



Sensores y Actuadores



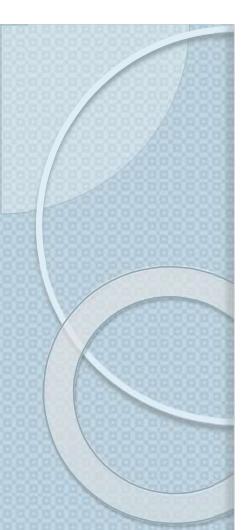
Sistemas de  
Medición y Control



# Introducción

En la actualidad existen diferentes procesos para la fabricación, transformación y terminación de productos, por ejemplo:

- Fabricación de productos derivados del petróleo.
- Productos alimenticios.
- Industria automovilística.
- Centrales generadoras de energía eléctrica.
- Tratamientos térmicos.
- Industria de los semiconductores, etc.



# Introducción

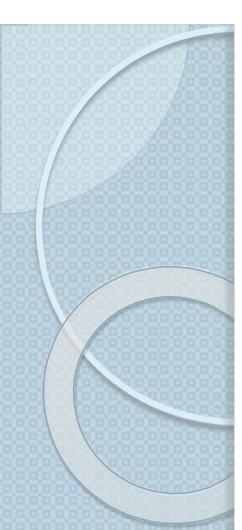
En todos estos procesos requieren el control y la medición de magnitudes como:

- Presión
- Caudal
- Nivel
- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Velocidad
- Humedad
- Punto de rocío, etc.



# Introducción

- Para satisfacer las necesidades de control y automatización de los procesos, se utilizan instrumentos de: medición, control, registro y automatización.
- Permiten conocer que está sucediendo en un determinado proceso industrial.
- Liberan al operador de las acciones manuales que realizaban en los procesos industriales.

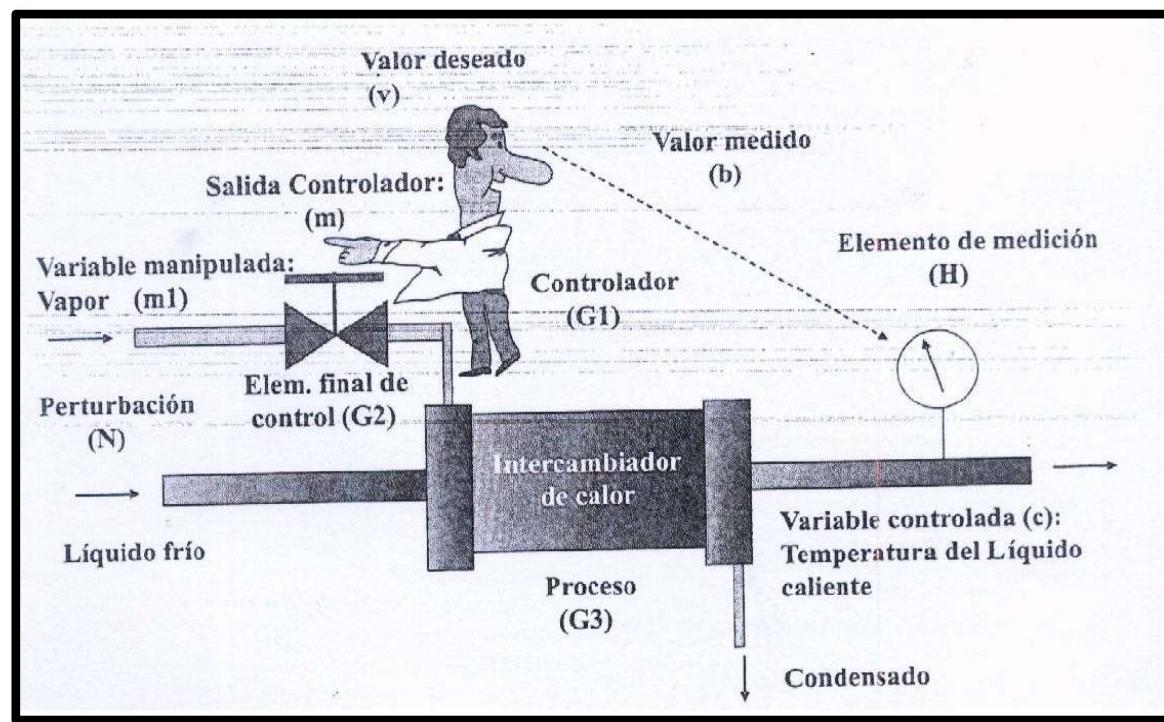


# Introducción

- En los inicios de la era industrial, los procesos se llevaban a cabo con un control manual de estas variables utilizando instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., accionadas generalmente por un operador ya que para el control era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos.
- El personal fue liberado de las tareas de actuación en la planta y estos pasaron a tareas de supervisión en salas de control o en la misma línea de producción.

# Introducción

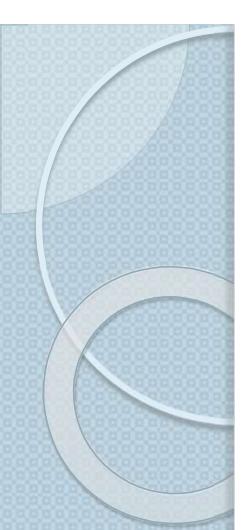
- La alta tecnología utilizada en la instrumentación y control permitió fabricar productos de alta complejidad, manteniendo un estándar de calidad estable minimizando de esta forma el rechazo de los mismos por no conformidades o fallas.





# Instrumentación y Medición

- **Instrumentación:** Es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden cantidades físicas ó químicas con el objeto de obtener información para su archivo, evaluación ó actuación sobre los Sistemas de Control.
- **Medición:** Comparar una cantidad con su respectiva unidad con el fin de averiguar cuantas veces la segunda está contenida en la primera.



# Instrumentación y Medición

Entre las variables mas medidas en los procesos tenemos:

- Presión.
- Nivel.
- Temperatura.
- Flujo.
- Densidad.
- Variables de análisis químico.



# Control de Procesos

- **Objetivo:** Mantener la variable física, en una referencia predeterminada o dentro de un rango específico, sin importar que haya fluctuaciones o perturbaciones.
- **Aplicaciones:** Reactores, tratamientos de aguas, control por lotes, etc.
- Su importancia radica entre otras cosas en el aumento de seguridad, facilidad de operación y la rentabilidad que provee



# Control de Procesos

- **Seguridad:** Permite que un proceso sea inherentemente seguro.
- **Facilidad de operación:** Permite o facilita la operación de los equipos por parte del personal.,
- **Rentabilidad:** Permite maximizar la calidad y cantidad de los productos, y al mismo tiempo minimiza el consumo de energía.

# Terminología

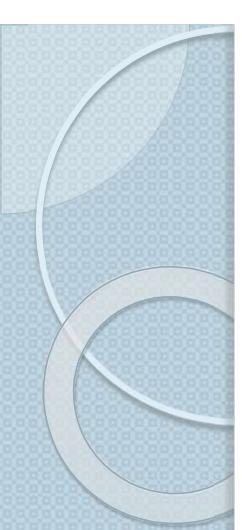
## PLANTAS

- Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular.

## PROCESO

- Desde el punto de vista de la producción, un proceso es un lugar donde se juntan materiales y, la mayoría de las veces, energía para producir un producto deseado.
- Desde el punto de vista del control, el significado es mas específico, se identifica como aquella o aquellas variables asociadas cuyos valores resulta importante conocer y controlar.





# Terminología

- **SISTEMAS**

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico.

- **PERTURBACIONES O RUIDO**

Una 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, entanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema.

- **VARIABLE CONTROLADA Y VARIABLE MANIPULADA**

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado.



# Control de Procesos

En casi todas las industrias existe algunas de estas situaciones que requieren de lo que se conoce como instrumentación y control:

- Mantener una variable lo más cerca de un valor especificado, o dentro de un rango fijado.
- Determinar si una variable está cerca o ha superado un valor considerado crítico para el proceso o riesgoso para las personas y equipos que se encuentran cerca, para producir una acción que evite el problema (como ser: abrir una válvula de alivio o de agua de refrigeración).



# Control de Procesos

- Realizar acciones de producción en función de equipos y productos, posiciones, tiempos, estados (Ejemplo: cerrar una válvula de llenado en una envasadora alcanzando un cierto nivel).
- Pasar a una siguiente etapa de producción si se alcanzaron algunos valores de determinadas variables o se cumplieron pasos anteriores del proceso.



# Control de Procesos

En resumen, para poder realizar control sobre un proceso de una planta determinada, es necesario realizar tres operaciones:

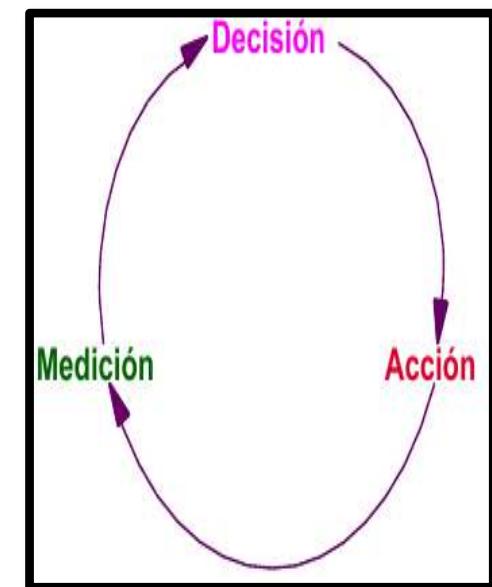
- **MEDIR**
- **COMPARAR (PENSAR Y DECIDIR)**
- **ACTUAR**

# Lazo de Control

- Se denomina **Lazo de Control** al conjunto de instrumentos conectados, configurados, calibrados y sintonizados con la función de controlar un proceso.
- Para mantener las variables, el lazo de control debe comparar el valor de la variable controlada con el valor deseado.
- Decisión.
- Corregir de acuerdo al error sin que el operario intervenga.

## TIPOS DE LAZOS DE CONTROL

- Abierto
- Cerrado

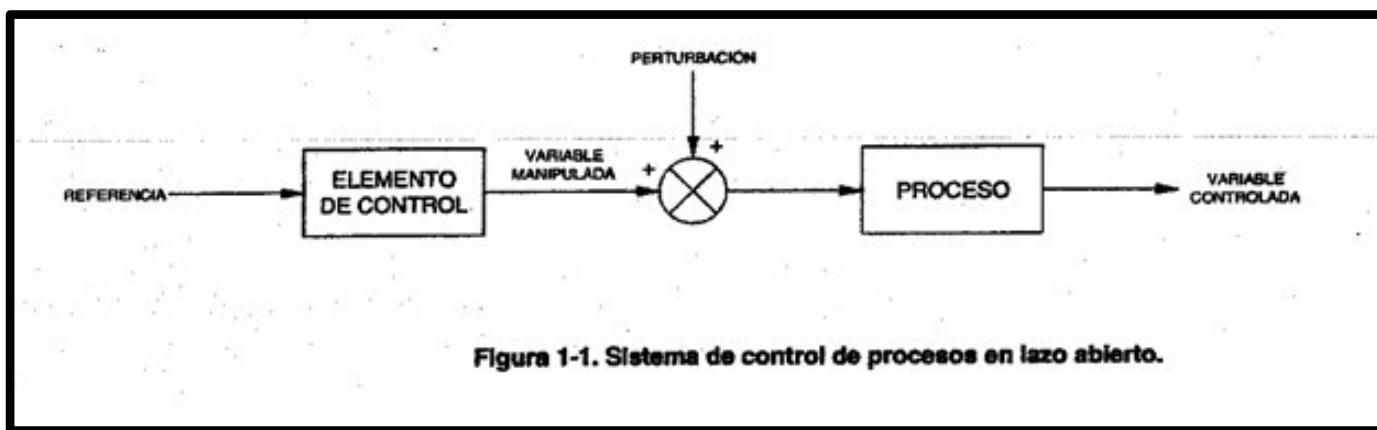


# Lazo Abierto

- **Nivel de referencia:** Es el valor deseado de la variable que está siendo controlada.
- **Elemento de control:** Dispositivo que manipula una variable que tiene influencia directa sobre la variable controlada.
- **Perturbaciones:** Condiciones variantes que causan que la variable controlada se aleje del nivel de referencia.
- **Proceso:** Es una operación o secuencia de operaciones que involucran un cambio en la variable controlada.
- **Variable controlada:** Es una función de la variable manipulada y de las perturbaciones.

# Lazo Abierto

- La desventaja del control en Lazo Abierto es que el valor real de la variable controlada no se toma en cuenta. Si existen perturbaciones que ocasionen que la variable controlada se aleje del nivel de referencia, no se toma ninguna medida que corrija la desviación. Debido a esto, este tipo de sistema, es usado en aplicaciones en las cuales los requerimientos de control sobre la variable no son críticos.
- La principal desventaja del lazo abierto es la pérdida de exactitud.

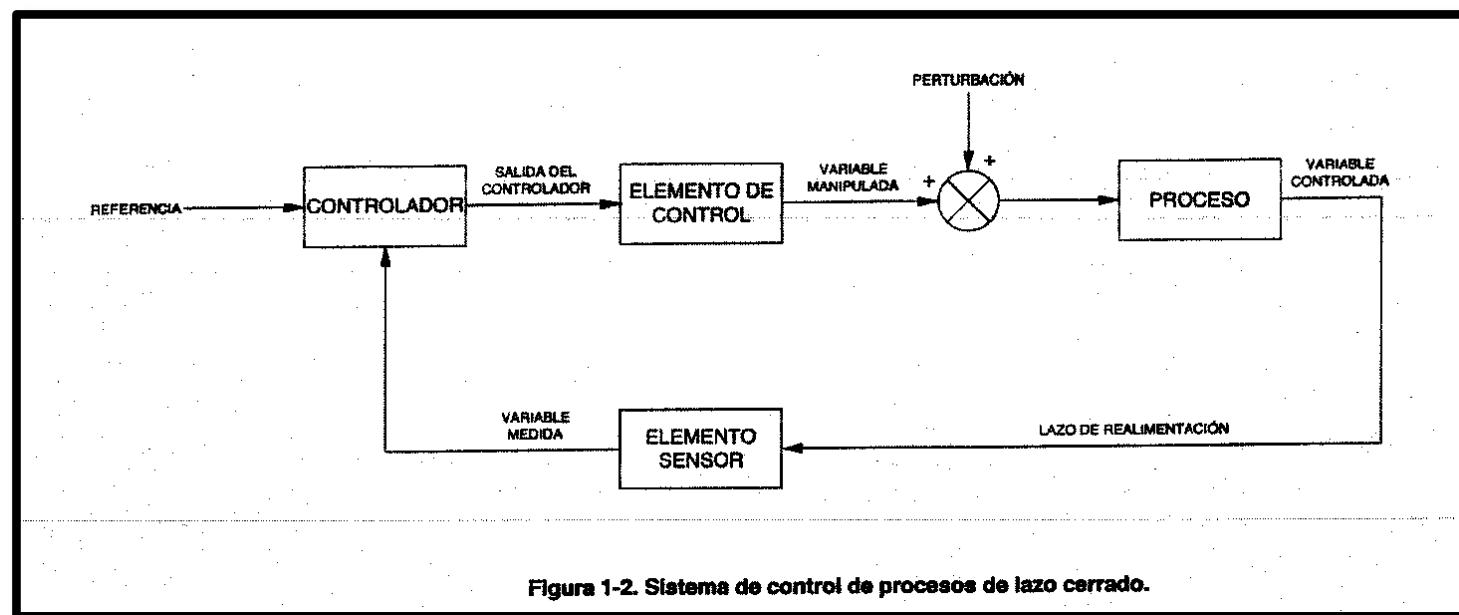


# Lazo Cerrado

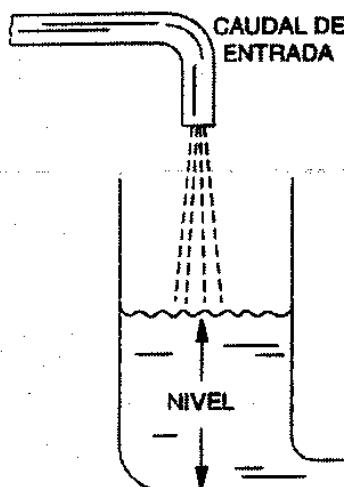
- En lazo cerrado, un controlador y un lazo de realimentación son adicionados al sistema.
- **Lazo de realimentación:** Contiene un sensor que mide el valor real de la variable controlada y genera una señal proporcional, la cual es enviada devuelta al controlador.
- **Controlador:** Compara el nivel de referencia con la variable medida y corrige cualquier diferencia entre los dos, reajustando el elemento de control hasta que el lazo alcance un estado de equilibrio llamado estado estable.
- Debido a que usa un controlador y un lazo de realimentación, el sistema puede medir y corregir las variaciones en la variable controlada causadas por las perturbaciones. Por esta razón el lazo cerrado provee una regulación más exacta de la variable controlada.

# Lazo Cerrado

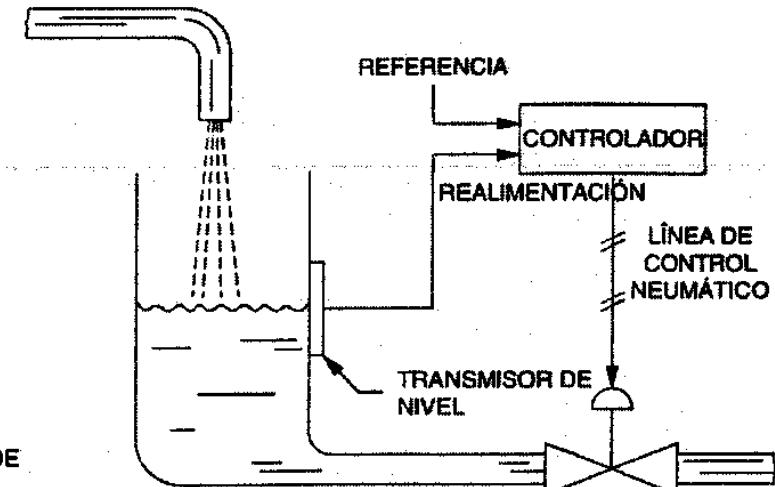
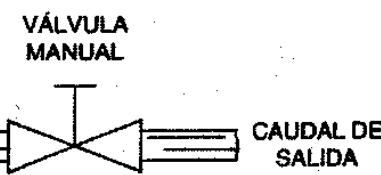
- Este es un sistema que se ajusta permanentemente para lograr una señal de error lo mas cercana posible a cero.



# Ejemplo Lazos de Control



(a) Modo lazo abierto



(b) Modo lazo cerrado



# Ejemplo Lazos de Control

- **Objetivo:** Mantener un cierto nivel del líquido en el tanque. La variable controlada es el nivel de líquido en el tanque. La variable manipulada es el caudal de líquido que sale del tanque. En el control del lazo abierto, el elemento de control es una válvula manual. En el sistema en lazo cerrado el elemento de control es una válvula neumática.
- En el control del lazo abierto, la apertura de la válvula es ajustada inicialmente de forma que el caudal de salida mantenga un cierto nivel del líquido en el tanque. Pero, si por algún motivo cambia algún parámetro que afecte el caudal de salida, el nivel del líquido cambiará.
- De modo que el sistema se encuentra operando en modo de lazo abierto, no puede medir y corregir los errores en el nivel del líquido. El operador tendrá que supervisar el nivel y reajustar la salida de la válvula continuamente para mantener el nivel en el valor deseado, lo cual resulta engorroso y puede llevar a resultados imprecisos.
- En el control del lazo cerrado, un transmisor de nivel provee a un controlador con una señal proporcional al nivel del líquido. El controlador compara esta señal con el nivel de referencia y corrige cualquier diferencia entre los dos, modificando la apertura de la válvula hasta que el lazo alcance el estado estable.

- **INSTRUMENTACIÓN Y CONCEPTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL**

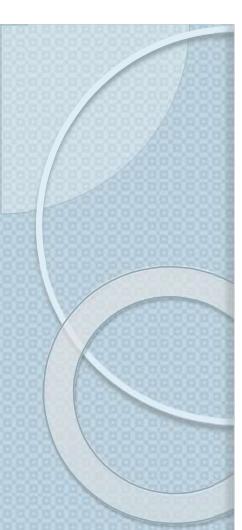
**PARTE 2**



# Instrumentación

- **Concepto:**

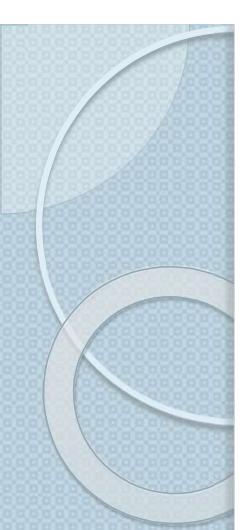
La instrumentación es la técnica de utilizar aparatos de medición o de medición y control con el propósito de identificar el valor de ciertas variables (físicas o químicas), frecuentemente con el propósito de mantener esas variables dentro de limitaciones.



# Instrumentación

## Importancia.

- Los instrumentos realizan las actividades de medición y control.
- Liberan al hombre de su actuación física directa en procesos industriales.
- Permiten la labor de supervisión y vigilancia del proceso de salas de control ubicadas a cierta distancia del proceso.
- Permiten la fabricación de productos complejos, de mejor calidad, en menor tiempo y con menor costo. Su importancia es principalmente de orden económico, seguridad y confort humano.



# Instrumentación

- Ventajas de un proceso bien instrumentado.
  1. **Ahorro de material y tiempo.** Ya que puede mantener mejor la consistencia y calidad del producto y por tanto se ahorra materia prima. Se reducen costos, y esto permite competir a base de calidad y precio.
  2. **Computo de costos.** Con instrumentos que miden la cantidad de material utilizado.
  3. **Seguridad de la planta.** En áreas de peligro (fuego, gases tóxicos, explosiones), los instrumentos pueden detectar el peligro inminente de esta situación y activar sistemas de emergencia.
  4. **Actuación instantánea.** Los instrumentos actúan coordinada e instantáneamente, y gracias a todo esto pueden existir procesos complejos de múltiples variables. Esto es imposible realizarlo en forma manual.
  5. **Permite observar el estado de aparatos y máquinas.**



# Instrumentación

## Campos de aplicación:

- Procesos industriales.
- Transporte.
- Campo militar.
- Medicina.

# Conceptos de medición y control

- **Medida:**

Es un número (real, complejo, vector, etc.) que expresa la relación entre una cantidad y la unidad utilizada para medirla. El valor exacto de una medida no es posible precisarlo rigurosamente (consecuencia del principio de incertidumbre de Heisenberg), por lo que toda medida debe ir acompañada de un valor que indique la incertidumbre o error con la que fue determinada.

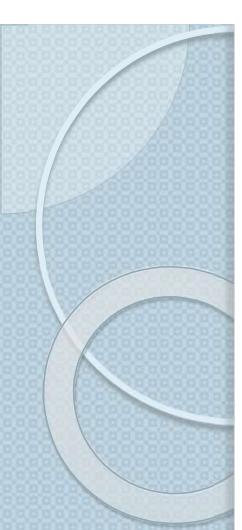
# Conceptos de medición y control

## ● Medición.

- ❖ Es la determinación de una medida. Una medición puede ser realizada, por comparación (directa o indirecta), con cantidades cuyas unidades son las unidades básicas o estándares del sistema de unidades utilizado.
- ❖ Para la realización de una medición se utiliza un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una cantidad o variable.

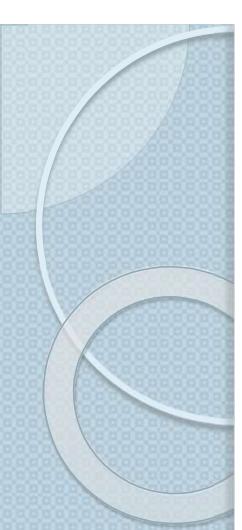
# Conceptos de medición y control

- **Instrumento o sistema de medición:**
  - ❖ Es uno o más dispositivos de medición conectados de forma tal de poder realizar una medición completa.
  - ❖ Un dispositivo de medición consta de uno o más elementos básicos, además de otros componentes, para conformar una unidad encargada de ejecutar una o más operaciones de medición.



# Errores en la medición

- **ERROR.**
- Cuando alguien mide algo, debe tener cuidado para no producir una perturbación en el sistema que está bajo observación.
- Toda medición es una aproximación al valor real y por lo tanto siempre tendrá asociada una incertidumbre.



# Errores en la medición

- La existencia de diversos patrones de medida para una misma magnitud, ha creado dificultades en las relaciones internacionales de comercio, en el intercambio de resultados de investigaciones científicas, etc.
- Actualmente se reconoce al Sistema Internacional (SI) de Unidades como un sistema universal y su aplicación se está extendiendo gradualmente a todos los países y campos de la ciencia y la ingeniería.



# Errores en la medición

En el SI se reconocen siete unidades básicas:

- Unidad de tiempo.
- Unidad de longitud.
- Unidad de masa.
- Unidad de intensidad de corriente eléctrica.
- Unidad de temperatura termodinámica.
- Unidad de cantidad de sustancia.
- Unidad de intensidad luminosa.



# FUENTES DE INCERTIDUMBRE.

- Todas las mediciones tienen asociada una incertidumbre que puede deberse a los siguientes factores:
  - ❖ La naturaleza de la magnitud que se mide.
  - ❖ El instrumento de medición.
  - ❖ El observador.
  - ❖ Las condiciones externas.



# FUENTES DE INCERTIDUMBRE.

- Es posible clasificar las fuentes de incertidumbres en dos conjuntos bien diferenciados:
  - ❖ Errores accidentales o aleatorios.
  - ❖ Errores sistemáticos.



# ANÁLISIS DE ERROR

- Toda medición está acompañada de un error inherente, el cual se debe estimar para establecer que tan confiable es la medición realizada.
- Una buena estimación del error en una medición no se puede realizar si no se conoce cuáles son las fuentes que lo ocasionan, y cuál es el impacto que tiene cada una de ellas en dicha medición.
- Por otra parte, del conocimiento de las fuentes de error se pueden trazar estrategias de modo de minimizarlo o compensarlo.

# Formas de expresar el error en una medición.

Existen dos formas de expresar el error total en una medición.

- **Error absoluto:** Es la diferencia entre el valor verdadero de la magnitud  $V_r$ , y el valor obtenido por la medición  $V_m$ .

$$\varepsilon_a = |V_m - V_r|$$

- **Error relativo:** Es la razón entre el error absoluto, y el valor verdadero de la magnitud. El error relativo nos indica que tan grande es el error comparado con la magnitud medida.

$$\varepsilon_r = \left| \frac{\varepsilon_a}{V_r} \right|$$



# Estimación del error total en una medición.

- Típicamente una medición completa involucra la utilización de varios instrumentos, cada uno de los cuales contribuye con su inexactitud en el error total de la medición.
- Para el cálculo del error total en una medición se debe conocer el aporte individual de cada una de las fuentes de error significativas. Son dos los valores teóricos que interesa calcular referentes al error: el error máximo y el error probable.



# Error máximo en una medición.

- Matemáticamente, una medición puede ser definida como una función en la que están involucradas varias variables, cada una aportando un error, es decir:

$$y = f(x_i)$$

- Donde:

y : medición

$x_i$  : variables medidas o valores constantes  
aportando error.

# Error máximo en una medición.

- Si "y" es una función suave (continua en el tiempo), entonces el error absoluto en "y" ( $\Delta y$ ), se puede calcular conociendo los errores absolutos de las variables de las que depende "y", a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_1} \right| \cdot |\Delta x_1| + \left| \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_2} \right| \cdot |\Delta x_2| + \dots + \left| \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_n} \right| \cdot |\Delta x_n|$$

- Donde:  
 $x_i$  : Error absoluto de la variable  $x_i$

# Error máximo en una medición.

- El error relativo en la medición de "y" ( $\Delta y/y$ ), se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{\Delta y}{y} = \left| \frac{\partial \ln f(x_1)}{\partial x_1} \right| \cdot |\Delta x_1| + \left| \frac{\partial \ln f(x_1)}{\partial x_2} \right| \cdot |\Delta x_2| + \dots + \left| \frac{\partial \ln f(x_1)}{\partial x_n} \right| \cdot |\Delta x_n|$$

- Es importante resaltar, que las ecuaciones anteriores se utilizan para calcular el error máximo en una medición, y que las mismas son sólo una aproximación válida cuando los errores individuales son muy pequeños.

# Error probable en una medición.

- Como los instrumentos no tienen al mismo tiempo su error máximo en todas las circunstancias de la medida, suele tomarse como error probable de una medición la raíz cuadrada de la suma algebraica de los cuadrados de los errores máximos de cada instrumento.

$$\varepsilon_p = \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}$$

# Factores que afectan la medición

- Rango de medición:

- ❖ Es el espectro de valores de la variable medida comprendido entre dos límites, dentro de los cuales, es recibida, transmitida, o indicada la señal.
- ❖ Al límite alto del rango de medición se le denomina **rango superior (RS)**, mientras que al límite bajo del rango de medición se le denomina **rango inferior (RI)**.
- ❖ Un instrumento no necesariamente puede ser calibrado en un rango de medición único

# Factores que afectan la medición

- **Alcance (*span*)**: El alcance del instrumento se define como el RS menos el RI.

Span = Rango Superior - Rango Inferior

**Ejemplo:**

Para un rango de 0 - 1000 psi el Span es 1000 psig.



# Factores que afectan la medición

- **Variabilidad del rango:**

- ❖ La variabilidad del rango de un instrumento, se define como la relación entre el valor máximo que puede medir y el valor mínimo que puede medir. Por ejemplo, un indicador de flujo que tenga una variabilidad del rango de 3:1, indica que el máximo caudal que puede medir es tres veces mayor que el mínimo.



# Factores que afectan la medición

- **Resolución:**

- ❖ El menor intervalo entre dos valores discretos adyacentes que pueden ser distinguidos uno del otro.

**Ejemplo:**

Una regla milimetrada tiene una resolución de un milímetro.

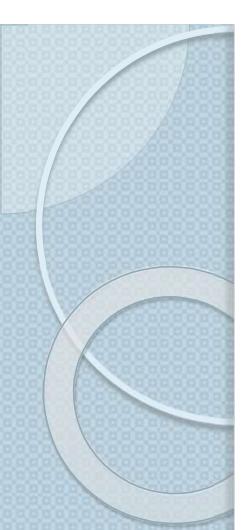
# Exactitud y Precisión

- En la Figura 1 se representan los errores sistemáticos y los errores aleatorios. Los centros de los círculos indican la posición del valor que se quiere medir y las cruces indican los valores de varias mediciones. La dispersión de los puntos se asocia a la precisión, mientras que su centro efectivo (centroide) está asociado a la exactitud.

# Exactitud y Precisión

- El conjunto de medidas representa una medición
  - ❖ precisa pero inexacta.
  - ❖ más exacta y con la misma precisión.
  - ❖ menos precisa y menos exacta.
  - ❖ más exacta pero menos precisa.





# Exactitud y Precisión

- **Exactitud:**

- ❖ La exactitud indica los resultados de la proximidad de la medición con respecto al valor verdadero.
- ❖ Existen varias formas de estimar la exactitud de un Instrumento.

# Exactitud y Precisión

a) Basada en el valor más alejado:

$$\text{Exactitud} = \pm |V_{\text{m más alejado}} - V_r|$$

b) Basada en la desviación promedio:

En este caso se calcula la desviación promedio de todas las mediciones tomadas y se expresa como la exactitud:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

$$d_i = |V_{\text{medido}} - V_r|$$

n = Número de mediciones

$$\text{Exactitud} = \pm d$$

# Exactitud y Precisión

## c) Basada en la desviación estándar:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n - 1}}$$

$$X_i = (e_i - e_{\text{prom}})$$

$e_i$  = Error en la medición i-ésima

$e_{\text{prom}}$  = Error promedio de las mediciones

$$\text{Exactitud} = \pm (\bar{e} + k \cdot \sigma)$$

Donde k es un valor entre 1 y 3, siendo k=1 cuando se está tomando como referencia el 68 % de la muestra, para k=2 se está tomando el 95% y para k = 3 el 99,7%.



# Exactitud y Precisión

- **FORMAS DE EXPRESAR LA EXACTITUD.**

- a) **Porcentual con respecto al alcance:**

En este caso la exactitud representa el límite del error absoluto que se puede cometer en la medición, en cualquier punto del rango de medición del instrumento, expresado en términos porcentuales con respecto al span.

# Exactitud y Precisión

- EJEMPLO

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

Rango: 200 °C a 400 °C

Exactitud:  $\pm 0,5\%$  del Span.

V<sub>m</sub>: 300 °C

Calcular entre qué valores puede estar comprendido el valor real.

Solución:

$$\text{Span} = \text{RS} - \text{RI} = 400^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C} = 200^\circ\text{C}.$$

$$\text{Exactitud} = \pm 0,5\% \text{ de } 200^\circ\text{C} = \pm 1^\circ\text{C}$$

El valor real debe estar comprendido entonces entre  $(300 - 1)$  y  $(300 + 1)^\circ\text{C}$ , es decir:  **$299^\circ\text{C} < V_r < 301^\circ\text{C}$** .



# Exactitud y Precisión

## b) Porcentual con respecto al rango superior:

- ❖ En este caso la exactitud representa el límite del error absoluto que se puede cometer en la medición, en cualquier punto del rango de medición del instrumento, expresado en términos porcentuales con respecto al RS de medición.

# Exactitud y Precisión

## EJEMPLO:

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

Rango: 200°C a 400°C

Exactitud:  $\pm 0,5\%$  del RS.

V<sub>m</sub>: 300 °C

Calcular entre que valores puede estar comprendido el valor real.

## Solución:

Exactitud =  $\pm 0,5\%$  de 400 aC =  $\pm 2^\circ\text{C}$

El valor real debe estar comprendido entonces entre (300 - 2) y (300 + 2) aC, es decir: **298 °C < V<sub>r</sub> < 302 °C**.



# Exactitud y Precisión

## c) Porcentual con respecto al valor medido:

- ❖ En este caso la exactitud representa el límite del error absoluto que se puede cometer en la medición, en cualquier punto del rango de medición del instrumento, expresado en términos porcentuales con respecto al valor medido. Debe notarse, que en este caso el error absoluto no es constante a lo largo de todo el rango de medición, sino más bien depende del valor del medido.



# Exactitud y Precisión

## EJEMPLO

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

Exactitud:  $\pm 0,5\%$  del  $V_m$ .

$V_m: 300^{\circ}\text{C}$

Calcular entre qué valores puede estar comprendido el valor real.

## Solución.

Exactitud =  $\pm 0,5\%$  de  $300^{\circ}\text{C} = \pm 1,5^{\circ}\text{C}$  El valor real debe estar comprendido entonces entre  $(300 - 1,5)$  y  $(300 + 1,5) ^{\circ}\text{C}$ , es decir:

$$298,5^{\circ}\text{C} < V_r < 301,5^{\circ}\text{C}.$$



# Exactitud y Precisión

## d) En unidades de la variable medida:

- ❖ En este caso la exactitud representa el máximo error absoluto que puede ser cometido en la medición, para cualquiera que sea el valor medido, y expresado en unidades de la variable medida.



# Exactitud y Precisión

## EJEMPLO

Considere un instrumento que tiene las siguientes características:

Exactitud:  $\pm 3^\circ\text{C}$

Vm:  $300^\circ\text{C}$

Calcular entre qué valores puede estar comprendido el valor real.

## Solución.

El valor real debe estar comprendido entonces entre  $(300 - 3)$  y  $(300 + 3)^\circ\text{C}$ , es decir:  $297^\circ\text{C} < V_r < 303^\circ\text{C}$ .



# Exactitud y Precisión

- **Precisión:**

- ❖ Indica los resultados con respecto a la repetitividad de la medida.
- ❖ A diferencia de la exactitud, la precisión indica la dispersión entre sí, de los valores medidos, más no la diferencia entre los valores medidos y los valores reales.



# Exactitud y Precisión

- **Formas de estimar la precisión.**
  - a) **Basada en los valores más alejados entre sí:**
    - ❖ En este caso se toma la máxima diferencia obtenida entre dos lecturas.

# Exactitud y Precisión

- Basada en la desviación estándar:

- ❖ En este caso se calcula la desviación estándar de las lecturas con respecto a la lectura promedio, recorriendo la escala en sentido ascendente y en sentido descendente. De los dos valores de desviación estándar obtenidos, se toma el peor (el mayor).
- ❖ La fórmula para calcular la precisión, basada en la desviación estándar es:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n-1}}$$

$$X_i = (V_m - V_{m(\text{promedio})})$$



## 😊 **EJEMPLO 5.1.**

La siguiente Tabla muestra un ejemplo del uso de la terminología asociada al rango y al alcance.

Tabla 5.1. Características relacionadas con el rango,

RANGOS TIPICOS	NOMBRE	RANGO	RI	RS	SPAN	DATOS ADICIONALES
-----  0 100	----	0 a 100	0	100	100	----
--- -----  -25 0 100	Cero elevado	-25 a 100	-25	100	125	Factor de elevación = 0,2
-----  20 100	Cero suprimido	20 a 100	20	100	80	Factor de supresión = 0,25
-----  -100 0	Cero elevado	-100 a 0	-100	0	100	Factor de elevación = 1
-----  -100 -20	Cero elevado	-100 a -20	-100	-20	80	Factor de elevación = 1,25

# Factores que afectan la medición

## EJEMPLO

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

- Diafragma 2%
- Transmisor electrónico de 4-20 mA c.c. 0,50%
- Receptor electrónico 0,50%
- Integrador electrónico 0,50%

Calcular el error total

