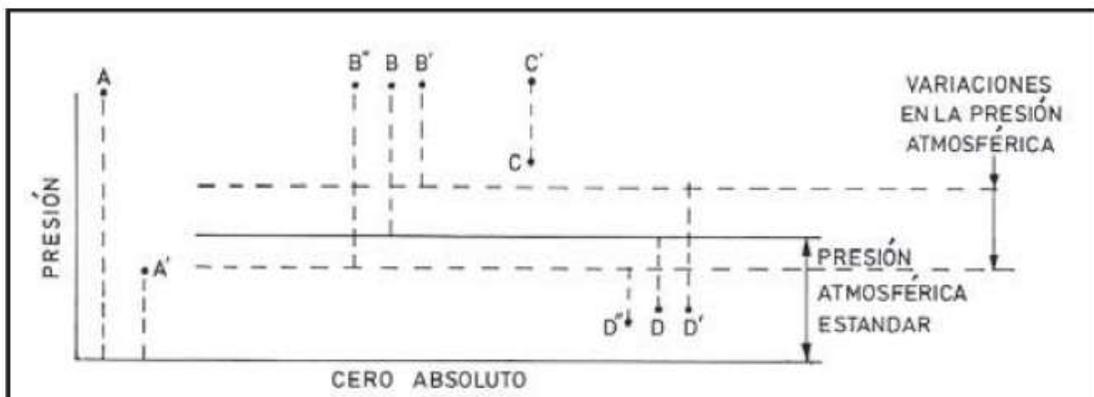


Figura 15: Tipos de presión.

Fuente: (Creus, 2011).

Se puede dividir en elementos primarios de medida directa que mide la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocida, tales como: barómetro, cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana y en elementos primarios elásticos que se deforman con la presión interna del fluido que contiene (Creus, 2011).

Los elementos primarios elásticos más utilizados son:

- a) **Tubo de Bourdon.**
- b) **Elemento en espiral.**
- c) **Diafragma.**
- d) **Fuelle.**

A continuación, se describe cada elemento primario descrito.

**2.2.3.1 Tubo de Bourdon:** es de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo.

Al incrementarse la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora.

En la figura 39, se indica un tubo de Bourdon.

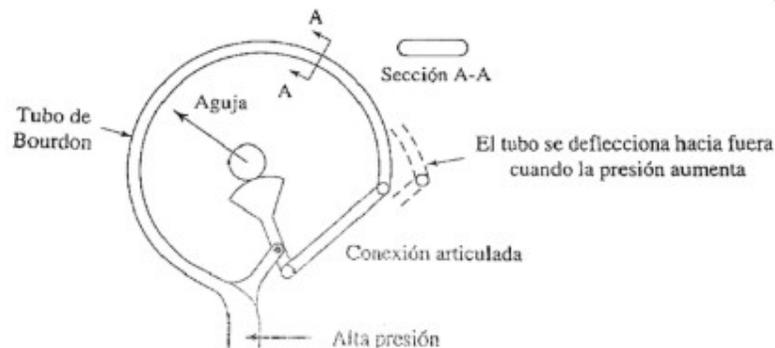
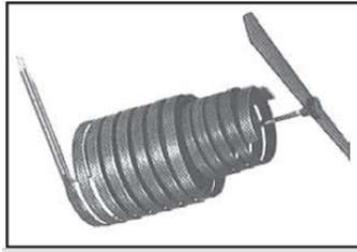


Figura 16: Tubo de Bourdon.

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Partes-que-componen-el-manometro-de-presion-de-tubo-de-Bourdon-Fuente\\_fig3\\_327938566](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Partes-que-componen-el-manometro-de-presion-de-tubo-de-Bourdon-Fuente_fig3_327938566)

**2.2.3.2 Elemento en espiral:** se forma arrollando el tubo de Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, son ideales para los registradores.

En la figura 40, se indica el elemento en espiral.

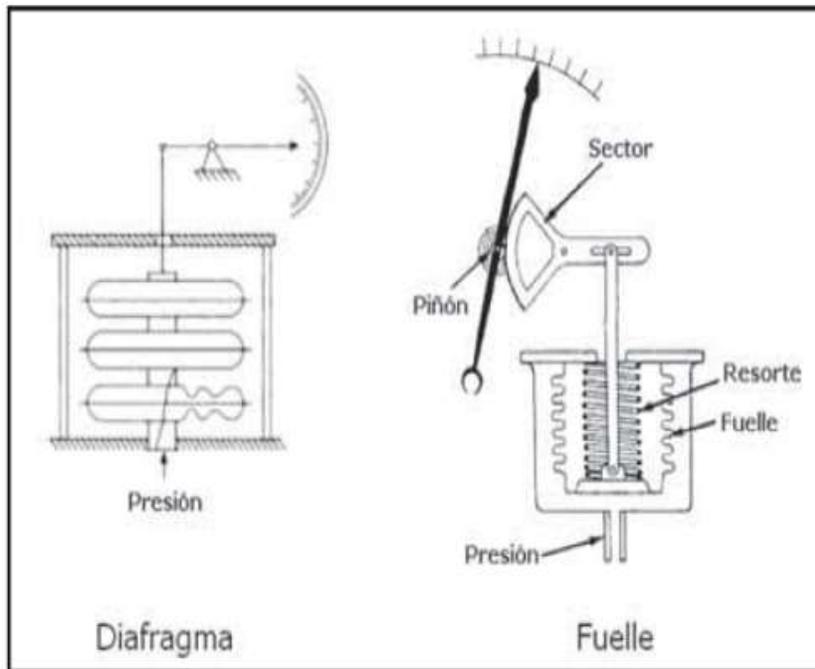


**Figura 17:** Tubo en espiral.

**Fuente:** (Creus, 2011).

**2.2.3.4 Diafragma:** consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldaduras, de forma que, al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas.

En la figura 41, se indica el diafragma.



**Figura 18:** Diafragma.

**Fuente:** <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc57.php>

**2.2.3.5 Fuelle:** es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible que puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

CABE DESTACAR QUE TODOS LOS ELEMENTOS MENCIONADOS ANTERIOEMENTE MIDEN LA PRESIÓN RELATIVA, YA QUE LA PRESIÓN DEL FLUIDO SE ENCUETRA DESNTRO DEL ELEMTO, MIENTRAS QUE EN EL EXTERIOR ACTÚA LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

Los instrumentos de presión deben estar aislados con una válvula de cierre para su desmontaje del proceso. Cuando la presión del proceso supera los 25 bar se necesita otra válvula de alivio para evitar un posible accidente en el desmontaje del aparato. De este modo,

el operario primero cierra la válvula de aislamiento y abre, a continuación, la válvula de alivio para liberar la presión dentro de la toma interna de presión del aparato. Si no procediera así, el fluido podría accidentar al operario, al darle directamente en la cara al desenroscar el instrumento (Creus, 2011).

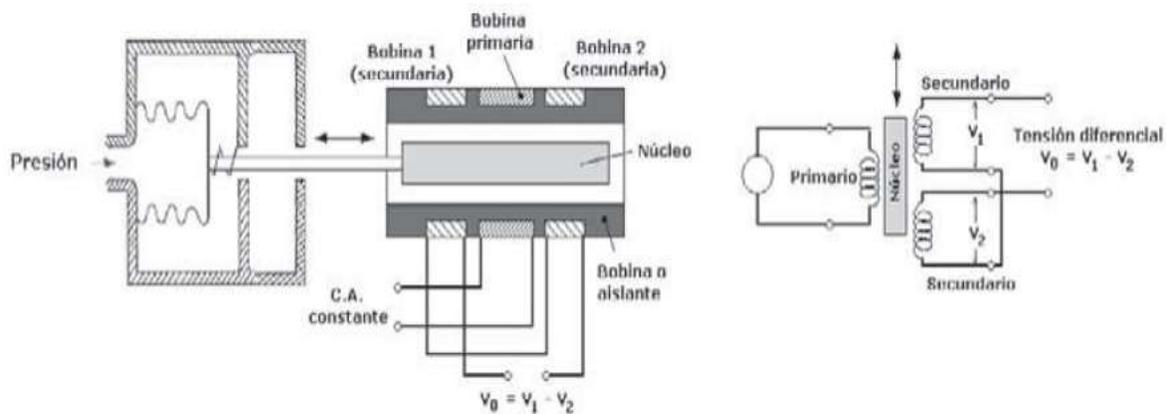
Si se conoce o se supone la existencia de vibraciones se preverán, en fase de proyecto, manómetros con amortiguadores, o como alternativa, manómetros especialmente diseñados para estos servicios (Creus, 2011).

Todo instrumento de presión se conecta al proceso después de que las líneas han sido perfectamente lavadas.

A continuación, se explican algunos sensores de presión.

**2.2.3.6 Elemento de inductancia variable:** utilizan el transformador diferencial variable lineal (*LVDT, Linear Variable Diferencial Transformer*), que proporciona una señal de c.a. proporcional al movimiento de una armadura de material magnético situado dentro de un imán permanente o una bobina que crea un campo magnético (Creus, 2011).

En la figura 42, se indica este tipo de elemento.



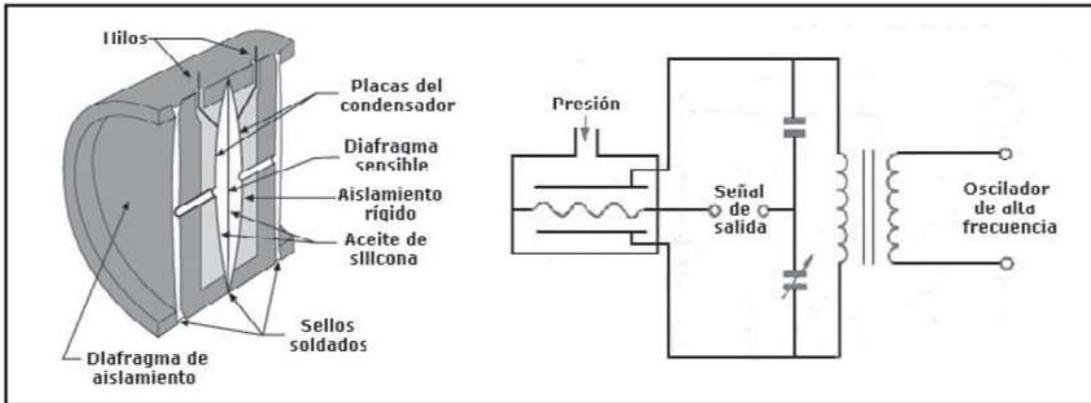
**Figura 19:** Elemento de inductancia variable.

**Fuente:** (Creus, 2011).

**2.2.3.7 Elemento capacitivo:** se basa en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión.

En este tipo de elemento se tiene dos condensadores, uno de capacidad fija y el otro de capacidad variable.

En la figura 43, se indica el elemento capacitivo.



**Figura 20:** Elemento capacitivo.

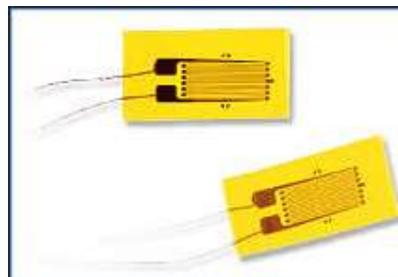
**Fuente:** (Creus, 2011).

**2.2.3.8 Elemento de galgas extensiométricas:** se basa en la variación de la 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 (Creus, 2011).

La aplicación de presión estira o comprime los hilos, según sea la disposición que el fabricante adoptó, modificando la resistencia del mismo.

Son muy sensibles a vibraciones y tiene una estabilidad dudosa a lo largo del tiempo de funcionamiento.

En la figura 44, se indica la galga extensiométrica.



**Figura 21:** Galga extensiométrica.

**Fuente:** <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiometricas.html>

**2.2.3.9 Elementos piezoeléctricos:** son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan un potencial eléctrico.

Tiene la desventaja de ser sensibles a los cambios de temperatura.

La señal de salida es débil, por lo que, precisan de amplificadores y acondicionadores de señal.

En la figura 45, se indica el elemento piezoeléctrico.

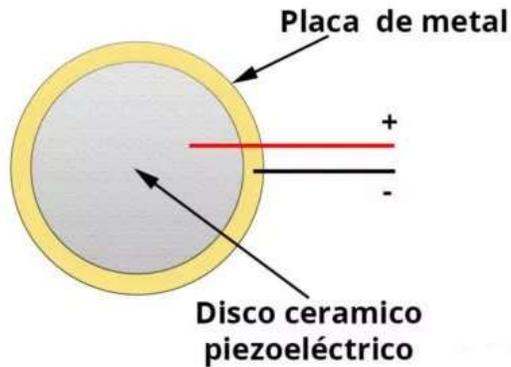


Figura 22: Elemento piezoeléctrico.

Fuente: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-piezoelctrico/>

### 2.2.4 Sensores de caudal.

Existen dos tipos de medidores:

**a) Caudales volumétricos:** volumen real de un fluido que pasa a través de una sección por unidad de tiempo.

**b) Caudal másico:** masa de un fluido que pasa a través de una sección por unidad de tiempo.

La densidad de un fluido está determinado por:  $\rho = \frac{m}{\text{Volumen}}$ .

El caudal se mide debido a las siguientes situaciones (Creus, 2011):

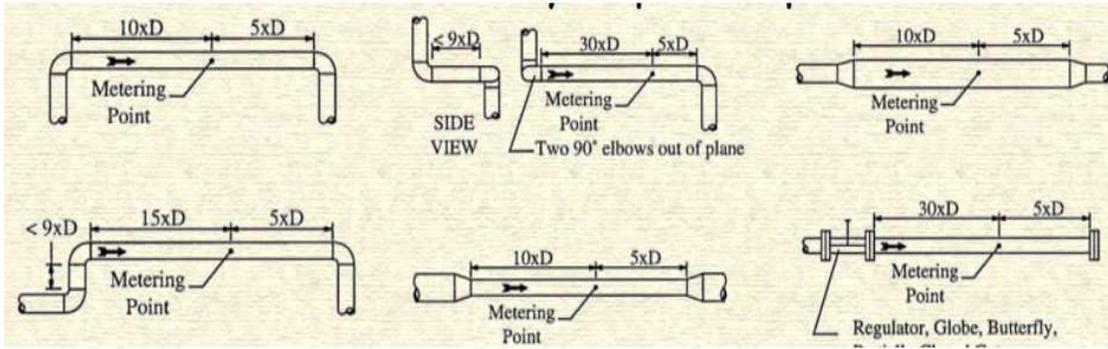
**a)** Es imprescindible la medición de al menos un flujo para cerrar los balances de materia o energía.

**b)** Muchos insumos industriales se facturan por el volumen consumido, de modo que la medición del caudal pasa a ser una variable económica.

Los accesorios y el trazado de la cañería pueden alterar el perfil de velocidades introduciendo turbulencias y remolinos. Los caudalímetros requieren en general un perfil estacionario, simétrico y bien establecido (Creus, 2011).

Para lograr un perfil de velocidades adecuado, se deben respetar rectos de cañería antes y después de los accesorios, cada accesorio requiere un tramo recto mínimo (Creus, 2011).

En la figura 48, se propone dependiendo del tipo de tuberías, los instrumentos de medición de caudal.

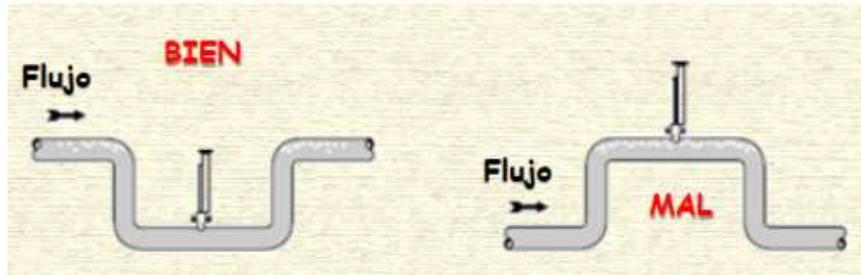


**Figura 23:** Instalación de sensores de cauda en tuberías.

**Fuente:** (Creus, 2011).

Para líquidos, en líneas horizontales hay que asegurar que las tuberías estén completamente llenas.

En la figura 49, se indica la instalación de sensores de caudal en tuberías para líquidos.

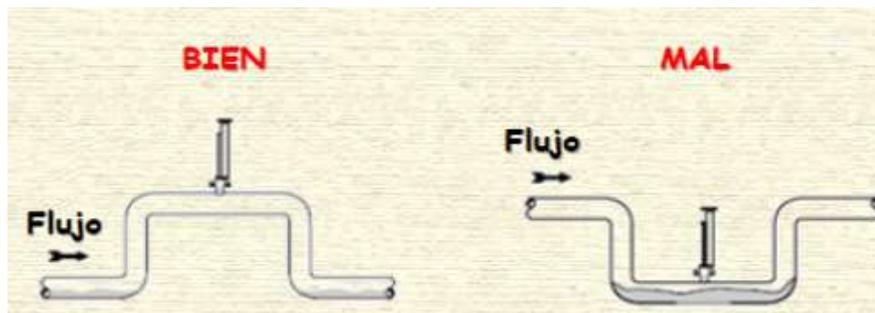


**Figura 24:** Instalación de sensores de caudal en tuberías para líquidos.

**Fuente:** (Creus, 2011).

Para gases y vapores, hay que tomar la precaución que ni se acumule condensación.

En la figura 50, se indica la instalación de sensores de caudal en tuberías gases y vapores.



**Figura 25:** Instalación de sensores de caudal en tuberías para gases y vapores.

**Fuente:** (Creus, 2011).

#### 2.2.4.1 Sensores basados en caudales volumétricos.

Este tipo de sensores se basa en la diferencia de presiones provocadas por un estrechamiento en la tubería por donde circula el fluido, líquido, gas o vapor.

La presión diferencial provocada por el estrechamiento es captada por dos tomas de presión situadas inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del mismo.

A continuación, se describen algunos sensores basados en caudales volumétricos.

**2.2.4.1.1 Placa orificio o diafragma:** consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas, conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan la presión diferencial proporcional al cuadrado del caudal. Pensadas para líquidos con sólidos o con burbujas de gases o gases con líquidos suspendidos.

En la figura 51, se indica la placa orificio o diafragma.

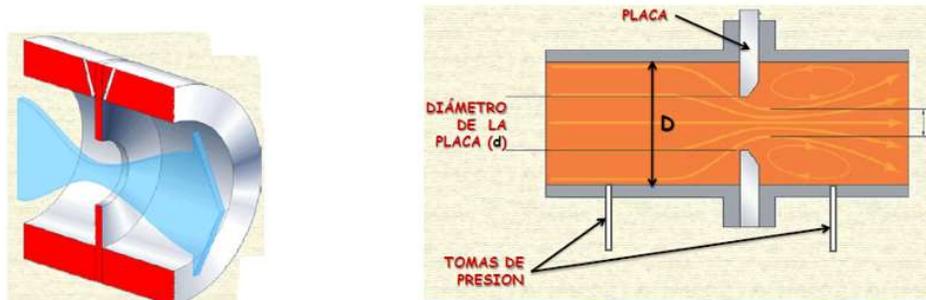


Figura 26: Placa orificio o diafragma.

Fuente: (Creus, 2011).

En la figura 52, se indica la instalación de la placa orificio considerando diferentes escenarios.

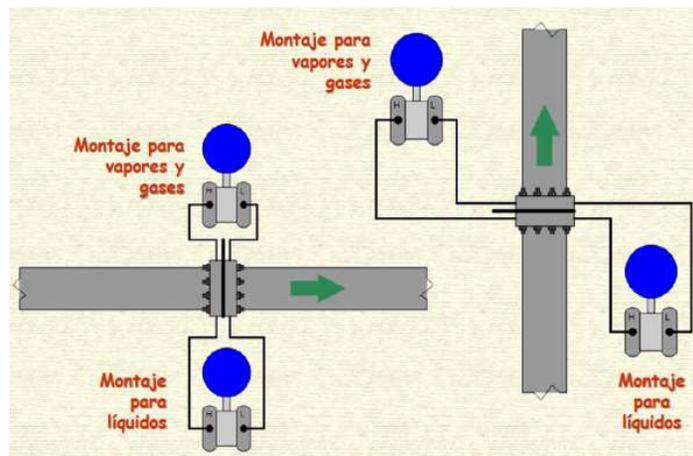


Figura 27: Instalación de placa orificio o diafragma.

Fuente: (Creus, 2011).

La señal primaria de la placa orificio no es lineal con respecto al caudal, por lo que, se necesitará hacer una caracterización apropiada, como se indica en la figura 53.

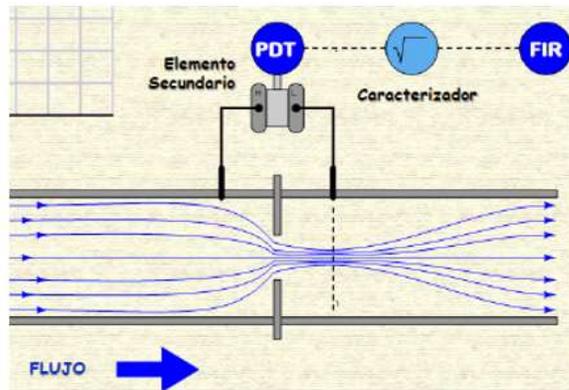


Figura 28: Caracterización de la señal de salida del sensor placa orificio.

Fuente: (Creus, 2011).

Este tipo de sensor presenta las siguientes ventajas y desventajas.

- a) **Ventajas:** bajo costo, no requiere recalibración y es ampliamente aceptado.
- b) **Desventajas:** requiere grandes ramos de tuberías rectas y no es apto para suspensiones y líquidos viscosos.

**2.2.4.1.2 Tobera:** está situada en la tubería con dos tomas, una anterior y la otra en el centro de la sección más pequeña.

La tobera permite caudales del 60% superiores a los de la placa orificio en las mismas condiciones de servicio.

Puede emplearse para fluidos que arrastren sólidos en pequeñas cantidades.

El costo de la tobera es de 8 a 16 veces el de un diafragma y su exactitud es del orden de  $\pm 0,95\%$  a  $\pm 1,5\%$ .

En la figura 54, se indica la tobera.

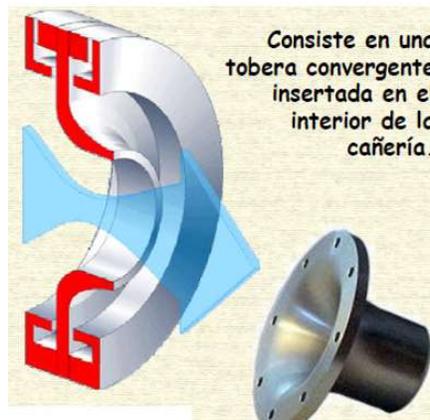


Figura 29: Tobera.

Fuente: (Creus, 2011).

**2.2.4.1.3 Tubo de Venturi:** posee una gran exactitud y permite el paso de fluidos con un porcentaje grande de sólidos.

Posee una precisión del orden de  $\pm 0,75\%$ .

En la figura 55, se indica el tubo de Venturi.

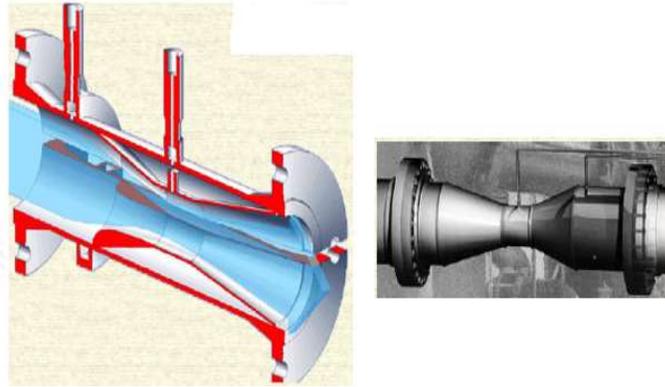


Figura 30:: Tubo de Venturi.

**Fuente:** (Creus, 2011).

**2.2.4.1.4 Tubo de Dall:** es una combinación del tubo de Venturi y la placa orificio.

Su utilización disminuyó, pues posee un error de medición del 12%.

En la figura 56, se indica un tubo de Dall.

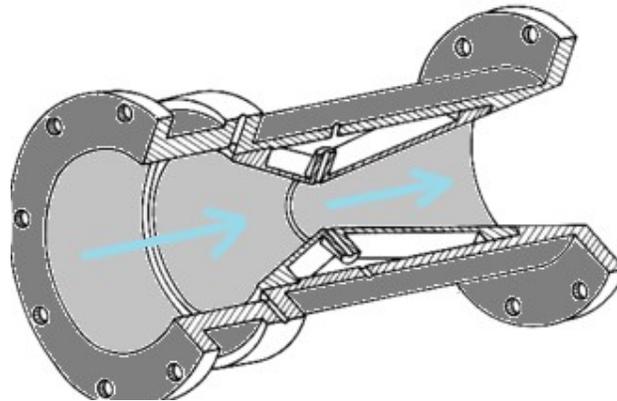


Figura 31: Tubo de Dall.

**Fuente:** (Creus, 2011).

**2.2.4.1.5 Medidor de cuña:** tiene una restricción en V, que se caracteriza por la relación  $\frac{H}{D}$ , donde:  $H$  es la altura de la abertura en la restricción y  $D$  es el diámetro de la tubería.

Posee una exactitud de  $\pm 0,5\%$  , pero si la densidad del fluido no permanece constante posee una exactitud de  $\pm 3\%$  al  $\pm 5\%$  .

Puede utilizarse para fluidos que circulen bidireccionalmente.

En la figura 57, se indica un medidor de cuña.

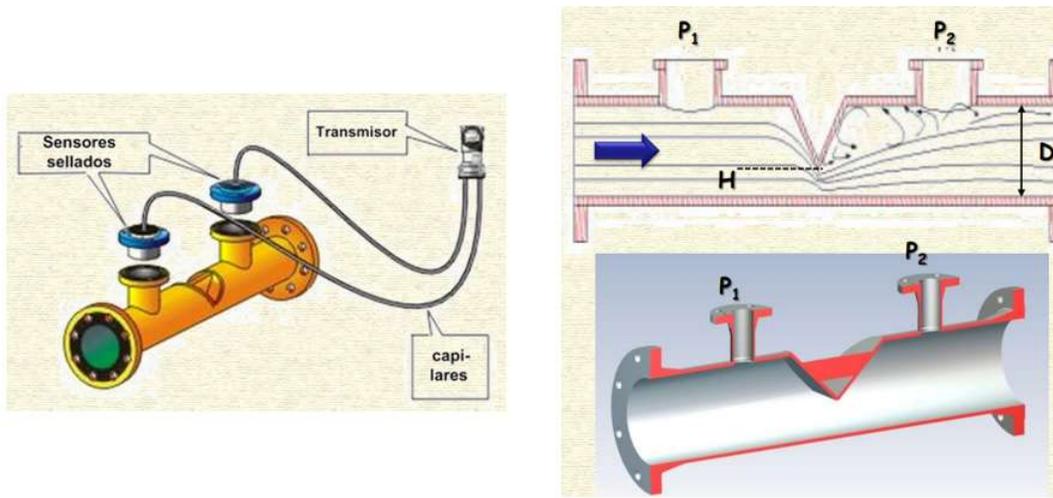


Figura 32: Medidor de cuña.

Fuente: (Creus, 2011).

#### 2.2.4.1.6 Tubo de caudal: son derivaciones del tubo de Venturi.

Su exactitud es de  $\pm 0,5\%$ , y puede alcanzar a llegar a  $\pm 0,25\%$  si es calibrado en laboratorios.

En la figura 58, se indica un tubo de caudal.

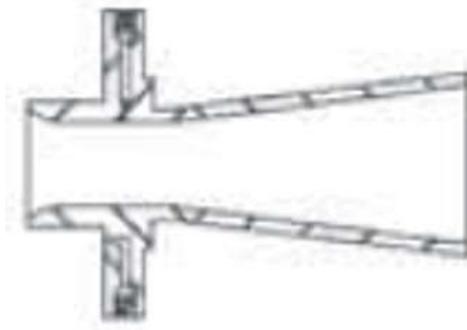


Figura 33: Tubo de caudal.

Fuente: (Creus, 2011).

A continuación, se describirán los sensores que se basan en el área variable.

**2.2.4.2 Rotámetro:** se caracteriza por el cambio de área que se produce entre el elemento primario en movimiento y el cuerpo del medidor.

En el rotámetro, un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido. El flotador está en equilibrio entre su peso, la fuerza de arrastre del fluido y la fuerza de empuje del fluido sobre el flotador. [2]

Los tubos de los rotámetros pueden ser de vidrio y metálicos.

Los flotadores pueden tener varios perfiles, tales como: [2]

- \* **Esféricos:** para bajos caudales y poca presión.
- \* **Cilíndricos con borde plano:** para caudales medios y elevados.
- \* **Cilíndricos con borne saliente de cara inclinada contra el flujo:** con menor influencia de la viscosidad.
- \* **Cilíndricos con bornes salientes contra el flujo:** mínima influencia de la viscosidad del fluido

En la figura 59, se indican los tipos de flotadores en los rotámetros.

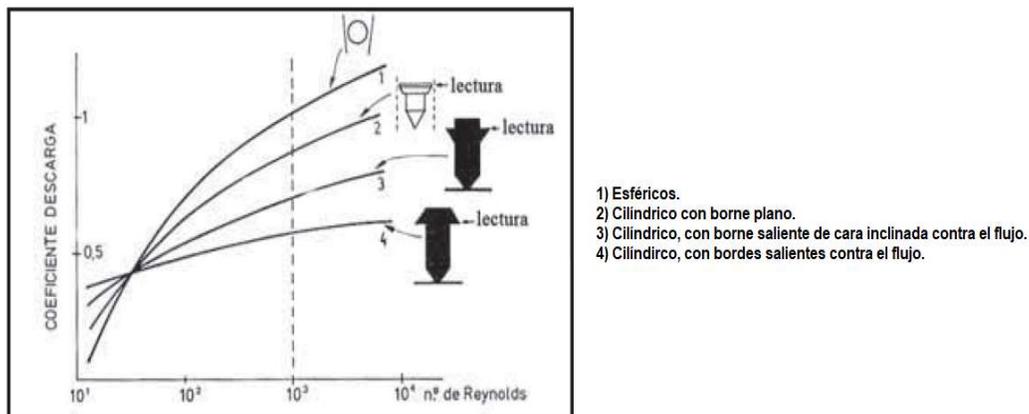


Figura 34: Tipos de flotadores.

Fuente: (Creus, 2011).

El material más empleado para construir los flotadores es el acero inoxidable para satisfacer la gran variedad de requerimiento de resistencia contra la corrosión que se presenta en las industrias. [2]

La instalación del rotámetro está indicada en la figura 60.

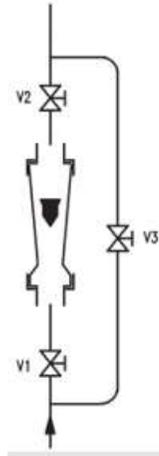


Figura 35: Instalación del rotámetro.

**Fuente:** (Creus, 2011).

Su exactitud es del orden de  $\pm 2\%$  de toda la escala cuando están sin calibrar y de  $\pm 1\%$  con calibración.

En la figura 61, se indica el rotámetro.



**Figura 36:** Rotámetro.

**Fuente:** <https://www.amazon.es/25-250L-rot%C3%A1metro-pl%C3%A1stico-medidor-instant%C3%A1nea/dp/B07F2M5QMY>

Para la medición del caudal en canales abiertos se utilizan vertederos de formas variadas que provocan una diferencia de alturas del líquido en el canal, entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo, esta característica utiliza los VERTEDERO, que a continuación serán descritos.

**2.2.4.3 Vertedero rectangular:** es fácil de construir y es el más económico.

La fórmula para calcular el caudal está indicada en la ecuación 4.

$$Q = 1,84 * (l - 0,2H) * H^{\frac{3}{2}} \quad \left(\frac{m^3}{s}\right) \quad \text{ecuación (4)}$$

Dónde: l es la anchura del rectángulo en m.

h es la diferencia máxima entre alturas en m.

El valor de 0,2H viene, sustituido por 0,1H si l=anchura.

En la figura 62, se indica un vertedero rectangular.

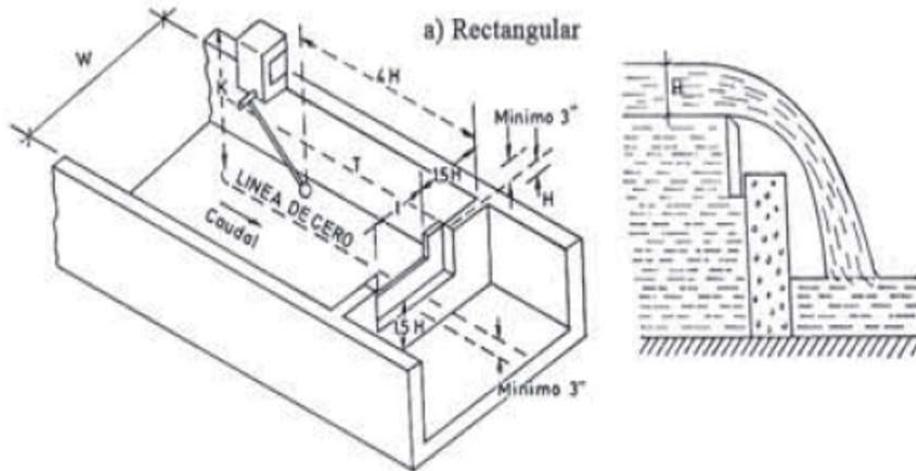


Figura 37: Vertedero rectangular.

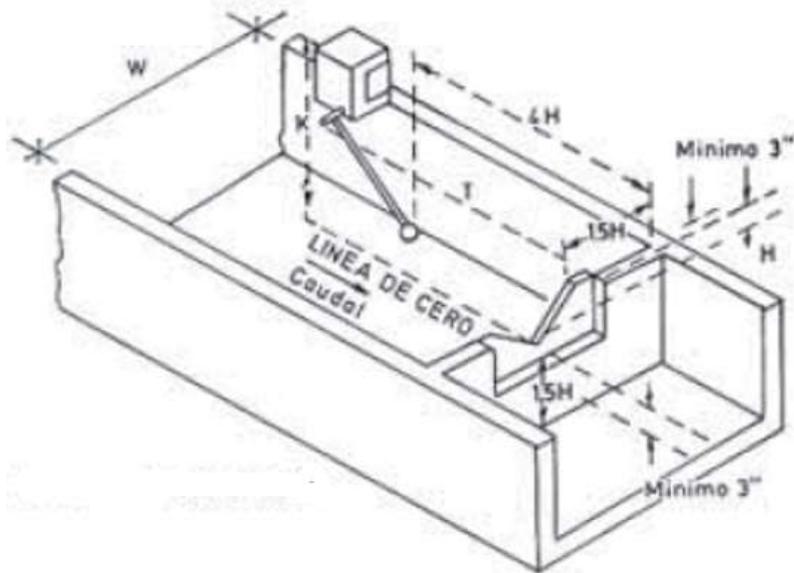
Fuente: (Creus, 2011).

**2.2.4.4 Vertedero triangular:** consiste en una placa con un corte en V, de vértice dirigido hacia abajo y con cada lado igualmente inclinado respecto a la vertical (Creus, 2011).

La fórmula para calcular el caudal en este tipo de vertedero, está indicado en la ecuación 5.

$$Q = 1,33 * H^{2,475} \quad \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad \text{ecuación (5)}$$

En la figura 63, se indica un vertedero triangular.



**Figura 38:** Vertedero triangular.

**Fuente:** (Creus, 2011).

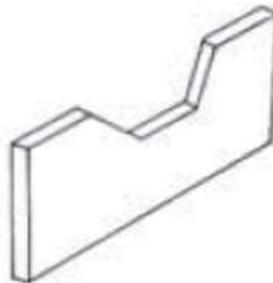
**2.2.4.5 Vertedero trapezoidal:** con la ranura de trapecio invertido.

El caudal es proporcional a la altura de la cresta, posee un campo de medida equivalente al del vertedero rectangular (Creus, 2011).

La fórmula para calcular el caudal en este tipo de vertedero, está indicado en la ecuación 6.

$$Q = 1,86 * l * H^{\frac{2}{3}} \quad \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad \text{ecuación (6)}$$

En la figura 64, se indica un vertedero trapezoidal.



**Figura 39:** Vertedero trapezoidal.

**Fuente:** (Creus, 2011).

**2.2.4.6 Vertedero Parshall o Venturi:** se emplea cuando el líquido transporta sólidos o sedimentos en cantidad excesiva, o bien cuando no es posible construir un tramo recto de la longitud suficiente (Creus, 2011).

En la figura 65, se indica el vertedero Parshall.

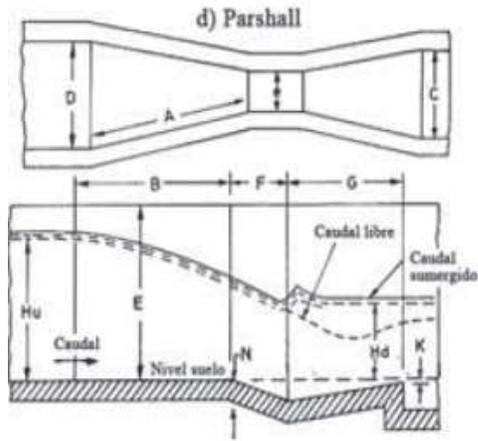


Figura 40: Vertedero Parshall.

Fuente: (Creus, 2011).

La descarga del fluido puede presentarse de dos formas:

- a) **Caudal libre:** cuando la elevación del agua después de la estrangulación es lo suficientemente baja como para pedir que el agua que se descarga retorne hacia atrás.
- b) **Caudal sumergido:** cuando el agua está demasiado altura después de la estrangulación y vuelve hacia atrás.

#### 2.2.4.7 Turbina

Existe dos tipos de convertidores para captar la velocidad de la turbina:

- a) **Reluctancia:** la velocidad viene determinada por el paso de las palas individuales de la turbina a través del campo magnético creado por un imán permanente montado en una bobina captadora exterior.

En la figura 66, se indica este tipo de turbina de reluctancia.

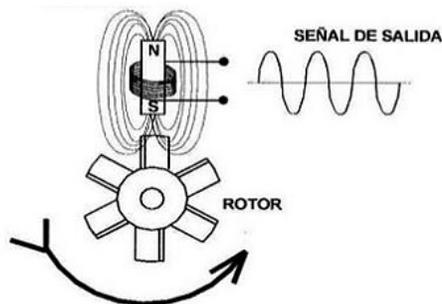
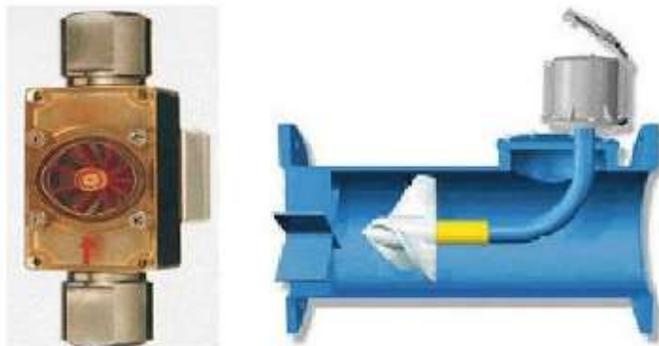


Figura 41: Turbina de reluctancia.

Fuente: (Creus, 2011).

**b) Inductivo:** poco usado, el rotor lleva incorporado piezas magnéticas y en campo magnético que se origina induce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

En la figura 67, se indica la turbina tipo inductivo



**Figura 42:** Turbina tipo inductivo.

**Fuente:** <http://sensoresdecaudal.blogspot.com/2009/05/medidores-de-turbina.html>

La turbina está limitada por la viscosidad del fluido, debido al cambio que se produce en la velocidad del perfil del líquido a través de la tubería cuando aumenta la viscosidad.

En las paredes, el fluido se mueve más lentamente que en el centro, de modo que las puntas de las palas no pueden girar a mayor velocidad.

Posee una exactitud del orden  $\pm 0,3\%$ .

La máxima precisión se consigue cuando el instrumento se instala en una tubería recta de longitud mínima 15 diámetros aguas arriba y 6 diámetros aguas abajo.

El medidor debe estar instalado de tal modo que siempre esté lleno de líquido, aunque el caudal sea nulo, ya que, en la puesta en marcha, el choque del fluido a alta velocidad podría dañarlo.

Es necesario el empleo de un filtro a la entrada del instrumento, incluso para mediciones de caudal de agua, ya que las más pequeñas partículas podrían gastar los álabes de la turbina.

#### **2.2.4.8 Medidor de placa**

Consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje o fuerza de impacto del fluido.

La placa está conectada a un transmisor de equilibrio de fuerza o piezo-resistivo.

La fuerza dinámica del fluido sobre la placa es transmitida a través de una placa a un puente de Wheatstone de cuatro galgas extensiométricas activas que proporciona una señal de salida de 4-20 mA de c.c. (Creus, 2011).

La señal es proporcional a la fuerza de impacto del fluido sobre la placa y a su vez, el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de esta fuerza (Creus, 2011).

Conviene limpiar la placa en las paradas largas de la planta, en particular si el fluido es un producto pegajoso o bien es un producto alimenticio (Creus, 2011).

En la figura 68, se indica un medidor de placa.

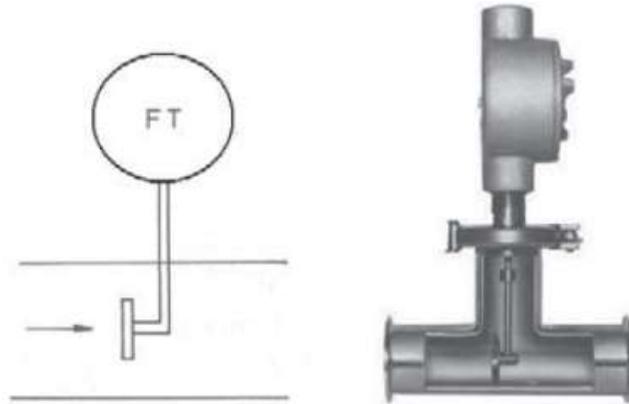


Figura 43: Medidor de placa.

Fuente: (Creus, 2011).

## 2.3 Elementos actuadores

A continuación, se explica algunos elementos actuadores en un proceso industrial

### 2.3.1 Válvulas de control.

El cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del fluido sin pérdidas, tener un tamaño adecuado para el caudal que debe controlar y ser resistente a la erosión o a la corrosión producida por el fluido (Creus, 2011).

En la figura 69, se indica las diferentes válvulas de control, en las cuales se compara la temperatura vs la presión.

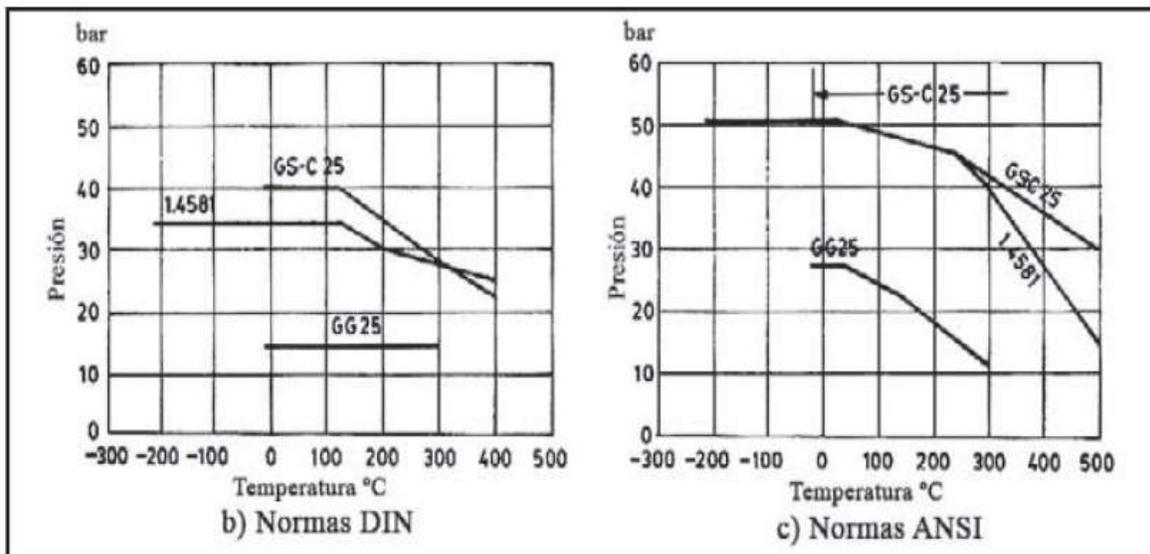


Figura 69: Tipos de válvulas de control.

Fuente: (Creus, 2011).

En la figura 70, se indica la composición de cada válvula indicada en la figura 69.

Tipo	Especificación DIN * ASTM	Composición %								
		C máx.	Mn máx.	Si máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mo	Otros
Hierro fundido	GG 25									
	A 126-clase B*									
Acero al carbono	GS-C 25	0,25	0,8	0,5	0,05	0,05	3 máx			
	A 216-WCB*	0,3	1,0	0,6	0,05	0,06				
Acero inox. 18/8/3	1.4581	0,08	1,5	1,5	0,05	0,03	17-19,5	10,5-12,5	2-2,5	Nb > 8 × % C
	A 351-CF10 Mc*	0,10	1,5	1,5	0,04	0,04	15-18	13-16	1,75-2,5	Nb > 10 × % C 1,2 % máx.

Figura 70: Materiales que constituyen las válvulas de control.

Fuente: (Creus, 2011).

En aplicaciones químicas hasta los 140<sup>o</sup> y 10 bar, se utilizan las válvulas termoplásticas, debido a su resistencia a la corrosión y congelación, por su alta pureza y por su bajo costo (Creus, 2011).

*NO SON ADECUADAS EN CASOS DE FUERTES VIBRACIONES O EN AMBIENTES CON POSIBLES ABUSOS MECÁNICOS.*

Una parte fundamental de la válvula de control es el servomotor, los cuales se pueden clasificar en los siguientes: neumáticos, eléctricos, hidráulicos, digitales y manuales.

### 2.3.1.1 Servomotor eléctrico (Creus, 2011).

Existen dos tipos de servomotores eléctricos: los dedicados al control del clima y los proyectados para el control industrial.

Los dedicados a control: se caracterizan por su poco par y por el tiempo largo de accionamiento (1 minuto).

Los dedicados a proyectos para el control industrial disponen de un par elevado y un tiempo de accionamiento rápido (de 10 a 60 segundos).

### 2.3.1.2 Servomotor hidráulico (Creus, 2011).

Consiste en una bomba de accionamiento eléctrico que suministra fluido hidráulico a una servoválvula.

La señal del instrumento de control actúa sobre la servoválvula que dirige el fluido hidráulico a los dos lados de un pistón actuador hasta conseguir, mediante una retroalimentación, la posición exacta de la válvula.

### 2.3.1.3 Servomotor digital (Creus, 2011).

Son controladores digitales que disponen de compuertas neumáticas accionadas por electroválvulas que a su vez son excitadas por la señal de salida binaria de un microprocesador.

### 2.3.2 Bombas dosificadores (Creus, 2011).

Son accionadas por actuadores neumáticos o electrónicos y utilizan principalmente en el envío de cantidades precisas de líquidos.

En la figura 71, se indica la bomba dosificadora.

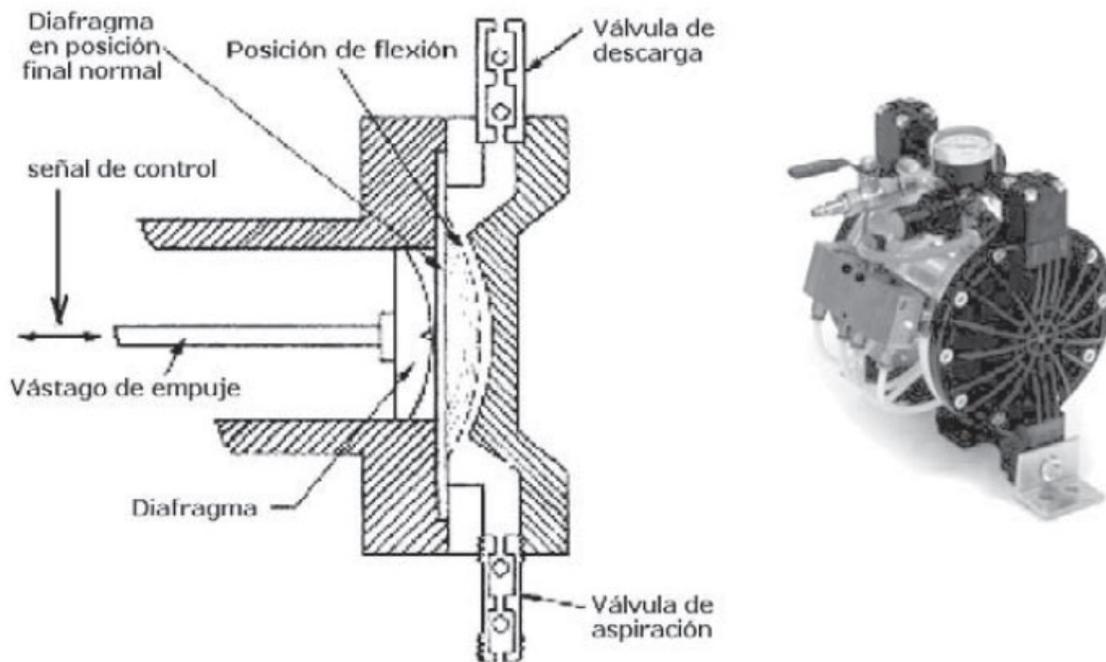


Figura 71: Materiales que constituyen las válvulas de control.

Fuente: (Creus, 2011).

### 2.3.3 Actuadores de velocidad variable (Creus, 2011).

Gobiernan la velocidad de bombas centrífugas, ventiladores, compresores.

El convertidor se alimenta con la corriente alterna de la red y la convierte en tensión o frecuencia variable de c.a.

Existen además otros dispositivos finales de control, tales como: contactores, compresores, motores eléctricos compuertas.

## 2.4 Arrancadores y variadores de velocidad de motores.

### 2.4.1 Casos en los que se debe utilizar el arrancador y el variador (Rochwe A, 2014).

En los siguientes casos se debe utilizar los arrancadores.

- a) Aplicaciones con par de arranque bajo o medio.
- b) Aplicaciones de carga ligera.
- c) Poco o ningún control de velocidad durante el modo de marcha.
- d) Reducen el desgaste mecánico y daños al sistema.
- e) Control de corriente de entrada al momento del arranque.
- f) Monitoreo de alimentación

En los siguientes casos se debe utilizar los arrancadores.

- d) Aplicaciones monofásicas.
- e) Control de velocidad.
- f) Aplicaciones con alto par de arranque.
- g) Retroalimentación continua para el control de posición.
- h) Reducen el desgaste mecánico y daños al sistema.

### 2.4.2 Arrancadores

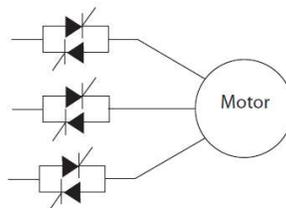
A continuación, se explica los siguientes tipos de métodos de arranque:

#### 2.4.2.1 Arrancadores directos en línea (DOL)

Un arrancador aplica voltaje, corriente y par pleno inmediatamente al motor una vez que se da un comando de arranque. Normalmente, la alimentación se retira inmediatamente en cuando se da la señal de paro. Activado y desactivado son los dos únicos estados de este método (Allen-Bradley, 2014).

#### 2.4.2.2 Arrancador suave

Se utiliza un algoritmo que controla tres pares de SCR en antiparalelo para arrancar y detener el motor. La orientación en antiparalelo de los SCR permite controlar el voltaje de CA al cambiar el ángulo de disparo cada medio ciclo. En la figura 72, se indica este tipo de arranque (Allen-Bradley, 2014).



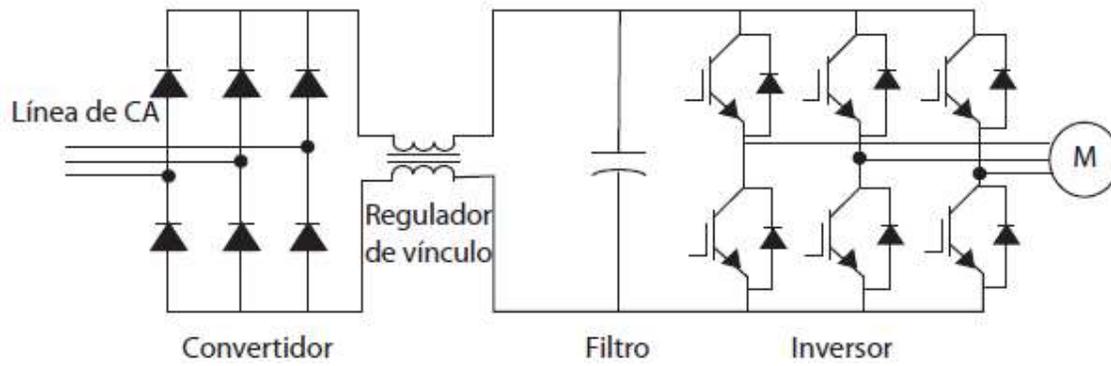
**Figura 72:** Arranque suave.

**Fuente:** (Allen-Bradley, 2014)

### 2.4.3 Variadores

Toma el voltaje de la línea de CA, la convierte en voltaje de CC, filtra el voltaje de CC y a continuación invierte de nuevo la señal. La frecuencia de salida del variador está normalmente

entre 0 y la frecuencia de la línea de entrada de CA. En la figura 73 se indica el variador (Allen-Bradley, 2014).



**Figura 73:** Variador

**Fuente:** (Allen-Bradley, 2014)

## 3. AUTÓMATAS PROGRAMABLES

### 3.1 Principales tipos de controladores

Un controlador es una computadora utilizada en la ingeniería automática o de automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en la línea de montaje.

Los controladores son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el controlador está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperaturas ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

Los controladores se clasifican en:

- **CONTROLADORES DIGITALES:** son pequeñas instalaciones inteligentes que se componen de una entrada de sensor, un indicador digital y una salida de regulación.
- **CONTROLADOR ANALÓGICO:** recibe señales de tipo analógicos como por ejemplo tensión corriente, y que la procesa para realizar alguna tarea.
- **CONTROLADOR CLÁSICO:** la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir, no se compara la salida con la entrada de referencia.
- **CONTROL MODERNO:** un método en el cual la respuesta de un controlador varía automáticamente basado en los cambios de las condiciones dentro del proceso.
- **CONTROLADORES LÓGICA DIFUSA:** utiliza la lógica difusa a través de conceptos de inteligencia artificial capaz de convertir una muestra de la señal real a números difusos.
- **CONTROLADORES NEURONALES:** son redes neuronales artificiales que están diseñadas para actuar como lo hace el cerebro humano conectado la red entre los elementos de la forma más sencilla.
- **CONTROLADORES PROPORCIONALES:** en el modo proporcional la magnitud de la salida del controlador es proporcional a la magnitud del error.
- **CONTROLADORES INTEGRALES:** a este tipo de controlador un gran cambio en la carga de un sistema hará experimentar un gran cambio del punto de referencia
- **CONTROLADORES DERIVATIVO:** entrega una señal proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. Cuando la variable controlada esta quieta, la señal derivativa es cero. Cuando el valor de la variable controlada está cambiando rápidamente, la señal derivativa es grande.

### 3.2 PLC – Controlador Lógico Programable

Es una computadora especialmente diseñado para automatización industrial, para el control de una máquina o proceso industrial (R. Dahl, 2012).

El PLC no tiene teclado, pantalla ni ratón, tampoco tiene disco duro, pero internamente es una computadora, con su hardware, procesadores, memoria, puertos de comunicación y con software (R. Dahl, 2012).

Un PLC es un ejemplo de control en tiempo real, pues reacciona automáticamente ante las condiciones variables que está vigilando (R. Dahl, 2012).

El PLC está estructurado de la siguiente manera (L. Leiva, 2000):

- **Procesador o unidad central de proceso:** microprocesador que se usa para el tratamiento de la información que contiene el programa.
- **Entrada:** sirve para recibir las señales eléctricas procedentes de los elementos empleados en las etapas de detección (sensores, interruptores de posición) y convertirlas en señales comprensibles para el PLC.
- **Salidas:** elementos a través de los cuales se transmiten las órdenes de mando y de señalización, provenientes del tratamiento y la ejecución del programa.
- **Memoria:** capacidad para almacenar un determinado programa o una cantidad de instrucciones.
- **Bits internos o marcadores:** equivalente a los contactores auxiliares. Memorizan los estados intermedios y se utilizan para la ejecución interna de un programa.
- **Bits sistema:** controlan el correcto funcionamiento del PLC y el desarrollo del programa de aplicación.
- **Funciones o bloques de funciones:** en los PLC encontramos además temporizadores, contadores/descontadores, programadores cíclicos, paso a paso, registradores de palabras.

### 3.3 Aplicación de autómatas programables en la automatización

Los sistemas PLC se aplican en diversos tipos de procesos industriales. De hecho, su utilidad abarca muchos flancos, desde aquellos de pequeña envergadura como dosificadores o montacargas hasta complejos sistemas de control o líneas completas de producción. Solo hay que elegir el modelo adecuado para cada caso (ALKADIN, 2017).

A continuación, se describe la aplicación de algunos casos de los PLC (ALKADIN, 2017):

- **Maniobras de maquinaria:** Máquinas de procesamiento de gravas, cementos y arenas, máquinas industriales para la madera y los muebles, maquinaria industrial del plástico, máquinas – herramientas complejas, máquinas de ensamblaje, maquinaria de transferencia.
- **Maniobra de instalaciones:** Instalaciones de seguridad, instalaciones de calefacción y aire acondicionado, instalaciones de plantas para el embotellado, instalaciones de transporte y almacenaje, instalaciones para tratamientos térmicos.
- **Industria del automóvil:** Aplicaciones en cadenas de montaje para soldaduras, cabinas de pintura, ensamblaje, uso en máquinas de herramientas como fresadoras, taladradoras, tornos, etc.
- **Otros sectores industriales**
  - **Metalurgia:** control de hornos, fundiciones, laminado, grúas, forjas, soldadura, etc.
  - **Alimentación:** empaquetado, envasado, almacenaje, llenado de botellas, embotellado, etc.
  - **Madereras y papeleras:** serradoras, control de procesos, laminados, producción de conglomerados...
  - **Producción de energía:** turbinas, transporte de combustibles, centrales eléctricas, energía solar...
  - **Tráfico:** ferrocarriles, control y regulación del tráfico...
  - **Domótica:** temperatura ambiente, sistemas anti robo, iluminación, etc.

### 3.4 Sistema de mando. Norma IEC 61131. Programación del PLC.

La Norma IEC 61131 está enfocada para definir diversos tópicos de los PLC y sus principales componentes, tales como (Matín, 2006):

- Definir e identificar características principales de los PLC's.
- Requisitos mínimos para función, operación, seguridad y ensayos.
- Definir los lenguajes de programación más utilizados.
- Definir los tipos de comunicación. (INTERNATIONAL STANDARD, 2003-2005) (Matín, 2006)



Figura 74: PLC Siemens S7-300.

Fuente: [https://www.plc-city.com/shop/514-large\\_default/6es7314-6ch04-0ab0.jpg](https://www.plc-city.com/shop/514-large_default/6es7314-6ch04-0ab0.jpg)

Para profundizar en los temas anteriores. Esta norma está dividida de la siguiente forma (INTERNATIONAL STANDARD, 2003-2005) (Matín, 2006):

1. Especificaciones y ensayos de equipo.
2. Lenguajes de programación.
3. Guías de usuario.
4. Comunicaciones.
5. Control difuso.
6. Guías de programación.

Ya que tocar a profundidad cada uno de estos temas sería interminable, nos enfocaremos en los puntos más importantes de cada uno de ellos. (INTERNATIONAL STANDARD, 2003-2005) (Matín, 2006)

#### 3.4.1 INFORMACIÓN GENERAL

En esta parte se enfoca en definir diversos elementos presentes en las demás partes de la norma. Por ejemplo, define conceptos como:

**PLC:** sistema operativo electrónico digital, diseñado para uso en medios industriales. Cuenta con una memoria programable para el almacenamiento interno y para las instrucciones del

usuario (funciones lógicas, secuencias, timers, contadores). A través de entradas y salidas digitales y/o analógicas controla diversos tipos de procesos y máquinas.

**Dispositivo de campo:** catalogados como elementos (interfaces) de entradas o salidas que proveen datos al controlador. (Matín, 2006)

### 3.4.2 ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS DE EQUIPO

#### Requisitos eléctricos:

- Alimentación de corriente alterna (C.A) y continua (C.C)
- E/S digitales y analógicas.
- Interfaces de comunicación.
- Inmunidad al ruido.
- Propiedades dieléctricas.

#### Requisitos mecánicos:

- Protección contra riesgo de choque eléctrico.
- Requisitos de ventilación y líneas de fuga.
- Requisitos de inflamabilidad para materiales aislantes.
- Disposiciones para la tierra de protección.
- Requisitos de batería. (INTERNATIONAL STANDARD, 2003-2005) (Matín, 2006)

### 3.4.3 Información que debe de facilitar el fabricante:

El fabricante deberá facilitar a los usuarios la información necesaria para la aplicación, proyecto, instalación, puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento del sistema de automatismo programable. Adicionalmente el fabricante puede ocuparse de la formación del usuario. (Matín, 2006)

### 3.4.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Esta categoría se divide en dos grandes pilares:

#### 3.4.4.1 Elementos comunes:

- **Tipos de datos:** define los tipos de datos utilizados en la programación: booleanos, enteros, reales, bytes, cadenas, fechas, horas, etc.
- **Variables:** La asignación de direcciones definidas por el usuario. Locales o globales.
- **Gráfico funcional secuencial (SFC):** Describe el comportamiento secuencial de programas de control. Deriva de las redes Petri y Grafcet. (INTERNATIONAL STANDARD, 2003-2005) (Matín, 2006)

#### 3.4.4.2 Lenguajes de programación:

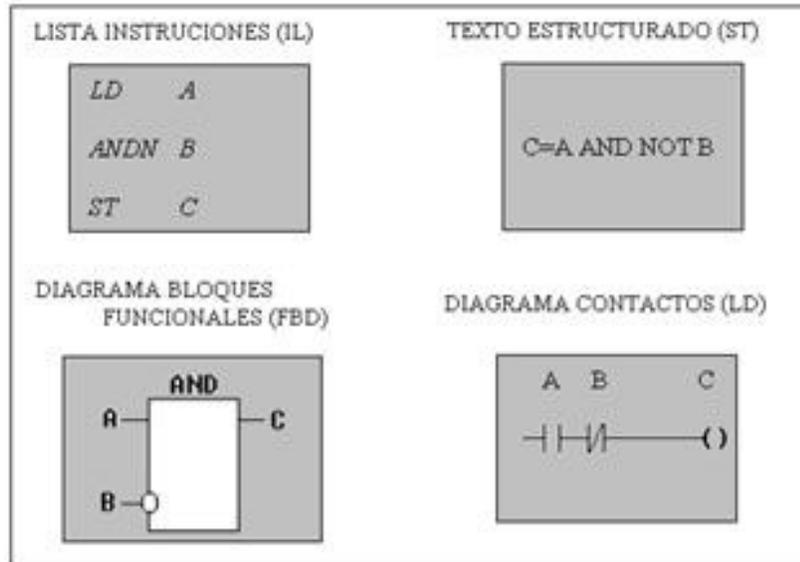
De acuerdo con esta norma, un PLC debe ser capaz de entender programas escritos en 4 lenguajes:

#### Lenguajes de gráfico:

- Diagrama de escaleras (LD ó KOP)
- Diagramas de bloques funcionales (FBD ó FUP)

### Lenguajes literales:

- Listas de instrucciones (IL ó AWL)
- Texto estructurado (ST)



**Figura 75:** Lenguajes de programación en PLC.

Fuente: <http://www.autracen.com/wp-content/uploads/2017/12/LenguajesProgramaci%C3%B3n.jpg>

### 3.5 Controlador PID. El PID y el PLC. Comunicación de datos en plantas industriales

Las habilidades del controlador Proporcional-Integral (PI) y Proporcional-IntegralDerivativo (PID) para compensar la mayoría de los procesos de la industria, han permitido su amplia aceptación en aplicaciones de la industria como en muchas otras áreas. Aun con su amplia aceptación, estudios acerca del estado del arte sobre las prácticas con controladores PID, han demostrado que en la mayoría de las aplicaciones no se obtiene una buena sintonización, lo que disminuye considerablemente el rendimiento del controlador haciéndose necesario encontrar nuevas técnicas o métodos para sintonizar un PID.

La programación de autómatas programables ofrece una gran variedad de herramientas para llevar a cabo un control eficiente sobre el proceso; en aplicaciones críticas donde las variables a controlar deben estar en constante supervisión, control y estabilización, los autómatas programables presentan una instrucción muy útil, los controladores PID (Universidad de la Costa, 1970).

Un controlador PID es un mecanismo que realiza el control de una variable (velocidad, nivel, temperatura, flujo, presión, entre otras) a través de un lazo de retroalimentación. El lazo controla la variable final calculando la diferencia entre una variable real y una variable deseada (Universidad de la Costa, 1970).

En la figura 76, se indica el diagrama de un PID.

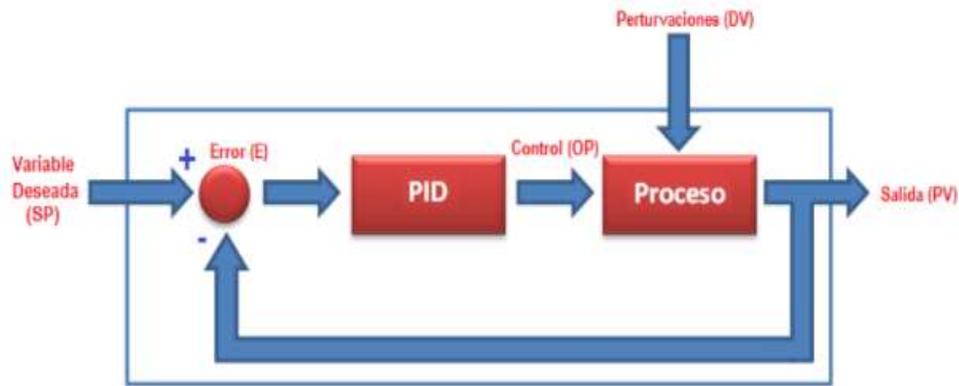


Figura 76: Esquema de un controlador PID

Fuente: <https://www.infopl.net/descargas/103-siemens/automatas/s7-1200/2660-siemens-s7-1200-control-pid>

El controlador PID trata de aprovechar las ventajas de cada uno de los controladores de acciones básicas, de manera, que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y, mientras que si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa (Universidad de la Costa, 1970).

Para ingresar la función PID en el PLC se debe utilizar la instrucción **PID\_Compact**, como se indica en la figura 77.

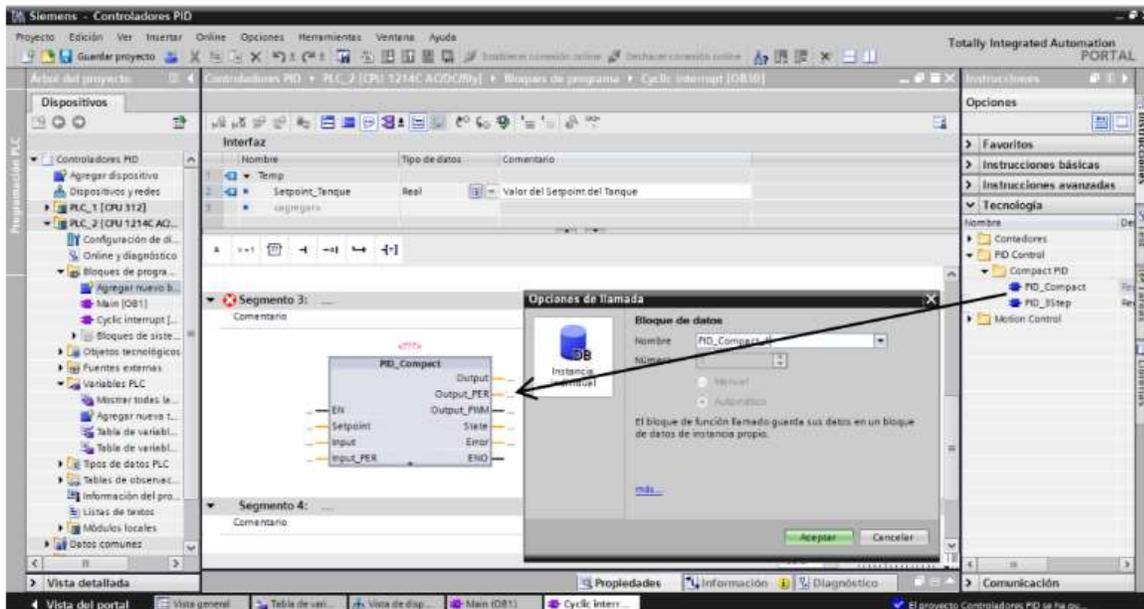


Figura 77: Función PID\_Compact

Fuente: <https://www.infopl.net/descargas/103-siemens/automatas/s7-1200/2660-siemens-s7-1200-control-pid>

## 4. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE COMUNICACIÓN

### 4.1 Sistemas de comunicación industrial.

Las redes de comunicación industrial son la columna vertebral de cualquier arquitectura de sistemas de automatización, ya que ha proporcionado un poderoso medio de intercambio de datos, controlabilidad de datos y flexibilidad para conectar varios dispositivos. La ventaja de utilizar redes de comunicación industrial, en comparación con el cableado anterior, es fácil de analizar: el avance tecnológico permite ahorrar cantidades considerables de dinero y reducir los costes (Centro de formación técnica para la industria, 2020).

Además, la comunicación a través de unidades industriales tiene ventajas para la funcionalidad. Sin embargo, los medios que se utilizan en el campo de la «comunicación industrial» difieren mucho según la ubicación. La comunicación de datos se refiere a **la** transformación de información o datos, principalmente en formato digital, de un transmisor a un receptor a través de un enlace (que puede ser de alambre de cobre, cable coaxial, fibra óptica o cualquier otro medio) que conecte estos dos (Centro de formación técnica para la industria, 2020).

Las redes industriales tradicionales se utilizan para permitir la comunicación de datos entre ordenadores, ordenadores y sus periféricos y otros dispositivos. Por otro lado, la **red de comunicación industrial** es un tipo especial de red hecha para manejar el control en tiempo real y la integridad de los datos en entornos difíciles sobre grandes instalaciones (Centro de formación técnica para la industria, 2020).

Las comunicaciones industriales, por lo general, utilizan: **Ethernet, DeviceNet, Modbus, ControlNet** (Centro de formación técnica para la industria, 2020).

### 4.2 Protocolos de comunicaciones industriales.

Un importante número de empresas presentan la existencia de islas automatizadas (células de trabajo sin comunicación entre sí), siendo en estos casos las redes y los protocolos de comunicación Industrial indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso (Revista Electro Industria, 2049).

La irrupción de los microprocesadores en la industria han posibilitado su integración a redes de comunicación con importantes ventajas, entre las cuales figuran (Revista Electro Industria, 2049):

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones.
- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo.

Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son (Revista Electro Industria, 2049):

- HART.
- Profibus.
- Fieldbus Foundation.

#### **4.2.1 HART (Highway-Addressable-Remote-Transducer).**

Agrupar la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente, y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA (Revista Electro Industria, 2049).

Como la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20 mA., lo que permite continuar utilizando la variación analógica para el control del proceso (Revista Electro Industria, 2049).

#### **4.2.2 PROFIBUS (Process Field Bus).**

Norma internacional de bus de campo de alta velocidad para control de procesos normalizada en Europa por EN 50170 (Revista Electro Industria, 2049).

Existen tres perfiles:

- **Profibus DP (Decentralized Periphery).** Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLCs) o terminales.
- **Profibus PA (Process Automation).** Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 11158-2, seguridad intrínseca).
- **Profibus FMS (Fieldbus Message Specification).** Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización.

#### **4.2.3 FOUNDATION FIELDBUS (FF)**

Es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite (Revista Electro Industria, 2049).

#### **4.2.4 MODBUS**

Es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. Las Interfaces de Capa Física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485. En Modbus, los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión: RTU y ASCII (Revista Electro Industria, 2049).

#### **4.2.5 DEVICENET**

Red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc., y dispositivos de alto nivel (PLCs, controladores,

computadores, HMI, entre otros). Provee información adicional sobre el estado de la red, que será desplegada en la interfaz (Revista Electro Industria, 2049).

### 4.3 Sistemas SCADA

El término SCADA deriva del inglés “*Supervisory Control And Data Acquisition*” (Control Supervisor y Adquisición de Datos) (Vitic, 2019).

Los sistemas SCADA cuentan con una estructura básica que parte de sus controladores lógicos programables (*PLC*) o unidades de terminal remotas (*RTU*), es decir, de microordenadores que se comunican con múltiples objetos, ya sean máquinas, dispositivos, sensores o HMI (Vitic, 2019).

Los sistemas SCADA muestran rápidamente a un operario una lista de productos que están presentando errores. Esto hace que el operario pause la operación y vea los datos del programa mediante una HMI para identificar la causa del inconveniente (Vitic, 2019).

Entre sus características principales, debemos destacar que los sistemas SCADA se encargan de (Vitic, 2019):

- Supervisar remotamente las instalaciones y equipos.
- Monitorizar y controlar las operaciones en tiempo real.
- Almacenar una gran cantidad de datos (los cuales puede mostrar en varios formatos).
- Procesar datos que hagan más fácil la toma de decisiones.
- Mostrar a través de imágenes dinámicas el comportamiento de los procesos.
- Arrojar señales de alarma (visuales o sonoras) frente a imprevistos.
- Recolectar información histórica para hacer un análisis completo.
- Programar eventos y tareas automáticas.

En la figura 78, se indica un sistema SCADA.



**Figura 78:** Sistema SCADA

**Fuente:** <https://vestertraining.com/sistemas-scada/>

#### 4.4 Sistema de Interfaz Hombre – Máquina HMI.

Es la interfaz entre el proceso y los operarios de una fábrica, una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la operación por parte de un humano. En sí, es un panel de instrumentos que el operario puede manipular para controlar un proceso (AUTYCOM, 2020).

La función principal de los HMI es mostrar información en tiempo real, proporcionar gráficos visuales y digeribles que aporten significado y contexto sobre el estado del motor, la válvula, niveles y demás parámetros de un determinado proceso (AUTYCOM, 2020).

El éxito del HM depende de diferentes factores, por ejemplo: precio, confiabilidad y ciclo de vida. También depende de la capacidad de manipulación y facilidad de uso, es decir, mientras más sencillo de operar sea, mucho mejor. El objetivo ideal sería que la HMI se explicara por sí misma sin necesidad de capacitar al operador (AUTYCOM, 2020).

La interfaz hombre-máquina se comunica con **los** controladores lógicos programables (PLCs) y los sensores de entrada/salida para obtener y mostrar información para que los usuarios la vean. Del mismo modo, pueden utilizarse para una sola función, como el monitoreo y el seguimiento, o para realizar operaciones más sofisticadas, como el apagado de máquinas o el aumento de la velocidad de producción, dependiendo de cómo se implementen.

A continuación, se describe algunas funciones que realiza el HMI (INNERGY ELECTRIC, 2017):

Mediante la aplicación de algoritmos es posible realizar ajustes y cambios en nuestros procesos.

- Monitoreo y supervisión, el HMI obtiene y muestra los datos que recoge de la planta en tiempo real, mostrándolos de diferentes maneras: cifras, textos o gráficos según se establezca, para facilitar su lectura e interpretación.
- Almacenamiento de históricos. Cuentan con la capacidad para almacenar y mostrar datos, por lo que es posible optimizar y corregir proceso en función de datos concretos y reales.
- Gráfico de Tendencia Histórica.
- El cambio en los datos registrados a través del tiempo, se muestra en un gráfico de fácil comprensión. En el gráfico se pueden consultar históricos de datos antiguos o anteriores.
- Alarmas y avisos. En función de unos límites pre establecidos, el HMI avisa y reporta información relativa a incidentes que puedan producirse en la planta de manera excepcional. Cuando se produce un error, el operador puede, fácilmente, buscar y comprobar el estado de la máquina. Esto permite resolver problemas sencillos, depurar y/o hacer cambios en los equipos de producción para reducir los tiempos de inactividad. De esta forma se trabaja de una forma más eficaz.
- Conexión a múltiples dispositivos y maquinas, con distintos protocolos de comunicaciones, para flexibilizar la solución que el cliente necesita.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ogata K., (1998). *Ingeniería de Control Moderno*, Tercera Edición, Naucalpan de Juárez, México: Editorial Pearson Educación.
- [2] A. Creus, (2011). *Instrumentación Industrial*, Octava Edición, México D.F.: Alfaomega.
- [3] Allen-Bradley (2014). *Cuándo utilizar un arrancador suave o un variador de frecuencia variable de CA*, EEUU.
- [4] R. Dahl (2012). *Introducción a la Programación de Controladores Lógicos Programables (PLC)*
- [5] L. Leiva (2000). *Controles y Automatismos Eléctricos – Teoría y Práctica*, Recuperado de: <http://www.elsolucionario.org/controles-y-automatismos-electricos-luis-flower-leiva-led/>
- [6] ALKADIN (2017). *Aplicación de los PLC en la Industria Moderna*, Recuperado de: <http://www.aldakin.com/aplicaciones-plc-industria-moderna/>
- [7] Matín, F. M. (2006). *Entornos Integrados de Automatización*. (Introducción al estándar IEC 61131) Recuperado el 4 de Marzo de 2020, de <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Pres%20IEC%2061131.pdf>
- [8] INTERNATIONAL STANDARD. (2003-2005). *IEC 61131-1*. Recuperado el 4 de Marzo de 2020, de [http://d1.amobbs.com/bbs\\_upload782111/files\\_31/ourdev\\_569647.pdf](http://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_31/ourdev_569647.pdf)
- [9] Universidad de la Costa (1970). *Práctica de Laboratorio. Controladores PID*, Recuperado de: <https://www.infopl.net/descargas/103-siemens/automatas/s7-1200/2660-siemens-s7-1200-control-pid>
- [10] Centro de formación técnica para la industria. *Qué son las Redes de Comunicación Industrial*, Recuperado de: <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>
- [11] Revista Electro Industria (2019). *Protocolos de Comunicación Industrial*, Recuperado de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=562>
- [12] Vitc (2019). *Sistemas SCADA: Qué son y cómo funcionan*, Recuperado de: <https://vestertraining.com/sistemas-scada/>
- [13] AUTYCOM (2020). *HMI*, Recuperado de: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/>
- [13] INNERGY ELECTRIC (2017). *HMI: Interfaz Hombre – Máquina*, Recuperado de: <https://innergy-global.com/es/divisiones/innergy-electric/soluciones/software/hmi>