

Sobre la medición

Concepto e incertidumbre. ¿Por qué medir? Los sensores. Medición de temperatura. Contenido de agua en materiales.

Concepto e incertidumbre

Referencia

Alessandro Ferrero and Simona Salicone (Dipartimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano, Italia). *Measurement Uncertainty*. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. June 2006.

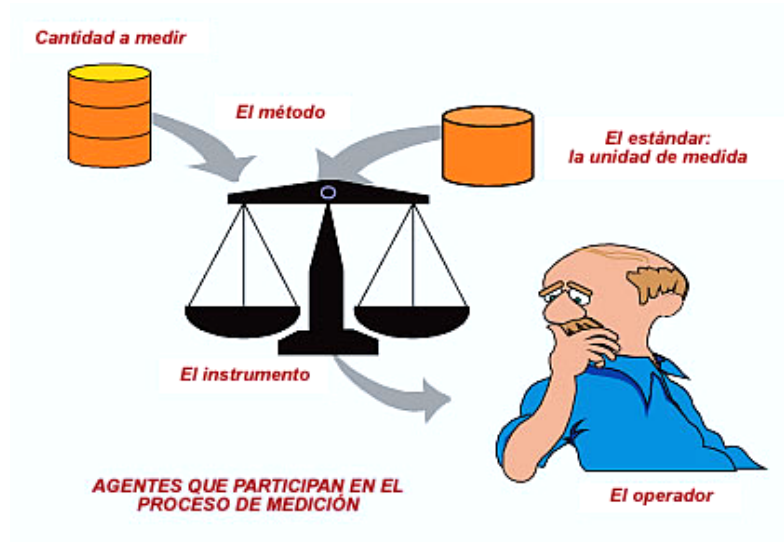
Se trata de un tutorial (manual de instrucción) con las definiciones fundamentales de la ciencia de la medición y los métodos empleados para calificar el resultado de una medición desde el punto de vista de la metrología.

El concepto de medición

La medición es el puente entre el mundo empírico de un fenómeno y el mundo abstracto de los conceptos y el conocimiento. La medición de una cantidad física es definida como *la comparación cuantitativa de esta cantidad con otra, la cual es homogénea con la que va a ser medida, y es considerada como la unidad de medida.*

Agentes en la medición

Son requeridos cinco conceptos, y sus respectivos agentes, en la medición.



Agentes y conceptos en la medición

Agente	Concepto
Cantidad o parámetro físico a	Propiedad de un objeto físico, usualmente descrita por un modelo matemático.

Agentes y conceptos en la medición	
Agente	Concepto
medir	
Estándar	La concreción física de la unidad de medida.
Instrumento	El dispositivo físico que sirve para efectuar la comparación.
Método	La comparación entre la cantidad a medir y el estándar. Es variable según el fenómeno de que se trate.
Operador	La persona que maneja y supervisa los dispositivos de medición y lee los instrumentos.

Si bien los conceptos anteriores son derivados y usados en cantidades físicas, también se consideran aplicables a la medición de cantidades no físicas (como por ejemplo, métricas de software, aseguramiento de la calidad, o satisfacción de clientes).

Incertidumbre en la medición

No sólo hay que efectuar la medición. También hay que esforzarse en que la medición sea *tan buena como sea posible*. A este propósito se orienta la identificación de las incertidumbres en el proceso, y el origen de sus ocurrencias.

Agentes e incertidumbres en la medición	
Agente	Incertidumbres
Cantidad o parámetro físico a medir	Conocimiento incompleto del comportamiento del objeto y de sus propiedades. Modelo matemático insuficientemente representativo. Estado del objeto en el momento de la representación (puede ser perturbado).
Estándar	La unidad de medida puede ser una buena aproximación, la misma que se traslada a la medición misma.
Instrumento	Sus componentes puede que no sean los ideales. Pueden ser susceptibles a interferencias de ruidos. O ser influenciados por condiciones ambientales. No siempre están calibrados. O estar afectados por el tiempo y el uso.
Método	Se hace la exploración y la medición asumiendo la ocurrencia de un fenómeno único, pero ésta puede también ser influenciada por la ocurrencia de otros fenómenos.
Operador	El valor <i>verdadero</i> puede afectarse por falta de entrenamiento del operador, por una incorrecta lectura de los instrumentos, o un mal procesamiento de los resultados. Diferentes operadores podrían obtener

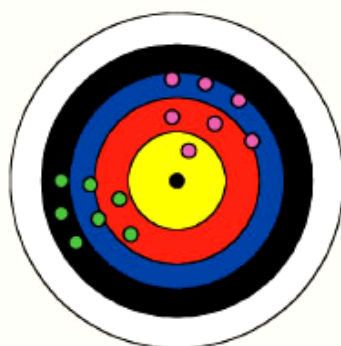
Agentes e incertidumbres en la medición

Agente

Incertidumbres

resultados distintos.

De acuerdo a esto, cada medición que se realice lleva consigo un cúmulo de incertidumbres que conducen a considerar que no sería posible encontrar el *verdadero* valor de la medición. O que un solo valor (proveniente de una medición) no puede constituir la *mejor medida posible*. Debe existir entonces, una forma de resolver la necesidad técnica de encontrar una representación cuantitativa -y correcta- del fenómeno que se quiere estudiar (o de la opinión que se quiere emitir). De ahí que los esfuerzos deben dirigirse a cuantificar cuán incompleto es el conocimiento que proporciona la medición, y utilizar herramientas matemáticas apropiadas para manejarla.



NINGUNA MEDICIÓN PUEDE ASEGURAR HABER ACERTADO EN EL VALOR "VERDADERO"

La *incertidumbre* es definida como un atributo cuantificable de la medida que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente podrían ser atribuidos a la medición. Cuando todos los componentes de error han sido evaluados y efectuadas las correcciones apropiadas, aún permanece una incertidumbre sobre la *exactitud* de los resultados.

Para que la medición de la incertidumbre se defina como un

objeto matemático, se requiere que: (1) el método para evaluar la incertidumbre debe ser universal, (2) la cantidad real para expresar la incertidumbre debe ser internamente consistente y transferible, y (3) debe ser capaz de proveer un intervalo de confianza.

La organización internacional ISO, junto con otras entidades, ha publicado una *Guía para la Expresión de Incertidumbres en Medición* (GUM).

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML (1995) *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* 2nd edn ISBN 92-67-10188-9.

El concepto de incertidumbre en esta guía es definido de la siguiente manera. *Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores que han sido atribuidos a una medición, basado este parámetro en la información derivada de la evaluación experimental, y también de otra información (por ejemplo, la experiencia)*. En consecuencia, reconoce dos tipos de evaluación de la incertidumbre de la siguiente manera.

Evaluación tipo A Basada en la evaluación de la información experimental, a la cual se ajusta una distribución estadística que permite caracterizar la dispersión en base al valor medio y la desviación estándar. La experimentación es repetida bajo las mismas condiciones.

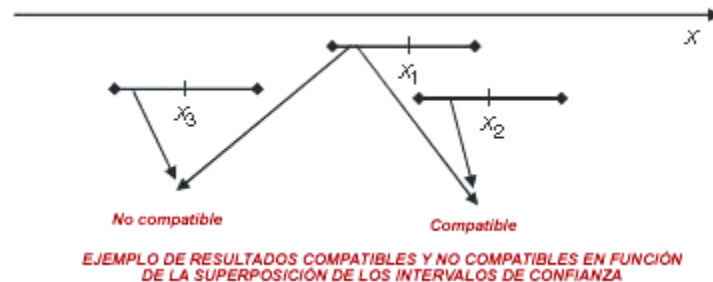
Evaluación tipo B A la información estadística se incorpora otro tipo de información proveniente de la experiencia u otra. Es el caso de la imposibilidad de repeticiones experimentales, o cuando el intervalo de confianza se conoce a priori (por ejemplo, en base a la calibración).

Calibración

La calibración es el procedimiento que permite la comparación del resultado de una medida con el valor estándar. Especialmente por sus implicancias comerciales, numerosos países como organizaciones internacionales, han suscrito un acuerdo de mutuo reconocimiento (MRA). "Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes," CIPM, Sèvres, France, 1999. Esto simplifica el reconocimiento de estándares nacionales.

El método directo para la calibración consiste en comparar la medición con otra proveniente de un dispositivo que cuenta con el valor estándar. Sin embargo, la falta de disponibilidad de tal dispositivo y la espera consiguiente, dificultan este método.

El otro método corresponde a la comparación con otro dispositivo previamente calibrado. La incertidumbre de este último puede ser *trazada* en una cadena no interrumpida de dispositivos calibrados hasta llegar al estándar. Esta cadena tiene sus enlaces en eslabones que deben ser calificados de *compatibles* según su superposición de intervalos de confianza.



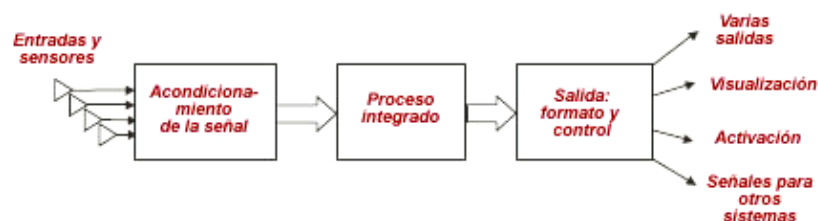
¿Por qué medir?

Referencia

Kim R. Flower (Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory) and John Schmalzed (Rowan University, Glassborg, New Jersey). *Why Do We Care About Measurement?* IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. March 2004.

La medición es una necesidad de la sociedad. Es como un lenguaje que le permite interrelacionarse en la vida cotidiana, en casi todos sus aspectos. Necesitamos entonces instrumentos para efectuar esa medición. Algunos más sofisticados que otros, según la exigencia de la medición.

Instrumentación básica



ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

- El sensor detecta el evento físico y hace la transformación de los datos de un dominio a otro (generalmente de una cantidad física a una señal eléctrica).
- En el acondicionamiento y procesamiento, las señales se fusionan, combinan o reducen.
- En la etapa final se efectúa la conversión de los datos en una salida para su visualización o para el uso en otros dispositivos.

Los sensores

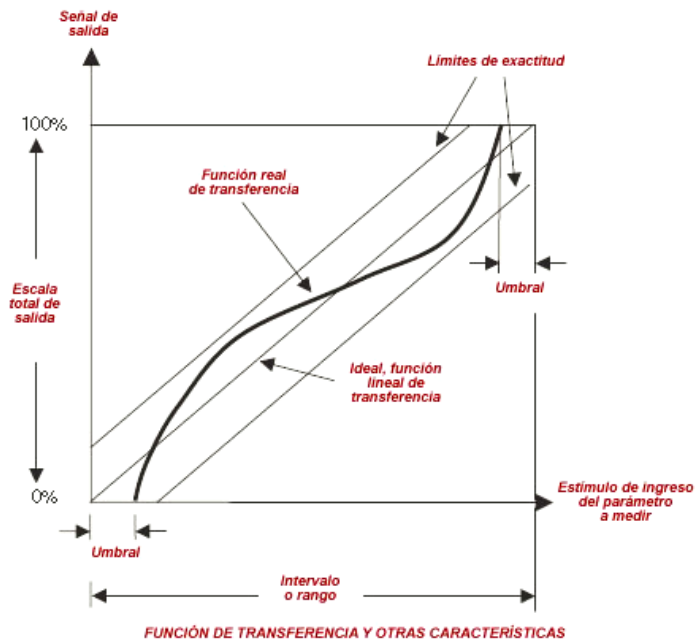
Referencia

Kim R. Flower (Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory) and John Schmalzed (Rowan University, Glassborg, New Jersey). *Sensors: The First Stage in the Measurement Chain*. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. September 2004.

Los transductores cambian una forma de energía en otra. Un subconjunto de transductores son los sensores, que producen una salida eléctrica independientemente del tipo de energía de entrada.

Definiciones

Transductor	Cambia una forma de energía en otra.
Sensor	Produce una salida eléctrica independientemente de la energía de entrada o estímulo.
Cantidad a medir	Parámetro físico de interés. Es el estímulo.
Función de transferencia	Es la relación entre la característica de entrada (o estímulo) y la salida. Define la forma en que la señal eléctrica de salida depende del estímulo de entrada.
Intervalo o rango	El más pequeño y el más grande valor de los estímulos que el sensor encontrará.
Escala total de salida	El máximo recorrido de valores de la señal eléctrica de salida.
Exactitud	La desviación del valor medido (la salida desde el sensor) respecto al <i>verdadero</i> valor de la cantidad a medir.
Resolución	El incremento más pequeño de estímulo de entrada que puede afectar el sensor.
Linealidad	La proporcionalidad de la salida del sensor respecto a la entrada de la cantidad a medir.
Umbral	El mínimo y máximo nivel de detección de entrada, más allá de los cuales el sensor no produce salidas usables.
Histeresis	Dependencia de la respuesta del sensor a entradas previas. El sensor tiene una diferente función de transferencia al incrementarse el estímulo de entrada después de estímulo decreciente.
Ruido	Cada valor fuera del ámbito o dominio de la especificidad del sensor.
Precisión	Variación más pequeña según un límite acordado en la repetición de la medición.
Especificidad	Conversión selectiva de la cantidad a medir y que es relativamente inmune a otras cantidades a medir (como la capacidad de un sensor de presión a rechazar los efectos de temperatura).
Estabilidad	El comportamiento a largo plazo del sensor. O por variaciones del parámetro a medir.



Tipos de sensores según parámetros a medir

Parámetro a medir	Tipo de sensor	Características
Aceleración/fuerza	Strain gauge	Bajo nivel de la señal, necesita acondicionamiento
	Strain gauge semiconductor	Integración de circuito simple. Sensible a la temperatura. Sensible a la fuerza.
	LVDT	Rango de aceleración bajo.
	MEMS	Estructura pequeña. Puede ser integrado con acondicionamiento electrónico de señal.
	Piezoeléctrico	Impedancia alta de salida. Necesita acondicionamiento amplificador de carga.
Desplazamiento	Strain gauge	Bajo nivel.
	LVDT	Usa realimentación para linealizarse.
	De capacitancia	Alta sensibilidad a pequeños desplazamientos
	Potenciómetro	Uso simple. Limitaciones por erosión mecánica.
Flujo	De turbina	Invasivo mecánicamente. Acondicionamiento simple.
	De tubo	Usa transductor de presión.
	Electromagnético	Necesita contacto con fluido conductivo.
	De placa	Por presión diferencial a través de un orificio.
	Ultrasonido	Movimiento de burbuja.
Presión	De intercambio	Diseño y uso simple.
	Strain gauge	Bajo nivel de la señal, necesita acondicionamiento
	De capacitancia variable	Pequeño. No lineal
Temperatura	Termopar o termocupla	Señales de bajo nivel. Rango amplio de temperatura. Linealidad pobre. Barato.
	Termisor	Reostato sensible al calor. Bajo costo. Modesto rango de temperatura. Alta sensibilidad. No lineal.
	Detector de temperatura por resistencia	Exacto. Repetible. Más lineal que los anteriores.
	Semiconductor de silicón	Rango de temperatura restringido. Lineal.

Para cada tipo de sensor se dispone también de su propia clasificación. Así por ejemplo, en el caso de termopares (o termocuplas) se distinguen las siguientes.

Tipos de termopares (o termocuplas), rangos y composición

Tipo	Rango en °C	Composición aproximada
B	0 a 1820	Platino(30%)Rodio : Platino(6%)Rodio
E	-270 a 1000	Cromel : Constantán
J	-210 a 1200	Fierro : Constantán
K	-270 a 1372	Cromel : Alumel
R	-50 a 1768	Platino(13%)Rodio : Platino
S	-50 a 1768	Platino(10%)Rodio : Platino
T	-270 a 400	Cobre : Constantán

Medición de temperatura

Referencia

Thomas J. Bajzek (Engineering Systems Inc., Aurora, Illinois).
Thermocouples: A Sensor for Measuring Temperature. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. March 2005.

El estudio se refiere a un sensor para medir temperatura, de uso muy amplio especialmente en la superficie de estructuras metálicas. La técnica más común es la de extremos separados. Dos alambres de la termocupla o termopar son adheridos a la superficie metálica, la cual completa el circuito termoeléctrico.



Se señalan las siguientes ventajas a este sistema:

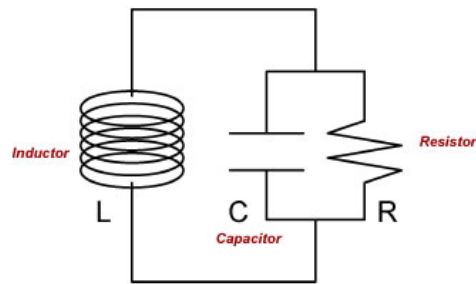
- Los efectos de los alambres del termopar en la temperatura que está siendo medida, son mínimos.
- De juntarse los alambres, podría causar un corto, y la temperatura medida sería en la localización de ese corto, y no en la superficie como es requerido.

Contenido de agua en materiales

Referencia

Justin B. Ong, Zhanping You, Julian Mills-Beale, Ee Lim Tan, Brandon D. Perels and Keat Ghee Ong (Michigan Technological University, Houghton). *A Wireless, Passive Embedded Sensor for Real-Time Monitoring of Water Content in Civil Engineering Materials*. IEEE Sensors Journal, Vol 8, N° 12, December 2008.

En la investigación se estudiaron: (1) las tasas de secado de muestras de arena de diferentes tamaños de grano, (2) la tasa de curado de una losa de concreto durante el vaciado, y (3) la tasa de secado de la losa después de haber sido humedecida. Fue



MODELAJE DEL SENSOR

aplicado un sensor inalámbrico, embebido en diferentes materiales de ingeniería civil. El sensor está compuesto por un arreglo de circuitos LC inductor - capacitor, y fue incrustado en las muestras tal que los contenidos internos de agua puedan ser remotamente medidos con

una antena que sigue los cambios en la frecuencia resonante del sensor. La capacitancia del circuito es proporcional a la constante dieléctrica del medio entre sus electrodos. Como la constante dieléctrica del agua es mucho más alta que la de las muestras, su presencia en éstas incrementa la capacitancia del circuito. El diseño de la experiencia es aplicable al seguimiento en tiempo real del contenido de agua en diferentes materiales y proyectos de ingeniería civil, incluyendo pavimentos. Las proporciones de agua alteran las características mecánicas de la estructura, pudiendo incluso debilitarla.