

The cover slide features a colorful background with icons representing industry, science, and technology. At the top left is the logo of the Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). At the top right is the logo of the Ministerio de Producción y Trabajo, Presidencia de la Nación. A central white box contains the title and speaker information. A small orange box in the upper right corner contains the slogan 'Suma valor a un país de ideas'.

INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

Introducción a la Incertidumbre en Magnitudes Físicas.

Disertantes:

- Téc. Cristian Zarza
- Ing. Silvana Vivas

Suma valor a un país de ideas

The content slide has a white background with a blue and orange border. It includes the same logos as the cover slide. The main content is organized into two sections: 'OBJETIVOS' and 'TEMARIO', each with a list of items. A small orange box with the slogan 'Suma valor a un país de ideas' is positioned at the top left of the content area.

INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Suma valor a un país de ideas

Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

OBJETIVOS

1. Adquirir conceptos y terminología técnica asociadas a la metrología y a la estimación de incertidumbre.
2. Conocer la metodología básica para la evaluación de incertidumbre según lo establecido por la GUM.

TEMARIO

- Definiciones
- Fuentes de Incertidumbre más comunes en calibración de magnitudes físicas.
- Clasificación. Tipo A o Tipo B. Análisis de Variables.
- Distribuciones.
- Expresión de Incertidumbre.
- Ejemplos.

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial








■ VOCABULARIO DE METROLOGÍA

<http://www.bipm.org/en/publications/guides/> → International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial





■ DEFINICIONES

2.3 **Mensurando:** magnitud que se desea medir .

2.41 **Trazabilidad Metrológica:** Propiedad de un resultado de medida por el cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

2.16 **Error de medida:** Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

DEFINICIONES

2.13 **Exactitud de medida:** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

2.15 **Precisión de medida:** Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas

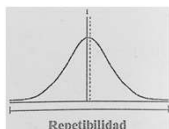
N1: Es habitual que la precisión de una medida se exprese numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación estándar, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas.

N2: Las «condiciones especificadas» pueden ser condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia o condiciones de reproducibilidad.

Repetibilidad y Reproducibilidad

REPETIBILIDAD

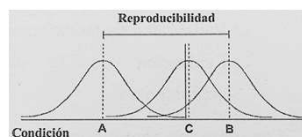
Grado de Concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición.⁽¹⁾



⁽¹⁾ Condiciones de Repetibilidad

REPRODUCIBILIDAD

Grado de Concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian.⁽²⁾



⁽²⁾ Condiciones de Reproducibilidad

Repetibilidad y Reproducibilidad

REPETIBILIDAD	REPRODUCIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • El mismo mensurando • Con el mismo método • En un mismo laboratorio • Por el mismo técnico • Con el mismo equipo, utilizado bajo las mismas condiciones. • Repetición de la medición en un corto intervalo de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • El mismo mensurando • En distintos laboratorios • Por diferentes técnicos. • Con distintos equipos. • Con diferente patrón de referencia. • En diferentes tiempo

DEFINICIONES

No Exacto No Preciso	No Exacto Preciso	Exacto No Preciso	Exacto Preciso

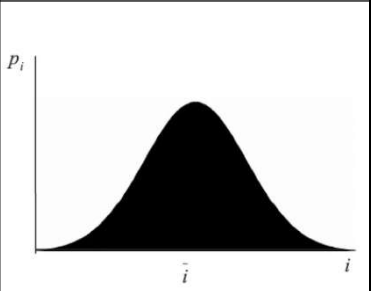
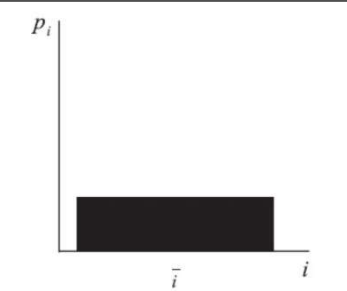
DEFINICIONES

2.9 **Resultado de medida:** conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurando, acompañados de cualquier otra información relevante disponible.

N1: Un resultado de medida contiene generalmente información relevante sobre el conjunto de valores de una magnitud. Algunos de ellos representan el mensurando mejor que otros. Esto pueden representarse como una función de densidad de probabilidad (FDP)

N2: El resultado de una medición se expresa generalmente como un **valor medido** único y una **incertidumbre de medida**. Si la incertidumbre de medida se considera despreciable para un determinado fin, el resultado de media puede expresarse como un único valor medido de la magnitud. En muchos campos ésta es la forma habitual de expresar el resultado de medida.

Distribución de resultados de medida

DISTRIBUCIÓN NORMAL	DISTRIBUCIÓN RECTANGULAR
Se le asigna mayor probabilidad a los valores cercanos a μ	Se le asigna igual probabilidad a todos los resultados dentro del Intervalo.
	

DEFINICIONES

2.26 **Incertidumbre de medida:** parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

Cuando se informa el resultado de una medición, se debe proporcionar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de manera tal que el usuario pueda evaluar su confiabilidad.

Sin esa indicación, los resultados de las mediciones no podrían ser comparados, ni entre sí, ni con respecto a valores de referencia, dados en una especificación.

ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”

7.6 Evaluación de la incertidumbre de medición

7.6.1. Los laboratorios deben identificar las contribuciones a la incertidumbre de medición. Cuando se evalúa la incertidumbre de medición, se deben tener en cuenta todas las contribuciones que son significativas, incluidas aquellas que surgen del muestreo, utilizando los métodos apropiados de análisis.

7.6.2. Un laboratorio que realiza calibraciones, incluidas las de sus propios equipos, debe evaluar la incertidumbre de medición para todas las calibraciones.

7.6.3. Un laboratorio que realiza ensayos debe evaluar la incertidumbre de medición. Cuando el método de ensayo no permite una evaluación rigurosa de la incertidumbre de medición, se debe realizar una estimación basada en la comprensión de los principios teóricos o la experiencia práctica de la realización del método.

▪ ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”

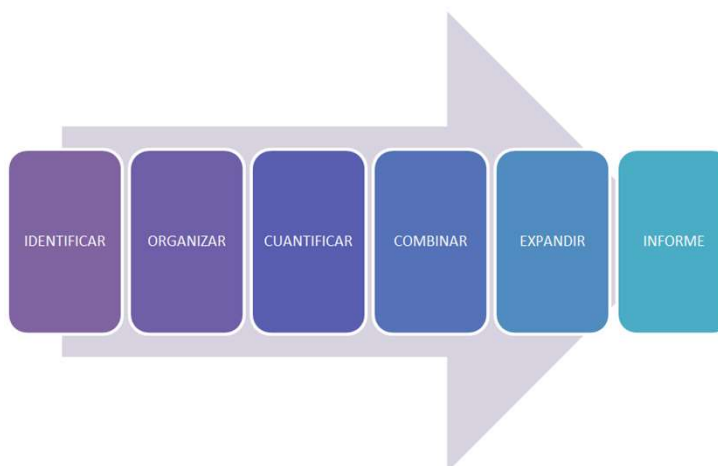
7.6 Evaluación de la incertidumbre de medición



NOTA 1: En los casos en que un método de ensayo reconocido especifica límites para los valores de las principales fuentes de incertidumbre de medición, y especifica la forma de presentación de los resultados calculados, se considera que el laboratorio ha cumplido con el apartado 7.6.3. siguiendo el método de ensayo y las instrucciones relativas a los informes.

NOTA 2: Para un método en particular en el que la incertidumbre de medición de los resultados se haya establecido y verificado, no se necesita evaluar la incertidumbre de medición para cada resultado, si el laboratorio puede demostrar que los factores críticos de influencia identificados están bajo control.

NOTA 3: Para información adicional, vease la Guía ISO/IEC 98-3, la Norma ISO 21748 y la serie de Normas ISO 5725.

▪ Metodología para la Evaluación de Incertidumbre. GUM








Suma valor a un país de Ideas

IDENTIFICAR

- ✓ Definición incompleta del mensurando
- ✓ Resultados de la calibración del instrumento
- ✓ Incertidumbre de patrón o MR
- ✓ Repetibilidad de las lecturas
- ✓ Características propias del instrumento (resolución, histéresis, deriva)
- ✓ Condiciones ambientales
- ✓ Aproximaciones /suposiciones del modelo
- ✓ Muestreo no representativo
- ✓ Constantes o parámetros externos (variaciones de las variables de influencia)



Suma valor a un país de Ideas

IDENTIFICAR y ORGANIZAR

Mediciones Dimensionales



- Calibración de los patrones.
- Instrumentos de Referencia
- Efectos Térmicos
- Fuerza de Contacto
- Errores de coseno
- Errores Geométricos.

Mediciones de Masa

- Calibración y estabilidad de pesas de referencia.
- Incertidumbre de la pesada: repetibilidad, linealidad, excentricidad.
- Empuje del aire.
- Condiciones Ambientales

Mediciones de Temperatura.

- Calibración de los patrones.
- Resolución de los patrones.
- Inestabilidad, gradientes térmicos.
- Resolución del termómetro a calibrar.
- Repetibilidad del termómetro a calibrar.

Suma valor a un país de Ideas



CUANTIFICAR

Tipo A: Evaluación Estadística

- Componentes asociados a repetibilidad
- Básicamente se trata de estimar una desviación estándar.
- La información estadística para tal estimación puede obtenerse de diversas maneras a partir de mediciones repetidas actuales o previas.

Tipo B: Evaluación No Estadística

- Fuentes de información
- Conocimiento sobre instrumentos y demás elementos de la medición.
- Mediciones previas.
- Documentación (Certificados, Tablas, especificaciones del fabricante, referencias)

Suma valor a un país de Ideas



CUANTIFICAR

Tipo A:

a) Desviación Estándar del Promedio: Si el resultado de la medición es calculado como el promedio de una serie de mediciones, la incertidumbre asociada a la falta de precisión es:

$$u_A = s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

b) Desviación Estándar Histórica: Si se asume repetibilidad constante. (Proceso bajo control estadístico).
Esta desviación estándar puede surgir de datos de validación o de interlaboratorios.

Suma valor a un país de Ideas

CUANTIFICAR

Tipo A:



Se estima la incertidumbre standard

Tipo B:

Se busca la incertidumbre expandida

DISTRIBUCIÓN

Se calcula la incertidumbre standard

Suma valor a un país de Ideas



CUANTIFICAR

Tipo B:

a) Las siguientes fuentes de Información nos dan la Incertidumbre expandida:

- Especificaciones del Fabricante
- Certificado de Calibración
- Publicaciones o Conocimiento sobre las características o el comportamiento del sistema de medición.

b) Luego se supone una distribución de Probabilidad para la variable de entrada.

Suma valor a un país de Ideas

CUANTIFICAR

Aplicación de las Distribuciones:

NORMAL:



- Cuando está explícita o implícitamente declarado (Por ejemplo en un certificado de Calibración)
- Desviación estándar de una serie de repeticiones

RECTANGULAR

- La resolución de un instrumento digital.
- Variación de Temperatura
- Pureza de materiales de referencia.

TRIANGULAR (poco frecuente en la evaluación de incertidumbre básica)

- Resolución de un instrumento analógico
- Volumen de un matraz






Suma valor a un país de Ideas

COMBINAR

El **coeficiente de sensibilidad** describe cuanto influye una variación de la magnitud de entrada correspondiente, en la magnitud de salida.

Siendo $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$,
 El coeficiente c_i se calcula por la derivada parcial de la función f con respecto a X_i

Suma valor a un país de Ideas

COMBINAR



Coeficiente de Sensibilidad.

Si la influencia de la magnitud de entrada X_i en el mensurado Y no está representada por una relación funcional, se determina el coeficiente de sensibilidad c_i por una estimación del impacto de una variación de X_i en Y .

El resultado de la combinación de las fuentes de incertidumbre multiplicadas por su coeficiente de sensibilidad es lo que denominamos incertidumbre estándar combinada : **uc**

La llamada “ ley de propagación de incertidumbre” toma la siguiente forma:

$$U_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [c_i \times u(x_i)]^2}$$



Suma valor a un país de Ideas

EXPANDIR

La forma de expresar la incertidumbre de la medición depende de la conveniencia del usuario, como incertidumbre combinada, con cierto nivel de confianza, pero en cualquier caso se debe informar sin ambigüedades

Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que obtiene multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor k llamado **factor de cobertura**

$$U = k * u$$

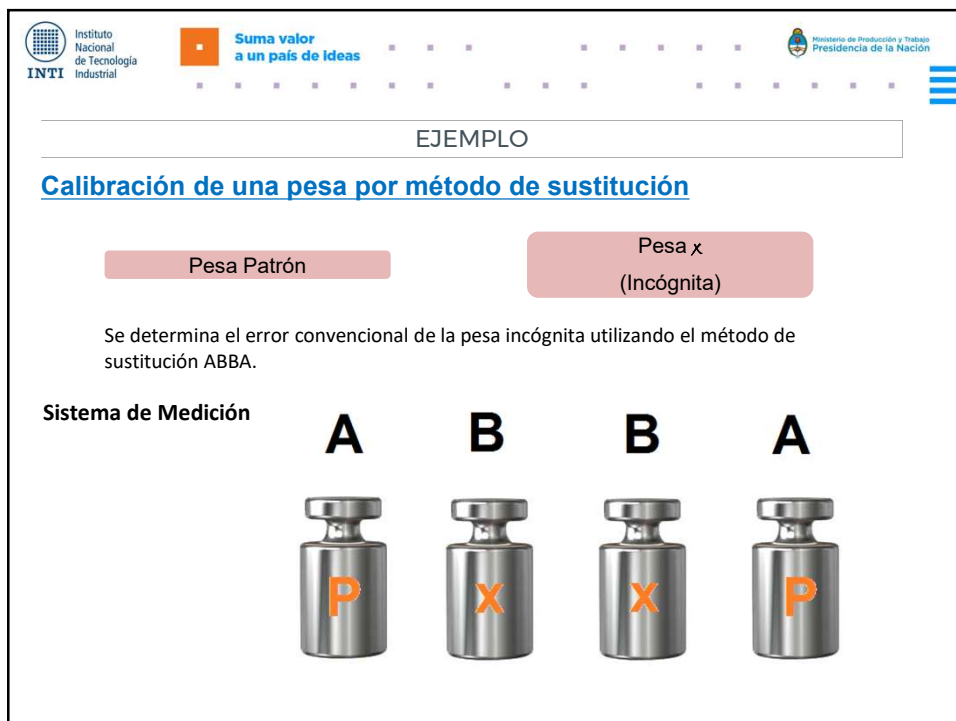
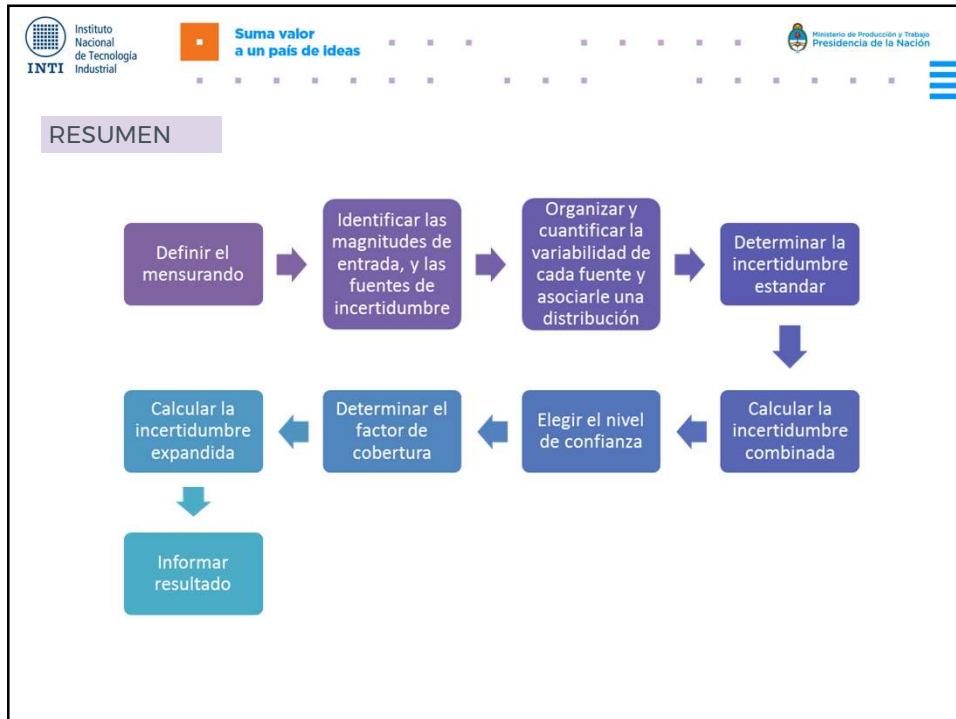



Suma valor a un país de Ideas

INFORMAR

La incertidumbre expandida indica un intervalo, llamado intervalo de confianza, que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor de p es llamado nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

La forma correcta de expresar una medición es informar el valor o los valores medidos con su incertidumbre asociada, con un factor de cobertura y su nivel de confianza, y además, el número de cifras significativas del mensurando debe ser consistente con el de incertidumbre.





EJEMPLO

Pesa Patrón	➔	10 kg clase F1
Pesa Incógnita	➔	10 kg clase M1
Comparadora	➔	64 kg d= 0,05 g s= 0,05 g Excentricidad= 0,00g

EJEMPLO

Identificación y organización de las fuentes de Incertidumbre.

Suma valor a un país de Ideas

EJEMPLO

Cuantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Aporte por incertidumbre del patrón: Utilizamos el certificado de calibración del patrón



$u_{cert} = 0.016 \text{ g}$ $k = 2$

En el certificado, la incertidumbre informado es bajo Distribución Normal:

$$u_{cal} = \frac{u_{cert}}{k} = \frac{0.016}{2}$$

$u_{cal} = 0.008 \text{ g}$

B
NORMAL

Suma valor a un país de Ideas

EJEMPLO

Cuantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Aporte por estabilidad del patrón:

Error convencional	-	Error convencional antes del ajuste	
↓		↓	
Hace 1 año		Hoy	

$$u_{est} = \frac{u_{cert}}{2 * \sqrt{3}} = \frac{0.005}{2 * \sqrt{3}}$$

$u_{est} = 0,0014 \text{ g}$

B
RECTANGULAR

Aporte: densidad de la incógnita

Fundación Gris		
OIML R111	$u_{dens,x} = \frac{600}{\sqrt{3}} = 346,41 \frac{kg}{m^3}$	
$7100 \frac{kg}{m^3} \pm 600 \frac{kg}{m^3}$		<p style="text-align: center;">B RECTANGULAR</p>

EJEMPLO

Cuantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Aporte: densidad del Patrón

Acero Inoxidable

OIML R111

$$7950 \frac{kg}{m^3} \pm 140 \frac{kg}{m^3}$$

$$u_{dens_pat} = \frac{140}{\sqrt{3}} = 80,83 \frac{kg}{m^3}$$

B
RECTANGULAR

Aporte: densidad del Aire

Fórmula de Giacomo

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right]$$

EJEMPLO

Cuantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Donde:

- ρ_a es la densidad del aire, $kg\ m^{-3}$
- p es la presión atmosférica, Pa
- T es la temperatura termodinámica del aire, K
- M_a es la masa molar del aire seco, $kg\ mol^{-1}$
- M_v es la masa molar del agua, $kg\ mol^{-1}$
- R es la constante molar de los gases, $J\ mol^{-1}\ K^{-1}$
- Z es el factor de compresibilidad
- x_v es la fracción molar del vapor de agua

$$u_{dens_atr} = \frac{0,006}{2} = 0,003 \frac{kg}{m^3}$$

B
NORMAL

EJEMPLO

Quantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Aporte: Incertidumbre Pesas de igualdad

Certificado

$$u_{p.t} = \frac{0,00003}{2} = 0,000015 \text{ g}$$

B
NORMAL

Aporte: Diferencia de Indicación

Máximo entre la desviación estándar de la comparadora y el desvío de los ciclos

$$u_{dif_ind} = 0,0144 \text{ g}$$

A
NORMAL

EJEMPLO

Quantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Aporte: Resolución Comparadora

División comparadora

$$u_{res_comp} = \frac{d}{\sqrt{12}} = \frac{0,05}{\sqrt{12}} = 0,014 \text{ g}$$




B
RECTANGULAR

Aporte: Resolución en el cero comparadora

División comparadora

$$u_{res_cero} = \frac{d}{\sqrt{12}} = \frac{0,05}{\sqrt{12}} = 0,014 \text{ g}$$

B
RECTANGULAR

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial
 


EJEMPLO




Cuantificación de las fuentes de Incertidumbre.

Aporte: Excentricidad Comparadora

Mediciones

$$u_{exc_comp} = \frac{0}{\sqrt{12}} = 0,000000 \text{ g}$$

B
RECTANGULAR

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial
 


EJEMPLO

Combinar.

$$u_c = \sqrt{(u_{cat} * ci_{cat})^2 + (u_{est} * ci_{est})^2 + (u_{dens,x} * ci_{dens,x})^2 + (u_{dens,pat} * ci_{dens,pat})^2 + (u_{dens,air} * ci_{dens,air})^2 + (u_{p,i} * ci_{p,i})^2 + (u_{dif,ind} * ci_{dif,ind})^2 + (u_{res,comp} * ci_{res,comp})^2 + (u_{res,cero} * ci_{res,cero})^2 + (u_{exc,comp} * ci_{exc,comp})^2}$$

$u_c = 0.013 \text{ g}$

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial

 Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

Suma valor a un país de Ideas

EJEMPLO

Expandir.

$$U = k \cdot u_c$$

Asumimos $k=2$, para un 95% de confianza:

U = 0,026 g



¡Muchas gracias!

czarza@inti.gov.ar
svivas@inti.gov.ar

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial

 Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

Suma valor a un país de Ideas