

Guía de calibración

 visual factory



CALIBRE

Visual Factory Calibre 26

ELECSOFT S.L.

La información contenida en este documento está sujeta a modificaciones sin previo aviso. Ninguna parte de este documento puede ser reproducida o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, ya sea electrónico o mecánico, con ningún propósito, sin la previa autorización por escrito de Elecsoft, S.L.

©2026 Elecsoft, S.L. Reservados todos los derechos

Visual Factory y ELECSOFT son marcas registradas que pertenecen ELECSOFT S.L.

Microsoft y Microsoft Excel son marcas registradas que pertenecen a Microsoft Corporation

Cualquier otra marca, mencionada en este documento y omitida de forma involuntaria en la lista anterior, pertenece a su respectivo propietario.

3ª Revisión: enero 2026

Impreso en España

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Referencias	3
ISO 9001:2015.....	3
ISO/TS 16949:2016 (primera edición).....	3
UNE EN ISO 10012:2003	4
VIM – 3ª edición en español 2012	4
Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida.	5
EA-4/02 M: 2022 Rev. 3	5
MSA 4.....	5
Estimación de la incertidumbre. Medidas y ensayos.....	6
Procedimientos del CEM.....	6
Otras normas	6
Elementos de un Plan de Calibración	9
Inventario.....	9
Codificación e identificación.....	9
Listados de inventario.....	9
Calibración interna / externa.....	11
Procedimientos de calibración	11
Certificados de calibración.....	14
Etiquetas de calibración.....	15
Trazabilidad.....	15
Cálculo de la incertidumbre	17
Definición de incertidumbre.....	17
Cálculo de la incertidumbre.....	19
Casos prácticos de cálculo de incertidumbre	25
Bases de datos de ejemplo suministradas por ELECSOFT.....	29
Otras bases de datos de ejemplo.....	29
Buenas prácticas en el diseño de formatos de hojas de datos	31

CAPÍTULO 1

Introducción

A diferencia del manual de usuario de Visual Factory Calibre, esta guía tiene como objetivo ayudar al usuario a crear y planificar su propio plan de calibración, así como a aclarar de una forma práctica los conceptos de cálculo e interpretación de la incertidumbre y cómo Visual Factory Calibre los implementa.

Es muy importante que una aplicación informática, como es Visual Factory Calibre, se encuentre respaldada por las diferentes normativas relacionadas con el mundo de la metrología. Es por este motivo que en el capítulo 2 se hace un recorrido por las diferentes normas, guías y manuales que han servido de base para el diseño y posterior implementación de Visual Factory Calibre, y qué elementos de dichos documentos se han tenido en cuenta.

En el capítulo 3 se hace una propuesta de diseño de un Plan de Calibración basada en los documentos descritos en el capítulo 2.

En el capítulo 4 se dan las normas básicas del cálculo de incertidumbre según GUM, Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Hay que destacar que no se ha pretendido justificar matemáticamente los cálculos estadísticos que nos llevan a resolver la incertidumbre de una medida, dado que esto está suficientemente bien explicado en dicha guía. Por el contrario, se ha pretendido destacar de una forma eminentemente práctica algunos de los aspectos más interesantes (y en algunos casos, los que pueden ser más conflictivos u oscuros para el lector) que intervienen en el cálculo de la incertidumbre.

En el capítulo 5 se describen las bases de ejemplo que se suministran con la aplicación.

Para finalizar, en el capítulo 6 se dan algunas recomendaciones a la hora de diseñar formatos de hojas de datos utilizando MS-EXCEL.

Por último, en el apéndice A se incluye una lista de términos utilizados en metrología, con sus definiciones correspondientes.

CAPÍTULO 2

Referencias

En este capítulo detallaremos las diferentes normas, guías o recomendaciones que nos han servido de referencia para la realización de la aplicación Visual Factory Calibre y los procedimientos de calibración que incorpora.

Para cada uno de estos documentos se detallarán los aspectos más importantes y/o los que en mayor medida se reflejan en la aplicación.

ISO 9001:2015

Requisitos del Sistema de Gestión de Calidad.

Contiene los requisitos básicos que debe cumplir cualquier empresa para conseguir la certificación ISO 9000.

Relacionado con la calibración hay que destacar el punto 7.1.5 ("Control de los dispositivos de seguimiento y de medición").

Este punto establece que la organización debe:

- Determinar qué necesita monitorizar y medir. Esto implica identificar qué parámetros o características del producto o servicio deben ser medidos para asegurar su calidad.
- Seleccionar los métodos apropiados para dicha medición o monitorización, asegurándose de que estos métodos sean consistentes y proporcionen resultados válidos.
- Asegurarse de que los instrumentos de medición estén calibrados o verificados a intervalos especificados, o antes de su uso, contra patrones de medida trazables a estándares internacionales o nacionales. Si no hay tales estándares, la base usada para la calibración o verificación debe estar documentada.
- Identificar el equipo de seguimiento y medición para saber qué instrumento se utilizó en qué medición. Esto se puede hacer mediante etiquetas o registros electrónicos.
- Salvaguardar y proteger el equipo para asegurar su precisión y capacidad de medición.
- Tener en cuenta la validez de resultados anteriores si se descubre que el equipo no está conforme. Es decir, si encuentras que un instrumento está defectuoso, deberías considerar si esto afecta las mediciones que hiciste anteriormente con él.

ISO/TS 16949:2016 (primera edición)

Requisitos particulares para la aplicación de la norma ISO 9001:2015 para la producción en serie y de piezas de recambio en la industria del automóvil.

Como se indica en su título esta norma es una ampliación de la norma ISO 9001:2015 con los referenciales utilizados principalmente por suministradores del sector del automóvil.

De esta norma nos hemos fijado principalmente en el punto 7.1.5 (“Recursos de seguimiento y medición”).

Aparte de los puntos comunes con la norma ISO 9001:2015 hace hincapié en:

- Análisis del sistema de medición. Dentro este apartado hace hincapié en que la prioridad de los Análisis del Sistema de Medición (MSA) deberían centrarse en las características especiales o críticas del producto o proceso.
- Cómo deben registrarse los valores de calibración / verificación.
- Los requisitos aplicables tanto a laboratorios internos como externos.

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)

Esta norma es una ampliación del punto 7.1.5 (“Control de los dispositivos de seguimiento y de medición”) de la norma ISO 9001:2000 (también aplicable a ISO 9001:2015).

En primer lugar, realiza una lista de definiciones comunes en metrología. La mayoría de estas definiciones proceden a su vez del “Vocabulario Internacional de Términos Básicos y Generales de Metrología” (VIM) de 1984.

Hay que destacar que la importancia que da en la correcta definición del proceso de medición y como este proceso de medición debe llevar a la mejora continua.

Como punto final de este proceso de medición se encuentra la confirmación metrológica que determinará si un equipo es apto o no lo es (basándose normalmente en las especificaciones del cliente). Es de destacar que entre los criterios de confirmación metrológica se encuentran el error máximo permitido (en Visual Factory Calibre se denomina error máximo admitido) y la incertidumbre máxima.

También hay que destacar el diagrama al final del documento que representa de forma muy gráfica el proceso de confirmación metrológica.

Dentro de este diagrama queda perfectamente separado el concepto de calibración y verificación (con Visual Factory Calibre es posible juntar estos dos conceptos en un solo informe, o bien mantenerlos separados).

VIM – 3ª edición en español 2012

Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados.

Documento básico para conocer los términos más habituales de metrología. Se obtiene gratuitamente de la WEB del CEM (Centro Español de Metrología)

Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida.

Traducción de la guía GUM JCGM 100:2008 ("Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement") realizada por el CEM (Centro Español de Metrología)

Esta guía, junto con los procedimientos desarrollados por el CEM, es la que ha servido de base para desarrollar los diferentes procedimientos en los que interviene el cálculo de incertidumbre que se suministran con la aplicación.

En dicha guía se establecen las reglas generales para la evaluación y expresión de la incertidumbre de medida.

EA-4/02 M: 2022 Rev. 3

Evaluación de la incertidumbre de medida en las calibraciones.

Podría considerarse como un resumen del documento anterior, con algunas ampliaciones propuestas por la EA (Cooperación Europea para la acreditación). En cualquier caso, es el documento sobre el que se basan los laboratorios acreditados para realizar la evolución de la incertidumbre. También es el documento que utilizamos nosotros en la aplicación como referencia para dicho cálculo.

MSA 4

Cuarta edición, junio 2010

Measurement Systems Analysis

Esta guía fue editada conjuntamente por Chrysler Corporation, Ford Motor Company y General Motors Corporation en 1995 como ampliación al punto 4.11 de la norma QS 9000.

Hay que destacar que esta guía describe diferentes procedimientos para evaluar la idoneidad de la medida (a diferencia de la guía GUM que pretende evaluar la incertidumbre de la medida). La meta que se pretende lograr es la estimación de las influencias sobre el resultado de la medida mediante ensayos en el lugar de aplicación y control del proceso de medida con ficha de regulación estadística.

Los procedimientos que se desarrollan en este manual no son una sustitución de los procedimientos de cálculo de incertidumbre. Más bien son una ampliación que determinadas empresas deben aplicar (sobre todo las relacionadas con el sector del automóvil).

También pueden utilizarse estos procedimientos cuando se tenga que evaluar la fidelidad de una medida y no se disponga de los patrones necesarios, no exista un método de evaluación definido o se tenga que evaluar un sistema de medida complejo compuesto de diferentes equipos de medida y útiles.

Visual Factory Calibre incorpora los siguientes procedimientos:

- Estudios R & R (Repetibilidad y Reproducibilidad) por variables con y sin análisis de la varianza (ANOVA).
- Estudios de evaluación de equipos por atributos.
- Estudio de la linealidad.

- Estudio de desviación (bias) y estabilidad.

Estimación de la incertidumbre. Medidas y ensayos.

Editado por AENOR en 2000.

Autores: Christophe Perruchet y Marc Priel

Hemos querido introducir dentro las referencias este libro, pues trata de una forma muy clara y resumida los aspectos relacionados con el cálculo de incertidumbres y su aplicación práctica.

Pero quizás el aspecto más importante de esta obra es la comparación que realiza entre las dos principales guías vigentes actualmente: la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM) y la norma ISO 5725 sobre la exactitud de los resultados de las mediciones.

Nota Visual Factory Calibre se basa sobre todo en la guía GUM y no incorpora procedimientos según la norma ISO 5725, que son más específicos para la realización de ensayos. De todas formas y por la naturaleza configurable de Visual Factory Calibre, el usuario podrá realizar sus propios procedimientos y certificados que cumplan con dicha norma.

Consideramos que esta obra puede ser muy interesante para aquellas personas que quieran profundizar en los conceptos básicos de cálculo de incertidumbre, pues trata el tema de forma amena y práctica (al contrario de la guía GUM que profundiza demasiado en los aspectos matemáticos).

Procedimientos del CEM

La mayoría de los procedimientos que se encuentran en la base Ejemplo que se suministra con Visual Factory Calibre se han inspirado en los procedimientos que edita el CEM (Centro Español de Metrología).

Los procedimientos desarrollados por el CEM, además de proporcionar la forma de realizar los cálculos de incertidumbre (muy similar en todos ellos), nos proporcionan un método, en general bien documentado, de la forma en la que tenemos que realizar las medidas.

Hay que destacar que los procedimientos del CEM son una propuesta que realiza el MINER (Ministerio de Industria y Energía) enfocada a los laboratorios acreditados de calibración. Por este motivo pueden resultar demasiado elaborados para la mayoría de las empresas de manufactura que realizan su propia calibración. Por ello se han incluido en Visual Factory Calibre otros procedimientos más sencillos, pero igualmente válidos.

Otras normas

Además de las normas, guías y manuales citadas anteriormente se han utilizado diferentes normas UNE e ISO para la elaboración de los diferentes procedimientos. En cada uno de estos procedimientos se hará mención a dichas normas cuando proceda, pero podemos destacar las siguientes:

- UNE 17704:2002 (equivalente a ISO 724:1993). Rosca métrica ISO de empleo general. Medidas básicas.

- UNE 17-707-78 (equivalente ISO 965/I: 1973). Roscas métricas ISO para usos generales. Tolerancias, Principios y datos básicos.
- UNE 17-710-78 (equivalente ISO /R 1502). Rosca métrica. Verificación por calibres.
- UNE – EN ISO 286-2:2011 (equivalente a ISO 286-2:2010). Sistema de codificación ISO para las tolerancias normalizadas en dimensiones lineales. Parte2: tablas de las clases de tolerancia normalizadas y de las desviaciones límite para agujeros y ejes.
- EN ISO 1938-1:2015 (reemplaza a DIN 7150-2:2007). Especificación geométrica de productos (GPS). Equipamiento de medida dimensional. Parte 1: Calibres de límite plano de talla lineal.
- ANSI – ASME. Unified Inch Screw Threads (UN, UNR an UNJ Thread Forms B1.1 2019.
- ANSI – ASME. Gages and Gaging for Inified Inch Screw Threads B1.2 – 1983

CAPÍTULO 3

Elementos de un Plan de Calibración

Lo expuesto a continuación es una interpretación de las diferentes normas que se han citado en el capítulo anterior y refleja la forma en que se han implementado en la aplicación Visual Factory Calibre.

En este capítulo se explican con detalle los elementos mínimos que deben constar en el Plan de Calibración. Lo dicho aquí es una manera de realizar el Plan de Calibración, pero no la única.

Inventario

Codificación e identificación

Todo equipo de medida deberá tener un **Código** que lo identifique de forma unívoca y que permita relacionarlo con toda su documentación, historial, etc.

La forma de realizar esta codificación es totalmente libre y cada empresa o laboratorio confeccionará la que más le convenga. El único requisito que debe cumplir es que exista una relación biunívoca entre cada equipo y su código.

A modo de ejemplo se recomienda que el código no sea muy largo y contenga información del tipo de equipo, la sección a la que pertenece y un número consecutivo de orden. Un código de este tipo sería:

PRREC-001

Que indica que se trata de un pie de rey (PR), del área de recepción (REC) y con el número de orden 1.

Este código deberá figurar sobre el propio instrumento de medida mediante una etiqueta de identificación o grabado sobre él.

Listados de inventario

El contenido de los listados de inventario varía en función de los objetivos que se quieran alcanzar con ellos. Los datos mínimos que deberían contemplarse son:

- Código.
- Descripción.
- Marca.
- Modelo.
- Número de serie.

Naturalmente si se desea obtener un listado de inventario que refleje los equipos pendientes de calibrar se debe incluir:

- Fecha de calibración.

- Fecha de próxima calibración.

A nivel general sería interesante incluir también:

- Localización.
- Responsable del equipo.
- Campo de medida, división de escala.
- Estado del equipo y su disponibilidad.

En general interesará disponer de la información adecuada a cada tipo de listado.

Normalmente si se dispone de una aplicación informática, los datos que aparecen en el inventario se obtienen directamente a partir de la información introducida en la ficha del calibre.

Ficha del equipo

La ficha del equipo contendrá toda la información referente al equipo; tanto sus características técnicas y administrativas como sus calibraciones y posibles incidencias.

Deberán figurar en la ficha como mínimo los siguientes datos:

- Código.
- Descripción.
- Fabricante.
- Marca.
- Modelo.
- Número de serie.
- Fecha de recepción y fecha de puesta en servicio.
- Localización habitual.
- Controles que se realizan al equipo (calibración, verificación, recepción, ...). Para cada uno de los controles se indicará si se realiza interna o externamente, el procedimiento, el periodo, ...
- Responsable del equipo.
- Estado del equipo (Apto o no apto para el uso que se le va a dar)
- Disponibilidad
- Características técnicas del equipo. Incluyendo los criterios de aceptación (incertidumbre máxima, error máximo admitido, ...)

- Historia de los resultados de la confirmación metrológica. Incluyendo certificados internos y/o externos.
- Historia de incidencias. Indicando la fecha de la incidencia y la descripción.

Calibración interna / externa

Es importante decidir qué equipos de medida se calibrarán internamente y cuales externamente. Los factores que suelen definir esta decisión son:

- Que exista un número suficiente de equipos del mismo tipo, que justifique los costes de adquisición de los medios necesarios para la calibración de estos. Por ejemplo, si la empresa dispone de una única máquina de medición por coordenadas, no invertirá en la compra de los patrones necesarios para realizar la calibración de dicho equipo.
- Poder disponer de los patrones adecuados con una exactitud suficiente.
- En algunos casos, y para equipos muy particulares, no habrá más remedio que realizar una calibración interna por que no existe ningún laboratorio capaz de realizar la calibración. En estos casos la propia empresa debe diseñar un procedimiento de calibración, aunque no se disponga de ningún patrón exterior.

Para facilitar la tarea de decisión agruparemos los equipos por familias, entendiendo por familia el grupo de equipos de medida que tienen un procedimiento de calibración común.

A cada una de las familias se deberán asignar los patrones que serán necesarios para la calibración. Según la norma IEEE 498 se establece que la relación entre exactitudes del patrón y del instrumento a calibrar ha de ser mayor o igual que 4.

Si disponemos de un patrón que cumpla las condiciones anteriores o estamos dispuestos a invertir en la compra de uno, la familia seleccionada podrá calibrarse internamente.

El hecho de que un equipo se calibre externamente no es sinónimo de que sea un patrón, ya que estos, además deben calibrar a otros equipos.

Así mismo, es necesario recordar que no basta para poder calibrar un equipo internamente con tener el patrón adecuado, sino que el proceso de calibración debe estar definido y descrito detalladamente.

Si bien la calibración puede ser interna o externa al final la verificación y la confirmación metrológica se realiza internamente.

Procedimientos de calibración

Como en toda actividad relacionada con la calidad, los procesos técnicos que se establezcan para calibrar los equipos deben quedar documentados. Existen varias formas de plasmar esto en documentos que, en último término, tendrán que cumplir un mismo objetivo: especificar precisa y claramente como y con qué medios se realizan las calibraciones.

Para ello existen dos tipos de formatos que son los más difundidos: procedimientos de calibración y fichas de instrucciones. A veces, se usa una combinación de ambos: utilizando los procedimientos como

documentos que detallan como se calibra un determinado tipo o familia de instrumentos (voltímetros, pies de rey, etc.), y las fichas de instrucciones como el formato en el que se particularizan, para cada instrumento concreto, los apartados del procedimiento (patrones específicos a utilizar, valores a tomar, algún tipo de precaución específica de ese equipo concreto, etc.).

Se plasme en uno o varios documentos, al final deberá especificarse por escrito, para cada equipo que se va a calibrar internamente, lo siguiente:

Instrumentos a calibrar

El proceso de calibración puede y debe redactarse para un tipo de familia de instrumentos concretos, que deben quedar claramente definidos.

Requisitos previos

El instrumento objeto de calibración debe identificarse mediante la información necesaria (código de fabricante, número de serie, etc.) e indicar si debe superar una inspección de su estado general, previa a la calibración. En caso afirmativo, ha de especificarse claramente en que consiste esta inspección.

En algunos casos, es necesario realizar un ajuste inicial del equipo o algún otro tipo de verificación, lo cual ha de detallarse e indicar las acciones a tomar si se detectan anomalías.

Han de indicarse las condiciones ambientales más representativas que afectan a la calibración (temperatura, presión atmosférica, humedad, interferencias electromagnéticas, vibraciones, etc.) y establecer sus límites. En el certificado de calibración han de consignarse los valores de estas en el momento en que se realizó la calibración.

Instrumentos y patrones utilizados en la calibración

Deben detallarse todos los instrumentos, patrones y accesorios que intervengan en la calibración. La elección de los patrones se realizará en base a conseguir que la componente de la incertidumbre aportada por ellos y por el método de calibración, sea la más pequeña posible, con respecto a la exactitud del equipo a calibrar.

Procedimientos de medida

Deben indicarse claramente las operaciones de medida a realizar sobre el instrumento a calibrar, los puntos de calibración, el número de reiteraciones en cada uno, etc. Es importante que se diseñe un procedimiento de medida, en que el instrumento a calibrar trabaje en condiciones similares a las de su empleo habitual.

Es igualmente importante diseñar procedimientos de medida que sean suficientes para las necesidades de calibración de nuestra empresa. Por ejemplo, para la calibración de un pie de rey podríamos coger el procedimiento completo del CEM, que incluye muchas medidas y tiene en cuenta muchos factores de incertidumbre, o confeccionar uno más reducido pero que esté perfectamente justificado para los objetivos que queremos conseguir.

Visual Factory Calibre se suministra con varios ejemplos de procedimiento de equipos habituales.

Definición de formatos

Deben indicarse los formatos de hoja de toma de datos y de certificado de calibración.

Cálculo de incertidumbres y evaluación de resultados de calibración

Los procesos estándar de Visual Factory Calibre incluyen procedimiento de cálculo de incertidumbre dependiendo del tipo de equipo y la forma de expresar la corrección.

Por ejemplo, podemos tener un equipo de medida directa (por ejemplo un pie de rey) y podemos optar por expresar la incertidumbre de la corrección de cada uno de los puntos de medida, o bien suponer que siempre la corrección es nula e incluir la corrección como parte de la incertidumbre.

La aplicación permite seleccionar diferentes criterios de aceptación: incertidumbre máxima, EMA (error máximo admitido) y tolerancias.

Normalmente no es fácil establecer unos criterios generales de aceptación. **No existe una norma o regla fija** que nos indique que un equipo es apto; dependerá del equipo y de la utilización a la que esté dedicado.

Por eso será el propio responsable de la calibración el que deberá fijar en cada caso la incertidumbre máxima y/o el error máximo admitido que se permite al equipo. Por ejemplo, no exigiremos la misma incertidumbre máxima a un pie de rey que se utiliza para medir piezas de caucho que a uno que se utiliza para medir piezas metálicas. En el primer caso las tolerancias de las piezas fabricadas suelen ser mucho mayores que en el segundo, y por lo tanto podemos permitir que el primer pie de rey tenga una incertidumbre máxima mayor.

Aunque en general es la propia experiencia del responsable de calibración la que determina los criterios de aceptación, existen una serie de relaciones prácticas que se deben cumplir entre la tolerancia, la división de escala y la incertidumbre máxima:

1. Relación usual entre incertidumbre (I) y división de escala (D):

$$I = (0,5 \text{ a } 10) D$$

2. Relación deseable entre tolerancia (T) e incertidumbre (I):

$$(T / 2I) = 3 \text{ a } 10$$

3. Relaciones extremas posibles entre tolerancia (T) y división de escala (D):

$$T = (3 \text{ a } 200) D$$

4. Relaciones deseables entre tolerancia (T) y división de escala (D):

$$T = (10 \text{ a } 60) D$$

En el caso de patrones se ha de especificar la manera de establecer su valor nominal o convencionalmente verdadero y su incertidumbre, en relación con sus certificados de calibración.

A la hora de establecer los criterios de aceptación se tendrá en cuenta la manera en cómo se ha calculado la incertidumbre, siendo más apropiado el criterio de incertidumbre máxima cuando se ha incluido la corrección dentro de la incertidumbre y el EMA cuando no se ha incluido.

Intervalo de calibración

Se debe establecer el tiempo que tiene que transcurrir entre dos calibraciones sucesivas. Los factores a considerar para determinar este tiempo son:

- El riesgo de que un sistema esté fuera de especificaciones cuando se use, debe estar por debajo de un valor dado.
- El coste de la calibración debe ser mínimo.

El proceso de establecimiento de un intervalo de calibración constará de dos etapas:

1. Establecimiento del intervalo inicial de calibración.
2. Revisión de las previsiones iniciales.

Los periodos de calibración deben ser fijados de forma individual para cada equipo, teniendo en cuenta las siguientes circunstancias:

- Exactitud.
- Frecuencia y condiciones de uso
- Estabilidad y deriva con el tiempo.
- Requisitos especiales de seguridad.

Certificados de calibración

Un certificado de calibración es un documento que presenta de forma precisa, clara y no ambigua el resultado de la calibración con su incertidumbre, así como cualquier otra información de interés relacionada con la calibración o con las mediciones efectuadas. Son, por lo tanto, los registros en los que se reflejan los resultados de los trabajos de calibración realizados.

Todo certificado de calibración debería contener:

- a) Identificación completa del equipo calibrado: código, descripción, fabricante, marca, modelo, número de serie.
- b) Identificación de los patrones y accesorios utilizados en la calibración. Es recomendable que también figuren sus valores e incertidumbre.
- c) Identificación del procedimiento de calibración o ficha de instrucciones utilizada.
- d) Resultado de las mediciones con su incertidumbre asociada.
- e) Evaluación de los resultados obtenidos y, si es posible, declaración expresa de si el equipo cumple o no con las especificaciones idóneas.

f) Firma(s) de la(s) persona(s) responsable(s).

Lo mismo que se exige a las calibraciones internas se debe exigir a las externas.

Etiquetas de calibración

Son la prueba de que el equipo ha sido calibrado y ha de colocarse en el propio instrumento. Los datos que se suelen incluir son:

- Código del equipo.
- Descripción.
- Número de serie.
- Fecha de calibración.
- Fecha de próxima calibración.
- Estado del equipo y su disponibilidad. En algunos casos se utilizan etiquetas de colores para identificar los posibles estados del instrumento.

No siempre es posible colocar una etiqueta en el equipo. En el caso en que no sea posible, se puede aplicar directamente un código de colores para indicar que el instrumento está calibrado. Por ejemplo, un punto de pintura de color azul indicará que el instrumento se calibró en 2022, uno verde en 2023, ...

En este caso es recomendable colocar la etiqueta en el lugar accesible más próximo al instrumento.

Trazabilidad

Para cada equipo de medida es necesario especificar la cadena ininterrumpida de calibraciones y los patrones utilizados.

Para visualizar de forma esquemática la trazabilidad del equipo se utilizan los Diagramas de Niveles.

Diagrama de Niveles

Se denomina así a un gráfico en el que figuran, agrupados y ordenados por niveles de calibración, todos los patrones, instrumentos y accesorios de medida del laboratorio.

El criterio fundamental para la formación de un grupo en el diagrama de niveles es que todos los elementos del mismo se calibren con los mismos medios y procedimiento. En un grupo puede haber un sólo elemento, varios que se calibran análogamente o también accesorios o componentes de diferentes aparatos, que se calibran igual.

El criterio fundamental para la formación de los niveles dentro del diagrama es que los grupos de cada nivel sean calibrados por grupos de niveles superiores; nunca inferiores, ni tampoco del mismo nivel. Este criterio no determina completamente la ordenación de los grupos en niveles, por lo que se complementa con una regla práctica que aconseja colocar cada grupo en el nivel más elevado posible, pues ello facilita las posteriores modificaciones del diagrama al introducir nuevos grupos; esta regla exceptúa a los componentes del último nivel.

Conviene destacar al respecto que este diagrama se refiere a niveles de calibración, no a niveles de exactitud (la utilidad de un segundo diagrama de exactitudes es otra y no afecta a la presente exposición). Así no hay inconveniente alguno en que los diferentes componentes de un mismo grupo del diagrama resulten con incertidumbres diferentes, siempre que se calibren análogamente. Tampoco importa que en el mismo nivel haya grupos de diferentes magnitudes físicas, diferentes exactitudes y diferentes características, siempre que reciban calibración de los niveles superiores y la den a los inferiores.

Se denomina nivel de referencia (nivel R o 0), al más elevado en el diagrama, formado por los grupos de patrones y por los grupos de equipos que sin ser patrones precisan calibración exterior.

Los niveles siguientes, menos el último, se forman con los grupos de elementos que son calibrados por los de niveles superiores y calibran a los de niveles inferiores. Aquí es donde resulta de aplicación la regla práctica de situar cada grupo en el nivel más elevado posible.

El último nivel, generalmente el más numeroso, se forma con aquellos grupos que, una vez calibrados, no se emplean en ninguna otra calibración.

Mediante la aplicación de los criterios y reglas anteriores al establecer un diagrama de niveles de calibración, se logra cumplir el siguiente objetivo fundamental: cualquier cadena de calibración en un diagrama ha de ser descendente a través de los niveles, sin saltos atrás y sin cerrarse sobre sí misma. Esto asegura la calibración de todo elemento por otro de mejor exactitud y la adecuada trazabilidad de los resultados.

Un laboratorio es tanto más coherente en cuanto a instrumentación se refiere, desde el punto de vista de calibración, cuanto menor es el número de grupos de nivel de referencia respecto del total del diagrama.

CAPÍTULO 4

Cálculo de la incertidumbre

En este capítulo no se pretende realizar una exposición detallada y matemática del cálculo de la incertidumbre. Para eso, el lector puede consultar la guía GUM.

Por el contrario, nos centraremos en hacer hincapié en aquellos conceptos que resultan interesantes y que conviene resaltar.

Para la realización de este capítulo nos hemos basado fundamentalmente en la guía GUM y el libro “Estimación de incertidumbre” citados en el capítulo 2.

Definición de incertidumbre

En la definición de la incertidumbre nos encontramos con la primera “incertidumbre”, pues diferentes autores dan diferentes interpretaciones. Esto es debido a que en los últimos veinte años el concepto de incertidumbre ha evolucionado y no ha sido hasta hace poco que se ha intentado estandarizar (por ejemplo, con la aparición de la guía GUM).

Esta falta de consenso en la definición la incertidumbre y su propia interpretación ha dado lugar, incluso, a la publicación de documentos (en algunos casos procedimientos) contradictorios que hacían difícil la interpretación de resultados entre diferentes laboratorios.

Hoy día puede considerarse la guía GUM como el estándar internacional para el cálculo de incertidumbres. Como ejemplo hay que destacar que desde hace unos años el CEM (Centro Español de Metrología) ha ido adaptando sus antiguos procedimientos SCI (Sistema de Calibración Industrial) a las especificaciones de GUM. Esto ha dado lugar a una serie de procedimientos que en general son coherentes entre ellos a la hora de realizar el cálculo de la incertidumbre.

Nosotros tomaremos como definición de incertidumbre la que da el VIM, Vocabulario Internacional de Términos Básicos y Generales en Metrología, en su 3ª edición de 2012:

Incetidumbre (de medida): parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

Esto da lugar al conocido formato en que se debe expresar cualquier medida:

$$x = \bar{x} \pm I$$

lo que quiere decir que el valor verdadero de la medida efectuada (x) se encontrará, con una alta probabilidad, en el intervalo:

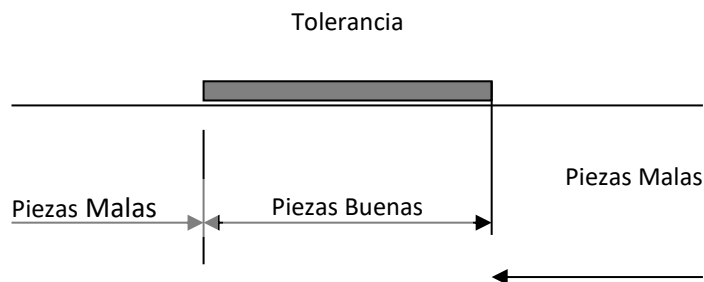
$$(\bar{x} - I) < x < (\bar{x} + I)$$

donde \bar{x} es el estimador más probable de la medida, generalmente la media si se realizan varias mediciones.

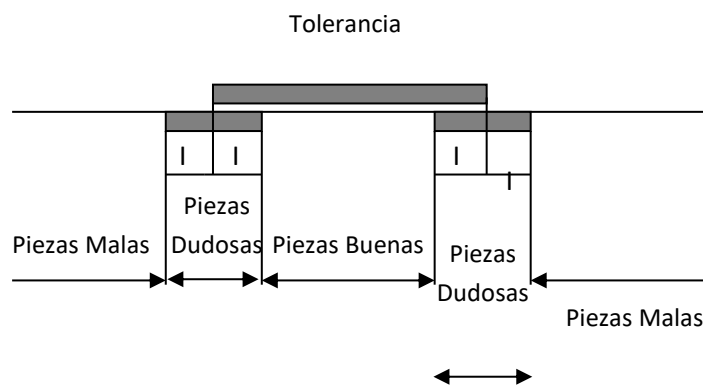
A continuación, veremos la relación (práctica) existente entre la incertidumbre (I), la tolerancia de fabricación (T) y la división de escala (E).

Tolerancias e incertidumbre

Cualquier característica de nuestra producción que pretendamos medir está acompañada de unos valores mínimos y máximos dentro de los cuales se considerará la pieza buena y fuera de ellos se considerará mala.



Dado que cualquier medida se ve afectada por un cierto grado de error, nos encontraremos con la siguiente clasificación:



Si aplicamos rigurosamente los criterios de control de calidad, debemos aceptar únicamente como buenos los componentes que sin lugar a duda están dentro del intervalo de piezas buenas, aún a costa de que se rechacen componentes que siendo buenos estén dentro del intervalo de piezas dudosas. A nivel práctico esto se traduce en una reducción de la tolerancia de verificación:

$$T_v = T - 2I$$

Para reducir lo menos posible las tolerancias de verificación conviene trabajar con incertidumbres pequeñas respecto a las tolerancias de fabricación, pero esto da lugar a trabajar con instrumentación de gran precisión, y por lo tanto más cara.

Por el contrario, si trabajamos con incertidumbres grandes aumentarán el número de piezas que rechazamos, aun siendo buenas. Lo cual, también es antieconómico.

En la práctica se puede demostrar que, si la producción está distribuida según la ley normal, está centrada y con límites 3s sobre la tolerancia, unas reducciones del 10% y 33% del campo de tolerancias, proporcionan porcentajes de rechazo no deseado del 0,5% y 4,3% respectivamente.

Esto se traduce en la siguiente relación práctica:

$$\frac{T}{2I} = 3 \quad a \quad 10$$

Cálculo de la incertidumbre

Antes de continuar con la exposición de este capítulo indicaremos una serie de ideas que no hay que olvidar relacionadas con el cálculo de la incertidumbre:

- No existen recetas mágicas para el cálculo de la incertidumbre. Su cálculo dependerá en cada momento del tipo de medida, el equipo de medida, el método de medida, la forma de realizar la medida, ...
- Aunque no existe unanimidad en cómo calcular la incertidumbre para casos concretos, está generalmente aceptado que la incertidumbre de una medida vendrá afectada por la incertidumbre de los diferentes factores que intervienen para realizar la misma.
- No es objetivo del presente manual entrar en detalle en los desarrollos matemáticos que nos llevan a las fórmulas del cálculo de la incertidumbre. Sin embargo, se intentará explicar su sentido práctico.

La magnitud que se mide (mesurando) Y , en general depende de un cierto número de magnitudes de entrada X_i ($i = 1, 2, \dots, v$), a través de una función G .

$$Y = G(X_1, X_2, \dots, X_v)$$

Las magnitudes de entrada incluyen, tanto las procedentes de los certificados de calibración de los patrones empleados, como las propias del proceso de medición y las magnitudes de influencia. Como normalmente no se conocen los valores verdaderos de las magnitudes X_i , para los cálculos se usan los valores estimados, x_i como datos de entrada para la evaluación de la incertidumbre total del resultado de la medida.

Sobre cada una de las magnitudes de entrada X_i tenemos una componente de incertidumbre que afectará al cálculo de la incertidumbre total.

Estas componentes de incertidumbre se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- A. Las que se evalúan por métodos estadísticos.
- B. Las que se evalúan por otros métodos.

Las evaluaciones de tipo A de componentes de la incertidumbre se fundamentan en distribuciones de frecuencia mientras que las evaluaciones de tipo B se fundamentan en distribuciones a priori.

Por otro lado, esta clasificación es arbitraria, pues una misma componente de la incertidumbre puede pertenecer unas veces al grupo A y otras al grupo B. Por ejemplo: la incertidumbre expresada en un certificado ha sido calculada por el laboratorio emisor utilizando métodos estadísticos. O sea, es de tipo A. En cambio, el usuario del certificado conoce el valor de la incertidumbre sin emplear ningún método estadístico; le basta con leerla. Para él es de tipo B. Por ejemplo: un operador que desee estudiar el efecto de la magnitud de influencia “temperatura” en su proceso de medida dispone de las dos posibilidades:

- Método tipo A: medir la temperatura a intervalos regulares y calcular su distribución.
- Método tipo B: consultar las características del sistema de climatización. Si la regulación prevista es de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, bastará dividir el semirango ($2\text{ }^{\circ}\text{C}$) por $\sqrt{2}$ para estimar la desviación típica.

Evaluación del tipo A

Cuando una medida se repite en las mismas condiciones, puede observarse una dispersión o fluctuación, siempre que el procedimiento de medida disponga de la resolución suficiente. Para una serie de medidas, efectuadas en condiciones de repetibilidad, compuesta de n medidas ($n > 1$) independientes, el valor estimado \bar{x} , del valor verdadero de la magnitud X , viene dado por la media aritmética de los valores individuales medidos x_i ($i = 1, \dots, n$):

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

Una estimación de la desviación típica de la distribución de los valores está dada por:

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

El valor estimado de la varianza (experimental) de \bar{x} está dado por

$$s_x^2 = \frac{1}{n} s_{xi}^2$$

La incertidumbre (típica) vendrá dada por:

$$u^2(\bar{x}) = \frac{1}{n} s_{xi}^2$$

Evaluación del tipo B

Una evaluación de tipo B de la incertidumbre se efectúa por un criterio científico fundado sobre todas las informaciones disponibles que puede incluir:

- Resultados de medidas anteriores.
- La experiencia o el conocimiento general del comportamiento y las propiedades de los materiales e instrumentos utilizados.

- Las especificaciones del fabricante.
- Los datos suministrados por certificados de calibración u otros documentos.
- La incertidumbre asignada a valores de referencia obtenidos de la literatura técnica y los manuales.

Los métodos de tipo B se fundamentan en la forma de la distribución de probabilidad y/o en los límites de variación de las variables de entrada (X_i).

A continuación, se describen las principales funciones de distribución utilizadas para la estimación de incertidumbre (Ver apartado F.2 de la guía GUM):

Componente	Distribución	Método de cálculo
Resolución de una indicación digital	Rectángulo	Si la resolución es b $u = \frac{b}{\sqrt{12}}$
Histéresis	Rectángulo	Si la diferencia máxima entre las indicaciones crecientes y decrecientes es b $u = \frac{b}{\sqrt{12}}$
Efecto de magnitudes de influencia que varían entre dos extremos de forma sensiblemente sinusoidal, por ejemplo la temperatura de un local regulado en temperatura.	Derivada de arco seno	Si la variación de temperatura es $\pm a$ $u = \frac{a}{\sqrt{2}}$
Instrumento verificado y que pertenece a una clase definida.	Rectángulo	Si la clase se define mediante $\pm a$ $u = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Incertidumbre de un patrón dada en su certificado		Si la incertidumbre expandida es U y el factor de cobertura en k (datos que debe proporcionar el certificado): $u = \frac{U}{k}$

Varianza compuesta. Ley de propagación de la incertidumbre.

El resultado de una medida y , (como estimador del valor verdadero de la magnitud de salida Y), se obtiene introduciendo los datos de entrada x_i , en sustitución de los valores X_i :

$$y = G(x_1, \dots, x_v)$$

Cuando las magnitudes de partida son independientes (no correladas), la varianza del resultado viene dada por:

$$s_y^2 = \sum_{i=1}^v \left(\frac{\partial G}{\partial x_i} \right)^2 s_{xi}^2$$

Si G es una función lineal de todas las variables X_i , como ocurre a menudo con medidas directas, todas las derivadas parciales son igual a 1, en este caso:

$$s_y^2 = \sum_{i=1}^v s_{xi}^2$$

y por tanto:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^v u^2(x_i)$$

Nota En el caso menos frecuente de utilizar magnitudes relacionadas, la fórmula de relación de varianzas es algo más compleja. Ver apartado 5.2 de la guía GUM.

La ley de propagación se aplica de forma general, cualquiera que sea la distribución de las variables de entrada, y es el método básico de cálculo de incertidumbre de medida a partir de sus componentes.

Incertidumbre global de la medida

La ley de propagación de la incertidumbre permite calcular una incertidumbre típica compuesta, cuya notación es $u_c(y)$.

La incertidumbre expandida se calcula como:

$$U = k \cdot u_c(y)$$

donde k es el factor de cobertura.

Normalmente se elige un factor de cobertura $k=2$, que equivale a considerar un intervalo de confianza de aproximadamente el 95%. Elegir $k=3$ equivale a considerar el intervalo de confianza de aproximadamente el 99%.

Nota Como veremos más adelante, esto es cierto siempre y cuando los grados de libertad sean suficientemente grandes.

Nota El punto 7 del documento CEA-ENAC-LC/02, detalla un procedimiento, paso a paso, para el cálculo de la incertidumbre de medida.

Reglas de redondeo

Los valores numéricos de la estimación y de Y , y de su incertidumbre típica $u_c(y)$ o de su incertidumbre expandida U no deben expresarse con un número excesivo de cifras. Habitualmente basta con indicar la incertidumbre típica o la incertidumbre expandida con dos cifras significativas.

Para realizar esto existen diferentes reglas de redondeo:

Regla de Gauss

- Si sólo hay un múltiplo entero que sea el número más próximo al número dado, ese es el múltiplo que se toma como número redondeado. Por ejemplo 10,334 se redondea a 10,33 y 10,337 se redondea a 10,34.
- Si existen dos múltiplos enteros igualmente próximos al número dado, se elige el múltiplo par como número redondeado. Por ejemplo 10,325 se redondea a 10,32 y 10,335 se redondea a 10,34.

Ajuste a la división de escala

En este caso se trata de ajustar el número obtenido al valor, por exceso, más próximo a la división de escala del equipo (siempre y cuando ello sea posible).

Por ejemplo, en un equipo con división de escala 0,01, se obtiene el valor 10,234, se redondeará a 10,24.

Importante Siempre se recomienda redondear una sola vez, ya que el redondeo en varias etapas puede conducir a errores.

Incertidumbre y grados de libertad

Retomamos la fórmula que permite calcular la incertidumbre expandida:

$$U_p = k_p \cdot u_c(y)$$

Podemos decir que el valor convencionalmente verdadero de y está dentro del intervalo

$[y - U_p, y + U_p]$ con un nivel de confianza aproximado p .

Anteriormente se había dicho que para un k_p igual a 2 correspondía un intervalo de confianza de aproximadamente el 95%. Esto en general será cierto, si los grados efectivos de libertad son grandes (mayor de 10).

En la práctica podemos decir que es cierto si:

- Las componentes de Tipo A tienen 10 o más muestras independientes. Los grados de libertad para las componentes de tipo A son $(n-1)$ para una magnitud única, estimada mediante la media aritmética de n observaciones independientes.
- Las componentes de Tipo B las consideramos como conocidas exactamente con lo cual los grados de libertad tienden a infinito.

En general los grados efectivos de libertad se calculan mediante la fórmula de Welch – Satterthwaire:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

En general, para los procedimientos que vamos a utilizar, habrá una componente tipo A y el resto tipo B. En este caso, y teniendo en cuenta que los grados de libertad de las componentes tipo B son infinito, la fórmula se reduce:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u_{TipoA}^4(y)}{v_{TipoA}}}$$

o lo que es lo mismo:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{u_{TipoA}^4(y)} (n-1)$$

Si $v_{eff}' \geq 9$ consideraremos a todos los efectos k_p igual a 2.

En cualquier otro caso tomaremos los valores de la tabla de la ley de Student:

ν_{eff}	K
1	13,97
2	4,53
3	3,31
4	2,87
5	2,65
6	2,52
7	2,43
8	2,37

Nota: Hay que tener en cuenta que siempre hay que indicar en el certificado el factor de cobertura (k) que se ha utilizado para calcular la incertidumbre expandida.

Casos prácticos de cálculo de incertidumbre

Visual Factory Calibre lleva incorporados una serie de procesos estándar para el cálculo de la incertidumbre que son muy fáciles de parametrizar.

Uno de estos procesos utiliza el formato de entrada de datos “Normal” que está especialmente diseñado para equipos de medida de adquisición directa, tienen un display o una regla numerada que indican directamente el valor de la medida.

La incertidumbre típica se calcula como:

$$u^2 = (c_1 \cdot u_0)^2 + (c_2 \cdot u_s)^2 + (c_3 \cdot u_r)^2 + (c_4 \cdot u_e)^2 + (c_5 \cdot u_x)^2 + (c_6 \cdot u_h)^2 + u_o^2 + u_f^2$$

Siendo:

$$u_0 = \frac{I_0}{k_0} \text{ La incertidumbre típica de tipo B debida al patrón.}$$

$$u_s = \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ La incertidumbre típica de tipo A debida a la repetibilidad.}$$

$$u_r = \frac{R}{\sqrt{12}} \text{ La incertidumbre típica de tipo B debida a la división de escala.}$$

$$u_e = Error \text{ La incertidumbre típica de tipo B debida a la desviación de la medida.}$$

$u_x = \frac{Máx - Mín}{\sqrt{12}}$ La incertidumbre típica de tipo B debida a la excentricidad. Para calcular la

excentricidad se toman 5 valores en diferentes puntos. Por ejemplo, en un plato de una balanza tomaremos un valor en cada esquina y un valor en el centro. El efecto de excentricidad se suele medir a 1/3 o mitad del rango total. De los valores obtenidos se utilizarán los valores máximo y mínimo para calcular la incertidumbre.

$u_h = \frac{|Creciente - Decreciente|}{\sqrt{12}}$ La incertidumbre típica de tipo B debida a la histéresis. Por ejemplo,

para una balanza: se parte de 0 y se pone una masa de valor la mitad del rango, este valor será el valor creciente, luego se pone una masa adicional para llevar la lectura a final de rango. Hecho esto se retira esta masa y se anota el valor como decreciente.

u_o Otras incertidumbres típicas que se introducen directamente.

u_f Fórmula otras incertidumbres típicas. Se puede introducir una fórmula que incluya los siguientes campos clave: MIN, Max y SC.

Sobre esta fórmula general hay algunas consideraciones a realizar:

- No se han considerado las componentes de incertidumbre debidas a las variaciones de temperatura, pues se consideran despreciables frente a las otras componentes siempre y cuando los equipos se estabilicen durante un tiempo suficiente en el laboratorio y se manipulen adecuadamente durante la calibración.
- Los coeficientes c1 a c4 normalmente serán 1 ó 0, aunque hay casos específicos que pueden tener otro valor (ver como ejemplo el procedimiento flexómetros de la base de ejemplo).
- El coeficiente c4 relacionado con el error (o corrección) tiene un significado especial. Si este coeficiente es 0 deberemos entregar el certificado con la corrección en cada punto y la incertidumbre relacionada a esa corrección. Si el coeficiente es 1 podremos suponer que la corrección del equipo es cero y la incertidumbre obtenida es sobre esta corrección 0. Esta última manera de actuar es la más práctica, pues si bien aumentamos el valor de la incertidumbre resulta lo más práctico para su utilización en taller.¹
- En vez de utilizar el método anterior para incluir la corrección dentro de la incertidumbre, se puede sumar directamente la corrección en valor absoluto a la incertidumbre para obtener la incertidumbre globalizada con corrección 0. Ver F.2.4.5 de GUM. Aunque GUM desaconseja, a

¹ Existen otros métodos más formales de incluir la corrección en la incertidumbre, por ejemplo, el método descrito por Steven D. Phillips, Keith Eberhardt del NIST, y Brian Parry de Boeing Corporation que se describe en el libro “Estimación de la incertidumbre”. El problema de este método es que da luz a incertidumbres no simétricas.

nivel general esta práctica, creemos que es perfectamente válida para expresar de forma muy resumida las posibilidades / limitaciones de un equipo. Por ejemplo, para un pie bastará que le demos la Incertidumbre global con corrección 0.

- Es posible que esta fórmula general no se adapta al 100% de los casos. Para estos casos especiales habrá que diseñar un formato de entrada de datos y cálculos mediante una hoja EXCEL.

La fórmula utilizada para los equipos de medida absoluta, denominados “útil” en Visual Factory Calibre, es la misma, pero quitando la componente debida a la división de escala.

Para estos equipos normalmente el coeficiente de error suele ser 0, pues para cada una de las posibilidades de medida se espera el valor real medido y la incertidumbre se refiere al valor real.

En los equipos de medida absoluta es posible indicar si el criterio de aceptación tiene en cuenta la incertidumbre obtenida para establecer el criterio de aceptación.

Por ejemplo, consideremos un útil de medida que debe tener un diámetro de $5 \pm 0,3$ mm.

Obtenemos la medida de 5,29 mm con una incertidumbre de $\pm 0,03$ mm. Si no consideramos la incertidumbre el equipo será apto pues estamos dentro de tolerancias. Sin embargo, si consideramos la incertidumbre la medida puede estar en el intervalo 5,26 y 5,32. Si hemos configurado tener en cuenta la incertidumbre el resultado del equipo será Apto con reservas.

CAPÍTULO 5

Bases de datos de ejemplo suministradas por ELECSoft

El objetivo principal de esta base de datos es mostrar al usuario la utilización de los “Procesos Estándar” para la creación de formatos de control (calibraciones, verificaciones, ...).

Visual Factory Calibre dispone básicamente de dos maneras de realizar los formatos de control: utilizando Microsoft EXCEL o utilizando “Procesos Estándar”. La primera opción es la que ha utilizado desde siempre Visual Factory Calibre y la segunda se incorporó a partir de la versión 5.0.

Para definir controles a realizar al equipo utilizando “Procesos Estándar” bastará con seleccionar el más adecuado al equipo y parametrizar según nuestras necesidades, por ejemplo, indicando el número de puntos de control, reiteraciones, ...

El desarrollo de los “Procesos Estándar” viene motivado por dos razones fundamentalmente:

1. Facilitar al usuario a implementar los diferentes procedimientos.
2. Compatibilizar la aplicación con otras aplicaciones que han migrado al entorno Visual Factory (por ejemplo, WGaupak)

Se han incluido en la documentación del medio de instalación los procedimientos de validación y los certificados de validación de los “Procesos Estándar” y estudios R & R con MSA-4 que se incorporan en esta base.

Otras bases de datos de ejemplo

Actualmente tenemos desarrollados más procedimientos que no se encuentran en el medio de instalación que se suministra con la aplicación. En el caso que no encuentre un procedimiento específico en las bases de ejemplo que se suministran de instalación, puede consultarnos, pues es muy posible que lo tengamos desarrollado.

En un futuro está previsto crear una base de datos en nuestra WEB con todos los procedimientos disponibles.

CAPÍTULO 6

Buenas prácticas en el diseño de formatos de hojas de datos

A continuación, se indican una serie de puntos prácticos para la realización de formatos de hojas de datos.

- Siempre que se pueda, desarrollar formatos de hojas de datos a partir de formatos existentes.
- Bloquear todas las celdas excepto las que sean de introducción de datos.
- No ocultar las celdas de introducción de datos. El atributo ocultar, oculta las fórmulas que puede haber en una celda. Si se oculta una celda de entrada de datos, en principio funciona correctamente pero no es posible editar una celda con un dato ya introducido (hay que borrar el dato e introducirlo de nuevo).
- Colorear las celdas que son de introducción de datos, de forma que el usuario sepa donde debe introducir dichos datos.
- No incluir formulas en celdas que estén desbloqueadas.
- Antes de empezar a realizar el formato de hoja de datos hay que realizar el procedimiento y es conveniente realizar un pequeño esquema de la distribución de entrada de datos y resultados.
- Cuando el formato de hoja de datos sea complejo dividirlo en diferentes hojas dentro del libro EXCEL.
- Los cálculos intermedios (que el usuario no tiene que visualizar) ponerlos en las primeras filas de la hoja o en una hoja aparte. En cualquier caso, ocultar dichas filas u hojas.
- Si se tienen que desarrollar formulas muy complejas (muy largas) es preferible dividir las en partes, cada una de ellas en una celda.
- Siempre que sea posible utilizar funciones definidas por EXCEL. Por ejemplo, la media de un rango de datos se puede realizar con la siguiente fórmula:

$$= \text{SUMA}(A1:A10)/\text{CONTAR}(A1:10)$$

pero es preferible utilizar:

=PROMEDIO(A1:A10)

- En las celdas numéricas indicar el formato con que se desea presentar el número.
- Cuando se utilicen fórmulas repetitivas a lo largo de un rango de celdas, utilizar las funciones rellenar hacia la derecha o hacia abajo. En estos casos tener mucho cuidado cuando en el cálculo haya celdas externas de posición fija. Para estas celdas utilizar el posicionamiento absoluto utilizando el carácter \$ (por ejemplo \$A\$1).
- Nunca dar a una misma celda dos o más nombres de celda.
- Ocultar los errores que aparecen en una celda con fórmula. Sobre todo, si es posible que por la configuración del formato de la hoja el error puede prevalecer aun estando completada la entrada de datos.

Esto se verá mejor con un ejemplo: supongamos que tenemos 10 columnas en las que se introducen 10 datos en cada una de ellas. En la parte inferior se calcula el promedio de esos 10 datos. La fórmula utilizada en la celda A11 es:

= PROMEDIO(A1:A10)

mientras no se introduzcan datos se presentará el error #DIV/0!. Si el usuario debe introducir datos en las 10 columnas no tiene mayor trascendencia que se presente el mensaje de error, pues una vez introducidos los datos el mensaje desaparecerá. Pero si el usuario sólo tiene obligación de introducir datos en 5 de las 10 columnas, será mejor poner la siguiente fórmula:

=SI(ESERROR(PROMEDIO(A1:A10));"";PROMEDIO(A1:A10))

de esta forma las celdas de resultado de las columnas en que no se han introducido datos se presentarán vacías.

- Mientras se esté diseñando la hoja de datos guardar frecuentemente el trabajo realizado. Esto puede evitar horas de trabajo perdido frente a pérdidas eventuales provocadas por un fallo en la corriente eléctrica o simplemente por “cuelgue” del sistema operativo.
- Cuando se realicen cambios (sobre todo si se insertan o eliminan filas o columnas) verificar de nuevo todas las fórmulas implicadas.
- Verificar que las palabras clave introducidas son correctas.
- Siempre que se pueda no utilizar Macros, pues dificultan el proceso de Validación y la tras portabilidad entre versiones de Microsoft EXC