



REGIONAL FUND QUALITY INFRASTRUCTURE FOR BIODIVERSITY & CLIMATE PROTECTION
IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

Workshop on Statistic, data analysis and measurement uncertainty for Meteorology

Fundamentos estadísticos para la evaluación de la incertidumbre en las calibraciones

CENAM – Querétaro, México – 02 ~ 06.12.2019

Márcio A. A. Santana – INPE/BR
marcio.santana@inpe.br

Ricardo de A. Kalid – UFSB/BR
kalid@ufsb.edu.br



**¡Vamos
a
incertidumbre!**

2.26 (3.9)

incertidumbre de medida, f

incertidumbre, f

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

...

NOTA 3 En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una **evaluación tipo A de la incertidumbre de medida**, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una **evaluación tipo B de la incertidumbre de medida**, pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.”

La **incertidumbre** es un **parámetro no negativo** → mayor o igual a cero

2.28

evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, f

evaluación tipo A, f

evaluación de una componente de la **incertidumbre de medida** mediante un análisis estadístico de los **valores medidos** obtenidos bajo condiciones de **medida** definidas

NOTA 1 Para varios tipos de condiciones de medida, véase **condición de repetibilidad**, **condición de precisión intermedia** y **condición de reproducibilidad**.

La incertidumbre es mayor o igual a cero

2.29

evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, f

evaluación tipo B, f

evaluación de una componente de la **incertidumbre de medida** de manera distinta a una **evaluación tipo A de la incertidumbre de medida**

EJEMPLOS Evaluación basada en informaciones

- asociadas a valores publicados y reconocidos;
- asociadas al valor de un material de referencia certificado;
- obtenidas a partir de un certificado de calibración;
- relativas a la deriva;
- obtenidas a partir de la clase de exactitud de un instrumento de medida verificado;
- obtenidas a partir de los límites procedentes de la experiencia personal.

La incertidumbre es mayor o igual a cero

2.30

incertidumbre típica de medida, f

incertidumbre estándar de medida, f

incertidumbre típica, f

incertidumbre estándar, f

incertidumbre de medida expresada como una desviación típica

2.31

incertidumbre típica combinada de medida, f

incertidumbre típica combinada, f

incertidumbre estándar combinada, f

incertidumbre típica obtenida a partir de las **incertidumbres típicas** individuales asociadas a las **magnitudes de entrada** de un **modelo de medición**

NOTA Cuando existan correlaciones entre las magnitudes de entrada en un modelo de medición, en el cálculo de la incertidumbre estándar combinada es necesario también considerar las covarianzas; véase también la Guía ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.4.

2.32

incertidumbre típica relativa de medida, f

incertidumbre estándar relativa de medida, f

incertidumbre estándar relativa f

cociente entre la **incertidumbre típica** y el valor absoluto del **valor medido**

La **incertidumbre** es mayor o igual a cero

2.35

incertidumbre expandida de medida, f

incertidumbre expandida, f

producto de una **incertidumbre típica combinada** y un factor mayor que uno

...

2.36

intervalo de cobertura, m

intervalo que contiene el conjunto de **valores verdaderos** de un **mensurando** con una probabilidad determinada, basada en la información disponible

NOTA 1 El intervalo de cobertura no necesita estar centrado en el **valor medido** elegido (véase la Guía ISO/IEC 98-3:2008/Supl. 1).

NOTA 2 El intervalo de cobertura no debería denominarse “intervalo de confianza”, evitando así confusión con el concepto estadístico (véase la Guía ISO/IEC 98-3:2008, 6.2.2).

NOTA 3 El intervalo de cobertura puede obtenerse de una **incertidumbre expandida** (véase la Guía ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.5)."

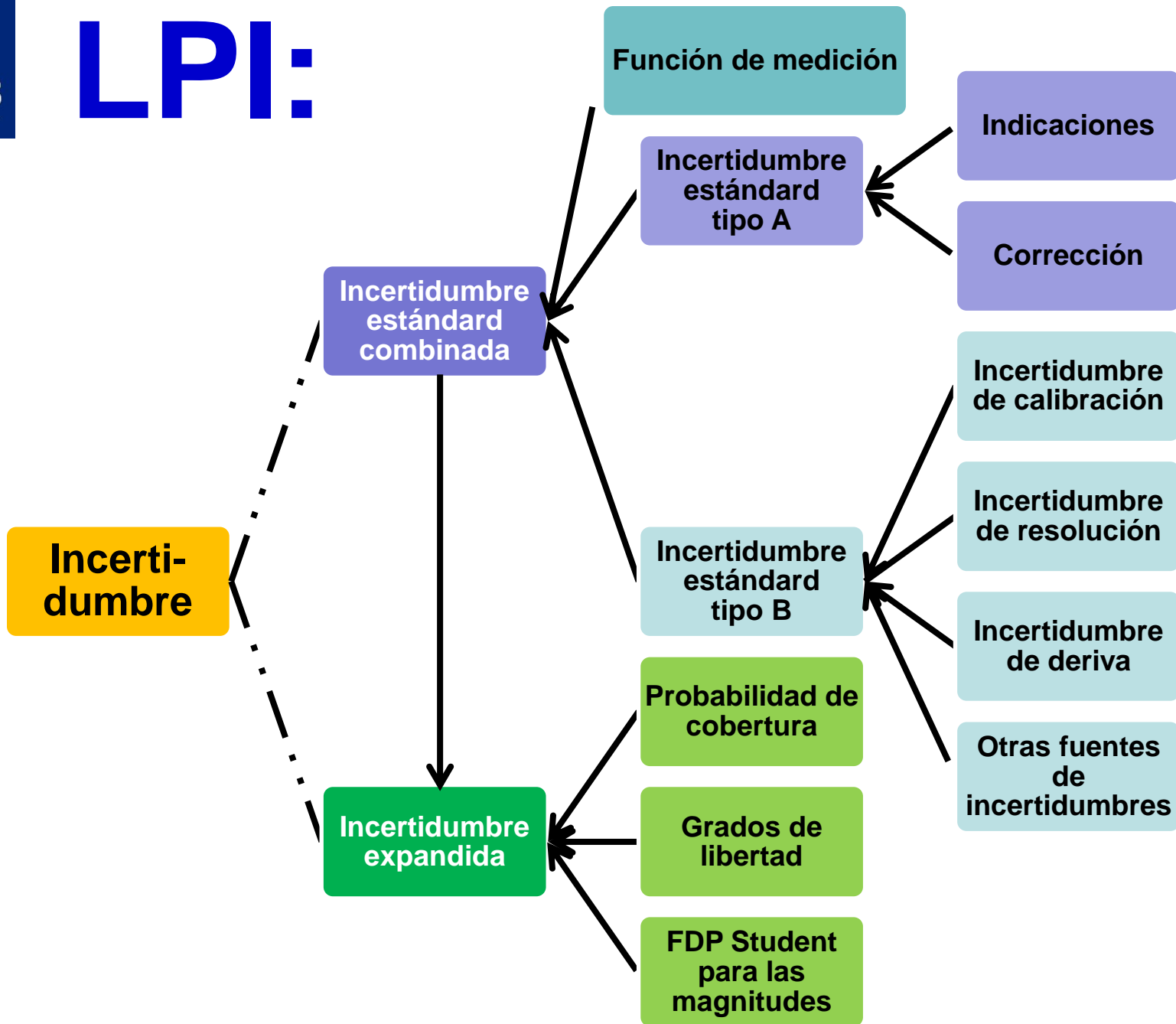
No cumple con el VIM y SI: 'la incertidumbre es ± 2 hPa'.

Lo correcto es: 'la incertidumbre es 2 hPa '.

Si la intención es presentar el rango de cobertura, escriba $RM \pm U$, donde RM es el resultado de la medida y U la incertidumbre expandida.

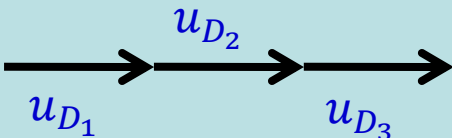
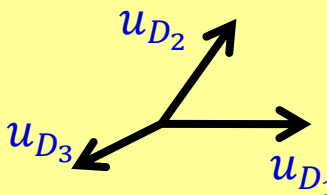
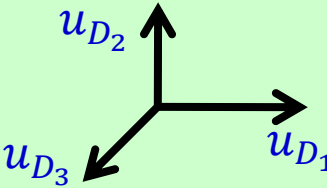
La incertidumbre expandida es mayor o igual a cero

LPI:



LPI: enfoque geométrico

Considere la incertidumbre estándar como un vector, entonces la incertidumbre estándar combinada es la suma vectorial de incertidumbre estándar de las magnitudes de entrada: $\vec{u}_{C_I} = \vec{u}_{D_1} + \vec{u}_{D_2} + \vec{u}_{D_3}$

Incertidumbres totalmente dependientes	Incertidumbres parcialmente dependientes	Incertidumbres independientes
<p>Representación geométrica</p> 	<p>Representación geométrica</p> 	<p>Representación geométrica</p> 
$u_{C_I} = u_{D_1} + u_{D_2} + u_{D_3}$ $u_{D_i} = \sqrt{u_{A_i}^2 + u_{B_{1i}}^2 + u_{B_{2i}}^2}$	$u_{C_I} = \sqrt{u_{D_1}^2 + u_{D_2}^2 + u_{D_3}^2 + 2\cos(\theta_{12}) \cdot u_{D_1} \cdot u_{D_2} + 2\cos(\theta_{13}) \cdot u_{D_1} \cdot u_{D_3} + 2\cos(\theta_{23}) \cdot u_{D_2} \cdot u_{D_3}}$ $u_{D_i} = \sqrt{u_{A_i}^2 + u_{B_{1i}}^2 + u_{B_{2i}}^2}$	$u_{C_I} = \sqrt{u_{D_1}^2 + u_{D_2}^2 + u_{D_3}^2}$ $u_{D_i} = \sqrt{u_{A_i}^2 + u_{B_{1i}}^2 + u_{B_{2i}}^2}$

$$\cos(\theta_{ij}) \cdot u_{C_{D_i}} \cdot u_{C_{D_j}} = \text{cov}(u_{D_i}, u_{D_j})$$

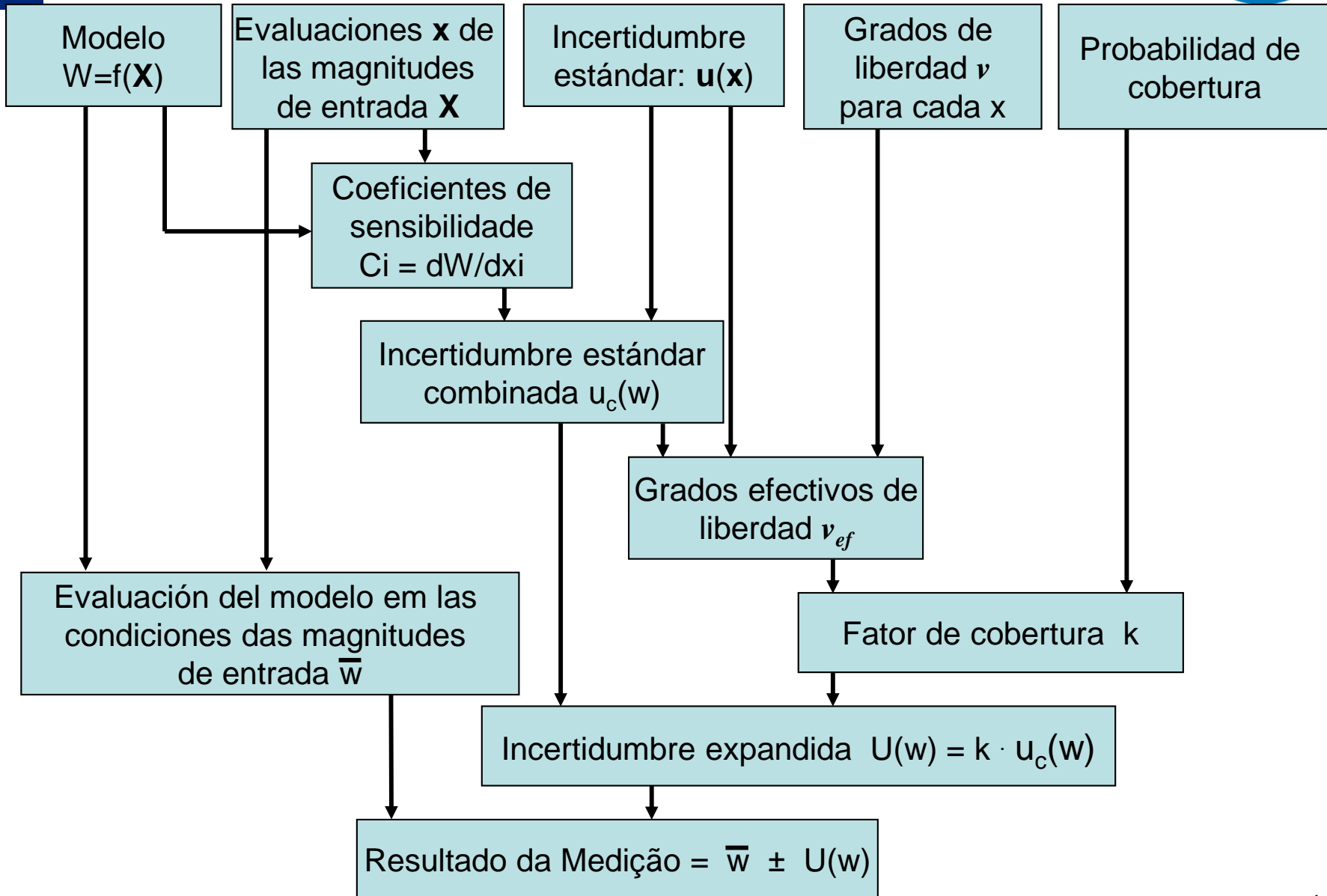
¡Vamos a practicar!

**LPI: Evaluación de
incertidumbre con
magnitudes de entrada
no correlacionadas**

Procedimiento sugerido para evaluación de incertidumbre sin correlación :

- 1) Establecer los objetivos de la evaluación de la incertidumbre
- 2) Conocer el mensurando
- 3) Conocer el sistema de medida
- 4) Identificar las indicaciones, su unidad, el sistema de medición, la fecha, el horario y el lugar de los experimentos, el experimentador, el técnico responsable, el certificado de calibración del instrumento, los registradores de datos, el software aprobado que se utilizará; otra información según sea necesario; fecha, hora, ubicación de los cálculos de incertidumbre
- 5) Evaluar y seleccionar indicaciones en régimen permanente
- 6) Eliminar los puntos experimentales divergentes
- 7) Enumerar las fuentes de incertidumbre (diagrama de Ishikawa)
- 8) Cuantificar las fuentes de incertidumbre e sus grados de libertad
- 9) Establecer la función de medición
- 10) Propagar la incertidumbre estándar de las magnitudes de entrada a la magnitud de salida
- 11) Identificar las fuentes más importantes de incertidumbre
- 12) Decidir si la medición y sus incertidumbres son apropiadas
- 13) Calcular grados efectivos de libertad, factor de cobertura e incertidumbre expandida;
- 14) Informar y verificar que el resultado de la medición (RM) y su incertidumbre cumplan con los criterios de aceptación.

GUM: método LPI



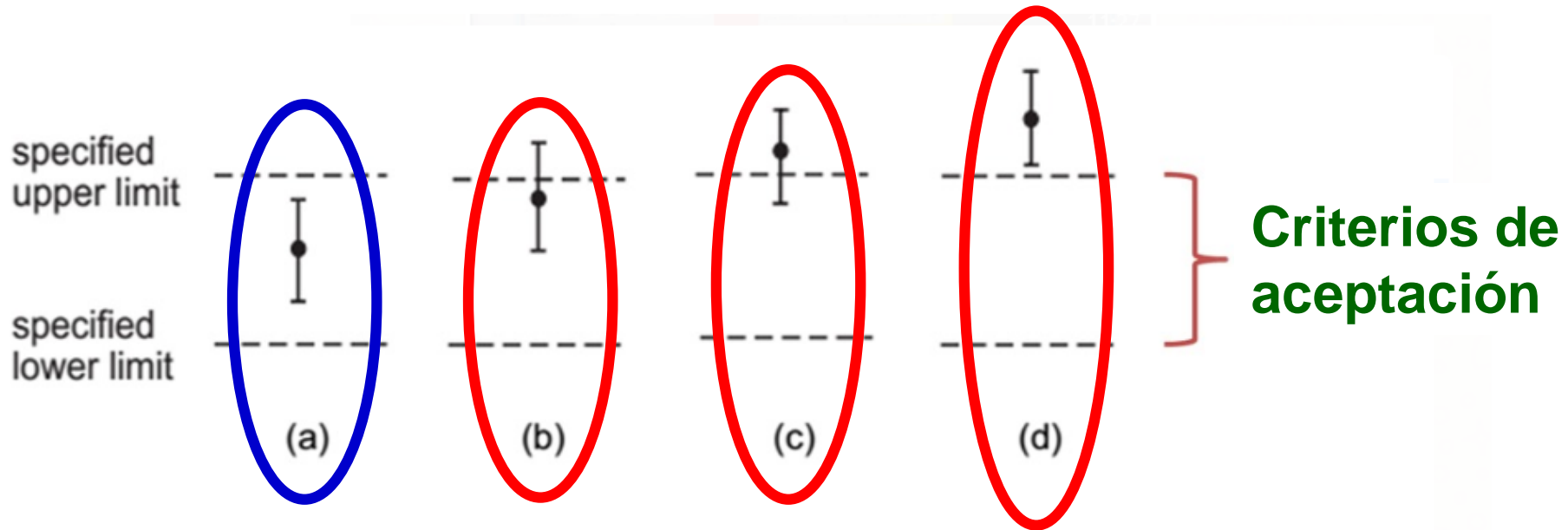
**¡Vamos
a
calibración!**

Objetivos de uma calibração

1. Hacer procedimientos para mejorar la evaluación del desempeño de los sistemas de medición.
2. Determinar la conformidad del equipo de medición con límites establecidos de acuerdo con un criterio de aceptación,
3. Medir y **asignar un valor de referencia y su incertidumbre**, por ejemplo, la masa de patrones de masa;
4. Obtener la **curva de calibración** de uno equipo de medición y la incertidumbre de los parámetros ajustados.

Criterios de aceptación

- Los criterios de **aceptación** son parámetros que sirven como referencia para verificar que el instrumento es adecuado para su uso. También se pueden definir como criterios de **rechazo**, donde los errores permisibles determinan el ajuste en el instrumento o la prueba de idoneidad para el uso.



 = **Intervalo de cobertura**

REF.: Measurement Good Practice Guide No. 11 (Issue 2).
A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement
Stephanie Bell Centre for Basic, Thermal and Length
Metrology. National Physical Laboratory

Tipos de calibraciones

VIM 4.31

“curva de calibración

expresión de la relación entre una **indicación** y el **valor medido** correspondiente

NOTA Una curva de calibración expresa una relación biunívoca, que no proporciona un **resultado de medida**, ya que no contiene información alguna sobre la **incertidumbre de medida**.”

Varios puntos en régimen estacionario son utilizados simultáneamente

Ejemplo: calibración de un termopar, de un medidor de pH

Calibración de 1-punto: Se utiliza 1 punto de estado estacionario para cada calibración

Ejemplo: calibración de una masa patrón, o de un bloco patrón

Calibración unidireccional: La incertidumbre estándar de la magnitud independiente (patrón) son mucho más pequeña que la incertidumbre estándar de la magnitud dependiente (objeto): $u_p < u_o/10$

Calibración bidireccional: La incertidumbre estándar de la magnitud independiente (patrón) NO es mucho más pequeña que la incertidumbre estándar de la magnitud dependiente (objeto): $u_p \cong u_o$

Calibración

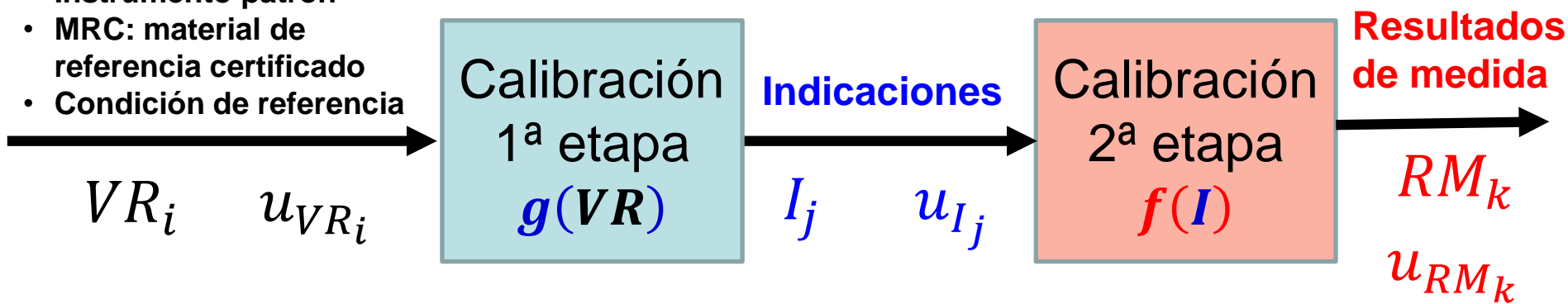
VIM 2.39 (6.11)

calibración, f

operación que bajo condiciones especificadas establece, en una **primera etapa**, una relación entre los **valores** y sus **incertidumbres de medida** asociadas obtenidas a partir de los **patrones de medida**, y las correspondientes **indicaciones** con sus incertidumbres asociadas y, en una **segunda etapa**, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un **resultado de medida** a partir de una indicación

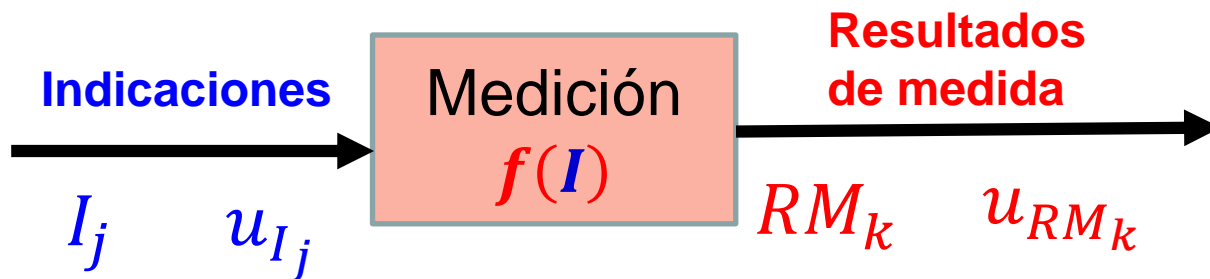
Patrones de medida:

- Instrumento patrón
- MRC: material de referencia certificado
- Condición de referencia



$$f(I) = g^{-1}(RM)$$

Función de medición



VIM 2.49

función de medición, f

función de **magnitudes** cuyo valor es un **valor medido** de la **magnitud de salida** en el **modelo de medición**, cuando se calcula mediante los **valores** conocidos de las **magnitudes de entrada** en el **modelo de medición**

NOTA 1 Si el **modelo de medición** $h(Y, X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$ puede escribirse explícitamente como $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, siendo Y la magnitud de salida en el modelo de medición, f es la función de medición. En general, f puede representar un algoritmo que, para los valores de entrada x_1, x_2, \dots, x_n , da como resultado un valor único de la magnitud de salida $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

NOTA 2 La función de medición se utiliza también para calcular la **incertidumbre de medida** asociada al valor medido de Y .

La **función de medición** es la
función inversa de la función de calibración (curva de calibración)

$$f(I_1, I_2, \dots, I_n) = g^{-1}(VR_1, VR_2, \dots, VR_m)$$

I: Indicación

VIM 4.1 (3.2)

indicación, f

valor proporcionado por un **instrumento** o **sistema de medida**

NOTA 1 La indicación puede presentarse en forma visual o acústica, o puede transferirse a otro dispositivo.

Frecuentemente viene dada por la posición de una aguja en un cuadrante para salidas analógicas, por un número visualizado o impreso para salidas digitales, por un código para salidas codificadas, o por el valor asignado para el caso de **medidas materializadas**.

NOTA 2 La indicación y el valor de la **magnitud** medida correspondiente no son necesariamente valores de magnitudes de la misma **naturaleza**.

RM: Resultado de medida

$$RM = I + C$$

$$RM = C \cdot I$$

2.9 (3.1)

resultado de medida, m

resultado de una medición, m

conjunto de **valores de una magnitud** atribuidos a un **mensurando**, acompañados de cualquier otra información relevante disponible

NOTA 1 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 puede representarse como una función de densidad de probabilidad (FDP).

NOTA 2 El resultado de una medición se expresa generalmente como un **valor medido** único y una **incertidumbre de medida**.

2.53 (3.15) (3.16)

corrección, f

compensación de un efecto sistemático estimado

...

NOTA 2 La compensación puede tomar diferentes formas, tales como la **adición de un valor** o la multiplicación por un factor, o bien puede deducirse de una tabla.

obtenido en el certificado de calibración

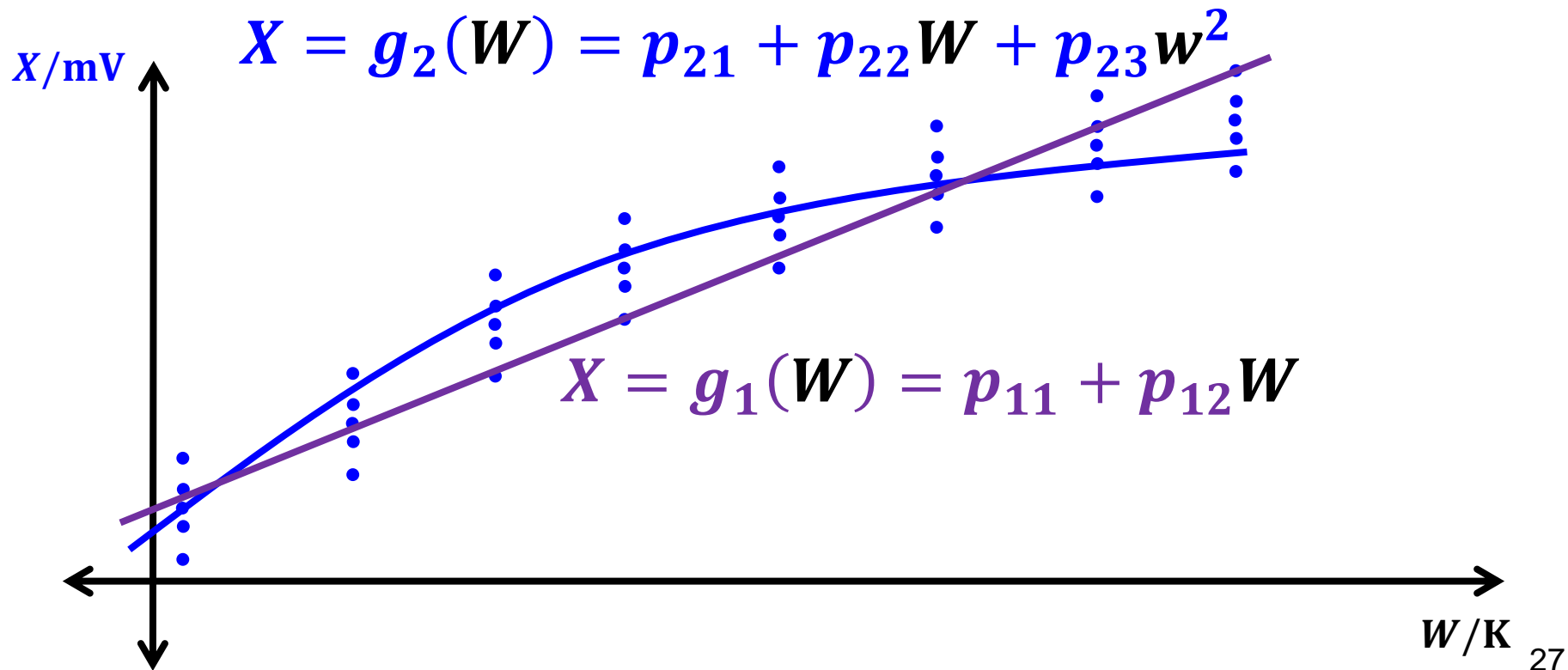
Curva de calibración

VIM 4.31

curva de calibración, f

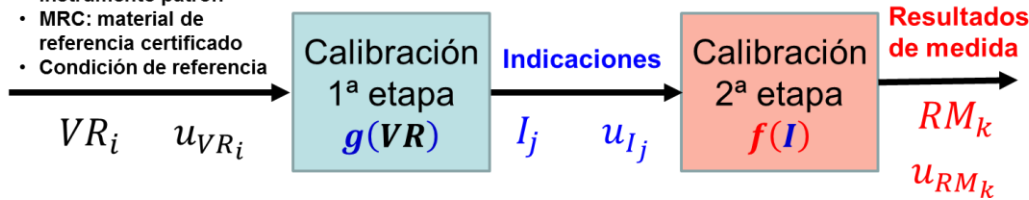
expresión de la relación entre una **indicación** y el **valor medido** correspondiente

NOTA Una curva de calibración expresa una relación biunívoca, que no proporciona un **resultado de medida**, ya que no contiene información alguna sobre la **incertidumbre de medida**.



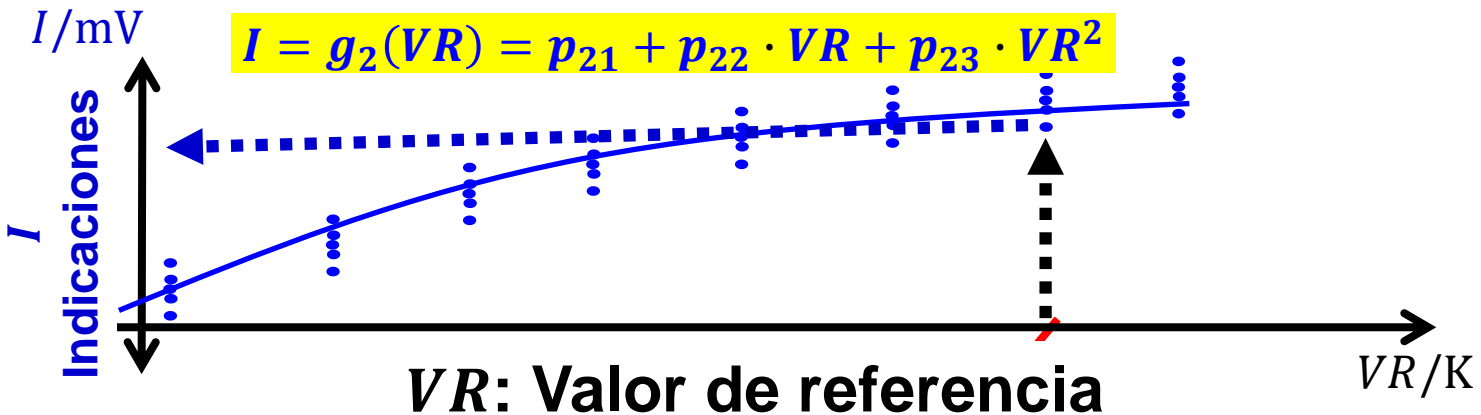
- Patrones de medida:
- Instrumento patrón
 - MRC: material de referencia certificado
 - Condición de referencia

Calibración unidireccional

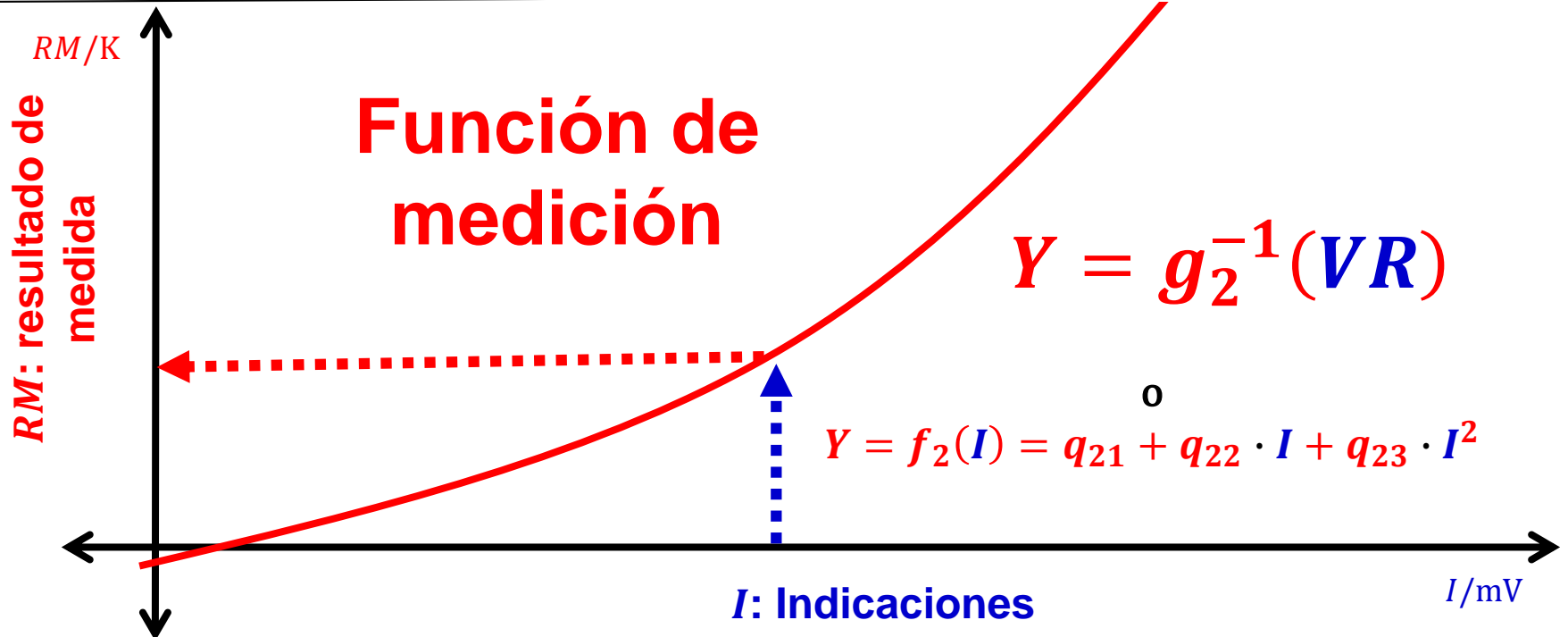


Curva de calibración

$$u_p \ll u_o$$



VR : Valor de referencia



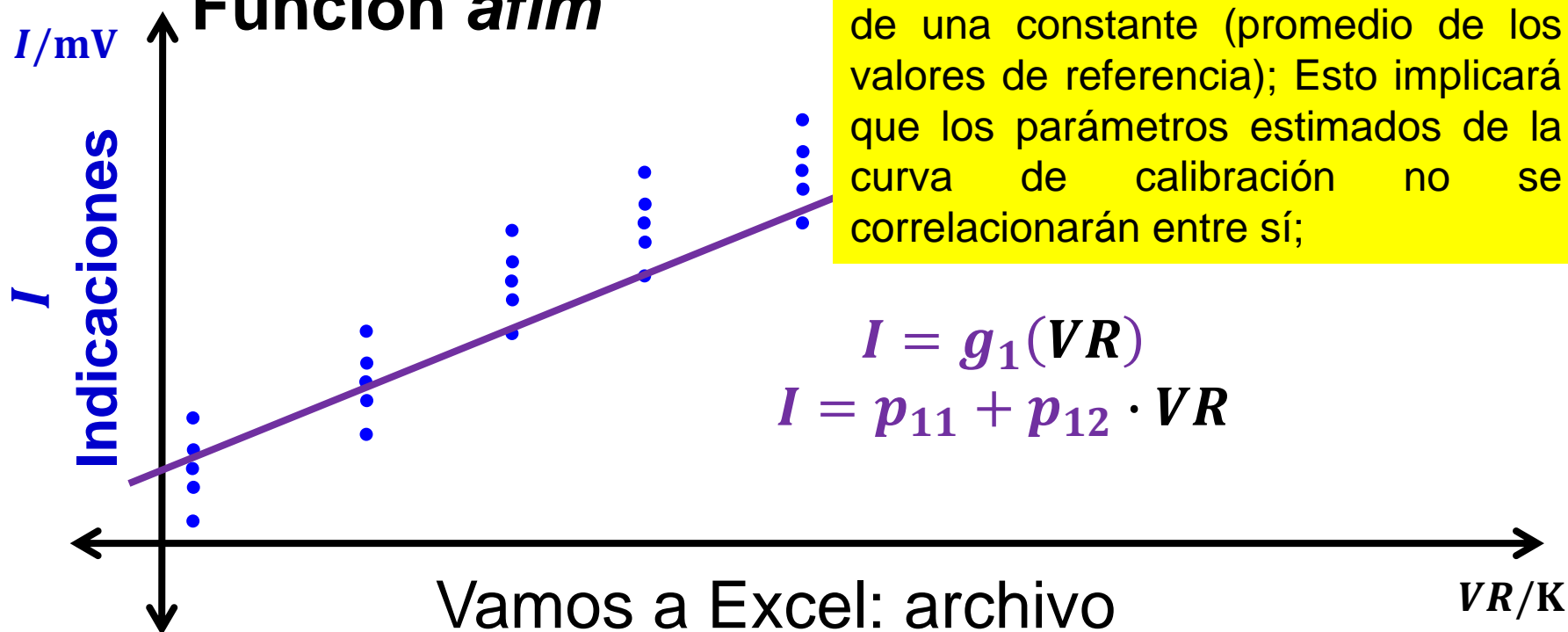
Curva de calibración

$$u_p \ll u_o$$

Modelo 1ª orden

Polinomio de primer grado

Función *afim*



Para que la calibración tenga un mejor resultado metrológico es necesario transformar la magnitud independiente disminuyendo su valor de una constante (promedio de los valores de referencia); Esto implicará que los parámetros estimados de la curva de calibración no se correlacionarán entre sí;

$$I = g_1(VR)$$

$$I = p_{11} + p_{12} \cdot VR$$

Patrones de medida:

- Instrumento patrón
- MRC: material de referencia certificado
- Condición de referencia

Calibración unidireccional

Calibración
1ª etapa
 $g(VR)$

Indicaciones

VR_i

u_{VR_i}

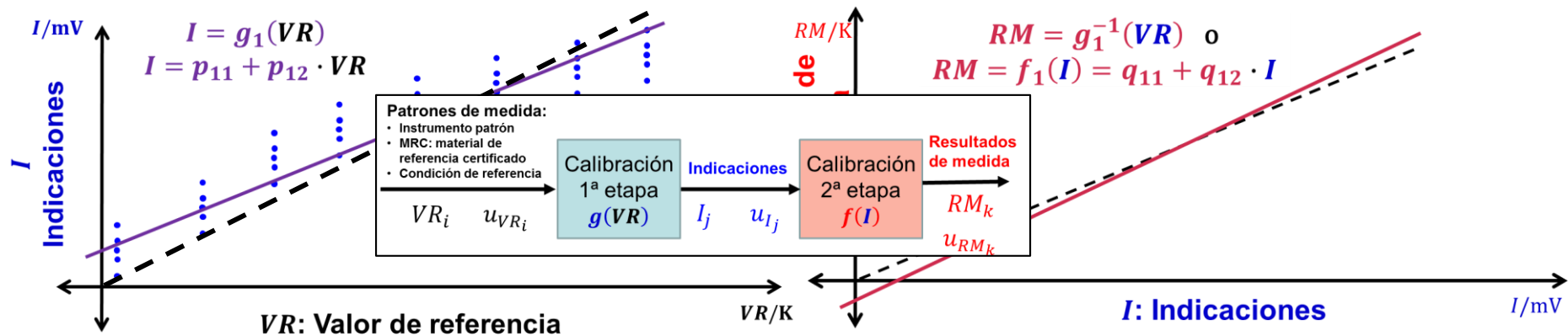
I_j

u_{I_j}



7_Calibracion_unidireccional.xlsx

Curva de calibración 1ª orden



Calibración

Medición

$$I = p_{11} + p_{12} \cdot VR \Rightarrow I = p_{11} + p_{12} \cdot RM \Rightarrow RM = \frac{1}{p_{12}} \cdot I - \frac{p_{11}}{p_{12}}$$

Medición

$$RM = q_{11} + q_{12} \cdot I$$

$$q_{11} = -\frac{p_{11}}{p_{12}}$$

$$q_{12} = \frac{1}{p_{12}}$$

- “The **uncertainties** of the **indication**, the **calibration**, and of other **corrections** (VIM 2.53) contribute to the **uncertainty** of the **measurent result**.” VIM 3 – TAM, p. 12.
- La incertidumbre de los parámetros p_{11} y p_{12} debe propagarse a los parámetros q_{11} y q_{12} .



UFSB
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO SUL DA BAHIA

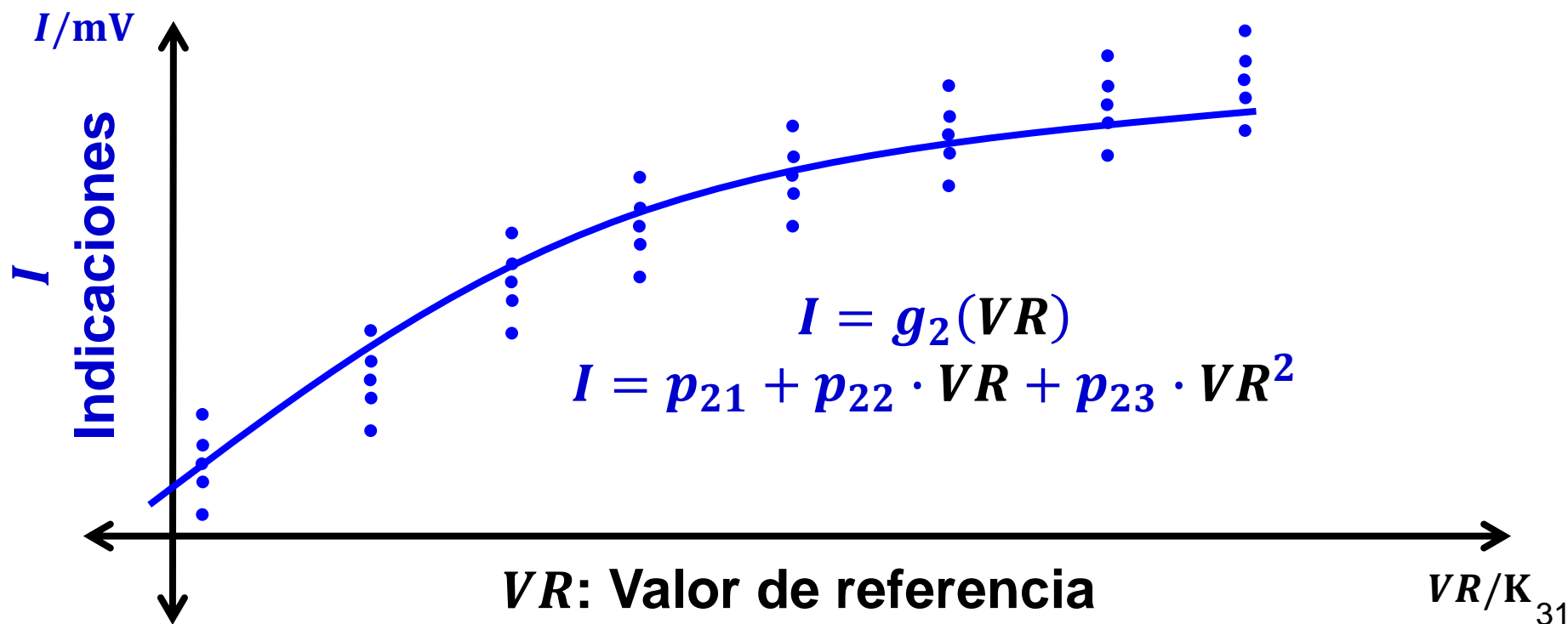
Curva de calibração

VR/K

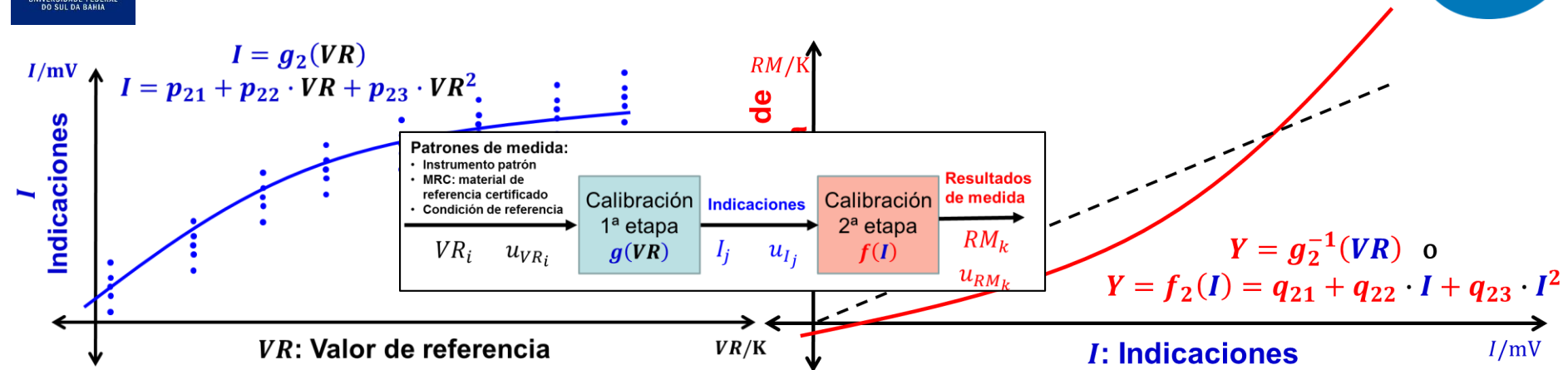


Modelo 2ª orden

Polinomio de segundo grado



Curva de calibración 2ª orden



Calibración

$$I = p_{11} + p_{12} \cdot VR + p_{13} \cdot VR^2$$

Medición

$$RM = \frac{-p_{12} \pm \sqrt{p_{12}^2 - 4 p_{13} (p_{11} - I)}}{2 p_{13}}$$

- “The **uncertainties** of the **indication**, the **calibration**, and of other **corrections** (VIM 2.53) contribute to the **uncertainty** of the **measurent result**.” VIM 3 – TAM, p. 12.
- La incertidumbre de los parámetros p_{ij} e de las indicaciones I debem propagarse a RM .

Función inversa $f^{-1}(X)$

- 1) $Y = f(X) = p_{11} + p_{12} X + p_{13} X^2$
- 2) Haz que un lado de la ecuación sea cero:

$$p_{13} X^2 + p_{12} X + (p_{11} - Y) = 0$$

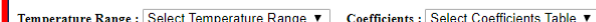
- 3) Resuelvo la ecuación de segundo grado

$$a X^2 + b X + c = 0 \Rightarrow X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a c}}{2 a}$$

$$X_{1,2} = \frac{-p_{12} \pm \sqrt{p_{12}^2 - 4 p_{13} (p_{11} - Y)}}{2 p_{13}}$$

- 4) Seleccione la raíz apropiada

$$f^{-1}(X) = \frac{-p_{12} \pm \sqrt{p_{12}^2 - 4 p_{13} (p_{11} - X)}}{2 p_{13}}$$





REGIONAL FUND QUALITY INFRASTRUCTURE FOR BIODIVERSITY & CLIMATE PROTECTION
IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

Workshop on Statistics, data analysis and measurement uncertainty for Meteorology

Fundamentos estadísticos para la evaluación de la incertidumbre en las calibraciones



Márcio A. A. Santana – INPE/BR
marcio.santana@inpe.br

Ricardo de A. Kalid – UFSB/BR
kalid@ufsb.edu.br



TECLIM-UFSB