

# GUÍA DE CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS INM/GTM EM-CCA/02

Bogotá  
Fecha publicación 2020-10-08  
Versión No. 1



## 1. CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	5
2. ALCANCE .....	5
3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS .....	5
4. DEFINICIONES .....	6
5. GENERALIDADES .....	8
6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES .....	10
6.1 Método de calibración .....	10
6.2 Equipos y materiales .....	10
6.3 Condiciones ambientales.....	12
6.4 Proceso de calibración .....	12
6.4.1 Secuencias de calibración .....	12
6.4.2 Definición de los puntos de medida .....	13
6.4.3 Circuitos de medición .....	14
6.4.4 Conexiones y realización de las medidas .....	16
6.5 Estimación de la incertidumbre de medición .....	18
6.5.1 Fuentes de incertidumbre de medición .....	18
6.6 Presentación de los resultados.....	24
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
8. ANEXOS .....	26

## PRESENTACIÓN

Esta guía es el resultado del trabajo conjunto entre el Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM, miembros de la Red Colombiana de Metrología - RCM (Grupos de Trabajo por Magnitud) y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC, con el fin armonizar métodos de calibración y propender por la uniformidad y coherencia en criterios técnicos mínimos a emplear por los laboratorios de calibración y usuarios de estos métodos. Esta guía presenta metodologías reconocidas internacionalmente y se ha elaborado recogiendo el conocimiento y la experiencia de los miembros del equipo de trabajo, de tal forma que pueda ser usada como base para la elaboración de procedimientos e instructivos prácticos por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este sentido lo consignado en esta guía se constituye en un referente para:

- a. El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
- b. Los laboratorios de calibración y ensayo que involucren los métodos o criterios técnicos consignados en esta guía.
- c. Los laboratorios internos de las organizaciones o fabricantes que requieran el uso de estos métodos de calibración o criterios técnicos.

## **EQUIPO DE TRABAJO**

Este documento fue elaborado en el espacio del Grupo Técnico por Magnitud de corriente, resistencia y tensión de la Red Colombiana de Metrología. Para el desarrollo del documento se contó con la participación de los profesionales Alexander Martínez López, Nelson Duvan Vargas Sáenz, Mauricio Sáchica Avellaneda y Tania Gineth Gómez Carrillo del Instituto Nacional de Metrología de Colombia – INM. También participó el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC y los laboratorios de calibración que han participado en las reuniones del grupo técnico.

## **REVISIÓN**

Mesa de Trabajo Técnico Científico de la Subdirección de Metrología Física.

## 1. OBJETIVO

Proporcionar lineamientos para la calibración de pinzas amperimétricas en la medición de corriente continua y alterna, con el fin de mejorar la compatibilidad de los resultados de calibración obtenidos por los laboratorios que calibran este tipo de instrumentos.

## 2. ALCANCE

Los instrumentos objeto de esta guía corresponden a pinzas amperimétricas con indicación digital para la medición de intensidad de corriente eléctrica continua y alterna.

La aplicación de la presente guía se limita a la calibración de pinzas amperimétricas tipo transformador, flexible (bobina Rogowski) y efecto hall utilizando como patrón de referencia una fuente de intensidad de corriente eléctrica y bobina.

Los intervalos de medición en los cuales se referirá esta guía son los siguientes:

- Intensidad de corriente continua (pinzas de efecto hall): 1 mA a 1000 A
- Intensidad de corriente alterna (todas las pinzas): 1 mA a 1000 A (40 Hz a 400 Hz)

## 3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

Tabla 1. Abreviaturas, siglas y símbolos

Abreviatura, siglas y símbolos	Descripción
$E$	Error
$I_x^-$	Promedio de las indicaciones de la pinza amperimétrica
$\delta I_{x hist}$	Corrección por histéresis.
$\delta I_{x coil}$	Corrección por interacción de bobina y pinza amperimétrica (posición y ángulo).
$\delta I_{x stb}$	Corrección debida al calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica
$\delta I_{x res}$	Corrección por resolución.
$N$	Número de vueltas de la bobina
$I_s$	Valor de intensidad de corriente aplicado por el calibrador/fuente corregido
$\delta I_{s esp}$	Corrección por especificaciones del fabricante del patrón
$\delta I_{s carg}$	Corrección por efecto de carga sobre el calibrador/fuente de intensidad de corriente.

Abreviatura, siglas y símbolos	Descripción
$u(\bar{I}_X)$	Incertidumbre estándar por repetibilidad del IBC
$u(\delta I_{x\ stb})$	Incertidumbre por efecto del calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica
$u(\delta I_{x\ hist})$	Incertidumbre por efecto de histéresis.
$u(\delta I_{x\ coil})$	Incertidumbre por la interacción entre la bobina y la pinza amperimétrica.
$u(\delta I_{x\ res})$	Incertidumbre por resolución de la pinza.
$u(\delta I_{s\ esp})$	Incertidumbre por especificación del patrón.
$u(\delta I_s)$	Incertidumbre por calibración del patrón.
$u(\delta I_{s\ carg})$	Incertidumbre por el efecto de carga del generador patrón.
$s(\bar{I}_X)$	Desviación estándar muestral de las indicaciones de la pinza
$n$	Número de repeticiones
$U$	Incertidumbre expandida
$k$	Factor de cobertura
$u_c$	Incertidumbre combinada
$\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Coeficiente de sensibilidad
$V_{eff}$	Grados efectivos de libertad
$v_i$	Grados de libertad de la fuente de incertidumbre $u(x_i)$
IBC	Instrumento bajo calibración
VIM	Vocabulario Internacional de Metrología

#### 4. DEFINICIONES

Para los propósitos de este documento se aplican las siguientes definiciones tomadas de la referencia (1), además de otras específicas.

**EXACTITUD DE MEDIDA.** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando (VIM 2.13 (1)).

El concepto “exactitud de medida” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

**ERROR DE MEDIDA.** Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia (VIM 2.16 (1)).

**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 (VIM 2.26 (1)).

**INTERVALO DE COBERTURA.** Intervalo que contiene el conjunto de valores verdaderos de un mensurando con una probabilidad determinada, basada en la información disponible (VIM 2.36 (1)).

**PROBABILIDAD DE COBERTURA.** Probabilidad de que el conjunto de los valores verdaderos de un mensurando esté contenido en un intervalo de cobertura especificado (VIM 2.37 (1)).

**CALIBRACIÓN.** 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 (VIM 2.39 (1)).

**TRAZABILIDAD METROLÓGICA.** Propiedad de un resultado de medida por la 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 (VIM 2.41 (1)).

NOTA: La trazabilidad debe indicarse al sistema internacional de unidades y no a una institución particular como un instituto nacional de metrología.

**AJUSTE DE UN SISTEMA DE MEDIDA.** Conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud a medir (VIM 3.11 (1)).

Dependiendo del instrumento, el ajuste se puede realizar por medio físico sobre algún componente del instrumento o por medio de software del instrumento.

**AJUSTE DE CERO DE UN SISTEMA DE MEDIDA.** Ajuste de un sistema de medida para que éste proporcione una indicación nula cuando la magnitud a medir tenga valor cero (VIM 3.12 (1)).

**RESOLUCIÓN DE UN DISPOSITIVO VISUALIZADOR.** Mínima diferencia entre indicaciones visualizadas, que puede percibirse de forma significativa (VIM 4.15 (1)).

NOTA: Para un dispositivo visualizador digital, corresponde al mínimo cambio de la cifra menos significativa.

**INCERTIDUMBRE INSTRUMENTAL.** Componente de la incertidumbre de medida que procede del instrumento o sistema de medida utilizado (VIM 4.24 (1)).

Para esta guía la información relativa a la incertidumbre instrumental es la que aparece en las especificaciones del instrumento.

**CALIBRADOR.** Patrón utilizado en calibraciones (VIM 5.12 (1)).

**CALIBRADOR MULTIFUNCIÓN.** Instrumento que suministra en sus bornes de salida magnitudes eléctricas, tales como: tensión continua, intensidad de corriente continua, tensión alterna, intensidad de corriente alterna, resistencia, capacitancia y otras en distintos intervalos de medida, que son usados para la calibración tanto de multímetros digitales, analógicos y otros instrumentos de medición (2).

**TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.** Instrumento de medida en el que la intensidad de corriente secundaria, en las condiciones normales de empleo, es prácticamente proporcional a la intensidad de corriente primaria (de acuerdo con la relación de transformación) y desfasada respecto de ésta un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones (3).

**DERIVADOR O SHUNT.** Es un elemento pasivo diseñado para la medida de intensidad de corriente. Se construyen como elementos de cuatro terminales, separando los terminales de corriente de los terminales de tensión y anulando así la influencia de la caída de tensión en los cables de conexión (3).

**TRANSDUCTOR.** Dispositivo utilizado en medición, que hace corresponder a una magnitud de entrada una magnitud de salida, según una relación determinada (VIM 3.7 (1)).

**TENSIÓN DISPONIBLE "COMPLIANCE VOLTAGE".** Es la tensión máxima que una fuente de corriente constante puede proporcionar para generar la corriente especificada (4) (Electropedia 314-04-10 (5) ).

**PINZA AMPERIMÉTRICA.** Es un dispositivo que permite medir corrientes continuas y alternas en un amplio intervalo de valores inclusive mayores a 2000 A. Su circuito de medición externo está formado por una bobina que se puede abrir con una palanca. Las dos mordazas de la abrazadera se pueden separar unos centímetros permite su uso en el conductor bajo prueba sin abrir el circuito objeto de medición.

**BOBINA.** Conductor en arreglo de espiras generalmente coaxiales. Es un elemento pasivo, capaz de generar un flujo de campo magnético cuando se hace circular corriente eléctrica. En el caso de las bobinas para la calibración de pinzas, estas se encuentran fabricadas de varias vueltas, en donde esta cuenta con un centro común, permitiendo que las mordazas de la pinza rodeen su núcleo.

## 5. GENERALIDADES

Las pinzas amperimétricas son instrumentos que además de medir intensidad de corriente eléctrica continua o alterna, también permiten medir otras magnitudes como tensión eléctrica continua, tensión eléctrica alterna y resistencia. Sin embargo, esta guía sólo se ocupa de la medición de intensidad de

corriente, para la calibración de esas otras magnitudes se puede recurrir a la guía para calibración de multímetros digitales INM/GTM EM-CCA/01 (6).

Por su construcción se tienen principalmente tres tipos de pinzas amperimétricas: las de tipo transformador, las de efecto Hall y las de sonda flexible o de bobina Rogowski. Las de tipo transformador y de bobina Rogowski, sólo miden intensidad de corriente alterna; las de efecto Hall, permiten medir intensidad de corriente continua e intensidad de corriente alterna, sin embargo, estas últimas pueden presentar histéresis y deriva en el cero (7).

Las pinzas de sonda flexible o de bobina Rogowski a diferencia de las de transformador y de efecto Hall, no tienen núcleo de hierro. En su lugar, usan una bobina enrollada con forma de hélice que responde a la razón de cambio (conocida como la primera derivada) del campo magnético alrededor del conductor entre la sonda (8).

Las pinzas miden el valor de la corriente que pasa por el conductor colocado entre las mordazas, esto es posible debido a que la mordaza constituye un sensor del módulo del campo magnético producido por la corriente que circula por el conductor. Para la calibración se puede reproducir esta misma condición al pasar un valor de corriente conocido a través de la mordaza y determinar el error del instrumento, la corriente que circula puede ser el producto de uno o varios conductores a través de la mordaza, de esta forma se pueden usar bobinas para la calibración de las pinzas amperimétricas.

Es importante resaltar que para la calibración, tanto las pinzas de efecto Hall, como las pinzas de transformador se requieren campos magnéticos uniformes en el área de las mordazas; teóricamente como el creado por una corriente que circula por un conductor rectilíneo de longitud infinita, posicionado exactamente en el centro de las mordazas, con un conductor de retorno posicionado a una distancia infinita (7). Si bien es cierto esta condición en la práctica no se puede alcanzar es necesario tenerla en cuenta para minimizar los errores producidos por la falta de uniformidad del campo magnético en el momento de la calibración.

Otra consideración importante en las mediciones de intensidad de corriente alterna, cuando se usa la bobina, es la carga presentada en el calibrador procedente de la combinación de impedancias de la bobina y la pinza amperimétrica, la tensión que se presenta en la bobina es el producto de la corriente y la impedancia, aquí el efecto dominante es la inductancia y esta aumenta con el valor de la frecuencia, de forma tal que puede exceder la capacidad de la tensión disponible “compliance voltage” del calibrador para generar la corriente (9).

Se debe tener presente la especificación de tiempo de operación de la bobina, sobre todo para valores de corriente altos, en los cuales se especifica un tiempo máximo de operación y un tiempo mínimo de descanso.

De acuerdo con lo anterior la aplicación rigurosa de esta guía debe proporcionar resultados de medición trazables al Sistema Internacional de Unidades, entendiendo que la actividad de calibración

permite establecer una relación entre los valores de los patrones y las indicaciones del instrumento bajo calibración IBC con sus respectivas incertidumbres, de forma tal que el IBC pueda producir resultados de medición válidos a partir de sus indicaciones.

## **6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES**

Antes de iniciar la calibración es necesario tener en cuenta las siguientes actividades:

**Estabilidad térmica equipos:** Se debe asegurar que se cumpla el periodo de calentamiento indicado por el fabricante para el patrón y el IBC, antes de iniciar el proceso de calibración.

**Funcionamiento:** Se debe asegurar el funcionamiento adecuado del IBC, de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

**Estado:** Se debe verificar el estado del IBC con el fin de realizar mediciones seguras durante la calibración, especialmente en medición de altos valores de intensidad de corriente eléctrica.

La pinza amperimétrica debe estar en buen estado según lo indicado en su manual. Se debe comprobar el correcto cierre de las mordazas. Si las mordazas se encuentran rotas o con daño físico la calibración no podrá ser realizada ya que podría generar errores significativos.

### **6.1 Método de calibración**

En términos generales el método de calibración usado para la medición de intensidad de corriente eléctrica continua y alterna alcance de esta guía, es el método indirecto con el uso de una fuente de intensidad de corriente eléctrica y bobina como patrón. La pinza amperimétrica a calibrar se coloca en los conductores centrales de la bobina o de la espira de corriente, de forma que la corriente medida por la pinza debe ser igual a la corriente generada por el calibrador multiplicado por el número de vueltas de la bobina.

El método de calibración a ser usado debe ser documentado por el laboratorio. Allí se deben indicar las actividades que se realizan antes y durante el proceso de calibración. Se debe brindar especial atención a las operaciones previas indicadas por el fabricante sobre el patrón de medición y el instrumento bajo calibración, como, por ejemplo: ajuste de cero, operaciones de desmagnetización, etc.

Tener en cuenta que los instrumentos bajo calibración se deben calibrar en las condiciones en las cuales se van a operar o en las mejores especificaciones de exactitud del IBC.

### **6.2 Equipos y materiales**

Los siguientes instrumentos de medición y materiales son necesarios para la calibración:

- Calibrador o fuente patrón

El calibrador patrón o fuente de intensidad de corriente debe estar calibrado de acuerdo con el plan de calibración establecido por el laboratorio. Se debe tener en cuenta que algunas pinzas amperimétricas pueden representar una carga considerable para los calibradores, generando interrupciones en su funcionamiento por el disparo de los sistemas de protección o distorsión en la intensidad de corriente generada. Es importante caracterizar la respuesta del calibrador ante la carga de diferentes tipos de pinzas y si es necesario, utilizar un sistema alternativo para la medición de la corriente generada por el calibrador (por ejemplo con derivador y voltímetro) (7).

- Bobina (Coil)

La bobina es un elemento pasivo pero muy importante en el sistema de medición, sin embargo no requiere una calibración, sino más bien un proceso de verificación y caracterización adecuado (7). Para esto se puede comparar con otras bobinas y caracterizar con diferentes tipos de pinzas. Las bobinas tienen un número definido de espiras pero el campo magnético generado por esta puede cambiar de acuerdo con la distribución espacial de dichas espiras y su condición física. Todas estas condiciones que pueden modificar las mediciones deben ser evaluadas por el laboratorio e incluidas adecuadamente en el presupuesto de incertidumbre.

- Derivador (Shunt) patrón (en caso de requerirse)

El derivador hace parte del sistema de medición de la corriente generada por la fuente, en caso de requerirse, de acuerdo a las características de los patrones utilizados y su caracterización según el alcance de las mediciones y el IBC. El derivador debe estar calibrado acorde al plan de calibración establecido por el laboratorio y en diferentes puntos de intensidad de corriente y frecuencias de operación de acuerdo con el uso previsto. Para las mediciones de intensidad de corriente alterna es importante utilizar derivadores específicos para dicha magnitud (anti-inductivo).

- Voltímetro patrón (en caso de requerirse)

El voltímetro hace parte del sistema de medición de la corriente generada por la fuente, en caso de requerirse, de acuerdo con las características de los patrones utilizados y su caracterización según el alcance de las mediciones y el IBC. El voltímetro debe estar calibrado acorde al plan de calibración establecido por el laboratorio y en diferentes puntos de tensión y frecuencias de operación de acuerdo al uso previsto. Las mediciones que se lleven a cabo con el voltímetro no deben ser muy bajas respecto a su alcance, esto se garantiza con una selección adecuada del derivador patrón de acuerdo con el intervalo de operación. Los cables de conexión entre el derivador y el voltímetro deben ser lo más cortos posible.

En caso de requerirse un sistema de medición de la corriente generada por la fuente, no solo se puede emplear un derivador y un voltímetro, también se podrían emplear otros sistemas patrón conformados por transformador de corriente, medidores de corriente, entre otros. Sin importar el sistema empleado para la medición de la corriente generada, es importante garantizar que su incertidumbre sea adecuada de acuerdo con el alcance y la incertidumbre esperada en el proceso de

calibración de pinzas amperimétricas y que sus valores sean trazables al Sistema Internacional de Unidades SI.

- Cables de conexión

Los cables eléctricos deben estar en buen estado para realizar las conexiones y ser adecuados para la corriente que circulará por ellos.

- Equipo para medición de temperatura y humedad relativa

El equipo de medición de temperatura y humedad debe cumplir con los requisitos metroológicos que permitan mantener la trazabilidad metroológica de los valores del calibrador patrón y el sistema de medición.

- Elementos de limpieza

Para la limpieza de contactos en bornes y puntas de conexión del sistema de medición, se requieren elementos tales como algodón y alcohol.

- Instrumento bajo calibración

Corresponde a pinzas amperimétricas, las cuales pueden ser de tipo transformador, flexible (bobina Rogowski) o tipo hall. De acuerdo con su construcción, las pinzas pueden tener alcances diferentes de medición y condiciones diferentes de operación que deben ser consideradas en el proceso de calibración.

### **6.3 Condiciones ambientales**

Se debe asegurar que se cumplan las condiciones ambientales apropiadas para que se conserve la trazabilidad de las mediciones, de acuerdo con las condiciones de calibración del sistema de medición y del IBC.

### **6.4 Proceso de calibración**

#### **6.4.1 Secuencias de calibración**

El proceso de calibración puede seguir una de las tres secuencias descritas a continuación (3):

- 1) Calibración inicial/ Ajustes/ Calibración final.
- 2) Ajuste / Calibración final.
- 3) Calibración sin ajustes.

En la secuencia 1), se realiza una calibración inicial, y si como consecuencia de esta primera calibración se identifica que el equipo requiere ajuste, se realiza dicho ajuste seguido de una calibración final. De esta forma la primera calibración proporciona información del estado del

instrumento previo al ajuste. La calibración final documenta el estado del instrumento después de realizar el ajuste. En este caso se conservarán registros tanto de la calibración inicial como final (3).

En todos los casos, los ajustes se deben realizar siguiendo el método, los puntos y todas las operaciones indicadas en el manual del fabricante. Los ajustes deben realizarse con autorización del cliente.

La secuencia 2) solamente aplica cuando el estado de la pinza amperimétrica antes de la calibración no es importante para el usuario, por ejemplo, porque no ha sido sometido a calibraciones periódicas, porque se acaba de reparar, porque es nueva, porque estaba previamente fuera de uso, etc. (3) Esta secuencia se sigue solo por petición explícita del usuario de la pinza amperimétrica.

La secuencia 3) se puede seguir a pedido del cliente incluso cuando la pinza amperimétrica se encuentra fuera de especificaciones, ya que el usuario puede utilizar factores de corrección deducidos de la calibración y le interesa conservar el historial de comportamiento del instrumento.

Por lo general, la pinza amperimétrica se debe configurar de forma tal que se obtenga la mejor exactitud de medición. Los patrones y los dispositivos auxiliares deben ser los apropiados para la calibración de la pinza amperimétrica.

#### 6.4.2 Definición de los puntos de medida

La definición de los puntos de medición para la calibración de una pinza amperimétrica puede ser lo suficientemente flexible para permitir la aplicación a diferentes marcas y modelos de instrumentos.

Para definir los puntos de medida se puede: tener en cuenta el principio de operación del instrumento, considerar los puntos de medición indicados por el fabricante o tomar en cuenta los requisitos del cliente.

En la Tabla 2 se proporciona la lista de puntos de calibración que pueden ser tomados en cuenta, esta lista es suficiente para realizar una calibración completa de una pinza amperimétrica. Si la pinza amperimétrica se va a usar para una aplicación con un campo de medida específico es posible y recomendable definir otros puntos de medida.

**Tabla 2.** Puntos de calibración (3)

Magnitud	Puntos de medición	
Intensidad de corriente continua	10 %, 90 %	En todos los intervalos, excepto en uno intermedio.
	10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 %	En un intervalo intermedio.
Intensidad de corriente alterna (40 Hz a 400 Hz)	10 %, 90 %	En todos los intervalos, excepto en uno intermedio.
	10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 %	En un intervalo intermedio.

El valor del 10 % indica un punto arbitrario situado al principio de la escala, el valor real puede variar hasta el 25 % o 50 %, con el objeto de que no se realice la calibración para un punto que se pueda medir en el rango inferior (3).

El valor del 90% indica un punto arbitrario situado próximo del fondo de escala, el valor real puede variar del 80% al 95% del fondo de escala (3).

No obstante, cuando se trata de un rango en el que se está comprobando la linealidad (midiendo cinco puntos en el mismo rango), los valores del 10%, y de 90% se deben entender en sentido estricto (3).

Nota: no se han incluido medidas de intensidad continua con polaridad negativa, ya que la mayoría de las pinzas no presentan esta posibilidad de medida. Cuando la lectura es negativa es suficiente con invertir la posición de la pinza para lograr una lectura positiva, con lo cual no se justifica la calibración en polaridad negativa (3).

Los puntos de frecuencia son seleccionados de acuerdo con lo requerido por el usuario y el alcance del laboratorio, sin embargo se sugiere incluir la frecuencia de 60 Hz, ya que corresponde a un valor industrial de gran importancia (3) (7), por ser la frecuencia de la red de alimentación de energía eléctrica. Sin embargo, para dicho punto, el valor de frecuencia de prueba puede variar entre 40 Hz y 60 Hz (2).

### **6.4.3 Circuitos de medición**

La implementación de los circuitos de medición, que pueden ser de un solo conductor o de varios conductores (bobina), dependerá del alcance de medición esperado y los instrumentos patrón con los que cuente el laboratorio para la calibración del IBC relacionado en esta guía. El circuito de medición debe asegurar la condición de una intensidad de corriente eléctrica conocida que fluye en un material conductor.

Es importante conocer los factores que afectan el sistema de medición a implementar y su interacción con el IBC, con la finalidad de minimizar errores significativos en el resultado. Algunos de los factores más importantes se describen en esta guía.

#### **6.4.3.1 Circuito de medición de una sola espira**

Este tipo de circuito debe simular la condición de referencia de un conductor de corriente de dimensiones infinitas y retorno de corriente también a distancia infinita, teniendo en cuenta las limitantes experimentales. A continuación se describen algunas consideraciones importantes en su implementación (7):

- El conductor de retorno no debe afectar el campo magnético producido por el conductor principal que pasa por el centro de la pinza amperimétrica, ni afectar el funcionamiento del

IBC, esto teniendo en cuenta que un circuito de una espira de grandes dimensiones puede generar campos magnéticos que interfieran con la medición. Para esto se recomienda que los conductores de retorno se encuentren a una distancia mínima de 4 veces el tamaño del medidor (7). Los instrumentos de medición involucrados en el proceso de calibración deben estar alejados de la espira.

- Debido a las dimensiones de la espira, es probable que se genere una carga para la fuente de corriente mayor a su capacidad y provoque que se activen las protecciones del calibrador, cambie el valor generado o se distorsione la señal (7). De acuerdo con lo anterior, es necesario que el laboratorio evalúe si la carga asumida por la fuente, debida al circuito de medición, genera variaciones en sus valores y de ser así, es necesario buscar un sistema patrón para la medición de la intensidad de corriente aplicada (este puede estar constituido por un derivador o un transformador y un voltímetro).
- El circuito de medición debe permitir que la pinza amperimétrica bajo prueba, se pueda girar 360° alrededor del conductor principal (7). El poder girar la pinza permite evaluar el efecto del campo magnético generado por el conductor de retorno sobre el IBC.

#### **6.4.3.2 Circuito de medición con bobina (Coil)**

Este circuito es el más empleado, permitiendo simular el flujo de corriente a partir de un calibrador o fuente de corriente y una bobina. El valor de corriente medido por la pinza amperimétrica va a estar determinado por la intensidad de corriente generada y el número de espiras de la bobina.

El circuito de medición con bobina, permite que el alcance en intensidad de corriente para la calibración de pinzas amperimétricas sea mayor al generado directamente por una fuente de corriente o un calibrador multifunción. De esta manera, se puede simular el campo magnético generado por una intensidad de corriente sobre un conductor a partir de un valor más bajo de corriente y una bobina.

A continuación se describen algunas consideraciones importantes en su implementación (7):

- La carga generada por el sistema pinza amperimétrica - bobina sobre la fuente de corriente puede ser mayor a su capacidad y provoque que se activen las protecciones del calibrador, cambie el valor generado o se distorsione la señal (7). Esta situación debe ser verificada por el laboratorio. Si la señal de la fuente es modificada por la bobina y la pinza bajo prueba, es necesario buscar un sistema patrón para la medición de la intensidad de corriente aplicada (este puede estar constituido por un derivador o un transformador y un voltímetro), el cual será parte del sistema de calibración y por lo tanto del modelo de medición.
- Por efectos de calentamiento del sistema de medición se debe considerar la especificación del tiempo de operación de la bobina, sobre todo para valores de corriente altos, en los cuales

el fabricante puede especificar un tiempo máximo de operación y un tiempo mínimo de reposo.

- Aunque la bobina no requiere una calibración periódica, es necesario realizar verificaciones mediante procedimientos adecuados para comprobar su condición física y su generación de campo magnético bajo condiciones ideales de referencia (7). El laboratorio debe evaluar adecuadamente la incertidumbre debida a la condición de la bobina y su interacción en el circuito de medición. La verificación de la bobina para garantizar la calidad de los resultados puede realizarse mediante la comprobación con diferentes pinzas amperimétricas, la utilización de diferentes tipos de bobinas y la participación en comparaciones interlaboratorio.
- Aunque este tipo de circuito no permite que la pinza amperimétrica bajo prueba se pueda girar 360° alrededor de los conductores centrales de la bobina, se debe evaluar el efecto del posicionamiento de la pinza hasta donde sea permitido, de acuerdo al tamaño de la mordaza y la bobina.

#### 6.4.4 Conexiones y realización de las medidas

Se debe tener especial cuidado con los cables de conexión que se usan, se debe garantizar que se encuentren en buen estado, que estén diseñados para la corriente que circulará por ellos y que hagan buen contacto con los terminales de la fuente y los demás patrones involucrados en el sistema de medición.

Elegir la configuración de la pinza amperimétrica que presente las mejores especificaciones, según el manual del fabricante y seguir las indicaciones del manual para la configuración, esta configuración de medición debe quedar registrada en el informe o certificado de calibración.

En cada uno de los puntos de calibración se realizarán el número de repeticiones necesarias para obtener un factor de cobertura ( $k$ ) adecuado que permita expresar la incertidumbre expandida  $U$ , de acuerdo con la política para estimación de incertidumbre del laboratorio. Se debe garantizar independencia de las repeticiones.

La realización de las medidas dependerá de la implementación del circuito escogido para la calibración de las pinzas amperimétricas, sin embargo, es importante realizar las siguientes acciones para la medición de intensidad de corriente eléctrica alterna y continua:

- Verificar el estado de la pinza amperimétrica y el correcto cierre de las mordazas. Se debe limpiar el contacto entre las mordazas para eliminar cualquier óxido o suciedad (7). Para las pinzas amperimétricas alimentadas por baterías, se debe verificar el estado de carga de las mismas (3).
- Para la magnitud de corriente continua (pinzas de efecto Hall), se debe llevar a cabo el proceso de desmagnetización previo al inicio de las mediciones en cada intervalo, realizando

la apertura máxima y cierre de las mordazas de la pinza amperimétrica. El número de veces mínimo a realizar dicha acción es de 3 a 4 veces (3) (7). Tenga en cuenta que esta acción debe hacerse sin generar la intensidad de corriente en el circuito de medición o retirando la pinza del conductor.

- De acuerdo al tipo de pinza, cuando sea posible, para la magnitud de intensidad de corriente continua, es necesario realizar un ajuste de cero previo al inicio de las mediciones en cada intervalo, siguiendo los procedimientos indicados por el fabricante.
- Se debe generar el valor de corriente adecuado de acuerdo al circuito y el punto de medición, considerando los efectos de carga sobre la fuente por la interacción con el circuito de medición y la pinza amperimétrica. En caso de requerirse, el valor de la intensidad de corriente generada será medido a partir de un sistema de medición (por ejemplo derivador y voltímetro). Se debe tener en cuenta que algunos de los efectos que influyen en la calibración de pinzas amperimétricas son más críticos para algunos valores y frecuencias de medición (7). No se debe exceder el tiempo de calentamiento de la bobina especificado en el manual.
- El conductor o los conductores principales por donde circula la intensidad de corriente de referencia, de acuerdo al circuito de medición, debe estar posicionado en el centro de las mordazas. Para esto, algunas pinzas amperimétricas cuentan con unas indicaciones de posición en las mordazas. Las lecturas deben tomarse y registrarse para una posición central de la pinza, los efectos por medición en una posición diferente a la central deben contemplarse en el presupuesto de incertidumbre.

Todos los efectos que puedan afectar los resultados en la calibración de pinzas amperimétricas, ya sea por su construcción o su interacción con el circuito de medición deben ser evaluados y considerados en el presupuesto de incertidumbre. Algunas componentes se pueden estimar una vez, de acuerdo al tipo y fabricante de la pinza amperimétrica, y aplicar dicha componente a pinzas de características similares, siempre teniendo la documentación y registros de las acciones tomadas. Algunas de estas componentes son el efecto de carga, la histéresis en las pinzas de efecto hall, el efecto de posición, calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica, entre otros.

En el caso del circuito de medición con bobina, se debe tener presente que varios de los efectos que afectan la medición ya son considerados en las especificaciones de las bobinas, incluso son considerados los efectos de la interacción de la bobina con un calibrador multifunción específico y para diferentes tipos de pinza. Cuando las componentes ya están incluidas en la especificación provista por el fabricante, se puede incluir esta en el presupuesto de incertidumbre y no las componentes individuales que provienen del proceso de caracterización.

En el caso de identificar alguna fuente adicional de influencia en la medición, es importante tenerla en cuenta para el proceso de calibración.

## 6.5 Estimación de la incertidumbre de medición

La estimación de incertidumbre se realizará siguiendo los criterios de la GUM (10). La ecuación que relaciona las variables en la calibración de pinzas amperimétricas es la siguiente ecuación:

$$E = (\bar{I}_x + \delta I_{x \text{ hist}} + \delta I_{x \text{ coil}} + \delta I_{x \text{ stb}} + \delta I_{x \text{ res}}) - (N \times (I_s + \delta I_{s \text{ esp}} + \delta I_{s \text{ carg}})) \quad [1]$$

Donde:

$E$	Error
$\bar{I}_x$	Promedio de las indicaciones de la pinza amperimétrica.
$\delta I_{x \text{ hist}}$	Corrección debida al efecto de histéresis presente en las pinzas amperimétricas para la medición de intensidad de corriente eléctrica continua.
$\delta I_{x \text{ coil}}$	Corrección debida a la interacción entre la bobina y la pinza amperimétrica (posición, ángulo).
$\delta I_{x \text{ stb}}$	Corrección debida al calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica.
$\delta I_{x \text{ res}}$	Corrección debida a la resolución de la pinza amperimétrica.
$N$	Número de vueltas de la bobina en el sistema de generación de intensidad de corriente.
$I_s$	Valor de intensidad de corriente eléctrica corregido (calibración del patrón).
$\delta I_{s \text{ esp}}$	Corrección debida a la incertidumbre instrumental “especificaciones del fabricante” del patrón, este término considera todos los aspectos y características metrológicas del patrón.
$\delta I_{s \text{ carg}}$	Corrección debida a la carga entre la pinza amperimétrica/bobina con la fuente de intensidad de corriente.

### 6.5.1 Fuentes de incertidumbre de medición

#### 6.5.1.1 Incertidumbre por repetibilidad $u(I_x)$

Se toman repeticiones independientes y al promedio de estas indicaciones de la pinza amperimétrica se asocia la incertidumbre tipo A. La distribución de la probabilidad de esta fuente de incertidumbre se considera normal.

$$u(\bar{I}_x) = \frac{s(I_x)}{\sqrt{n}} \quad [2]$$

#### 6.5.1.2 Incertidumbre por efecto de histéresis $u(\delta I_{x \text{ hist}})$

La incertidumbre debida al efecto de histéresis está presente en pinzas amperimétricas de tipo hall, en la medición de intensidad de corriente continua. Para determinar la incertidumbre se puede realizar el siguiente proceso: realizar desmagnetización de la pinza y ajuste de cero de acuerdo al

manual de la pinza, luego aplicar el valor de intensidad de corriente positivo cercano al límite del intervalo de medida, vuelva a cero y registre la indicación en cero (medición cero), ahora desmagnetice y realice el ajuste de cero nuevamente, aplicar el valor de intensidad de corriente negativo cercano al límite del intervalo de medida, vuelva al punto cero y registre la indicación de la pinza (medición cero) (7). Se debe realizar la secuencia descrita cuatro veces como mínimo. Con las indicaciones de cero obtenidas, se calcula la diferencia entre el valor máximo y mínimo de dichas observaciones, la cual será aplicada para todo el intervalo. Esta prueba puede ser evaluada una única vez para cada tipo y modelo de pinza amperimétrica y ser usada en calibraciones futuras para pinzas de las mismas características.

La incertidumbre por histéresis se toma como una distribución rectangular:

$$u(\delta I_{x \text{ hist}}) = \frac{|máximo(mediciones \text{ cero}) - mínimo(mediciones \text{ cero})|}{2\sqrt{3}} \quad [3]$$

En el caso de que la incertidumbre debida al efecto de histéresis no se tenga en cuenta en el presupuesto de incertidumbre, el laboratorio deberá dejar indicado en el certificado de calibración, que ésta debe ser estimada por el usuario.

#### 6.5.1.3 Incertidumbre por la interacción bobina y pinza amperimétrica $u(\delta I_{x \text{ coil}})$

La incertidumbre asociada a la interacción de la pinza con el circuito de medición (bobina o espira) se debe a la imperfección del circuito de generación de intensidad de corriente, en la cual incluye la posición de la pinza respecto al conductor principal y la interacción con el campo magnético generado por el o los conductores de retorno. Esta componente se determina, evaluando las indicaciones de la pinza amperimétrica para diferentes posiciones y ángulos respecto al conductor del circuito de medición implementado. Esto puede comprobarse realizando las siguientes pruebas:

Medir la intensidad de corriente, en cada punto, para distintas posiciones del conductor principal dentro de las mordazas de la pinza amperimétrica y registrar dichas lecturas.

Medir la intensidad de corriente girando la pinza amperimétrica en distintos ángulos. Para el circuito de medición de una sola espira se debe cubrir  $360^\circ$  respecto al conductor. Para el circuito de medición con bobina no es posible cubrir un ángulo de  $360^\circ$  y por lo tanto estará limitado a las dimensiones y la forma de la bobina y las mordazas de la pinza bajo prueba. Registrar las lecturas para los diferentes ángulos medidos.

De acuerdo con los resultados de las pruebas mencionadas en posición y ángulo, determinar cuáles de estos son más significativos e incluirlos en el presupuesto de incertidumbre. Con las indicaciones obtenidas, se calcula la diferencia entre el máximo valor registrado y el mínimo valor registrado, esto para cada punto de medición.

La incertidumbre debida a la interacción de bobina y pinza amperimétrica se toma como una distribución rectangular:

$$u(\delta I_{x\ coil}) = \frac{|indicación_{máxima} - indicación_{mínima}|}{2\sqrt{3}} \quad [4]$$

#### 6.5.1.4 Incertidumbre por el calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica $u(\delta I_{x\ stb})$

Esta incertidumbre se debe a la estabilidad de las mediciones por el efecto de calentamiento de las mordazas. Para evaluar esta componente, se realiza la medición de un primer ciclo con los puntos de calibración establecidos en el intervalo, luego se mantendrá la generación de intensidad de corriente en el punto de medición máximo, permitiendo el calentamiento de las mordazas, y finalmente se realiza un segundo ciclo con los puntos de calibración establecidos en el intervalo. Se deben definir los tiempos de estabilización de la medición teniendo en cuenta no superar el tiempo máximo definido por el fabricante para la generación de intensidad de corriente del patrón y el ciclo útil de operación de la bobina. Con las indicaciones obtenidas, se calcula la diferencia entre las mediciones del ciclo uno y ciclo dos para cada punto y se identifica la máxima diferencia, la cual será aplicada para todo el intervalo. Esta prueba puede ser evaluada una única vez para cada tipo y modelo de pinza amperimétrica y ser usada en calibraciones futuras para pinzas de las mismas características.

La incertidumbre por estabilidad se toma como una distribución rectangular:

$$u(\delta I_{x\ stb}) = \frac{|máxima\ diferencia|}{2\sqrt{3}} \quad [5]$$

#### 6.5.1.5 Incertidumbre por resolución de la pinza amperimétrica $u(\delta I_{x\ res})$

Es la incertidumbre por resolución del indicador de la pinza amperimétrica con distribución de probabilidad rectangular y semi-intervalo igual a la resolución dividida por 2.

$$u(\delta I_{x\ res}) = \frac{resolución}{2\sqrt{3}} \quad [6]$$

#### 6.5.1.6 Incertidumbre de calibración del patrón $u(I_s)$

Aunque el circuito de medición es el conjunto entre el calibrador patrón y la bobina/espira, la estimación de la incertidumbre de calibración del patrón, solo toma en cuenta la del calibrador multifunción, teniendo en cuenta lo indicado en el numeral 6.2 para la bobina, esta no debe ser calibrada de manera estricta, únicamente requiere un proceso de verificación y caracterización. Esta componente corresponde a la incertidumbre del error reportado en el certificado de calibración de la fuente o calibrador patrón, para el punto generado. Puesto que en los certificados se indican

incertidumbres expandidas  $U$ , con el respectivo factor de cobertura  $k$ , para hallar la incertidumbre estándar se tiene:

$$u(I_s) = \frac{U}{k} \quad [7]$$

La distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre usualmente se considera normal. En el caso de que el punto de generación de intensidad de corriente no coincida con un valor certificado del calibrador, se incluirá como componente de incertidumbre la mayor incertidumbre de calibración del calibrador de entre todos los puntos calibrados del intervalo en el que se usa, para aplicar este criterio se puede consultar el apartado F.2.4.5 de la referencia (10).

En caso de incluir un sistema de medición de la corriente aplicada por el calibrador o fuente, el valor  $I_s$  corresponderá a las mediciones realizadas por dicho sistema y por lo tanto el calibrador o fuente ya no será incluido en el modelo de medición. Si es utilizado un sistema conformado por derivador y voltímetro, el valor patrón de la corriente aplicada al circuito de medición estará determinado por el valor de tensión eléctrica corregida y el valor certificado de la resistencia (derivador) patrón. En este caso deben incluirse las respectivas componentes de incertidumbre para el voltímetro y el derivador.

#### 6.5.1.7 Incertidumbre instrumental del patrón “especificación del fabricante” $u(\delta I_{s\text{ esp}})$

Es la “especificación de exactitud” declarada por el fabricante, para el conjunto de calibrador multifunción y bobina. Si no establece otra cosa, se toma como una distribución rectangular:

$$u(\delta I_{s\text{ esp}}) = \frac{\text{Especificación fabricante}}{N\sqrt{3}} \quad [8]$$

Para ciertos instrumentos de mayor exactitud, la distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre puede ser indicada como normal en el manual del fabricante.

En el caso de que el patrón sea el conjunto de calibrador multifunción y bobina, y no se cuente con una especificación de exactitud por la interacción de ambos, la incertidumbre instrumental del patrón será la combinación de las dos:

$$u(\delta I_{s\text{ esp}}) = \sqrt{\left(\frac{\text{Espec. fabr. calibrador}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{Espec. fabr. bobina}}{N\sqrt{3}}\right)^2} \quad [9]$$

Siendo  $N$ , el número de espiras de la bobina. La componente debida a la incertidumbre instrumental de la bobina debe ser dividida entre el número de espiras  $N$ , ya que dicha “especificación de fabricante” contiene el efecto de dicha cantidad de espiras y de acuerdo al modelo de medición indicado en la ecuación [1], la componente por especificaciones del patrón  $u(\delta I_{s\text{ esp}})$  está siendo

multiplicada por  $N$ , es decir la estimación de dicha componente debe considerar únicamente el efecto de una sola espira porque el número de espiras  $N$ , será el coeficiente de sensibilidad que multiplique esta componente cuando se estime la incertidumbre combinada.

Para el caso que la componente de incertidumbre instrumental del patrón sea normal, se reemplaza el término  $\sqrt{3}$  de las ecuaciones [8] y [9] (donde aplique) por el factor de cobertura adecuado de acuerdo a la probabilidad de cobertura de las “especificaciones de fabricante”.

#### 6.5.1.8 Incertidumbre por el efecto de la carga en el generador Patrón $u(\delta I_{s\text{ carg}})$

La incertidumbre por el efecto de carga en el generador de intensidad de corriente patrón es ocasionada por perturbaciones en la intensidad de corriente generada por el calibrador/fuente debida a los efectos de carga que representa la pinza amperimétrica multiplicada por el número de espiras de la bobina o el efecto de la carga por las dimensiones de la espira según el circuito de medición. En caso de que el fabricante no detalle dicha especificación por el efecto de carga, esta puede ser evaluada de la siguiente manera: realizar la medición de la intensidad de corriente aplicada por el generador patrón por medio de un sistema alterno de medida (este puede ser un multímetro conectado en serie, un sistema derivador – voltímetro), generando la intensidad de corriente requerida sin la carga del circuito de medición y la pinza amperimétrica y después realizar la misma medición pero con la carga completa de la bobina/espira y la pinza amperimétrica (7). Verificar las diferencias de las mediciones en ambas condiciones, y si se encuentra un efecto considerable, hallar la corrección para cada punto con la ecuación [10].

$$\delta I_{s\text{ carg}} = (\text{lectura con carga} - \text{lectura sin carga}) \quad [10]$$

La incertidumbre  $u(\delta I_{s\text{ carg}})$  se determina a partir de la medición de dicha diferencia y solo aplica si el efecto de carga es considerable. Como la medición de la corrección por carga es una diferencia, no requiere incluir componentes por trazabilidad del sistema de medición utilizado, pero se debe incluir una componente por la estabilidad de dichas mediciones.

Otra posibilidad, para el caso de que se obtenga un efecto de carga, es medir el valor de la intensidad de corriente generada por la fuente a partir de un sistema de medición patrón (por ejemplo derivador y voltímetro), es decir, no se utilizará el valor corregido del calibrador, sino la medición de corriente aplicada a partir de la indicación del voltímetro y el valor certificado del derivador. En este caso, sí se requiere incluir las componentes por trazabilidad del sistema de medición, pero no del calibrador o fuente.

La criticidad del efecto de carga depende de los valores y frecuencias de medición. Si el efecto de carga no es significativo, la corrección e incertidumbre por dicho efecto no se considerará, tampoco será requerido un sistema patrón de medida para la corriente aplicada.

### 6.5.1.9 Incertidumbre combinada

Para este punto se aplica la ley de propagación de incertidumbres para magnitudes de entrada no correlacionadas (10) (11):

$$u^2_c(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad [11]$$

Los factores  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  son los coeficientes de sensibilidad. De acuerdo con todos los términos de la

ecuación que relaciona las variables los coeficientes son:  $\frac{\partial E}{\partial I_x} = \frac{\mathcal{E}}{\partial I_x} = \frac{\mathcal{E}}{\partial \delta I_x \text{ hist}} = \frac{\mathcal{E}}{\partial \delta I_x \text{ coil}} = \frac{\mathcal{E}}{\partial \delta I_x \text{ stb}} = \frac{\partial E}{\partial \delta I_x \text{ res}} = 1$

$$y \frac{\partial E}{\partial I_s} = \frac{\mathcal{E}}{\partial \delta I_s \text{ esp}} = \frac{\partial E}{\partial \delta I_s \text{ carg}} = N.$$

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(I_x) + u^2(\delta I_x \text{ hist}) + u^2(\delta I_x \text{ coil}) + u^2(\delta I_x \text{ stb}) + u^2(\delta I_x \text{ res}) + N^2 (u^2(I_s) + u^2(\delta I_s \text{ esp}) + u^2(\delta I_s \text{ carg}))} \quad [12]$$

### 6.5.1.10 Incertidumbre expandida de medición

Para pinzas amperimétricas de las características indicadas en el alcance de esta guía, se puede presentar el caso que una de las componentes de incertidumbre con distribución de probabilidad rectangular sea dominante frente a las demás, este puede ser el caso de la fuente de incertidumbre por resolución del indicador de la pinza amperimétrica  $u(\delta I_x \text{ res})$ , suponiendo que esta incertidumbre sea mayor que las otras fuentes, para definir si es dominante se utilizará el siguiente criterio (11):

$$\text{Si } \frac{\sqrt{u^2(I_x) + u^2(\delta I_x \text{ hist}) + u^2(\delta I_x \text{ coil}) + u^2(\delta I_x \text{ stb}) + N^2 (u^2(I_s) + u^2(\delta I_s \text{ esp}) + u^2(\delta I_s \text{ carg}))}}{u(\delta I_x \text{ res})} \leq 0.3 \quad [13]$$

Cuando se cumpla este criterio la incertidumbre expandida se puede calcular multiplicando la incertidumbre combinada por un factor igual a 1.65 para una probabilidad de cobertura del 95 % (12) (11).

$$U = 1.65 u_c(E) \quad [14]$$

Este caso también puede darse cuando alguna de las fuentes de incertidumbre con distribución de probabilidad rectangular es dominante con respecto a las demás fuentes de incertidumbre.

Si el criterio de la ecuación [13] no se cumple, se debe estimar los grados efectivos de libertad de la incertidumbre combinada de acuerdo con la fórmula de Welch-Satterthwaite (10):

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(E)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(E)}{v_i}} \quad [15]$$

Para el uso de la ecuación [15] es necesario determinar los grados de libertad de cada una de las distribuciones que intervienen en la incertidumbre combinada, para las incertidumbres tipo A, los grados de libertad se calculan como n-1 donde n es el número de repeticiones en un punto; para las incertidumbres tipo B, se asignan grados de libertad de acuerdo al nivel de inseguridad que se tenga de la misma de acuerdo a la siguiente ecuación (10):

$$v_i = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \quad [16]$$

El término  $\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)}$  es el nivel de inseguridad, expresada en forma relativa, que se tiene sobre la

incertidumbre tipo B que se evalúa. Cuando se tiene un nivel de inseguridad de 0.05, es decir del 5 %, el valor de los grados de libertad es igual a 200. Este porcentaje se escoge de acuerdo con la experiencia y conocimiento que se tenga del tipo de incertidumbre. En la Tabla 3 se presentan algunos valores de los grados de libertad, para diferentes niveles de inseguridad en incertidumbres tipo B.

**Tabla 3.** Grados de Libertad

Nivel de inseguridad	Grados de libertad
1 %	5000
5 %	200
10 %	50
20 %	12.5

A partir de los grados efectivos de libertad se determina el factor de cobertura  $k$ , para el cual se logra una probabilidad de cobertura del 95.45 %, con lo cual la incertidumbre expandida se obtiene de acuerdo con:

$$U = k * u_c(E) = k * \sqrt{u^2(I_x) + u^2(\delta I_{x \text{ hist}}) + u^2(\delta I_{x \text{ coi}}) + u^2(\delta I_{x \text{ stb}}) + u^2(\delta I_{x \text{ res}}) + N^2 (u^2(I_s) + u^2(\delta I_{s \text{ esp}}) + u^2(\delta I_{s \text{ carg}}))} \quad [17]$$

En el anexo 1 se presenta un ejemplo para un presupuesto de incertidumbres.

## 6.6 Presentación de los resultados

El certificado o informe de calibración debe cumplir con los requisitos indicados en ISO/IEC 17025. Los resultados se deben presentar de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva. Se debe incluir toda información necesaria para la interpretación de los resultados de medición y una descripción del método utilizado (13).

En los resultados de calibración para cada magnitud, se debe indicar claramente las condiciones de medición del IBC, se deben incluir las condiciones ambientales que influyen en la validez de los resultados de medición.

Para cada punto de calibración se deben registrar los siguientes datos con sus respectivas unidades:

- Intervalo de Medición
- Frecuencia de medición (para intensidad de corriente alterna)
- Indicación promedio del IBC
- Valor aplicado de intensidad de corriente
- Error en cada punto (diferencia entre la indicación del IBC y el valor aplicado por el patrón).
- Factor de cobertura ( $k$ ) para la probabilidad de cobertura del 95.45 %
- Incertidumbre expandida ( $U$ )

La incertidumbre expandida se debe reportar con dos cifras significativas como máximo, las cifras adicionales deben ser redondeadas (12) (10).

En cuanto al número de cifras decimales que se deberían reportar, el valor de la magnitud aplicada y el resultado de medición deberían ser consistentes con la incertidumbre expandida, para el valor promedio medido por el IBC, este debe ser consistente con su resolución, pero si este valor tiene un gran número de cifras se deben descartar aquellas no consistentes con la incertidumbre reportada (12). Se debe tener en cuenta que descartar las cifras en el valor de la indicación del IBC debe estar considerado en la incertidumbre expandida reportada, para esto, es conveniente sumarle el valor absoluto de la diferencia entre el valor de la indicación con las cifras sin descartar y el valor con las cifras descartadas.

Se debe evidenciar que los resultados reportados en el certificado corresponden a la condición del IBC en la fecha de calibración y condiciones de calibración y que no tienen en cuenta la estabilidad del IBC a largo plazo.

Si se realizan declaraciones de conformidad, se deben considerar los requisitos contenidos en la norma ISO/IEC 17025:2017.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **JCGM 200:2012.** *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. 3rd 2008 version with minor corrections. s.l. : BIPM, 2012.
2. **CEM (Centro Español de Metrología).** *PROCEDIMIENTO EL-001 PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTIMETROS DIGITALES*. Madrid - España : CEM.
3. —. *PROCEDIMIENTO EL-007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS*. Madrid - España : CEM.
4. **CEM .** *Procedimiento EL-010 para la calibración de calibradores multifunción*. Madrid : Centro Español de Metrología, 2008.

5. **IEC.** Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary. *International Electrotechnical Commission*. [En línea] 2020. [Citado el: 06 de 04 de 2020.] <http://www.electropedia.org/>. 313-09-04.
6. **INM/GTM EM-CCA/01.** *Guía para la calibración de multímetros digitales 4 5/6 (50 000 cuentas)*. Versión No. 1. Bogotá : Instituto Nacional de Metrología de Colombia, 2019.
7. **Servizio di Taratura in Italia.** *SIT/Tec-014/06 LINEA GUIDA PER LA TARATURA DI PINZE AMPEROMETRICHE*. Italia : s.n.
8. **Fluke.** Inside flexible coil clamp meters. *Clamp meter fundamentals*. [En línea] 2020. [Citado el: 06 de 04 de 2020.] <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/test-tools-basics/clamp-meters/inside-flexible-coil-clamp-meters>.
9. *The design, confirmation and use of a compact Current Coil set for clamp meter calibration.* **Roberts, Paul.** Monterey : s.n., Proc. 1996 NCSL Workshop & Symposium. Fluke Precision Measurement, págs. 397-402.
10. **JCGM 100:2008.** *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement: GUM 1995 with minor corrections*. First. s.l. : BIPM, 1995. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. .
11. **EUROPEAN ACCREDITATION.** *EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration*. s.l. : EUROPEAN ACCREDITATION, 2013.
12. **EURAMET- Technical Committee for Electricity and Magnetism.** *Guidelines On the calibration of Digital multimeters. EURAMET cg-15. Version 3.0*. Braunschweig- Germany : s.n., 2015. Version 3.0.
13. **ISO/IEC 17025.** *Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración*. 2017.

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1. EJEMPLO PRESUPUESTO DE INCERTIDUMBRES

Fuentes de incertidumbre	Estimación magnitud $X_i$	Unidad	Distribución probabilidad	Factor de cobertura	Incertidumbre estándar $u_i(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la incertidumbre $u_i(y) = c_i u_i$	Grados de libertad $\nu_i$
$I_x$			Normal			1		n-1
$\delta I_x hist$			Rectangular			1		
$\delta I_x coil$			Rectangular			1		
$\delta I_x stb$			Rectangular			1		
$\delta I_x res$			Rectangular			1		
$I_s$			Normal			N		
$\delta I_s esp$			Rectangular/ Normal			N		
$\delta I_s carg$			Rectangular			N		

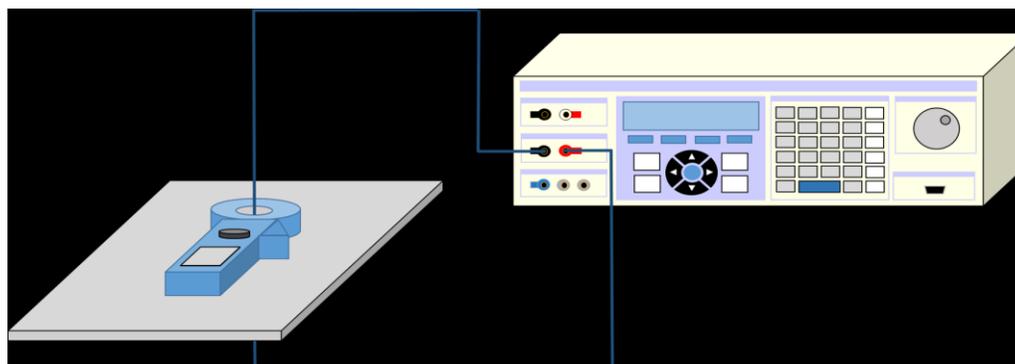
Grados efectivos de libertad		
Incertidumbre combinada		
Factor de cobertura $k$ para 95.45%		
Incertidumbre expandida, $U$		

## ANEXO 2. EJEMPLO NUMÉRICO

### Calibración de una pinza amperimétrica en intensidad de corriente alterna

Se realiza la calibración de una pinza amperimétrica tipo Hall en la magnitud de intensidad de corriente alterna, en el valor de 1.8 A a 60 Hz. Las mediciones se realizan en el intervalo de medición de 2 A del IBC.

Para esta calibración se utiliza el circuito de medición de una sola espira, empleando un calibrador multifunción para aplicar la corriente de prueba.



**Figura 1.** Circuito de medición de una espira para calibración de pinza amperimétrica

Las lecturas tomadas por la pinza amperimétrica son las siguientes:

**Tabla 4.** Lecturas indicación pinza amperimétrica.

Lecturas pinza amperimétrica				
A				
1	2	3	4	5
1.802	1.802	1.802	1.802	1.803

El valor promedio de las indicaciones de la pinza amperimétrica, redondeado al número de decimales de acuerdo con su resolución es:

$$I_x = 1.802 \text{ A}$$

A partir de la ecuación [1] que relaciona las variables del sistema de medición se determina el presupuesto de incertidumbres.

### Incertidumbre por repetibilidad del IBC $u(I_x)$

La incertidumbre por repetibilidad se calcula mediante la ecuación [2].

$$u(\bar{I}_x) = 0.00020 \text{ A}$$

### Incertidumbre por el calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica $u(\delta I_{x\ stb})$

Los datos obtenidos para la prueba de calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica fueron:

Estabilidad térmica (Intervalo de medición 2 A)				
10%	90%	90%	10%	90%
0.191	1.803	1.804	0.192	1.804

Diferencia_10 %	Diferencia_90%
-0.001	-0.001

La incertidumbre por el calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica se calcula mediante la ecuación [5].

$$u(\delta I_{x\ stb}) = 0.00029 \text{ A}$$

### Incertidumbre por la interacción bobina y pinza amperimétrica $u(\delta I_{x\ coil})$

Los datos obtenidos para la prueba de posición entre las mordazas de la pinza amperimétrica con respecto al conductor fueron:

Posición	Posición 1	Posición 2	Posición 3	Posición 4	Posición 5
<b>1.8 A</b>	1.803	1.801	1.805	1.808	1.804

La incertidumbre por posición se calcula mediante la ecuación [4].

$$u(\delta I_{x\ coil}) = 0.0020 \text{ A}$$

### Incertidumbre por resolución del IBC $u(\delta I_{x\ res})$

La incertidumbre por resolución se calcula mediante la ecuación [6]. La resolución correspondiente al intervalo de medición es 0.001 A.

$$u(\delta I_{x\ res}) = 0.00029 \text{ A}$$

### Incertidumbre instrumental del patrón “especificación del patrón” $u(\delta I_{s\ esp})$

Las especificaciones del calibrador patrón son: (0.06% salida + 0.4  $\mu$ A) a 60 Hz

El valor de la incertidumbre instrumental del patrón se calcula mediante la ecuación [8]:

$$u(\delta I_{s\ esp}) = 0.00062\ A$$

### Incertidumbre de calibración del patrón $u(I_s)$

El valor de incertidumbre expandida reportada por el certificado del patrón es de 0.0014 A con factor de cobertura  $k = 2.0$  para aproximadamente el 95 % de probabilidad de cobertura. El valor de la incertidumbre estándar de calibración del patrón se estima mediante la ecuación [7]:

$$u(I_s) = 0.00070\ A$$

Para la indicación del calibrador del valor de 1.8000 A; el certificado de calibración reporta un valor de 1.8006 A.

### Incertidumbre por el efecto de la carga en generador patrón $u(\delta I_{s\ carg})$

Para este ejemplo, no hay efecto de carga en el generador patrón, este se calcula mediante la ecuación [10]. Por lo tanto no se considera incertidumbre por este efecto:

$$u(\delta I_{s\ carg}) = 0\ A$$

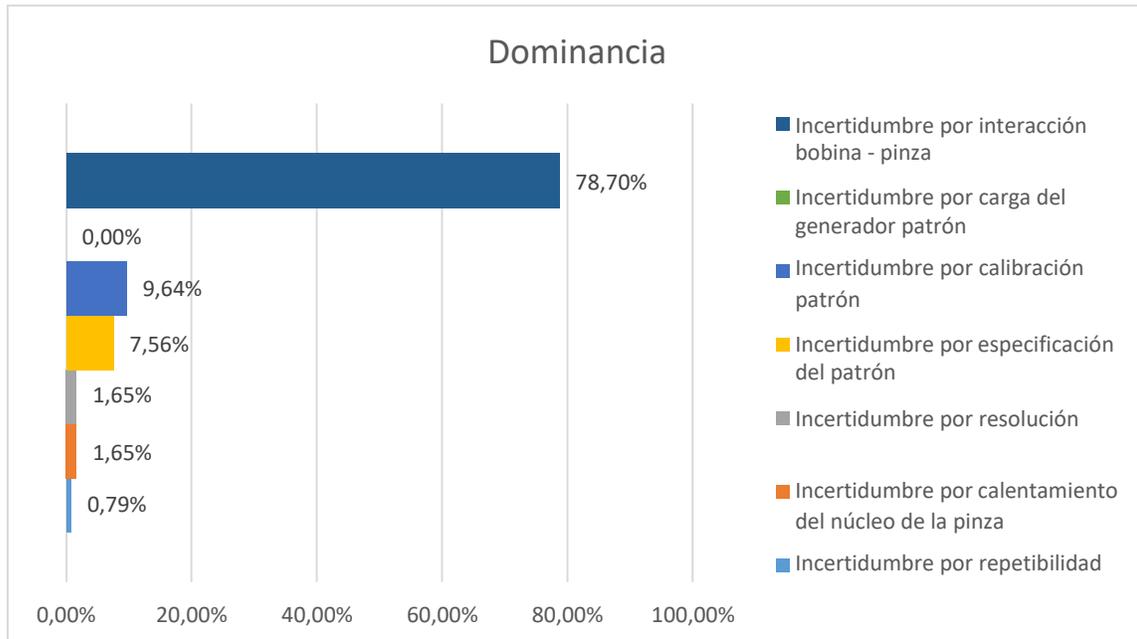
### Incertidumbre combinada

El valor de la incertidumbre combinada se calcula mediante la ecuación [12]. El valor de los coeficientes de sensibilidad correspondientes al IBC es uno, para el caso del patrón es igual a N, sin embargo como es una sola espira,  $N = 1$ . Los coeficientes son hallados a partir de la ecuación [1] con las derivadas parciales de cada variable que interviene.

$$u_c(E) = 0.0023\ A$$

### Incertidumbre expandida

A partir de la siguiente grafica se identifica cual incertidumbre puede ser dominante:



De acuerdo con el gráfico anterior se observa que la incertidumbre por posición puede ser dominante, para verificar si esta incertidumbre cumple la condición para ser dominante se usa la ecuación [13]. El resultado de este cálculo es: 0.51, en este caso no se cumple la condición establecida por la ecuación, es decir, esta fuente de incertidumbre no es dominante, por tanto, se debe realizar el cálculo de los grados efectivos de libertad con la ecuación [15] de Welch- Satterthwaite.

Los grados de libertad de las incertidumbres tipo B, se calculan mediante la ecuación [16] con el nivel de inseguridad asignado por el observador. En este caso se asigna una inseguridad del 5 % con el cual se obtiene:

$$v_i = \frac{1}{2} [0.05]^{-2} = 200$$

Los grados de libertad de la incertidumbre tipo A corresponden a n-1, siendo n el número de observaciones, por lo tanto se tienen 4 grados de libertad.

Finalmente, el valor correspondiente de los grados efectivos de libertad  $V_{eff}$ , estimado con la ecuación [15] es de:

$$V_{eff} \cong 311$$

A partir de este valor de los grados efectivos de libertad  $V_{eff}$ , se determina el factor de cobertura  $k$ . En este caso, para una probabilidad de cobertura del 95.45 %, el factor de cobertura es  $k=2.0$ .

Con la tabla del anexo 1 se obtiene el siguiente presupuesto de incertidumbres:

Fuentes de incertidumbre	Estimación magnitud $X_i$	Unidad	Distribución probabilidad	Factor de cobertura	Incertidumbre estándar $u_i(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la incertidumbre $u_i(y) = c_i u_i$	Grados de libertad $v_i$
$I_x$	1.802	A	Normal	-	0.00020	1	0.00020	4
$\delta I_{x\ coil}$	0	A	Rectangular	-	0.0020	1	0.0020	200
$\delta I_{x\ stb}$	0	A	Rectangular	-	0.00029	1	0.00029	200
$\delta I_{x\ res}$	0	A	Rectangular	-	0.00029	1	0.00029	200
$I_s$	1.8006	A	Normal	-	0.00070	1	0.00070	200
$\delta I_{s\ esp}$	0	A	Rectangular	-	0.00062	1	0.00062	200
$\delta I_{s\ carg}$	0	A	Rectangular	-	0	1	0	200
Grados efectivos de libertad								311
Incertidumbre combinada							0.0023	A
Factor de cobertura $k$ para 95.45%							2.0	
Incertidumbre expandida, $U$							0.0046	A

En este presupuesto se ha considerado que los valores de corrección para: interacción bobina-pinza ( $\delta I_{x\ coil}$ ), calentamiento del núcleo de la pinza ( $\delta I_{x\ stb}$ ), resolución del IBC ( $\delta I_{x\ res}$ ), especificación del patrón ( $\delta I_{s\ esp}$ ) y carga del generador de corriente ( $\delta I_{s\ carg}$ ) valen cero.

Utilizando la ecuación [1] se calcula el error correspondiente:

$$E = 0.0014 \text{ A}$$

Finalmente, con el valor del factor de cobertura se estima la incertidumbre expandida a partir de la ecuación [17]:

$$U \approx 0.0046 \text{ A}$$

### Presentación de los resultados obtenidos

Dado que el resultado obtenido para la incertidumbre expandida tiene más decimales que la resolución del IBC, es posible reportar los resultados de dos maneras:

- Una opción, consiste en presentar los resultados de calibración redondeando la incertidumbre expandida de acuerdo a la cantidad de decimales de la resolución del IBC (se tendría una cifra significativa) y los decimales del error, valor patrón y valor medido consistentes con la cantidad de cifras decimales de la incertidumbre expandida y por lo tanto con la resolución del IBC.

- Otra opción para la presentación de los resultados de calibración, es realizando el redondeo del valor medido a la resolución del IBC y se suma a la incertidumbre expandida el valor absoluto de la diferencia entre el valor medido sin redondeo y el valor redondeado, de la siguiente manera:

$$E_{\text{redondeo}} = 1.8022 \text{ A} - 1.802 \text{ A} = 0.0002 \text{ A}$$

$$U \approx 0.0046 \text{ A} + |0.0002 \text{ A}| = 0.0048 \text{ A}$$

Los resultados, de acuerdo a la opción 2, son presentados en un cuadro en donde se indique la información relevante en la calibración como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Medición de intensidad de corriente alterna.

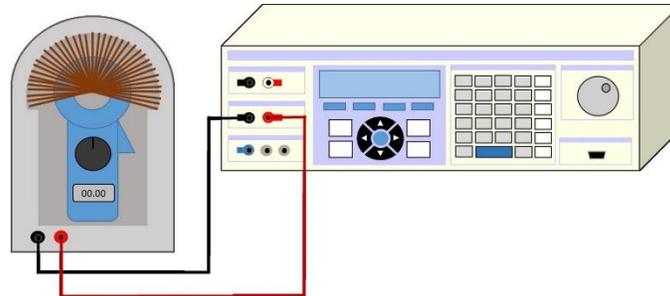
Intervalo de medida	Valor medido	Valor aplicado patrón	Error	Factor de cobertura	Incertidumbre expandida $U$
A	A	A	A	$k$ para 95.45%	A
0 a 2	1.802	1.8006	0.0014	2.0	0.0048

### ANEXO 3. EJEMPLO NUMÉRICO

#### Calibración de una pinza amperimétrica en intensidad de corriente continua

Se realiza la calibración de una pinza amperimétrica tipo Hall en la magnitud de intensidad de corriente continua, en el valor de 900 A. Las mediciones se realizan en el intervalo de medición de 1000 A del IBC.

Para esta calibración, se utiliza el circuito de medición con bobina, empleando un calibrador patrón y una bobina de 50 vueltas en intensidad de corriente continua.



**Figura 2.** Comparación indirecta pinza amperimétrica y calibrador patrón con bobina 50 vueltas

Las lecturas tomadas por la pinza amperimétrica una vez realizado la desmagnetización y el ajuste de cero son las siguientes:

**Tabla 6.** Lecturas indicación pinza amperimétrica.

Lecturas pinza amperimétrica				
A				
1	2	3	4	5
900.3	900.4	900.4	900.5	900.3

El valor promedio de las indicaciones de la pinza amperimétrica, redondeado al número de decimales de acuerdo a su resolución es:

$$I_x = 900.4 \text{ A}$$

A partir de la ecuación [1] que relaciona las variables del sistema de medición se determina el presupuesto de incertidumbres.

#### **Incetidumbre por repetibilidad del IBC $u(I_x)$**

La incertidumbre por repetibilidad se calcula mediante la ecuación [2].

$$u(\bar{I}_x) = 0.037 \text{ A}$$

#### **Incetidumbre por el calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica $u(\delta I_{x\text{ stb}})$**

Los datos obtenidos para la prueba de calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica fueron:

**Estabilidad térmica (Intervalo de medición 1000A)**

<b>10%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>10%</b>	<b>90%</b>
99.7	899.9	899.9	100	900.1

<b>Diferencia_10 %</b>	<b>Diferencia_90%</b>
-0.3	-0.2

La incertidumbre por el calentamiento del núcleo de la pinza amperimétrica se calcula mediante la ecuación [5].

$$u(\delta I_{x\text{ stb}}) = 0.087A$$

#### **Incertidumbre por la interacción bobina y pinza amperimétrica $u(\delta I_{x\text{ coil}})$**

Los datos obtenidos para la prueba de posición entre las mordazas de la pinza amperimétrica con respecto al conductor fueron:

<b>Posición</b>	<b>Posición 1</b>	<b>Posición 2</b>	<b>Posición 3</b>	<b>Posición 4</b>	<b>Posición 5</b>
<b>900 A</b>	898.0	898.1	899.2	897.9	897.2

La incertidumbre por posición se calcula mediante la ecuación [4].

$$u(\delta I_{x\text{ coil}}) = 0.58 A$$

#### **Incertidumbre por resolución del IBC $u(\delta I_{x\text{ res}})$**

La incertidumbre por resolución se calcula mediante la ecuación [6]. La resolución correspondiente al intervalo de medición es 0.1 A.

$$u(\delta I_{x\text{ res}}) = 0.029 A$$

#### **Incertidumbre por histéresis $u(\delta I_{x\text{ hist}})$**

Los datos de prueba correspondientes al efecto de histéresis del IBC son:

	<b>Medición +90%</b>	<b>Medición de cero</b>	<b>Medición -90%</b>	<b>Medición de cero</b>
<b>Ciclo1 (A)</b>	900.1	<b>0.0</b>	-902.6	<b>1.9</b>
<b>Ciclo2 (A)</b>	901.8	<b>1.7</b>	-900.6	<b>0.0</b>
<b>Ciclo3 (A)</b>	901.8	<b>1.8</b>	-901.5	<b>1.8</b>
<b>Ciclo4 (A)</b>	899.5	<b>0.0</b>	-901.4	<b>1.8</b>

## GUÍA DE CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS

La incertidumbre por el efecto de histéresis se halla mediante la ecuación [3]:

$$u(\delta I_{x \text{ hist}}) = \frac{1.9}{\sqrt{12}} = 0.55 \text{ A}$$

### Incertidumbre instrumental del patrón “especificación del patrón” $u(\delta I_{s \text{ esp}})$

Las especificaciones del conjunto calibrador patrón y bobina de 50 vueltas son:  
(0.46 % output + 0.44 A)

El valor de la incertidumbre instrumental del patrón se calcula mediante la ecuación [8]:

$$u(\delta I_{s \text{ esp}}) = 0.053 \text{ A}$$

### Incertidumbre de calibración del patrón $u(I_s)$

El valor de incertidumbre expandida reportada en el certificado de calibración del calibrador multifunción es de 0.011 A con factor de cobertura  $k = 2$  para aproximadamente el 95 % de probabilidad de cobertura. El valor de la incertidumbre estándar de calibración del patrón se estima mediante la ecuación [7]:

$$u(I_s) = 0.0055 \text{ A}$$

Para obtener una intensidad de corriente de 900 A en la bobina de 50 vueltas, es necesario generar 18 A en el calibrador patrón. Para la indicación del calibrador del valor de 18.000 A; el certificado de calibración reporta un valor de 18.008 A

### Incertidumbre por el efecto de la carga en generador patrón $u(\delta I_{s \text{ carg}})$

Para este ejemplo, no hay efecto de carga en el generador patrón, este se calcula mediante la ecuación [10]. Por lo tanto no se considera incertidumbre por este efecto:

$$u(\delta I_{s \text{ carg}}) = 0 \text{ A}$$

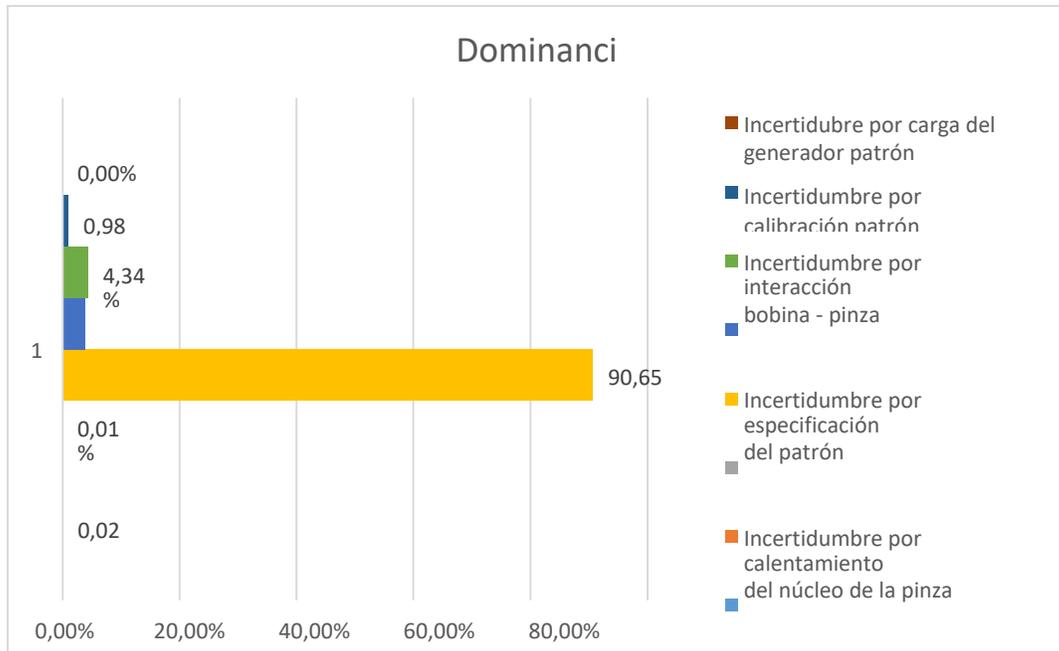
### Incertidumbre combinada

El valor de la incertidumbre combinada se calcula mediante la ecuación [12]. El valor de los coeficientes de sensibilidad correspondientes al IBC es uno, para el caso del patrón es igual a N, como la bobina empleada es de 50 espiras,  $N = 50$ . Los coeficientes son hallados a partir de la ecuación [1] con las derivadas parciales de cada variable que interviene.

$$u_c(E) = 2.8 \text{ A}$$

### Incertidumbre expandida

A partir de la siguiente grafica se identifica cual incertidumbre puede ser dominante:



De acuerdo con el gráfico anterior se observa que la incertidumbre por especificación del patrón puede ser dominante, para verificar si esta incertidumbre cumple la condición para ser dominante se usa la ecuación [13]. El resultado de este cálculo es: 0.32, en este caso no se cumple la condición establecida por la ecuación, es decir, esta fuente de incertidumbre no es dominante, por tanto, se debe realizar el cálculo de los grados efectivos de libertad con la ecuación [15] de Welch- Satterthwaite.

Los grados de libertad de las incertidumbres tipo B, se calculan mediante la ecuación [16] con el nivel de inseguridad asignado por el observador. En este caso se asigna una inseguridad del 5 % con el cual se obtiene:

$$v_i = \frac{1}{2} [0.05]^{-2} = 200$$

Los grados de libertad de la incertidumbre tipo A corresponden a n-1, siendo n el número de observaciones, por lo tanto, se tienen 4 grados de libertad.

Finalmente, el valor correspondiente de los grados efectivos de libertad  $V_{eff}$ , estimado con la ecuación [15] es de:

$$V_{eff} \cong 242$$

A partir de este valor de los grados efectivos de libertad  $V_{eff}$ , se determina el factor de cobertura  $k$ . En este caso, para una probabilidad de cobertura del 95.45 %, el factor de cobertura es  $k=2.0$ . Con la tabla del anexo 1 se obtiene el siguiente presupuesto de incertidumbres:

Fuentes de incertidumbre	Estimación magnitud $X_i$	Unidad	Distribución probabilidad	Factor de cobertura	Incertidumbre estándar $u_i(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la incertidumbre $u_i(y) = c_i u_i$	Grados de libertad $v_i$
$I_x$	900.4	A	Normal	-	0.037	1	0.037	4
$\delta I_{x hist}$	0	A	Rectangular	-	0.55	1	0.55	200
$\delta I_{x coil}$	0	A	Rectangular	-	0.58	1	0.58	200
$\delta I_{x stb}$	0	A	Rectangular	-	0.087	1	0.087	200
$\delta I_{x res}$	0	A	Rectangular	-	0.029	1	0.029	200
$I_s$	18.008	A	Normal	-	0.0055	50	0.28	200
$\delta I_{s esp}$	0	A	Rectangular	-	0.053	50	2.6	200
$\delta I_{s carg}$	0	A	Rectangular	-	0	50	0	200
Grados efectivos de libertad								242
Incertidumbre combinada							2.8	A
Factor de cobertura $k$ para 95.45%							2.0	
Incertidumbre expandida, $U$							5.6	A

En este presupuesto se ha considerado que los valores de corrección para: histéresis ( $\delta I_{x hist}$ ), interacción bobina-pinza ( $\delta I_{x coil}$ ), calentamiento del núcleo de la pinza ( $\delta I_{x stb}$ ), resolución del IBC ( $\delta I_{x res}$ ), especificación del patrón ( $\delta I_{s esp}$ ) y carga del generador de corriente ( $\delta I_{s carg}$ ) valen cero.

Utilizando la ecuación [1] se calcula el error correspondiente:

$$E = -0.020 A \approx 0.0 A$$

Finalmente, con el valor del factor de cobertura se estima la incertidumbre expandida a partir de la ecuación [17]:

$$U \approx 5.6 A$$

### Presentación de los resultados obtenidos

Los resultados son presentados en un cuadro, en donde se indique la información relevante en la calibración como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Medición de intensidad de corriente continua.

Intervalo de medida	Valor medido	Valor aplicado patrón	Error	Factor De cobertura	Incertidumbre expandida <i>U</i>
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b><i>k</i> para 95.45%</b>	<b>A</b>
-1000 a 1000	900.4	900.4	0.0	2.0	5.6

**Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM**  
**Subdirección de Metrología Física, Red Colombiana de Metrología.**  
**Av. Cra 50 No 26-55 Int. 2 CAN - Bogotá, D.C. Colombia**  
**Conmutador: (571) 254 22 22**  
**E-mail: [contacto@inm.gov.co](mailto:contacto@inm.gov.co)**  
**[www.inm.gov.co](http://www.inm.gov.co)**  
**[www.rcm.gov.co](http://www.rcm.gov.co)**

**Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC**  
**Av. Calle 26 # 57 – 83, Torre 8, Oficina 1001 - Bogotá, D.C. Colombia**  
**PBX: +571 742 7592**  
**E-mail: [onac@onac.org.co](mailto:onac@onac.org.co)**  
**[www.onac.org.co](http://www.onac.org.co)**