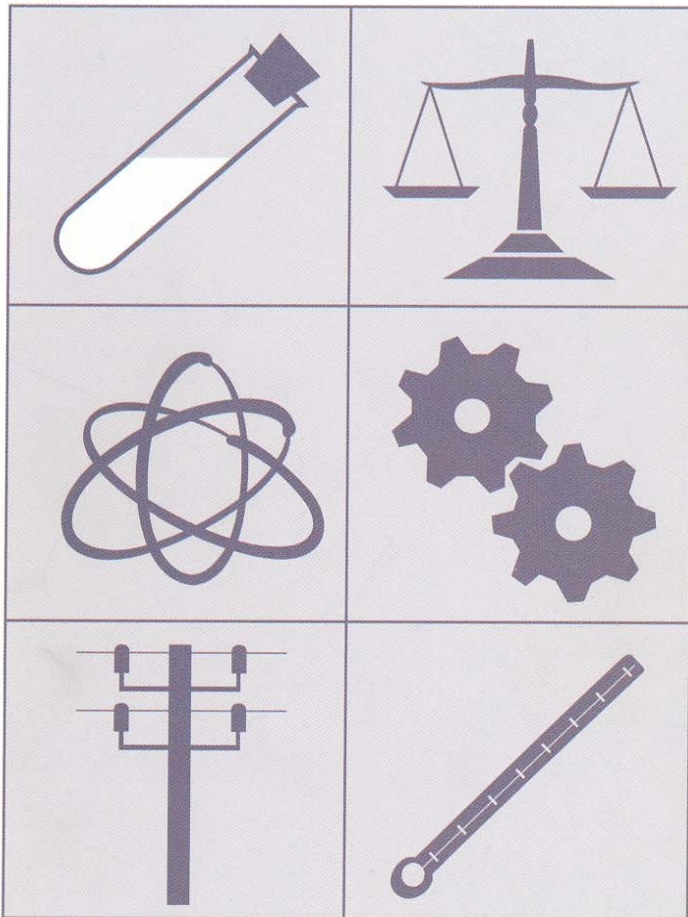


Metrología

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



PROCEDIMIENTO EL- 007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS.

m 08



MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Este procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, si ha sido necesario.

La presente edición se emite en formato digital. Hay disponible una edición en papel que se puede adquirir en nuestro departamento de publicaciones.

Este procedimiento de calibración es susceptible de modificación permanente a instancia de cualquier persona o entidad. Las propuestas de modificación se dirigirán por escrito, justificando su necesidad, a cualquiera de las siguientes direcciones:

Correo postal
Centro Español de Metrología
C/ del Alfar, 2,
28760 Tres Cantos, Madrid

Correo electrónico
cem@cem.es



ÍNDICE

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE	4
3. DEFINICIONES	5
4. GENERALIDADES	11
4.1. Características de las pinzas amperimétricas	11
4.2. Principio de medida en el que se basa el método de calibración	15
5. DESCRIPCIÓN	16
5.1. Equipos y materiales	16
5.2. Operaciones previas	18
5.3. Proceso de calibración	22
5.4. Toma y tratamiento de datos	28
6. RESULTADOS	30
6.1. Cálculo de incertidumbres	30
6.2. Interpretación de resultados	51
7. REFERENCIAS	52
8. ANEXOS	53



1. OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto dar a conocer los métodos y la sistemática necesaria para realizar la calibración de pinzas amperimétricas, también denominadas tenazas amperimétricas.

2. ALCANCE

El ámbito de aplicación del presente procedimiento se limita a la calibración de pinzas amperimétricas analógicas o digitales en su función de medida de intensidad alterna o continua.

Nota: se utiliza el término digital por ser el de uso común y encontrarse en el VIM [3], si bien en la clasificación de Instrumentos de metrología Eléctrica [1], utiliza el término numérico.

El procedimiento no es aplicable a la calibración de otras funciones de medida que en ocasiones pueden incorporar estos instrumentos tales como:

- Medida de tensión continua o alterna.
- Medida de resistencia.
- Medida de potencia o energía.
- Medida de armónicos.
- Medida de ángulo de fase.
- Medida de temperatura con termopares o con termorresistencias.
- Medida de frecuencia.
- Medida de capacidad.

Para la calibración de las funciones de medida reseñadas en la lista anterior se pueden consultar los procedimientos de calibración específicos disponibles para otros tipos de instrumentos de medida eléctrica, tales como: multímetros, vatímetros y vatihorímetros, fasímetros, termómetros, etc.



En cuanto al tipo de lectura o indicación proporcionada por las pinzas amperimétricas objeto de este procedimiento, ésta puede ser directa (en una pantalla analógica o digital) o indirecta mediante una salida analógica de tensión o intensidad que está prevista normalmente para conectarse a un multímetro digital.

En cuanto a los campos de medida este procedimiento es aplicable dentro de los siguientes límites:

Intensidad continua: 10 A hasta 2000 A.

Intensidad alterna, 50 Hz: 10 A hasta 2000 A.

Los campos de medida descritos pueden variar según el tipo de patrones e instrumentos auxiliares a utilizar, y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

En el caso de pinzas amperimétricas de lectura directa con representación digital, la resolución habitual es de $3^{1/2}$ dígitos o $3^{3/4}$ dígitos. No obstante, siempre que se satisfaga el principio básico de que la incertidumbre de calibración no sea mayor de un tercio, del error de utilización permitido para el instrumento a calibrar [2], será posible utilizar el procedimiento de calibración aquí descrito. Por consiguiente, será aplicable este procedimiento para pinzas de cualquier resolución siempre que se cumpla el principio anterior.

3. DEFINICIONES

Son de aplicación las definiciones generales de la referencia [3] que se indican a continuación, además de otras específicas para el presente procedimiento.

Ajuste (de un instrumento de medida) [3] (4.30)

Operación destinada a llevar un instrumento de medida a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización.

NOTA: El ajuste puede ser automático, semiautomático o manual.



Calibración [3] (6.11)

Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones:

NOTAS

1. El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones los valores correspondientes del mensurando o bien determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones.
2. Una calibración puede también servir para determinar otras propiedades metroológicas tales como los efectos de las magnitudes de influencia.
3. Los resultados de una calibración puede consignarse en un documento denominado, a veces, **certificado de calibración** o **informe de calibración**.

Derivador de intensidad o shunt [1]:

Es un elemento pasivo diseñado para la medida de intensidad. Se construyen como elementos de cuatro terminales, separando los terminales de intensidad de los terminales de tensión, y anulando así la influencia de la caída de tensión en los cables de conexión.

Existen construcciones especiales para la medida de intensidad alterna, aunque los más comunes son los de intensidad continua en especial si la intensidad es superior a 20 A.

Este instrumento se usa habitualmente en la calibración de pinzas amperimétricas de corriente continua y también, en ocasiones en alterna.

Desviación estándar experimental [3] (3.8)



Para una serie de n mediciones de un mismo mensurado, la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados, dada por la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

siendo x_i el resultado de la i -ésima medición y \bar{x} la media aritmética de los n resultados considerados.

NOTAS

- 1 Considerando la serie de n valores como muestra de una distribución, \bar{x} es un estimador insesgado de la media μ , y s^2 es un estimador insesgado de la varianza σ^2 de dicha distribución.
- 2 La expresión s/\sqrt{n} es una estimación de la desviación estándar de la distribución de \bar{x} y se denomina **desviación estándar experimental de la media**.
- 3 La desviación estándar experimental de la media en ocasiones se denomina, incorrectamente, **error de la media**.

Error (de indicación) de un instrumento de medida [3] (5.20)

Indicación de un instrumento de medida menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

NOTAS

1. Dado que un valor verdadero no puede determinarse, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero.
2. Este concepto se aplica principalmente cuando se compara el instrumento con un patrón de referencia.



3. Para una medida materializada, la indicación es el valor que le ha sido asignado.

Incertidumbre de medida [3] (3.9)

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

NOTAS

1. El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo de ésta) o la semiamplitud de un intervalo con un nivel de confianza determinado.
2. La incertidumbre de medida comprende, en general, varios componentes. Algunos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden caracterizarse por sus desviaciones estándar experimentales. Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones estándar, se evalúan asumiendo distribuciones de probabilidad, basadas en la experiencia adquirida o en otras informaciones.
3. Se entiende que el resultado de la medición es la mejor estimación del valor del mensurando, y que todos los componentes de la incertidumbre, comprendidos los que provienen de efectos sistemáticos, tales como los componentes asociados a las correcciones y a los patrones de referencia, contribuyen a la dispersión.

Indicación o lectura directa:

Valor leído en el dispositivo de visualización o pantalla del instrumento. Dicha lectura puede ser analógica (cuando la visualización es una función continua de la señal de entrada) o digital.

Indicación o lectura indirecta:

Valor de salida de un instrumento de media proporcional al valor de entrada.



En el caso de pinzas amperimétricas con lectura indirecta, los valores más comunes de la constante de medida son $1\text{mV} / \text{A}$, o $10\text{mV} / \text{A}$, de forma que para obtener la lectura final, es necesario multiplicar la lectura obtenida al conectar a la salida de la pinza un voltímetro digital por la relación o constante de la pinza. En otros casos el valor a la salida de la pinza es una intensidad proporcional a la intensidad de entrada con una determinada relación de transformación: 100:1, o de 1000:1.

Por ejemplo, si la relación de la pinza es de $1\text{mV} / \text{A}$, y la lectura en el voltímetro fuera de 148.2 mV corriente continua, la intensidad medida por la pinza sería de 148.2 A corriente continua.

Resolución (de un dispositivo visualizador) [3] (5.12)

La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa.

NOTAS

1. Para un dispositivo visualizador digital, diferencia de la indicación que corresponde al cambio de una unidad en la cifra menos significativa.
2. Este concepto se aplica también a un dispositivo registrador.
3. Nota particular:

La definición de resolución del Vocabulario Internacional de términos básicos y generales de metrología [3], tiene en el caso de instrumentos con lectura directa y representación digital una interpretación particular. Por ejemplo, si el máximo valor que se puede visualizar en la pantalla es 1999, y si el menor cambio de indicación que puede apreciarse es del último dígito, entonces la resolución es de $1/1999$, o sea, un 0,05% del fondo de escala.

La resolución de una pinza digital se expresa muy frecuentemente como un número entero y una fracción; en el ejemplo anterior la resolución se podría expresar como $3^{1/2}$ dígitos, donde el primer número (la cifra 3) representa el número de dígitos que pueden variar de 0 a 9. La fracción representa que el primer dígito puede tomar uno o más valores distintos de cero, es decir puede tomar por ejemplo los valores 0, 1, pero no otros. La fracción se determina indicando en el numerador el número de valores posibles del



primer dígito, excluyendo el cero; siendo el denominador el número total de posibles valores incluido el cero.

Transformador de intensidad:

Es un instrumento de medida en el que la intensidad secundaria, en las condiciones normales de empleo, es prácticamente proporcional a la intensidad primaria y desfasada respecto de ésta un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones.

La característica principal de un transformador de intensidad es su relación de transformación o relación entre las intensidades primaria y secundaria asignadas, expresadas en amperios, por ejemplo: 100/5, 500/5, 1000/5. Otra característica importante es su clase de precisión.

Este instrumento se usa habitualmente como patrón para la calibración de pinzas amperimétricas de corriente alterna.

Trazabilidad [3] (6.10)

Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

NOTAS

1. A menudo, este concepto se expresa por el adjetivo **trazable**.
2. La cadena ininterrumpida de comparación se denomina **cadena de trazabilidad**.



4. GENERALIDADES.

4.1. Características de las pinzas amperimétricas.

La pinza amperimétrica es un instrumento con capacidad para medir intensidad eléctrica continua o alterna

La diferencia entre los distintos modelos consiste principalmente en la exactitud conseguida, siendo ésta consecuencia del método de medida utilizado y del diseño. Existen básicamente dos tipos constructivos de pinzas: las de tipo transformador de intensidad, y las de efecto Hall; las primeras son capaces de medir únicamente intensidades alternas (de 50 Hz habitualmente); las de efecto Hall son capaces de medir intensidades continuas y alternas hasta una frecuencia máxima que varía según la construcción de la pinza, pero que no suele superar 1kHz, o 10kHz como máximo.

A continuación se describe brevemente el principio de funcionamiento de las pinzas de los tipos transformador de intensidad y efecto Hall.

Pinzas del tipo transformador de intensidad:

Un transformador de intensidad está constituido por dos arrollamientos bobinados sobre un núcleo magnético común. Cuando una corriente, I_1 , atraviesa el bobinado primario, crea un campo magnético alterno de la misma frecuencia. Las líneas del campo magnético que se canalizan por el circuito magnético atravesarán también el arrollamiento secundario de forma que cada una de sus espiras se someterá a un flujo periódico variable de la misma frecuencia. Si el arrollamiento secundario se carga por ejemplo mediante una resistencia, una intensidad, I_2 , recorrerá este arrollamiento. Si el número de vueltas del arrollamiento primario y secundario son respectivamente N_1 , N_2 , aplicando las leyes del electromagnetismo se cumplirá aproximadamente la siguiente relación:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Una pinza amperimétrica de este tipo es un transformador de intensidad con el circuito magnético partido dentro de las dos mordazas de la pinza.

Además el conductor abrazado por la pinza hace las veces de arrollamiento primario, de una sola espira (véase figura 1). Por lo tanto:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$N_1 = 1$$

$$I_2 = I_1 / N_2$$

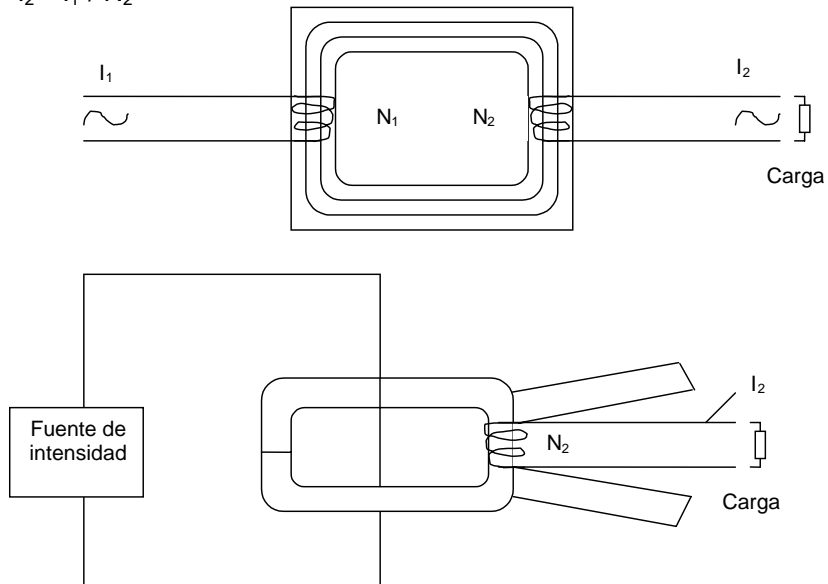


Figura 1. Principio de funcionamiento de una pinza del tipo transformador de intensidad.

Esta corriente, I_2 , se deberá de medir mediante un instrumento apropiado, que en el caso de pinzas de lectura directa está incorporado en la propia pinza, y en el caso de lectura indirecta debe ser externo a la pinza.

Muchas pinzas de lectura indirecta incorporan una resistencia o un puente electrónico rectificador a la salida del arrollamiento secundario, de forma que la salida es una tensión alterna o continua proporcional a I_1 , en lugar de una intensidad.



Pinzas de efecto Hall

Su funcionamiento se basa en el efecto Hall. Según este efecto cuando una corriente (I) atraviesa una célula semiconductor de efecto Hall, y se aplica al mismo tiempo un campo magnético de inducción (B) perpendicularmente al sentido del paso de la corriente, una tensión (U) proporcional al valor de la inducción y de la corriente aparecerá en las caras laterales de la célula. Esta tensión se denomina tensión de efecto Hall.

En el caso de las pinzas amperimétricas la intensidad (I) es creada con un circuito electrónico a partir de la tensión de alimentación de su batería, mientras que el campo magnético de inducción, B , se crea por el paso de la intensidad de corriente por el conductor situado en el interior de los maxilares de la pinza. Si la distancia entre el centro del conductor y la célula Hall, se nomina como d , se tiene que:

$$B = \mu I / 2 d$$

Siendo μ la permeabilidad magnética del aire.

Para disminuir los errores de medida debidos al centrado imperfecto del conductor en la pinza, que lógicamente hacen variar la distancia d , se emplea un circuito magnético de alta permeabilidad colocado en el interior de las mordazas de la pinza que canaliza convenientemente el campo magnético creado por el conductor para aplicarlo con la dirección conveniente a la célula de efecto Hall. En la figura 2 se presenta el principio de funcionamiento de estas pinzas.

Mediante este principio se pueden medir tanto intensidades continuas, como alternas, ya que la tensión de salida de la célula Hall será continua o alterna, según sea la intensidad (I).

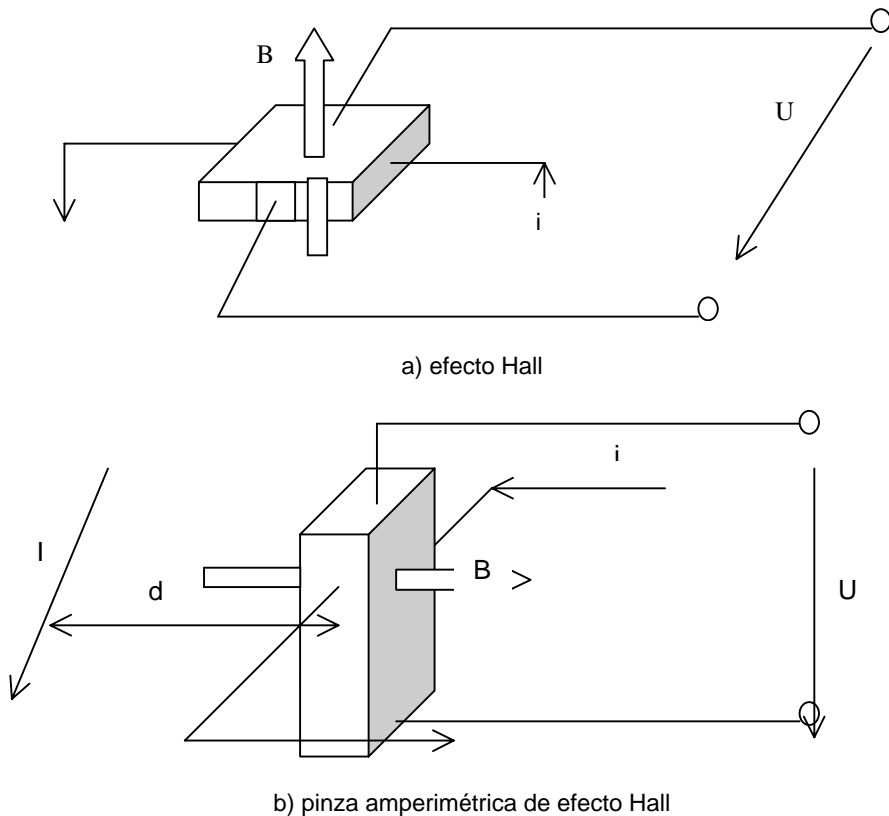


Fig. 2. Principio de funcionamiento de las pinzas de efecto Hall.

Aunque no suele ser muy habitual por tratarse de instrumentos de uso industrial, algunas pinzas tienen posibilidad de ajuste, bien a través de potenciómetros y condensadores variables, bien, en otros casos, a través del almacenamiento en memoria no volátil de nuevas constantes de calibración introducidas con un teclado o mediante bus de comunicación IEEE 488.

4.2. Principio de medida en el que se basa el método de calibración



La calibración de pinzas amperimétricas se puede realizar por un método directo o por un método indirecto.

El método directo consiste en generar una intensidad continua o alterna de un valor igual al punto de calibración que circule por un único conductor, midiendo su valor simultáneamente con un sistema de medida patrón y con la pinza que se desea calibrar. Los sistemas de medida en corriente continua consisten principalmente en un shunt asociado a un voltímetro digital, mientras que en corriente alterna consisten en transformadores de intensidad asociados con amperímetros.

El método indirecto se basa en generar una corriente conocida de pequeño valor (como máximo de 10 ó 20 A) mediante un calibrador eléctrico. Con esta corriente se alimenta a una bobina que tiene un número de espiras conocido (los valores típicos oscilan entre 10 y 50 espiras). La pinza a calibrar se coloca alrededor de la bobina que se usa para conseguir un efecto multiplicativo, de forma que la intensidad medida por la pinza debe ser igual a la generada por el calibrador multiplicada por el número de vueltas de la bobina.

En el presente procedimiento se describirá en lo sucesivo el método directo que permite un campo de medida más extenso.

Las unidades empleadas en este procedimiento son las del sistema internacional de unidades, SI.

Para la tensión eléctrica: voltio (símbolo: V).

Para la intensidad eléctrica: amperio, (símbolo: A).

Para la resistencia eléctrica: ohmio, (símbolo: Ω).

5. DESCRIPCIÓN

5.1. Equipos y materiales

Para realizar la calibración descrita en este procedimiento es necesario disponer de patrones de medida con los que se pueda conseguir preferentemente una incertidumbre de calibración al menos tres veces más pequeña que la tolerancia permitida para la pinza que se desea calibrar durante su uso habitual. Igualmente será necesario



disponer de fuentes de intensidad adecuadas a los campos de medida de las pinzas a calibrar.

Equipos y materiales necesarios para las calibraciones en corriente alterna a 50 Hz:

- Fuente de intensidad alterna, de estabilidad mejor de 0.5% en 8 horas, distorsión armónica menor del 2%, usada como elemento auxiliar.
- Transformador de intensidad de clase 0.5, 0.2, o incluso mejor en función de la tolerancia permitida en la calibración para la pinza a calibrar.
- Amperímetro digital de al menos $4^{1/2}$ dígitos de resolución de corriente alterna, con un especificación básica mejor del 0,2%, o mejor en función de la tolerancia permitida en la calibración para la pinza a calibrar.
- Multímetro digital de al menos $4^{1/2}$ dígitos de resolución, con un especificación básica mejor del 0,2%, o mejor, usado en su función de voltímetro de alterna, (necesario únicamente para la calibración de las pinzas con lectura indirecta).

Equipos y materiales necesarios para las calibraciones en corriente continua:

- Fuente de intensidad de continua, de estabilidad mejor de 0.5% en 8 horas, usada como elemento auxiliar.
- Shunt de clase 0.5, 0.2, o incluso mejor en función de la tolerancia permitida en la calibración para la pinza a calibrar.
- Voltímetro digital de tensión continua de al menos $4^{1/2}$ dígitos de resolución con un especificación básica mejor del 0,2%, o mejor en función de la tolerancia permitida en la calibración para la pinza a



calibrar. Debe tener un campo de medida de fondo de escala preferentemente igual o inferior a 100 mV, debido a que las caídas de tensión a medir en los shunts oscilan habitualmente entre 60 mV, y 100 mV para una intensidad igual a la nominal del shunt.

- Multímetro digital de al menos $4^{1/2}$ dígitos de resolución, con un especificación básica mejor del 0,2%, o mejor, usado en su función de voltímetro de tensión continua, (necesario únicamente para la calibración de las pinzas con lectura indirecta).

Nota 1: las características de exactitud, resolución, estabilidad, etc., se facilitan como orientación, pudiendo ser necesario características diferentes en función de la tolerancia permitida en la calibración para la pinza a calibrar.

Nota 2: en este apartado el concepto de clase de exactitud se refiere al error máximo permitido para el instrumento de medida, expresado en % de la lectura, para un valor del mensurando igual al fondo de escala.

Nota 3: para la calibración de pinzas con lectura indirecta tanto en alterna como en continua, es posible prescindir del multímetro indicado en el último lugar de la lista, siempre que se disponga de un instrumento capaz de hacer varias medidas simultáneas mediante dos canales, o simplemente medidas sucesivas (intensidad alterna - tensión alterna, tensión continua - tensión continua) si la estabilidad de la fuente es la adecuada.

5.2. Operaciones previas

Antes de iniciar la calibración se realizarán las siguientes operaciones previas:

- a) Se comprobará que la pinza está identificada de forma permanente con su marca, modelo y número de serie correspondiente, o con un código interno del propietario unívoco. Si no fuera así se le asignará un código de identificación que se adherirá o fijará de forma segura sobre la pinza.
- b) Se estudiará el manual de operación de la pinza a calibrar, de forma que la persona que realice la calibración esté familiarizada con su manejo. Se dispondrá también, en su caso, de las



instrucciones de ajuste del fabricante, si las hubiese, por si en el transcurso de la calibración se determinara la necesidad de realizar ajustes a la pinza.

- c) Si la pinza va equipada con batería se comprobará su estado siguiendo las instrucciones del manual, y en caso necesario se procederá a su sustitución.
- d) Se fijará cuál es la tolerancia para la calibración asignada a la pinza a calibrar, pudiendo coincidir con las especificaciones del fabricante, o estar calculada en función del uso concreto al que se destina. Los errores obtenidos en la calibración se compararán con esta tolerancia permitida de forma que se apliquen a continuación los criterios del apartado 5.3.1.
- e) Se dispondrá de los manuales de los instrumentos auxiliares y patrones necesarios para la calibración, de forma que la persona que realice la calibración esté familiarizada con su manejo.
- f) Se comprobará el estado de los distintos patrones (funcionamiento, golpes, daños), si disponen de un certificado de calibración en vigor, y si dicho certificado garantiza la trazabilidad e incertidumbre apropiadas a las medidas que se van a realizar en el transcurso de la calibración.
- g) Se comprobará el valor de la frecuencia y tensión de alimentación y sus posibles variaciones para garantizar un correcto funcionamiento de la fuente de intensidad auxiliar, así como de los patrones que requieran alimentación eléctrica: amperímetro, voltímetro, o multímetro. Una tensión monofásica de 230 voltios \pm 10 % es adecuada en la mayoría de los casos, aunque para la alimentación de fuentes de alta intensidad suele ser necesario una red de 3 x 400 voltios \pm 10 %. En cualquier caso consultar el manual de instrucciones de las fuentes e instrumentos que requieran conexión a red. Estas comprobaciones se pueden realizar con un multímetro digital al efectuar la primera calibración, no siendo necesaria su repetición para cada calibración.
- i) Se conectarán a la red de alimentación eléctrica los instrumentos que lo requieran, durante un tiempo previo al inicio de la



calibración para conseguir la estabilización térmica. El tiempo de estabilización térmica cambia de un instrumento a otro, pero como regla general se requiere un mínimo de 30 minutos. En todo caso se aplicará lo indicado por el fabricante si lo hubiese.

- j) La calibración se realizará manteniendo una temperatura ambiente comprendida entre 18 °C y 28 °C, que es el margen normal en el que los patrones empleados mantienen sus especificaciones. Es posible realizar la calibración a temperaturas distintas de las anteriormente indicadas, pero en este caso será necesario tener en cuenta este hecho en la asignación de incertidumbres de calibración.
- k) La humedad relativa no sobrepasará el 70%, aunque en algunos casos es posible admitir valores de hasta el 80 % (consultar para ello los manuales de los amperímetros, voltímetros, o multímetros usados como patrones).
- l) Se comprobará que las bases de enchufe utilizadas incluyan un conductor de protección o toma de tierra como medida elemental de protección frente a contactos indirectos.
- m) Se comprobará mediante medida, o mediante consulta de las especificaciones, que la fuente usada para intensidad alterna tiene una distorsión armónica total inferior al 2%, y en caso contrario se tendrá en cuenta su influencia.
- n) Se realizarán las pruebas iniciales descritas en el manual técnico de la pinza a calibrar, encaminadas a comprobar su estado general de funcionamiento (por ejemplo “test de encendido”, comprobación de la pantalla de visualización, etc.).
- o) Se comprobará el correcto cierre de una mordaza contra la otra, así como el estado superficial de las dos caras accesibles del circuito magnético.
- p) En el caso de pinzas con lectura indirecta se comprobará que la impedancia de entrada del instrumento que se conecte a la salida de la pinza está dentro de los márgenes previstos de impedancia que indica el manual de la pinza en calibración.



- q) Si la pinza es analógica se realizará el ajuste de su cero mecánico.
- r) Se procurará colocar el conductor por el que se hace pasar la intensidad perpendicular a la superficie definida por las mordazas de la pinza, y centrado respecto de esta superficie. Se evitará igualmente la presencia de cualquier otro conductor u objeto metálico en la proximidad de la pinza para evitar distorsiones en el campo magnético, manteniéndose una distancia libre como mínimo de 40 cm.
- s) Para las pinzas de continua se procederá previamente al inicio de las medidas en cada rango a la desmagnetización del núcleo, para ello después de aplicar una intensidad próxima al fondo de escala de la pinza se retirará la pinza del conductor y se abrirán y cerrarán sus mordazas de forma brusca entre tres y cinco veces.
- t) Para las pinzas de continua antes de iniciar las medidas en cada rango es necesario ajustar su cero. Para ello se colocará la pinza en el circuito dispuesto para la calibración, y sin aplicar corriente alguna al conductor se ajustará el cero eléctrico de la pinza hasta obtener una lectura lo más próxima posible a cero. En el caso de pinzas con lectura indirecta se puede hacer un ajuste de cero de la pinza seguido de un ajuste de cero del voltímetro conectado a la salida de la pinza.
- u) Para las pinzas de continua se orientará la pinza siempre de forma que las lecturas sean positivas.

ADVERTENCIA: Tanto en el instrumento a calibrar como en la instrumentación utilizada para la calibración, pueden estar presentes, bien en los terminales externos o internamente, durante la realización de la calibración o de los ajustes y comprobaciones que fuera necesario realizar, tensiones peligrosas para las personas. Para evitar daños irreparables, deben ser observadas todas las precauciones de trabajos con tensión, siguiendo de forma ordenada la secuencia de operaciones indicadas en el procedimiento. En cualquier caso tomar como referencia las instrucciones facilitadas por el fabricante en el manual técnico, para evitar riesgos al personal que realiza la calibración.



Como medidas elementales de seguridad se señalan las siguientes:

Se utilizarán cables con el nivel de aislamiento adecuado para evitar la perforación de su aislamiento (usar cables que soporten como mínimo 2000 voltios a 50Hz).

Se utilizarán cables con terminales o bananas que una vez introducidas en los bornes correspondientes no presenten partes activas accesibles.

No se realizará ninguna conexión a los bornes de la fuente de intensidad sin desconectar previamente su salida de intensidad, o en su defecto apagando la fuente.

5.3. Proceso de calibración

5.3.1. Secuencias posibles de calibración

El proceso de calibración seguirá una de las tres secuencias descritas a continuación:

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

La secuencia 1) es la secuencia normal: se realiza una calibración inicial, y si como consecuencia de esta primera calibración el equipo requiere ajuste, se realiza dicho ajuste seguido de una calibración final. De esta forma la primera calibración nos proporciona información del estado del instrumento durante el período de tiempo transcurrido desde la última calibración. La calibración final comprueba que los



ajustes realizados son correctos y nos asegura la trazabilidad. En este caso se conservarán registros tanto de la calibración inicial como final.

En el caso de que la pinza requiera ajuste y éste no sea posible se debería proceder a su reparación o sustitución por otra pinza nueva.

La secuencia 2) se puede considerar como una variante de la secuencia 1) aplicable cuando los errores encontrados en la calibración sean inferiores a unos límites establecidos, o cuando no se disponga de autorización por parte del usuario para realizar el ajuste.

La secuencia 3) solamente se debe aplicar cuando el estado de la pinza antes de la calibración no sea importante, por ejemplo porque se acaba de reparar, porque es nueva, porque estaba previamente fuera de uso, etc.

Se deberán establecer en función del uso previsto para la pinza, unos límites de tolerancia en la calibración a partir de los cuales se realizará su ajuste o se limitará su uso. Es conveniente realizar el ajuste cuando disponiendo de la autorización del usuario del equipo y de los medios para ello la desviación obtenida sea mayor que el límite de tolerancia establecido disminuido en la incertidumbre de calibración.

Los ajustes se deben realizar siempre siguiendo el manual del fabricante de la pinza, en el orden y en los puntos indicados.

No obstante, este tipo de instrumentos al ser de uso industrial y no de laboratorio, no suele disponer de posibilidad de ajuste en la inmensa mayoría de casos. Por lo tanto, cuando los errores de la calibración exceden el límite de tolerancia previsto, la única solución es enviar a reparar el equipo o sustituirlo por uno nuevo lo cual resulta en la práctica mucho más sencillo.



5.3.2. Definición de los puntos de medida

En la tabla siguiente se indican los puntos de medida recomendados para realizar una calibración completa. Si la pinza se va a usar para una aplicación con un campo de medida específico es posible y recomendable definir otros puntos de medida. Las siguientes observaciones sirven para interpretar la tabla:

Los puntos de calibración están indicados en tanto por ciento del fondo de escala de la pinza. Los valores indicados son valores aproximados recomendados que deben servir de referencia para elegir los puntos de calibración, debiendo estos en cualquier caso, cubrir razonablemente todo el rango de medida útil del instrumento y, cuando hay más de dos, estar distribuidos con una cierta homogeneidad a lo largo de toda la escala.

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.

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.

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.

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.



Tabla 1: Puntos de calibración

RANGOS	Nº DE PUNTOS	VALORES DE PRUEBA (% FONDO DE ESCALA)
INTENSIDAD ALTERNA (50 Hz)		
TODOS, EXCEPTO UNO INTERMEDIO	2	10 %, 90 %
UN RANGO INTERMEDIO	5	10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 %
INTENSIDAD CONTINUA		
TODOS, EXCEPTO UNO INTERMEDIO	2	10%, 90 %
UN RANGO INTERMEDIO	5	10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 %

5.3.3. Conexiones y realización de las medidas.

En cada uno de los puntos de calibración definidos se realizarán cinco lecturas superado el posible régimen transitorio.

Si es posible configurar la pinza en varias formas de medida (cambiando la resolución o la velocidad de medida), se elegirá para la calibración la que presente, según el manual del fabricante, mejores especificaciones (que es usualmente la más lenta y con mejor resolución), o aquellas que el usuario del equipo utilice habitualmente. Se deben anotar en la hoja de toma de datos las configuraciones seleccionadas en la pinza a calibrar, e igualmente en el informe de calibración.

En las figuras 3 y 4, se indican los esquemas que es necesario seguir para la calibración en alterna (figura 3), y continua (figura 4).

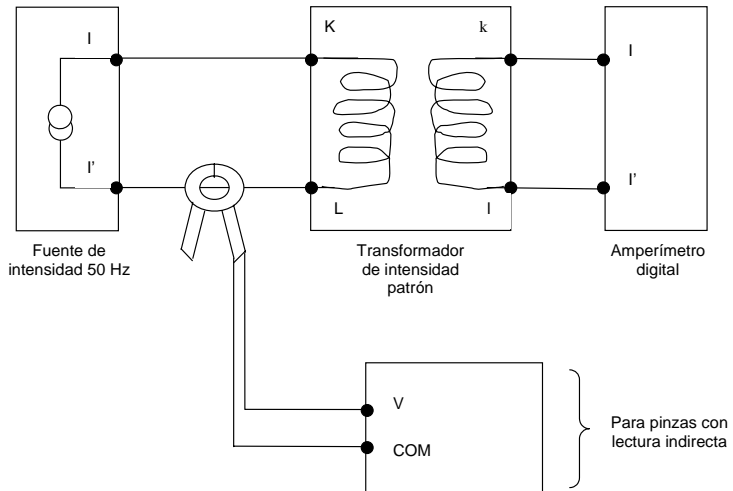


Figura 3. Esquema de conexión para calibración en alterna

Para la calibración en corriente alterna se elegirá un transformador patrón o una relación de transformación, si se trata de un transformador de intensidad de relaciones múltiples, tal que la intensidad a medir esté siempre entre el 20% y el 120% de la intensidad primaria nominal.



- Se seleccionará un shunt de forma que para cualquier punto de medida su tensión de salida sea superior a 20 mV, para así minimizar la influencia de las fuerzas termoeléctricas, y del error de medida del voltímetro. No obstante, es posible medir tensiones menores si se usan multímetros de elevada exactitud (de $8^{1/2}$ dígitos) o un nanovoltímetro digital.

Tanto para calibraciones en alterna como en continua se elegirán los alcances de medida del amperímetro y voltímetro digital para que la intensidad o tensión a medir estén lo más cerca posible al fondo de escala, y así garantizar la mínima incertidumbre y la mejor resolución posible.

La calibración se realizará aplicando intensidades crecientes dentro de cada campo de medida.

En el caso de pinzas con visualización digital de la intensidad se ajustará la fuente de forma que se lea en la pinza el valor nominal de la intensidad de prueba. En el caso de pinzas analógicas se ajustará la fuente hasta centrar la aguja de la pinza en la división deseada de la escala. En ambos casos se leerá y anotará el valor de la intensidad de prueba simultáneamente con la pinza a calibrar y con el correspondiente instrumento patrón.

La secuencia de calibración se podría detallar en los siguientes pasos:

- Aplicar la intensidad correspondiente al punto de calibración y ajustar según que la pinza sea analógica o digital.
- Comprobar que se ha estabilizado las indicaciones y tomar las lecturas en la pinza o en el multímetro para pinzas con lectura indirecta. Tomar al menos cinco lecturas.
- Tomar el valor de las lecturas del sistema de medida patrón (amperímetro para calibraciones en alterna y voltímetro para calibraciones en continua).



- Aumentar el valor de intensidad al punto de calibración siguiente y repetir los 2 pasos anteriores.

5.4. Toma y tratamiento de datos

Para cada punto de calibración se anotarán los siguientes datos:

- Equipos utilizados.
- Condiciones ambientales.
- Analista que realiza la calibración.
- Alcance o rango de medida de la pinza a calibrar, así como la configuración de la pinza, fuente de intensidad y patrones.
- Lectura obtenida con la pinza si es directa, para cada repetición.
- Lectura del voltímetro (o del amperímetro en su caso) para pinzas con lectura indirecta, para cada repetición y constante de la pinza.

Nota: si la pinza tiene salida en intensidad es recomendable colocar un shunt o resistencia patrón calibrados a su salida, y realizar una lectura de tensión, en lugar de una lectura de intensidad. Esta resistencia debe ser inferior al valor máximo de resistencia de carga admisible por la pinza.

- Tolerancia asignada a la pinza en cada punto de calibración, en su caso.
- Para cada una de las cinco lecturas tomadas en cada punto de calibración, se anotará su valor medio y desviación típica. Por ser las pinzas instrumentos de poca resolución, es posible que en muchos casos no se observe variación alguna en sucesivas lecturas, siempre que la fuente tenga suficiente estabilidad.
- Relación usada del transformador para calibraciones en corriente alterna, o valor de la resistencia del shunt usado para



calibraciones en continua. En ambos casos se usará el valor certificado.

- Lectura del patrón (amperímetro o voltímetro) obtenida a la salida del transformador de intensidad o shunt, según los casos, para cada repetición.
- Intensidad medida por el sistema patrón obtenida como producto de los valores anotados en los dos puntos anteriores, para cada repetición.
- Valor medio y desviación típica de las lecturas de intensidad patrón obtenidas para las cinco repeticiones realizadas en cada punto de calibración.
- Error asociado a la calibración en cada punto (diferencia entre la lectura media de la pinza y el valor medio medido con el sistema de medida patrón).

A continuación se compararán los errores obtenidos con las tolerancias asignadas a la pinza para la calibración, para determinar o no la necesidad de realizar ajustes, según los criterios del apartado 5.3.1.

En el caso de que una vez determinados los errores, existiera duda sobre alguno de los valores obtenidos, por tratarse por ejemplo, de errores muy superiores a las tolerancias asignadas a la pinza en calibración, se repetirá la calibración en esos puntos para confirmar la bondad de los resultados obtenidos.

6. RESULTADOS

6.1. Cálculo de incertidumbres

La asignación y expresión de incertidumbres se realizará siguiendo los criterios del documento EA-4 /02 [4]. En primer lugar se determinará la expresión de la magnitud de salida (que es el error de



la pinza a calibrar en cada punto de calibración), en función de las distintas magnitudes de entrada.

La determinación del error, e_x , de la indicación obtenida con la pinza a calibrar requiere que se realicen cinco repeticiones obteniendo los valores medios del sistema de medida patrón y de la pinza a calibrar

$$e_x = k_1 (L_x + \delta L_{x1} + \delta L_{x2}) - (k_2 + \delta k_2) (L_p + \delta L_p)$$

y despreciando términos de segundo orden se tiene:

$$e_x = (k_1 L_x - k_2 L_p) + k_1 (\delta L_{x1} + \delta L_{x2}) - k_2 \delta L_p - \delta k_2 L_p$$

donde:

- k1: Constante de valor igual a 1 para pinzas con lectura directa, y constante cuyo valor nominal es indicado por el fabricante para pinzas de lectura indirecta.
- Lx: Valor medio de las lecturas directas obtenidas en la pinza, o valor medio de las lecturas de tensión (o de intensidad en su caso) a la salida de la pinza para pinzas con lectura indirecta.
- δL_{x1} : Corrección debida a la resolución finita del valor de la lectura Lx.
- δL_{x2} : Corrección de la lectura realizada con el voltímetro (o con el amperímetro en su caso) a la salida de la pinza debida a múltiples efectos, aplicable solamente a pinzas con lectura indirecta. Estos efectos se refieren a la deriva del voltímetro desde su última calibración, efecto de la temperatura de funcionamiento, falta de linealidad, efecto de las variaciones de la tensión de alimentación, y desviaciones asociadas a su calibración si no se corrigen.



Esta corrección de cara al cálculo de incertidumbre, debiera dividirse en cada una de las que la componen. Debieran considerarse:

- calibración
- deriva
- interpolación o corrección no realizada (según [6], anexo F apartado 2.4.5)
- condiciones ambientales
- Tensión de alimentación

k_2 : Constante característica del sistema de medida patrón. Para calibraciones en alterna la constante es la relación de transformación escogida en el transformador patrón. Para calibraciones en continua será la inversa del valor óhmico de la resistencia o shunt empleado en la calibración.

δk_2 : Corrección del valor de la constante del sistema de medida patrón debida a múltiples efectos, tales como deriva desde la última calibración, diferencias entre la intensidad de calibración y la intensidad de uso, efecto de la temperatura, y desviaciones asociadas a su calibración si estas desviaciones no se corrigen tomando los valores certificados. En el caso de transformadores de intensidad cabe considerar además el efecto de carga, en el secundario, del amperímetro digital si esta carga difiere de la de las condiciones de calibración. En el caso de un shunt para medidas en continua se debe considerar también el efecto de su autocalentamiento, si el tiempo de empleo durante la calibración es distinto del indicado en su certificado de calibración.

L_p : Valor medio de las lecturas de intensidad obtenidas en el secundario del transformador para pinzas de alterna, o valor medio de las lecturas de tensión en los bornes de potencial del shunt para calibración de pinzas en continua.

δL_p : Corrección de la lectura realizada con el amperímetro o voltímetro del sistema de medida patrón debida a múltiples efectos. Estos efectos se refieren a su falta de resolución,



deriva desde su última calibración, efecto de la temperatura de funcionamiento, falta de linealidad, efecto de las variaciones de la tensión de alimentación, y desviaciones asociadas a su calibración si no se corrigen.

a) Asignación de las componentes de la incertidumbre.

- a.1. Incertidumbre asociada a $(k1)$, al ser una constante teórica no tiene incertidumbre asociada.
- a.2. Incertidumbre asociada a (Lx) , debida a la falta de repetibilidad de las lecturas.

Se considerarán los cinco valores leídos en la pinza o en el instrumento asociado a ella en caso de pinzas con lectura indirecta, siempre que existan variaciones. En caso contrario esta contribución no se considerará, por tener un valor nulo. Se calcularán los estimadores estadísticos que caracterizan la dispersión de los resultados obtenidos, (ver apartado 3 de definiciones). En particular se calcularán la media aritmética de los valores de Lx , la desviación estándar experimental, $s(Lx)$, y la desviación estándar experimental de la media que coincide con la incertidumbre típica de Lx . Suponiendo cinco valores leídos:

$$\begin{aligned} \text{Desviación estándar experimental de la media} &= u(Lx) = \\ &= s(Lx) / \sqrt{5} \end{aligned}$$

- a.3. Incertidumbre asociada a (Lx) , debida a la incertidumbre de calibración del voltímetro (o del amperímetro en su caso), aplicable sólo para pinzas con lectura indirecta en las que el voltímetro o el amperímetro no son el que habitualmente se utiliza con ellas.

La incertidumbre de calibración del voltímetro (o del amperímetro en su caso), será la reflejada en el correspondiente certificado de calibración, para el punto considerado. Puesto que en los certificados se indican



incertidumbres expandidas (U_{certi} , con $k=2$), para hallar la incertidumbre típica será necesario dividir el valor indicado por el valor de k_{certi} (normalmente 2). En el caso de que el punto en el que se va a usar el voltímetro no coincida con un valor certificado, se incluirá como componente de incertidumbre la mayor incertidumbre de calibración de entre todos los puntos calibrados del rango en el que se usa.

$$u(Lx) = U_{\text{certi}}/2$$

a.4. Incertidumbre asociada a la resolución de la lectura (δLx_1)

Para pinzas con lectura digital (directa o indirecta) se considera el máximo error posible que se puede cometer debido a la resolución como $\pm 0,5$ veces el último dígito ($\text{Res.}=0,5$ dígitos). Para pinzas con lectura analógica la resolución de la pinza se calculará programando la fuente de intensidad hasta lograr que la aguja se encuentre en el centro de la división a calibrar, a continuación se variará finamente la fuente hasta apreciar una desviación de la aguja respecto del centro de la división, siendo la resolución igual a la diferencia entre estos dos valores programados con la fuente y que se medirán por el correspondiente sistema de medida patrón.

La incertidumbre típica se hallará suponiendo una distribución rectangular y dividiendo por tanto la resolución por $\sqrt{3}$. El valor de esta contribución se expresará en unidades homogéneas con el resto de contribuciones.

$$u(\delta Lx_1) = \text{Res} / \sqrt{3}$$

a.5. Incertidumbre asociada con (δLx_2), corrección de la lectura realizada con el voltímetro (o del amperímetro en su caso), a la salida de la pinza debida a múltiples efectos, aplicable solamente a pinzas con lectura indirecta en las que el voltímetro o el amperímetro no son el que habitualmente se



utiliza con ellas, y por tanto no cabe englobarlos como parte del sistema de medida a calibrar.

Debido a que no es posible conocer normalmente cada una de las correcciones anteriores, las componentes de incertidumbre asociadas a estos factores se pueden derivar de las especificaciones facilitadas por el fabricante para el voltímetro o multímetro. Normalmente estas especificaciones garantizan que si el instrumento funciona en un margen de temperatura determinado, (por ejemplo, entre 18°C, y 28°C), con una tensión de alimentación determinada, (por ejemplo: 230 V \pm 10 %), y habiendo transcurrido un período de tiempo determinado, (por ejemplo un año) desde la última calibración, los errores de medida serán menores de unos límites máximos, que se denominan especificaciones (espec.). Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto (espec.) por $\sqrt{3}$.

$$u(\delta L \times 2) = \text{espec.} / \sqrt{3}$$

Es posible realizar un estudio detallado de alguna de las contribuciones anteriores (por ejemplo la deriva, mediante un análisis del histórico de calibraciones previas disponibles), y considerar esta contribución de forma independiente.

Para poder aplicar el balance de incertidumbres con las contribuciones descritas en este apartado es necesario que se garantice que cuando las desviaciones certificadas obtenidas para el voltímetro, o el amperímetro patrones en su última calibración superen un límite predeterminado (el 25% de las especificaciones del fabricante, por ejemplo) se realizan los ajustes necesarios para reducir las por debajo de este límite, seguidos de una nueva calibración.

De esta forma no es necesario aplicar una corrección a las lecturas obtenidas con el voltímetro o amperímetro, ni tampoco es necesario tener en cuenta una contribución de incertidumbre adicional por el hecho de no aplicar la corrección correspondiente debida a las desviaciones



certificadas, lo cual es muy cómodo desde un punto de vista práctico.

El criterio para que el usuario predetermine este límite de ajuste es el garantizar que el voltímetro o amperímetro será capaz de funcionar dentro de sus especificaciones hasta la próxima recalibración, y hará para ello uso del historial de calibraciones previas. En caso de tener una corrección de calibración importante (por ejemplo superior al 25% de las especificaciones) el planteamiento anterior ya no sería correcto; en este caso se podría sumar aritméticamente a la incertidumbre expandida final el valor mayor de dicha corrección, para obtener así una cota superior válida de la incertidumbre de calibración (ver anexo F apartado 2.4.5 de [6]).

- a.6. Incertidumbre asociada a (k_2), debido a la incertidumbre de calibración del transformador de intensidad o del shunt de los sistemas de medida de alterna o continua, según proceda.

La determinación de la incertidumbre típica se realiza siguiendo el mismo razonamiento que se indica en a.3.

$$u(k_2) = U_{\text{certi}}/2$$

- a.7. Incertidumbre asociada con (δk_2), corrección del valor de la constante del sistema de medida patrón debida a múltiples efectos, tales como deriva desde la última calibración, diferencias entre la intensidad de calibración y la intensidad de uso, efecto de la temperatura, y desviaciones asociadas a su calibración si estas desviaciones no se corrigen mediante una curva de calibración, así como otros indicados en la definición de (δk_2).

Siempre que el patrón se encuentre en buen estado, se use en condiciones de referencia, y esté dentro de su período de calibración es admisible recurrir al concepto de clase de precisión como un límite máximo de las posibles variaciones



del valor del patrón por distintos efectos (deriva con el tiempo, efecto de la temperatura, efecto de la carga en transformadores de intensidad, efecto del tiempo de calentamiento en el shunt). Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto la clase de precisión (clase) por $\sqrt{3}$.

$$u(\delta k_2) = \text{Clase} / \sqrt{3}$$

En la práctica se usará preferentemente el valor certificado de la constante del sistema de medida patrón. Además cuando el valor certificado esté medido a una intensidad diferente de la intensidad de uso, será necesario realizar una interpolación lineal para las dos intensidades de calibración más próximas. En estas condiciones no es necesario considerar una contribución adicional de incertidumbre, ya que este efecto es muy pequeño y estaría englobado en la clase de exactitud del patrón

Si se dispone de un historial de calibración extenso, así como de una información detallada sobre las características de estos patrones (transformador de intensidad o shunt) es posible realizar una estimación individual de las distintas fuentes de incertidumbre agrupadas bajo este epígrafe. Por ejemplo, para estimar la deriva se podría considerar una distribución rectangular de semiamplitud la máxima diferencia entre dos calibraciones sucesivas, y para estimar el efecto de temperaturas de uso distintas de la de calibración habría que recurrir a información de calibraciones previas, o a técnicas estadísticas de regresión y cálculo de sus incertidumbres asociadas.

- a.8. Incertidumbre asociada a (L_p), debida a la falta de repetibilidad de las lecturas.

Se tomarán cinco lecturas con el sistema de medida patrón en las mismas condiciones de medida siempre que existan variaciones en dichas lecturas, y en caso contrario esta



contribución sería nula. Se calcularán los estimadores estadísticos que caracterizan la dispersión de los resultados obtenidos, (ver capítulo 3 de definiciones). En particular se calcularán la media aritmética de los valores de L_p , la desviación estándar experimental, $s(L_p)$, y la desviación estándar experimental de la media que coincide con la incertidumbre típica de L_p . Suponiendo que se realizan cinco medidas:

$$\begin{aligned} \text{Desviación estándar experimental de la media} &= u(L_p) = \\ &= s(L_p) / \sqrt{5} \end{aligned}$$

- a.9. Incertidumbre asociada a (L_p), debida a la incertidumbre de calibración del amperímetro o voltímetro del sistema de medida patrón.

La incertidumbre de calibración del amperímetro o voltímetro será la reflejada en el correspondiente certificado de calibración, para el punto considerado. Puesto que en los certificados se indican incertidumbres expandidas (U_{certi} , con $k=2$), para hallar la incertidumbre típica será necesario dividir el valor indicado por el valor de k_{certi} (normalmente 2). En el caso de que el punto en el que se va a usar el amperímetro o voltímetro no coincida con un valor certificado, se incluirá como componente de incertidumbre la mayor incertidumbre de calibración de entre todos los puntos calibrados del rango en el que se usa.

$$u = U_{\text{certi}} / 2$$

- a.10. Incertidumbre asociada con (δL_p), corrección de la lectura realizada con el amperímetro o voltímetro del sistema de medida patrón debida a múltiples efectos.

Debido a que no es posible conocer normalmente cada una de las correcciones anteriores, las componentes de incertidumbre asociadas a estos factores se pueden derivar



de las especificaciones facilitadas por el fabricante para el amperímetro o voltímetro. Normalmente estas especificaciones garantizan que si el instrumento funciona en un margen de temperatura determinado, (por ejemplo, entre 18°C, y 28°C), con una tensión de alimentación determinada, (por ejemplo: 230 V \pm 10 %), y habiendo transcurrido un período de tiempo determinado, (por ejemplo un año) desde la última calibración, los errores de medida serán menores de unos límites máximos, que se denominan especificaciones (espec.). Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto (espec.) por $\sqrt{3}$. En este apartado es aplicable lo indicado en el apartado a5) acerca de las correcciones indicadas en los certificados de calibración.

$$u(\delta L_p) = \text{espec.} / \sqrt{3}$$

Nota aplicable a alguna de las contribuciones a la incertidumbre:

Esta nota es aplicable a las fuentes de incertidumbre (δL_x2), ($\delta k2$), (δL_p), en cuanto al tratamiento de los errores indicados en sus certificados de calibración:

Existen dos posibles planteamientos a la hora de considerar las correcciones indicadas en los certificados de calibración de los distintos instrumentos utilizados como patrones. El primero, aconsejado por la referencia [6], consiste en aplicar en cada punto las correcciones correspondientes iguales a los errores indicados en el certificado de calibración, pero con signo contrario, con lo cual no se incrementa la incertidumbre. “Un segundo planteamiento consiste en no realizar esta corrección y en el cálculo y asignación de incertidumbres sumar aritméticamente el valor absoluto de esta corrección al valor incertidumbre expandida obtenida sin tenerla en cuenta para obtener un límite superior de la incertidumbre.(Ref. [6], aptdo. F.2.4.5)

No obstante, si los errores indicados en los certificados de calibración, son pequeños frente a otras contribuciones de la incertidumbre (por ejemplo los errores son inferiores a la cuarta parte de las especificaciones utilizadas en amperímetros, voltímetros o



multímetros digitales), es admisible despreciar su efecto en el balance de incertidumbres. Esta situación es fácilmente alcanzable sin más que exigir el ajuste de estos patrones cuando los errores de calibración superen estos límites.

El tratamiento de las desviaciones respecto del nominal asociadas a las calibraciones de transformadores de intensidad y de los shunts es distinto. Al ser instrumentos pasivos sin posibilidad de ajuste es recomendable aplicar siempre los valores certificados, con lo cual no es necesario tener en cuenta ninguna componente debida a las desviaciones certificadas respecto del nominal en el balance de incertidumbres.



a.11. Balance de las componentes:

Magnitud , X_i	Mejor valor estimado de la magnitud , x_i	Incertidumbre típica, ($k=1$) , $u(x_i)$	Distribución de probabilidad considerada	Coefficiente de sensibilidad , C_i	Contribución a la incertidumbre $u_i (y)$
Lx	media de los valores de las repeticiones.	$s(Lx) / \sqrt{5}$	normal	$C_1 = k1$	$u_1 (y) =$ $k1 \cdot s(Lx) / \sqrt{5}$
Lx	media de los valores de las repeticiones.	$U_{certi.} / k_{certi.}$	normal	$C_2 = k1$	$u_2 (y) =$ $k1 \cdot U_{certi.} / k_{certi.}$
$\delta Lx1$	0	Res./ $\sqrt{3}$	rectangular	$C_3 = k1$	$u_3(y) =$ $k1 \cdot Res. / \sqrt{3}$
$\delta Lx2$	0	Espec./ $\sqrt{3}$	rectangular	$C_4 = k1$	$u_4(y) =$ $k1 \cdot Espec. / \sqrt{3}$
k2	Constante del transformador o shunt del sistema de medida patrón.	$U_{certi.} / k_{certi.}$	normal	$C_5 = - Lp$	$u_5(y) =$ $- Lp \cdot U_{certi.} / k_{certi.}$
$\delta k2$	0	Clase / $\sqrt{3}$	rectangular	$C_6 = - Lp$	$u_6(y) =$ $- Lp \cdot Clase / \sqrt{3}$
Lp	media de los valores de las repeticiones.	$s(Lp) / \sqrt{5}$	normal	$C_7 = - k2$	$u_7 (y) =$ $-k2 \cdot s(Lp) / \sqrt{5}$
Lp	media de los valores de las repeticiones.	$U_{certi.} / k_{certi.}$	normal	$C_8 = - k2$	$u_8 (y) =$ $-k2 \cdot U_{certi.} / k_{certi.}$
δLp	0	Espec./ $\sqrt{3}$	rectangular	$C_9 = - k2$	$u_9 (y) =$ $-k2 \cdot Espec. / \sqrt{3}$
e_x	--	--	--	--	$u(e_x) = \sqrt{\sum u_i (y)^2}$ "

NOTA: Los coeficientes de sensibilidad (C_i), se calculan como las derivadas parciales de e_x , respecto de cada una de las magnitudes evaluadas, X_i , en el punto de calibración considerado. En los valores indicados se ha tenido en cuenta que el mejor estimador de algunas de las magnitudes de entrada es cero.

NOTA: $u_i(y) = C_i \cdot u(x_i)$



Cálculo de la incertidumbre expandida:

Considerando que todas las variables de entrada son independientes, que por tanto no es necesario tener en cuenta los coeficientes de correlación, y aplicando la expresión de propagación de varianzas de la referencia [4], la incertidumbre expandida tiene la siguiente expresión:

$$U = k \cdot u(e_x) = k \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y) + u_4^2(y) + u_5^2(y) + u_6^2(y) + u_7^2(y) + u_8^2(y) + u_9^2(y)}$$

Nota: en el caso de que la media pitagórica de las contribuciones 1, y 7 fuera superior a la mitad de la media pitagórica del resto de contribuciones sería necesario evaluar el valor de k en función de los grados efectivos de libertad según se indica en el Anexo E de la referencia [4]. En el resto de ocasiones, que en la práctica son la mayoría el factor de cobertura que nos garantiza una probabilidad de cobertura del 95 % aproximadamente es k=2.

Para explicar el cálculo a realizar se tomarán dos ejemplos, un primer ejemplo de la calibración de una pinza con lectura directa en corriente continua, y un segundo de una pinza con lectura indirecta en corriente alterna.

6.1.1. Ejemplo-1 de cálculo de incertidumbres

a) Datos de partida

Se realiza la calibración en intensidad continua de un pinza digital de 3^{1/2} dígitos de lectura directa, a una temperatura de 23 ± 5 °C en la sala de metrología de una empresa de fabricación de equipos eléctricos. La tensión de alimentación de red se mantiene dentro de los límites de 230 V ± 10 %, durante toda la calibración.

La calibración se realiza mediante un shunt de corriente continua de valor nominal de 100 A, leyendo la tensión de salida del shunt mediante un multímetro digital.



- Rango de medida a calibrar: 200 A.
- Punto para la calibración en el ejemplo: 100 A.
- Tolerancia asignada a la pinza para la calibración: $\pm 2\%$ de la lectura.

Datos del shunt:

- Intensidad nominal: 100 A.
- Valor nominal: $1\text{m}\Omega$.
- Clase de precisión: 0,1.
- Se dispone de un certificado de calibración en vigor, con valores certificados a 25A, 50A, y 100A. Para la intensidad de 100A, el valor certificado del shunt es de $1.0015\text{ m}\Omega$ con una incertidumbre de calibración con $k=2$ de $\pm 0,04\%$. No se dispone de más datos sobre su deriva o histórico de calibración.

Datos del multímetro:

- Resolución: $5^{1/2}$ dígitos.
- Especificaciones a un año, para $23 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$, el rango de 100mV : $\pm 0.05\%$ lectura $\pm 0.05\%$ fondo de escala. Por lo tanto para una lectura próxima a 100 mV las especificaciones serán $\pm 0.1\%$ lectura
- Se dispone de un certificado de calibración en vigor del multímetro con una incertidumbre de calibración en tensión continua de 100 mV de 0.0025% , para un factor de cobertura, $k=2$, y además el error certificado es inferior al 25% de las especificaciones en ese rango. No se dispone de más historial de calibración.

Resultado de la calibración:

Indicación de la pinza: 101.8 A (sin variación en la lectura).

Lecturas obtenidas con el multímetro conectado a la salida del shunt:

100.018 mV



100.023 mV
100.008 mV
100.025 mV
100.017 mV

Valor medio: 100.018 mV

b) Determinación del error asociado a la calibración.

El error, e_x , de la indicación obtenida por la pinza a calibrar se obtiene como:

$$e_x = (k_1 L_x - k_2 L_p) + k_1 (\delta L_{x1} + \delta L_{x2}) - k_2 \delta L_p - \delta k_2 L_p$$

Esta expresión se puede simplificar teniendo en cuenta que la mejor estimación de las distintas correcciones consideradas por múltiples efectos es cero, y por tanto:

$$e_x = (k_1 L_x - k_2 L_p)$$

donde:

$k_1 = 1$ (Pinza de lectura directa).

$L_x = 101,8 \text{ A}$

$k_2 = 1 / 1.0015 \text{ m}\Omega = 1000 / 1.0015 \Omega = 998.5 \Omega^{-1}$

$L_p = 100.018 \text{ mV} = 0.100018 \text{ V}$

$k_2 L_p = 99.868 \text{ A}$

$k_1 L_x = 101,8 \text{ A}$

$e_x = 1.932 \text{ A}$



c) *Asignación de las componentes de la incertidumbre.*

Magnitud , X_i	Mejor valor estimado de la magnitud , x_i	Incertidumbre típica, ($k=1$) $u(x_i)$	Distribución de probabilidad considerada	Coficiente de sensibilidad , c_i	Contribución a la incertidumbre u_i (y)
Lx	101.8 A	0	--	$C_1 = 1$	$u_1(y) = 0$
$\delta Lx1$	0	0.05 A / $\sqrt{3}$	rectangular	$C_2 = 1$	$u_2(y) = 0.029$ A
k2	$998.5\Omega^{-1}$	$0.04\%(998.5\Omega^{-1}) / 2 =$ $0.2 \Omega^{-1}$	normal	$C_3 = - Lp =$ $0.100018V$	$u_3(y) = - Lp \cdot U_{certi.}$ $/ k_{certi}$ $u_3(y) = - 0.020$ A
$\delta k2$	0	$0.1\%(998.5\Omega^{-1}) / \sqrt{3} =$ $0.576\Omega^{-1}$	rectangular	$C_4 = - Lp =$ $0.100018V$	$u_4(y) = - Lp \cdot$ $Clase / \sqrt{3} u_4(y) =$ $- 0.058$ A
Lp	0.100018V	$s(Lp) / \sqrt{5} =$ $0.0030mV =$ 0.000003 V	normal	$C_5 = - k2 =$ $-998.5\Omega^{-1}$	$u_5(y) =$ $-k2 \cdot s(Lp) / \sqrt{5}$ $u_5(y) =$ $- 0.003$ A
Lp	0.100018 V	$U_{certi.} / k_{certi.} =$ $0.0025\% \cdot 100$ mV / 2 $= 0.00125mV =$ 0.00000125 V	normal	$C_6 = - k2 =$ $-998.5\Omega^{-1}$	$u_6(y) = -k2 \cdot$ $U_{certi.} / k_{certi}$ $= -0.0012$ A
δLp	0	$Espec. / \sqrt{3} =$ $0.1\% 100$ mV / $\sqrt{3} =$ 0.058 mV = 0.000058 V	rectangular	$C_7 = - k2 =$ $-998.5\Omega^{-1}$	$u_7(y) = -k2 \cdot$ $Espec. / \sqrt{3}$ $u_7(y) =$ -0.058 A
e_x	1.93 A	--	--	--	$u(e_x) = 0,089$ A

Nota: las contribuciones 3, y 4 aunque en sentido estricto son de $1/k2$, tendrán el mismo valor si se consideran para k2, despreciando los términos de segundo orden que son insignificantes.

NOTA: En este tipo de calibraciones es posible simplificar el cálculo de incertidumbres, ya que si las distintas fuentes de incertidumbre se expresan en tanto por ciento de la magnitud de entrada correspondiente, la incertidumbre típica combinada se obtiene de forma muy aproximada como



suma cuadrática de todas las componentes, sin necesidad de utilizar los coeficientes de sensibilidad. Esto es posible ya que k_{1Lx} es muy próximo al valor de k_{2Lp} , y sólo se cometen errores de segundo orden que son insignificantes.

Ejemplo1:

Resolución de la pinza	$w_1 = 0.1 \% / \sqrt{3}$
Incertidumbre de calibración del shunt	$w_2 = 0.04\% / 2$
Incertidumbre por la clase de precisión del shunt	$w_3 = 0.1\% / \sqrt{3}$
Falta de repetibilidad de las lecturas del voltímetro	$w_4 = 0.003\%$
Incertidumbre de calibración del voltímetro	$w_5 = 0.0025\%/2$
Especificaciones del voltímetro	$w_6 = 0.1\% / \sqrt{3}$

Realizando la suma cuadrática de las seis contribuciones anteriores se obtiene:

$$w = \sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + w_4^2 + w_5^2 + w_6^2} = 0,089\%$$

Cálculo de la incertidumbre expandida :

Considerando que todas las variables de entrada son independientes, que por tanto no es necesario tener en cuenta los coeficientes de correlación, y aplicando la expresión de propagación de varianzas de la referencia [4], y teniendo en cuenta que se han realizado algunas correcciones debidas a efectos sistemáticos conocidos (se ha tomado el valor certificado del shunt), la incertidumbre expandida sigue la siguiente expresión:

Nota: si se calculan los grados efectivos de libertad en este ejemplo el resultado es muy elevado, al ser la incertidumbre típica debida a la falta de repetibilidad de las lecturas muy pequeña frente al resto de contribuciones. Por lo tanto el factor de cobertura es $k=2$.

$$U = k \cdot u(e_x) = 2 \cdot 0.087 \text{ A} = 0,18 \text{ A}$$



d) *Expresión del resultado de la calibración:*

$$e_x = (1.93 \pm 0.18) \text{ A} \quad (k=2)$$

La incertidumbre de calibración indicada corresponde a una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura de $k=2$, que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95 % aproximadamente.

Nota: con este resultado no se puede asegurar que la pinza cumpla con la tolerancia establecida del 2%.

6.1.2. Ejemplo-2 de cálculo de incertidumbres

a) *Datos de partida*

Se realiza la calibración en intensidad alterna de un pinza digital de lectura indirecta, a una temperatura de $23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ en la sala de metrología de una empresa de fabricación de equipos eléctricos. La tensión de alimentación de red se mantiene dentro de los límites de $230 \text{ V} \pm 10 \%$, durante toda la calibración.

La calibración se realiza mediante un transformador de intensidad de corriente alterna, leyendo la intensidad en el secundario del transformador mediante un amperímetro digital.

Nota: la carga sobre el transformador de intensidad consiste del conjunto amperímetro y cables de conexión y se estima que tiene un valor de 2 VA, con factor de potencia unitario.

- Rango de medida a calibrar: 2000 A.
- Punto para la calibración en el ejemplo: 1000 A - 50 Hz
- Tolerancia asignada a la pinza: $\pm 5\%$ de la lectura.
- Relación de la pinza 1mV/A. Por lo tanto para una intensidad de 1000 A, la tensión de salida será del orden de 1V.



Datos del multímetro conectado a la salida de la pinza:

- Resolución: $4^{1/2}$ dígitos.
- Especificaciones a un año, para 23 ± 5 °C, en el rango de 100V a 50 Hz: $\pm 0.05\%$ lectura $\pm 0.01\%$ fondo de escala. Por lo tanto para una lectura próxima a 1 V las especificaciones serán $\pm 1,05\%$ lectura. El rango inferior es de 100 mV, y por lo tanto es necesario medir en el siguiente que es el de 100V.
- Se dispone de un certificado de calibración en vigor del multímetro con una incertidumbre de calibración en tensión alterna para el rango de 100V de 0.2%, para un coeficiente de cobertura, $k=2$, y además el error certificado es inferior al 25% de las especificaciones en ese rango. No se dispone de historial complementario de calibraciones previas.

Datos del transformador de intensidad:

- Relaciones de transformación 100-500-1000-2000 / 1 A. Se utilizará por tanto en la relación 1000 / 1
- Clase de precisión: 0,5.
- Potencia de precisión: 10 VA
- Se dispone de un certificado de calibración en vigor, que para la relación de transformación 1000 / 1, indica entre otros los siguientes resultados:

Error de relación	% In	Carga	Cos ϕ
+ 0,23%	100	10 VA	0.8
+ 0,25%	100	2.5 VA	1

con una incertidumbre de calibración con $k=2$ de $\pm 0,05\%$. No se dispone de historial complementario de calibraciones previas.



Datos del amperímetro usado en el secundario del transformador:

- Resolución: $4^{1/2}$ dígitos.
- Especificaciones a un año, para 23 ± 5 °C, en el rango de fondo de escala de 2 A, a 50 Hz: $\pm 0.3\%$ lectura $\pm 0.1\%$ fondo de escala. Por lo tanto para una lectura próxima a 1A, las especificaciones serán $\pm 0.5\%$ lectura.
- Se dispone de un certificado de calibración en vigor del amperímetro con una incertidumbre de calibración en intensidad alterna en el rango de 2A de 0.1%, para un factor de cobertura ($k=2$), y además el error certificado es inferior al 25% de las especificaciones en ese rango. No se dispone de historial complementario.

Resultado de la calibración:

Lecturas del multímetro a la salida de la pinza:

1.0235 V
1.0245 V
1.0198 V
1.0220 V
1.0215 V

Valor medio. 1.0223 V, que equivalen a 1022.3 A.

La incertidumbre típica debida a la no repetibilidad, aplicando los estimadores estadísticos ya descritos será: 0.08%

Lectura obtenida con el amperímetro conectado a la salida del transformador, sin que se observe variación alguna.

1.0005 A

Teniendo en cuenta que la relación empleada del transformador de intensidad es de 1000 /1, y que tiene un error certificado para unas condiciones de carga iguales a las de empleo de $+0.25\%$, la relación corregida será de: 997.5 /1. La intensidad medida en el secundario del transformador con el amperímetro



equivaldrá a su producto por la relación de transformación certificada, y este producto es igual a:

$$1.0005 \text{ A} \times 997.5 = 998.0 \text{ A}$$

b) Determinación del error asociado a la calibración.

El error, e_x , de la indicación obtenida por la pinza a calibrar se obtiene como:

$$e_x = (k_1 L_x - k_2 L_p) + k_1 (\delta L_{x1} + \delta L_{x2}) - k_2 \delta L_p - \delta k_2 L_p$$

Esta expresión se puede simplificar teniendo en cuenta que la mejor estimación de las distintas correcciones consideradas por múltiples efectos es cero, y por tanto:

$$e_x = (k_1 L_x - k_2 L_p)$$

donde:

$$k_1 = 1 \text{ mV / A}$$

$$L_x = 1.0223 \text{ V}$$

$$k_1 L_x = 1022.3 \text{ A}$$

$$k_2 = 997.5$$

$$L_p = 1.0005 \text{ A}$$

$$k_2 L_p = 998.0 \text{ A}$$

$$e_x = 1022.3 \text{ A} - 998.0 \text{ A} = 24.3 \text{ A} = 2.43 \%$$



c) Asignación de las componentes de la incertidumbre.

NOTA: Se empleará el cálculo simplificado, indicado en el ejemplo1, sin necesidad de utilizar los coeficientes de sensibilidad, ya que se cumplen las mismas condiciones que en el ejemplo anterior.

Falta de repetibilidad de las lecturas del voltímetro	$w_1 = 0.08\%$
Incertidumbre de calibración del voltímetro	$w_2 = 0,2\%/2$
Resolución de la lectura indirecta	$w_3 = 0.01 \% / \sqrt{3}$
Especificaciones del voltímetro	$w_4 = 1.05\%/ \sqrt{3}$
Incertidumbre de calibración del transformador	$w_5 = 0.05\% / 2$
Incertidumbre por la clase del transformador	$w_6 = 0.5\% / \sqrt{3}$
Incertidumbre de calibración del amperímetro	$w_7 = 0.1\%/2$
Especificaciones del amperímetro	$w_8 = 0.5\% / \sqrt{3}$

Realizando la suma cuadrática de las ocho contribuciones anteriores se obtiene:

$$w = \sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + w_4^2 + w_5^2 + w_6^2 + w_7^2 + w_8^2} = 0,744 \%$$

Cálculo de la incertidumbre expandida:

Considerando que todas las variables de entrada son independientes, que por tanto no es necesario tener en cuenta los coeficientes de correlación, y aplicando la expresión de propagación de varianzas de la referencia [4], y teniendo en cuenta que se han realizado algunas correcciones debidas a efectos sistemáticos conocidos (se ha tomado el valor certificado de la relación del transformador de intensidad), la incertidumbre expandida sigue la siguiente expresión:

$$U = k \cdot u(e_x) = 2 \cdot 0.744\% = 1.5\%$$

Nota: si se calculan los grados efectivos de libertad en este ejemplo el resultado es muy elevado, al ser la incertidumbre típica debida a la falta de repetibilidad de las lecturas muy pequeña frente al resto de contribuciones. Por lo tanto el factor de cobertura es $k=2$.



d) *Expresión del resultado de la calibración:*

$$e_x = (2.4 \pm 1.5) \% \quad (k=2)$$

La incertidumbre de calibración indicada corresponde a una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura de $k=2$, que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95 % aproximadamente.

6.2. Interpretación de resultados

Es conveniente establecer en función del uso previsto para la pinza, unos límites de tolerancia para la calibración a partir de los cuales se realizará el ajuste del instrumento o se limitará su uso. Se procederá al ajuste cuando la desviación obtenida sea mayor que el límite de tolerancia establecido disminuido en la incertidumbre de calibración.

Una vez terminada la calibración, incluyendo en su caso los ajustes necesarios, se determinarán los errores asociados a la calibración final en cada uno de los puntos, se determinará si dichos errores son inferiores al límite de tolerancia disminuido en la incertidumbre de calibración, y si es así la pinza se destinará de nuevo a su uso planificado. En caso contrario se reparará o se estudiará la posibilidad de su empleo en una nueva aplicación que admita una tolerancia de uso mayor.

Un período de tiempo razonable para la recalibración de estos instrumentos puede oscilar entre 9 y 12 meses, aunque el intervalo de tiempo a asignar dependerá fundamentalmente de las características técnicas comprobadas de la pinza (por ejemplo su estabilidad), del uso, y de su tolerancia asignada. El usuario del equipo será siempre el responsable de asignar el período de recalibración, y de revisarlo cuando sea preciso, considerando, por ejemplo, los resultados obtenidos con respecto a las calibraciones anteriores y a las tolerancias consideradas.



7. REFERENCIAS

7.1. Documentos necesarios para realizar la calibración

Manual de funcionamiento de la pinza a calibrar.
Manuales de funcionamiento de los patrones y fuentes.

7.2. Otras referencias para consulta.

- [1] Clasificación de instrumentos de Metrología Eléctrica. 2ª Edición. SCI-Ministerio de Industria y Energía. Diciembre 1994.
- [2] Norma UNE-EN ISO 10012:2003. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. (ISO 10012:2003)
- [3] Vocabulario Internacional de términos básicos y generales de metrología (VIM)-CEM.1994.
- [4] EA-4/02 (antigua EAL-R2). Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. December 1999.
- [5] Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración. MINER-CEM. Edición 1, 1998.
- [6] Guide to the expression of uncertainty in measurement. ISO 1993. (ISBN92-67-10188-9).



8. ANEXOS

EJEMPLO DE TABLAS CON LOS PUNTOS DE CALIBRACIÓN

En este anexo se indican los puntos en los que es necesario realizar la calibración de una pinza digital de 3^{3/4} dígitos comercial, tomando como información de partida los rangos de medida indicados en el manual de funcionamiento. Los puntos de medida se han seleccionado con el objeto de ilustrar los criterios indicados en el apartado 5.3.2

Tabla 3: Calibración en intensidad continua

RANGO	RESOLUCIÓN	VALORES DE PRUEBA				
400 A	0,1 A	40,0 A	120,0 A	200,0 A	280,0 A	360,0 A
2000 A	1A	500 A	1800 A			

Tabla 4: Calibración en intensidad alterna 50 Hz.

RANGO	RESOLUCIÓN	VALORES DE PRUEBA				
40 A	0,01 A	4,00 A	36,0 A			
400 A	0,1 A	40,0 A	120,0 A	200,0 A	280,0 A	360,0 A
2000 A	1 A	500 A	1800 A			

