



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**COMPARACIÓN DE PATRONES METROLÓGICOS
DIMENSIONALES MEDIANTE MEDIDORA DE UNA
COORDENADA HORIZONTAL Y MEDIDORA TRIDIMENSIONAL**

Autor:

Pascual Álvarez, Carlos

Tutor:

**Santos Martín, Francisco Javier
Departamento: CMelM/ Ingeniería
de los procesos de Fabricación**

Valladolid, julio de 2016

*A mi familia, amigos y al personal
del LCD.*

RESUMEN

En el TFG desarrollado se presentan los resultados de una comparación de patrones metrológicos dimensionales, realizada a través de dos sistemas de medida, por un lado una Medidora de 1 Coordenada Horizontal (M1CH) y por otro una Medidora Tridimensional (MMC). Para ello se ha seleccionado un juego de patrones cilíndricos de diámetro interior (PCDI) previamente calibrados para la determinación de su trazabilidad. Posteriormente estos patrones dimensionales fueron medidos con la M1CH y con la MMC, con sus respectivos procedimientos de medida, en laboratorio con condiciones climáticas acotadas. Los resultados obtenidos han sido analizados con el objeto de determinar si existe compatibilidad de los resultados y el nivel de puntuación obtenido en la comparación. El principal objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la necesidad industrial real que existe a la hora de comparar resultados de medidas, realizadas con diferentes sistemas y procedimientos de medida. Se presenta una herramienta metodológica que resulta útil para cuantificar el resultado de este tipo de comparaciones.

ABSTRACT

In the TFG developed the results of a comparison of metrological dimensional, performed through two measurement systems, on the one hand a measuring of 1 Coordinate Horizontal (M1CH) and on the other a Three-dimensional measuring (MMC) are presented. For this we have selected a set of cylindrical patterns inside diameter (PCDI) previously calibrated for the determination of traceability. Later these dimensional patterns were measured with M1CH and the MMC, with their respective measurement procedures in the laboratory with climatic conditions bounded. The results have been analyzed in order to determine whether there is compatibility of the results and the level of score obtained in the comparison. The main objective of this work is to show the real industrial need that exists when comparing results of measurements made with different measuring systems and procedures a methodological tool that is useful to quantify the results of these comparisons are presented.

PALABRAS CLAVE

Metrología, comparación dimensional, patrones metrológicos, calidad, LCD.

KEYWORDS

Metrology, dimensional comparasion, patterns metrological, quiality, LCD.

Índice de contenidos:

Índice de contenidos	i
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE ECUACIONES	vi
1 Capítulo 1: Justificación y Objetivos del Proyecto	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 FASES DEL TFG	6
2 Capítulo 2: Introducción a la Metrología	9
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA METROLOGÍA	11
2.2 LA METROLOGÍA EN ESPAÑA.....	13
2.3 DEFINICIÓN Y FACETAS DE LA METROLOGÍA.....	15
2.4 MAGNITUDES Y SISTEMAS DE UNIDADES DE MEDIDA	18
2.4.1 SISTEMAS DE UNIDADES	18
2.4.2 CLASES DE UNIDADES.....	19
2.5 PATRONES DE MEDIDA	21
2.5.1 PATRONES DE MEDIDA	21
2.5.2 JERARQUÍA DE PATRONES	23
2.5.3 CALIBRACIÓN Y TRAZABILIDAD	25
2.6 CONCEPTOS METROLÓGICOS.....	26
3 Capítulo 3: Incertidumbre y errores de medida	29
3.1 LA MEDIDA Y SUS ERRORES.....	31
3.1.1 MÉTODOS DE MEDIDA.....	32
3.1.2 ERRORES EN LA MEDIDA.....	33
3.2 INCERTIDUMBRE DE MEDIDA Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	36

3.2.1	EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA.....	37
3.2.2	CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA DE LA ESTIMACIÓN DE SALIDA.....	41
3.2.3	CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA.....	42
3.2.4	EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	44
3.3	RELACIÓN ENTRE INCERTIDUMBRE Y TOLERANCIA	45
4	Capítulo 4: Calidad y Metrología	49
4.1	INTRODUCCIÓN	51
4.2	SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD. UNE-EN-ISO 9001:2015 .	54
4.3	REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN. NORMA UNE-EN ISO 17025	56
4.4	ACREDITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LABORATORIOS.....	57
4.4.1	PROCEDIMIENTO DE ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS	60
5	Capítulo 5: Laboratorio de Calibración. LCD	675
5.1	INTRODUCCIÓN A LOS LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN	67
5.2	EL LABORATORIO DE METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN DIMENSIONAL (LCD).....	69
5.2.1	DILIGENCIAS DEL LCD	75
5.2.1.1	Calibración.....	76
5.2.1.2	Ensayos de Metrología.....	77
6	Capítulo 6: Instrumentos de medida	79
6.1	INTRODUCCIÓN	81
6.2	PATRONES CILÍNDRICOS DE DIÁMETRO INTERIOR	82
6.2.1	COTAS A TENER EN CUENTA.....	83
6.3	MAQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (MMC)	84
6.4	MEDIDORA DE 1 COORDENADA HORIZONTAL (M1CH).....	86
7	Capítulo 7:Desarrollo experimental.....	891
7.1	INTRODUCCIÓN	91
7.2	RESULTADOS OBTENIDOS CON M1CH	91

7.3	RESULTADOS OBTENIDOS CON MMC	96
7.4	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	101
8	Capítulo 8: Estudio económico.....	1097
8.1	INTRODUCCIÓN.....	109
8.2	COSTES DIRECTOS.....	111
8.2.1	COSTE PERSONAL.....	111
8.2.2	COSTE DE MATERIAL AMORTIZABLE.....	114
8.2.3	COSTE DE MATERIAL NO AMORTIZABLE	115
8.2.4	COSTES TOTALES DIRECTOS	115
8.3	COSTES INDIRECTOS.....	116
8.4	COSTE TOTALES.....	116
9	Capítulo 9: Conclusiones.....	1219
9.1	SÍNTESIS GENERAL DEL TRABAJO.....	121
9.2	CONCLUSIONES.....	122
10	Capítulo 10: Bibliografía	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Distintos sistemas de referencia adoptados por el hombre (Breve historia de la metrología, CEM).	11
Figura 2.2	Patrón de longitud y masas compuesto por una aleación de platino e iridio (Historia de la Astronomía)	13
Figura 2.3	Subdivisiones de la metrología (Proyecto tecnológico).	17
Figura 2.4	Jerarquía patrones	24
Figura 2.5	Infraestructura metrológica española (CEM)	24
Figura 2.6	Caracterización cuantitativa de la veracidad y la precisión (Sistemas de diagnóstico clínico y biólogo, BioSystem España).	28
Figura 3.1	Balanza mecánica	32
Figura 3.2	Pie de rey	33
Figura 3.3	Error de paralelaje debido al error de lectura del instrumento (Rodríguez. C. F (2010))	35
Figura 3.4	Error debido al instrumento	35
Figura 3.5	Diferencia entre exactitud y precisión (Departamento de química analítica, Universidad Nacional de Rosario)	36
Figura 3.6	Representación gráfica de la función de densidad de la ley Normal.	43
Figura 3.7	Criterio de seguridad que se utiliza en la práctica metrológica. (Carro de V. P. J, 2003)	46
Figura 4.1	Representación gráfica de los pilares de la calidad.	53
Figura 4.2	Ejemplo de Certificado de Acreditación emitido por ENAC a un laboratorio de calibración	58
Figura 4.3	Estructura ENAC (ENAC).	59
Figura 4.4	Proceso para conseguir acreditación ENAC (ENAC).	62
Figura 5.1	Logotipo del LCD	69
Figura 5.2	Sala de interferometría del LCD vista desde la sala de metrología dimensional	75
Figura 6.1	Sala de metrología dimensional.	82
Figura 6.2	Juego de anillos patrón de diámetro interior	83
Figura 6.3	Anillo patrón de diámetro interior	84
Figura 6.4	Máquina de medición por coordenadas (MMC)	86
Figura 6.5	Medidora de 1 Coordenada Horizontal (M1CH)	88
Figura 7.1	Medidora de 1 Coordenada Horizontal realizando el palpado de un patrón de diámetro interior.	92
Figura 7.2	Determinación de la constante del palpador de MMC	97
Figura 7.3	Creación del programa de medición	98
Figura 7.4	Medición de un anillo patrón de diámetro interior	100
Figura 7.5	Diagrama intercomparación patrón 70 mm.	102
Figura 7.6	Diagrama intercomparación patrón 56,0012 mm.	103
Figura 7.7	Diagrama intercomparación patrón 51,0021 mm.	103

Figura 7.8	Diagrama intercomparación patrón 23,0002 mm.	104
Figura 8.1	Diagrama de costes	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Unidades básicas del Sistema Internacional.	19
Tabla 2.2	Tabla de magnitudes y unidades derivadas del Sistema Internacional.	20
Tabla 3.1	Serie de medidas.	39
Tabla 3.2	Valores del factor t de Student.	44
Tabla 7.1	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 70 mm.	93
Tabla 7.2	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 56,0012 mm	94
Tabla 7.3	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 51,0021 mm	94
Tabla 7.4	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 23,0002 mm	95
Tabla 7.5	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 70,0000 mm	98
Tabla 7.6	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 56,0012 mm	99
Tabla 7.7	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 51,0021 mm	99
Tabla 7.8	Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 23,0002 mm	99
Tabla 7.9	Intercomparación patrón 70 mm.	102
Tabla 7.10	Intercomparación patrón 56,0012 mm.	102
Tabla 7.11	Intercomparación patrón 51,0021 mm.	103
Tabla 7.12	Intercomparación patrón 23,0002 mm.	104
Tabla 7.13	Incertidumbre expandida de los patrones de referencia.	105
Tabla 7.14	Intercomparación I.C y Z-score.	105
Tabla 8.1	Cálculo de número de horas totales anuales.	110
Tabla 8.2	Coste total trabajador en un año.	111
Tabla 8.3	Coste horario.	112
Tabla 8.4	Horas empleadas en la realización del trabajo	112
Tabla 8.5	Diagrama de Gantt. Fases y etapas del estudio.	113
Tabla 8.6	Coste de personal.	113
Tabla 8.7	Amortización de equipos.	114
Tabla 8.8	Coste de material no amortizable.	115
Tabla 8.9	Total costes directos del estudio.	115
Tabla 8.10	Total costes directos del estudio.	116
Tabla 8.11	Costes totales del estudio	116

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1	Medida indirecta.	33
Ecuación 3.2	Función modelo.	37
Ecuación 3.3	Media aritmética	38
Ecuación 3.4	Varianza.	39
Ecuación 3.5	Desviación típica.	39
Ecuación 3.6	Varianza de los valores estimados.	39
Ecuación 3.7	Estimación del valor convencionalmente verdadero en una distribución rectangular.	41
Ecuación 3.8	Incertidumbre asociada a x_i	41
Ecuación 3.9	Incertidumbre típica de la salida.	41
Ecuación 3.10	Incertidumbre típica de la estimación de la salida.	41
Ecuación 3.11	Incertidumbre asociada a magnitudes de entrada correlacionadas.	42
Ecuación 3.12	Incertidumbre asociada a la magnitud de salida.	42
Ecuación 3.13	Incertidumbre expandida de medida.	42
Ecuación 3.14	Fórmula de Welch-Satterthwaite.	43
Ecuación 3.15	Relación entre incertidumbre (U) y tolerancia (T).	46
Ecuación 7.1	Índice de compatibilidad	101

Capítulo 1

Justificación y objetivos del Proyecto

Justificación y objetivos del Proyecto

1.1 JUSTIFICACIÓN

A día de hoy, tanto en España como el resto de Europa y países desarrollados, se hace indispensable tener una infraestructura metrológica para que la diseminación de las unidades de medida esté correctamente referenciada a los patrones nacionales.

Esto repercute directamente en el consumidor, ya que se da por sentado que todos los instrumentos de medida utilizados miden correctamente. “En la Europa actual, las mediciones suponen un coste equivalente a más del 1% del PIB combinado, con un retorno económico equivalente de entre el 2% y el 7% del PIB. Todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición y ello afecta a nuestras economías privadas” [www.cem.es.(Mayo 2016)].

De esta ardua tarea, en España, se encarga la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC¹), cuyo propósito es generar confianza y bienestar en la sociedad garantizando la calidad de los productos y la protección del medio ambiente.

Para llevar a cabo su misión, ENAC realiza las siguientes actividades [www.enac.es.(Junio 2016)]:

¹ De aquí en adelante, por comodidad, nos referiremos a ella como ENAC.

- Declara la competencia técnica de los evaluadores de la conformidad a través de un sistema independiente, imparcial y transparente.
- Promover la aceptación de las actividades de los evaluadores de la conformidad acreditados mediante el establecimiento de acuerdos de reconocimiento, facilitando así los intercambios comerciales en un mercado global.
- Colaborar con la Administración y otras organizaciones usuarias de la acreditación garantizando que el servicio del que van a hacer uso responde a sus necesidades.
- Gestiona el sistema de acreditación de una manera eficiente.

La gestación de este proyecto surge mediante la realización de una beca de investigación en el Laboratorio de Metrología y Calibración Dimensional (LCD²), del cual formo parte desde septiembre de 2013. El laboratorio está amparado bajo la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 y cuenta con acreditación ENAC, por lo que como veremos posteriormente, está sometido a un control periódico, exhaustivo y externo, que garantiza la competencia técnica de todas sus actividades.

La conformidad de especificaciones se puede realizar con distintos sistemas de medida, muchas veces condicionados a la disponibilidad, coste o conocimiento de uso de los mismos. En estos casos, se hace especialmente importante, determinar el nivel de compatibilidad de los resultados obtenidos por distintos medios. Este aspecto es clave a la hora de garantizar la confianza en las medidas.

1.2 OBJETIVOS

El propósito principal de la realización de este Trabajo Fin de Grado, se centra en la comparación de las medidas de realizadas a una serie de

² De aquí en adelante, por comodidad, nos referiremos a ella como LCD.

patrones dimensionales por dos máquinas distintas situadas en el LCD. Los mensurandos serán cuatro patrones de diámetro interior. Para ello se procederá según lo estipulado en los procedimientos específicos de calibración que posee el Laboratorio.

Las mediciones se realizarán con una Medidora de 1 Coordenada Horizontal (M1CH), marca Mahr y modelo 828PC 500. La otra máquina que emplearemos será una Máquina de Medición por Coordenadas (MMC), también llamada Medidora Tridimensional, marca DEA MISTRAL, modelo MISTRAL SP.

Los cálculos de incertidumbre se realizarán conforme al documento elaborado por el Centro Español de Metrología (CEM³), *Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida*, que garantiza la armonización en el cálculo de incertidumbre a nivel internacional.

Entrando en un mayor detalle, los objetivos parciales que se pretenden alcanzar en este TFG son los siguientes:

1. Aprender el sistema de funcionamiento de un laboratorio acreditado bajo la norma UNE-EN ISO/17025.
2. Aprender y adquirir las habilidades necesarias para el funcionamiento de una Medidora de 1 Coordenada Horizontal y una Medidora Tridimensional.
3. Definir la sistemática para la comparación de un juego de patrones dimensionales, de manera que se minimicen las componentes de incertidumbre.
4. Realizar el ejercicio experimental de la medida mediante las máquinas anteriormente citadas.
5. Analizar los resultados obtenidos en la comparación, cuantificándolos mediante el índice de compatibilidad y

³ De aquí en adelante, por comodidad, nos referiremos a ello como CEM.

puntuándolos mediante el uso de un estadístico que relaciona las desviaciones obtenidas y un valor de incertidumbre admisible.

1.3 FASES DEL TFG

El proceso de elaboración de este Trabajo Fin de Grado se puede resumir en las siguientes fases:

Fase previa: realización de una beca de investigación en el LCD, en el cual tengo mi primer contacto con la metrología y lo concerniente a ella, formándome tanto en aspectos de calidad como técnicos.

Fase 1: En este periodo existe un trabajo de documentación que abarca desde los inicios de la metrología y su historia, normativas de metrología y procedimientos para la realización de las medidas a efectuar, cálculos de incertidumbre y su expresión.

También es necesario conocer el funcionamiento del LCD, el proceso a seguir para adquirir la acreditación ENAC y la implantación de los procedimientos.

Fase 2: En la segunda parte se realiza el trabajo de técnico de laboratorio, en el cual se procede a cometer la serie de mediciones de los bloques patrón longitudinal y los patrones de diámetro interior utilizando para ellos la medidora de una coordenada horizontal y la máquina de medición por coordenadas.

Fase 3: Desarrollo de la sistemática necesaria para la comparación de un mismo mensurando mediante sistemas metrológicos distintos. Para ello se analizarán las principales componentes de variabilidad con el objeto de eliminar todas las que sean posibles y cuantificar el resto. Con el objeto de valorar la comparación se empleará el criterio de determinación del índice de compatibilidad, para determinar el nivel de éxito del ejercicio. Adicionalmente

se propone un índice estadístico que permite puntuar de forma cuantitativa el resultado de la comparación.

Capítulo 2

Introducción a la Metrología

Introducción a la Metrología

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA METROLOGÍA

Desde el origen de los tiempos, tanto en el comercio como en la agricultura, arquitectura...el hombre ha estado íntimamente unido a la metrología, aunque no exactamente tal y como la conocemos hoy. Hasta el Renacimiento la mayor parte de la información existente sobre la metrología se refiere a su aplicación en transacciones comerciales. El Hombre usaba su propio cuerpo como sistema de referencia a la hora de intercambiar productos. Por ejemplo el pie, la cuarta o la pulgada.

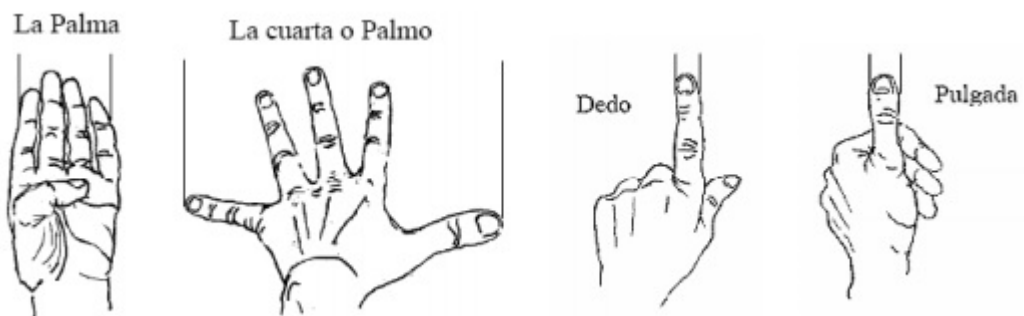


Figura 2.1: Distintos sistemas de referencia adoptados por el hombre (Breve historia la metrología, CEM).

Se acepta como el nacimiento de la ciencia, tal y como hoy la entendemos, el siglo VI a.c, en la ciudad griega de Mileto. Los griegos son el

pueblo que mayor aportación ha realizado a la ciencia y la metrología, ya que aparte de sus conocimientos, hicieron posible la traducción de los aportes realizados anteriormente por los egipcios.

Posteriormente, entre el final del siglo XV y el XVIII, se producen avances en astronomía que suponen un progreso en la ciencia. Este avance es un reflejo del espíritu del Renacimiento y de la Revolución Francesa, que hace hincapié en la vuelta a lo griego.

El sistema de medidas se instauró en 1790 ante la Asamblea Nacional Francesa. Este sistema métrico se basaba en dos unidades fundamentales: el metro y el kilogramo. Con esta implantación se acababa con la diversidad metrológica. España se adhiere a este sistema métrico posteriormente, en 1849. En 1791 se definía el metro como “la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre que pasa por París”. Como patrón de masa, se tomó el volumen de agua definido por la longitud de la arista del cubo que la contenía. El intento fracasó por la dificultad de obtener agua patrón. Posteriormente ambos patrones fueron materializados en platino y depositados en los Archivos de la Revolución Francesa [Breve historia de la metrología, (2016)].

En 1872 se materializaron 30 patrones de longitud en platino iridiado. Estos nuevos prototipos poseían una sección en X, con la fibra neutra accesible, sobre la que dos marcas delimitaban el valor del metro. El metro se definió como la distancia que separa las dos superficies terminales de la barra de platino. Este patrón de longitud ha sido usado hasta 1960 momento en el cual fue sustituido por un sistema que reproduce esta distancia por medio de un haz de luz monocromática. Actualmente el metro se define como la longitud del trayecto recorrida por la luz en el vacío en un intervalo de tiempo de $1/299792458$ segundos [Área de longitud, (2016)].

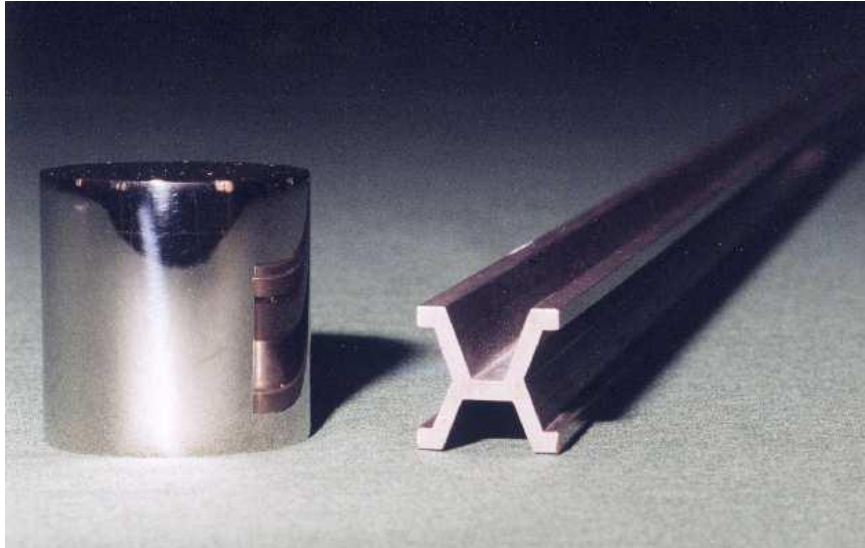


Figura 2.2: Patrón de longitud y masas compuesto por una aleación de platino e iridio (Historia de la Astronomía).

2.2 LA METROLOGÍA EN ESPAÑA

El interés por conseguir un único sistema de pesas y medidas existía desde la antigüedad. Hasta los Reyes Católicos se sucedieron diferentes intentos por parte de ambas monarquías, para conseguir un sistema de medidas unificado.

En el siglo XVI, Felipe II dictó una Provisión Real que perseguía la pretendida unificación del sistema de pesos y medidas en todos los reinos, cuya vigencia se mantuvo hasta el siglo XIX. En 1751 la Junta de Comercio remitía una petición a las Cancillerías, Audiencias y Universidades con el fin de fijar las bases para la igualdad en los pesos y medidas.

La idea de definir las unidades de medida a partir de magnitudes inmutables y universales no pasó desapercibida a las autoridades españolas. A finales del XVIII, las nuevas corrientes en pesos y medidas llegaban a España a través de sus comisionados en París, quienes informaban de las nuevas ideas que surgían en Francia, por lo que se aceptó, en 1799, el valor del metro de manera oficial ante la comunidad científica internacional, integrada por los países neutrales o aliados de Francia [PUENTE, F.G. (1982)].

La participación de España a través de “comisionados” en París se había iniciado en el siglo XVII, ejemplo de ello puede ser su intervención en las operaciones geodésicas y astronómicas para fundamentar la unidad de un sistema de pesos y medidas.

España recibió, a través de sus representantes, un prototipo de metro y otro de kilogramo, ambos de platino por ser país participante en las reuniones. Además, La Ley de Pesas y Medidas decretada por las Cortes y sancionada por Isabel II el 19 de julio de 1849, introducía en todos los dominios de España un sistema de pesas y medidas único y legal, que definía como unidad del sistema al “metro”, establecía sus divisiones en diez decímetros, cien centímetros y mil milímetros, y aplicaba su nomenclatura científica. Este sistema debía ser obligatorio para todos los españoles el primero de enero de 1860.

A principios de los años ochenta, el Gobierno español, teniendo en cuenta la importancia de la metrología en el desarrollo tecnológico de un país, elaboró y presentó al Parlamento una nueva Ley de Metrología, promulgándose la Ley 3/1985 de 18 de marzo, de Metrología.

Esta ley establece el marco jurídico en el que se desarrollan todas las actividades metrológicas en España y se promulgó con tres objetivos fundamentales [www.cem.es.(Mayo 2016)]:

- Definir las unidades legales de medida y establecer las cadenas oficiales de calibración al objeto de relacionar y jerarquizar todos los patrones de medida existentes en nuestro país.
- Establecer el control metrológico del Estado sobre los instrumentos de medida, con el fin de velar por la corrección y exactitud de las medidas en defensa de la salud y seguridad ciudadanas, evitando así fraudes en perjuicio de los consumidores.
- Unificar la actividad metrológica en España mediante la creación de un Centro Nacional de Metrología.

El CEM es la institución responsable de la organización metrológica en España y sus competencias son las siguientes:

- Custodia y conservación de los patrones nacionales de las unidades de medida.
- Establecimiento de las cadenas oficiales de calibración.
- Ejercicio de las funciones de la Administración General del Estado en materia de metrología legal.
- Ejecución de proyectos de investigación y desarrollo en el ámbito metrológico.
- Formación de especialistas en metrología.

En la actualidad la Metrología en España está dirigida por el Consejo Superior de Metrología (CSM), órgano superior de asesoramiento y coordinación en materia de Metrología Científica, Técnica, Histórica y Legal.

2.3 DEFINICIÓN Y FACETAS DE LA METROLOGÍA

Actualmente se entiende por metrología, la ciencia que estudia todo lo concerniente a la medida. Incluye tanto aspectos teóricos como prácticos de las mediciones. Su propósito es:

- Definir las unidades de medida y los sistemas de medida internacionalmente aceptadas.
- Realizar las unidades de medida por métodos científicos.
- Valorar la calidad de las mediciones, procurando su mejora continua.

- Establecer cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y la exactitud de una medición.

La metrología no es única del área dimensional, sino también de otras áreas como: masa, electricidad, temperatura, fuerza, volumen, etc.

De forma general se puede considerar que la metrología se divide en tres categorías [ESTEBAN, E.P (2016)]:

1. METROLOGÍA LEGAL: Es la encargada de ejercer el control y la fiscalización del Estado sobre todos los instrumentos de medida, con el fin de velar por la corrección y exactitud de las medidas para la protección de la salud, la seguridad pública, el medio ambiente y evitar fraudes en perjuicio de los consumidores, es decir, se ocupa de la transparencia de las transacciones. El alcance de la metrología legal depende de las reglamentaciones nacionales y puede variar de un país a otro.

Por lo tanto, mediante la metrología legal el Estado realiza un control metrológico de los instrumentos de medida.

2. METROLOGÍA APLICADA o INDUSTRIAL: cuyo cometido se centra en la implantación de cadenas de calibración que garanticen la trazabilidad de los patrones nacionales en todos los procesos de medida nacionales, por tanto, debe asegurar el adecuado funcionamiento de los instrumentos de medida empleados. Para ello existen diversas normas y procedimientos de calibración, así como ensayos y verificaciones destinados a la correcta consecución de la actividad.

3. METROLOGÍA CIENTÍFICA: Responsable de la obtención, desarrollo, conservación y diseminación de los patrones de las unidades de medida. En España esta función es llevada a cabo por el CEM y los Laboratorios Asociados, mientras que en el ámbito internacional está regida por Oficina Internacional de Pesas y Mediciones (BIPM⁴).

⁴ Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) es la Oficina Internacional de Pesas y Medidas. Fundada en 1875, su misión es coordinar la metrología mundial. Su sede está ubicada en Sèvres, (París).

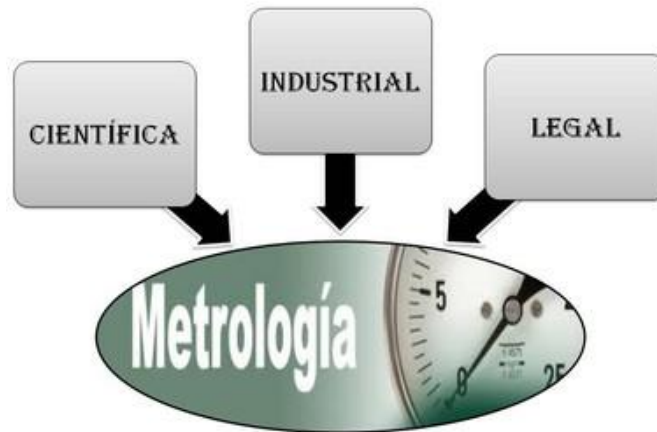


Figura 2.3: Subdivisiones de la metrología (Proyecto tecnológico).

El desarrollo de la metrología proporciona múltiples beneficios tanto en la sociedad como en el mundo industrial, por ejemplo:

- Promueve el éxito económico, ya que la fabricación y la comercialización de los productos depende de la exactitud y de la calidad.
- Genera confianza, ya que los ciudadanos deben tener confianza en las transacciones comerciales.
- Perfecciona los métodos y medios de medición.
- Facilita el intercambio de información científica y técnica.
- Suscita y facilita el progreso científico y el desarrollo tecnológico.
- Posibilita una normalización internacional de productos, maquinaria, equipos y medios de medición.

No hay que dejar de lado que una medición errónea se traduce en decisiones equívocas, por lo que consecuentemente se oferta un producto o

un servicio que no cumple con las especificaciones, generando un coste añadido para solventar dicha situación en el mejor de los casos.

2.4 MAGNITUDES Y SISTEMAS DE UNIDADES DE MEDIDA

2.4.1 SISTEMAS DE UNIDADES

A partir de 1791, la Asamblea Nacional Francesa unifica el sistema de medidas, ya que hasta entonces, se habían empleado diversos métodos con distintos objetos de referencia en función de pueblos, regiones...etc. Todo ello dificultaba la homogeneidad y los intercambios comerciales, ralentizando el progreso industrial.

A día de hoy no concebimos que se realice una medición sin el uso de unidades. El Sistema Internacional supone el fin de una etapa en la que regían los antiguos sistemas, y el inicio de una nueva, en la que poder expresar resultados de forma universal, de modo que para cualquier persona del mundo las magnitudes sean las mismas.

El establecimiento de todo sistema de unidades ha de pasar por el cumplimiento y puesta en práctica de los siguientes principios:

- i) Elección de un número reducido de magnitudes fundamentales independientes y definir sus unidades.
- ii) Expresión de las magnitudes derivadas a partir de las fundamentales y definición de las unidades derivadas mediante expresiones matemáticas sencillas a partir de las unidades fundamentales.

2.4.2 CLASES DE UNIDADES

El Sistema Internacional comprende las siguientes clases de unidades [ESTEBAN, E.P. (2016)]:

1. UNIDADES BÁSICAS: unidad adoptada por convenio en el Sistema Internacional para cada magnitud base.

A continuación se muestran las siete magnitudes básicas actuales junto con sus unidades.

Tabla 2.1: Unidades básicas del Sistema Internacional.

MAGNITUD	UNIDAD	SÍMBOLO
Longitud	<i>metro</i>	m
Masa	<i>kilogramo</i>	kg
Tiempo	<i>segundo</i>	s
Intensidad de corriente eléctrica	<i>amperio</i>	A
Temperatura Termodinámica	<i>kelvin</i>	K
Intensidad luminosa	<i>candela</i>	cd
Cantidad de sustancia	<i>mol</i>	mol

2. UNIDADES DERIVADAS: se obtienen en función de las unidades básicas.

Sin embargo existen otras unidades que, no perteneciendo al Sistema Internacional, se mantienen debido a la gran utilidad de sus aplicaciones. Un ejemplo claro es el uso de kilómetros (km) para expresar grandes distancias o toneladas (T) para grandes cantidades de masa.

Tabla 2.2: Tabla de magnitudes y unidades derivadas del Sistema Internacional.

MAGNITUD	UNIDAD	SÍMBOLO	EXPRESIÓN
Frecuencia	<i>hercio</i>	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
Fuerza	<i>newton</i>	N	1 N = 1 kg m/s ²
Presión, tensión mecánica	<i>pascal</i>	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
Energía, trabajo, cantidad de calor	<i>julio</i>	J	1 J = 1 Nm
Potencia	<i>vatio</i>	W	1 W = 1 J/s
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	<i>culombio</i>	C	1 C = 1 As
Potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión eléctrica, fuerza electromotriz	<i>voltio</i>	V	1 V = 1 J/C
Capacidad eléctrica	<i>faradio</i>	F	1 F = 1 C/V
Conductancia eléctrica	<i>siemens</i>	S	1 S = 1 Ω ⁻¹
Flujo de inducción magnética, flujo magnético	<i>weber</i>	Wb	1 Wb = 1 Vs
Densidad de flujo magnético, Inducción magnética	<i>tesla</i>	T	1 T = 1 Wb/m ²
Inductancia	<i>henrio</i>	H	1 H = 1 Wb/A
Temperatura Celsius	<i>grado celsius</i>	°C	°C = K - 273
Flujo luminosos	<i>lumen</i>	lm	1 lm = 1 cd sr
Iluminancia	<i>lux</i>	lx	1 lx = 1 lm/m ²
Resistencia eléctrica	<i>ohmio</i>	Ω	1 Ω = 1 V/A

2.5 PATRONES DE MEDIDA

2.5.1 PATRONES DE MEDIDA

Medir es comparar una magnitud con un patrón determinado. Es necesario definir qué se entiende por patrón. Según el Vocabulario

Internacional de Metrología (VIM⁵), un patrón es una medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia. Un conjunto de medidas materializadas o de instrumentos de medida similares que, utilizados conjuntamente, constituyen un patrón, se denomina patrón colectivo, y un conjunto de patrones que, individualmente o por combinación, proporcionan una serie de valores de magnitudes de la misma naturaleza, reciben el nombre de serie de patrones.

Los patrones permiten reproducir tanto una unidad de medida como un múltiplo o submúltiplo de la misma. Existen varios tipos de patrones según la incertidumbre que lleven asociada en la determinación de la unidad que representan y según el uso al que se destinen. Puede hablarse de [CARRO DE VICENTE-PORTELA, J. (2003)]:

- PATRONES PRIMARIOS: disponibles solamente en algunos laboratorios oficiales de metrología, proporcionan las mejores definiciones materiales de la unidad. La incertidumbre de estos patrones se determina por medio de los resultados de las intercomparaciones de estos laboratorios. El VIM lo define como “patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud”.
- PATRÓN SECUNDARIO: Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.
- PATRONES DE REFERENCIA: Patrón, en general, de la más alta calidad metrológica, que se encuentran en los laboratorios oficiales de metrología y sus dimensiones se establecen por comparación con los patrones primarios. De estos patrones se derivan las medidas realizadas en el centro u organismo donde se disponen.

⁵ De aquí en adelante, por comodidad, se referirá a ello como VIM.

- PATRONES DE TRANSFERENCIA: se utilizan como intermediarios en la comparación de patrones. Mediante ellos se calibran los patrones y otros aparatos que los laboratorios regionales e industriales envían a los laboratorios oficiales.
- PATRÓN DE TRABAJO: Patrón que se utiliza corrientemente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia. Habitualmente se calibra con un patrón de referencia.

Se utiliza para asegurar que las medidas están realizadas correctamente, por lo que también se les denomina patrón de control.

- PATRONES INDUSTRIALES: son los que se encuentran a escala regional o local y permite, una vez conocidas sus incertidumbres por comparación con los patrones de referencia, su utilización en la calibración de otros instrumentos.
- PATRÓN INTERNACIONAL: Es reconocido por un acuerdo internacional para servir como referencia internacional para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.
- PATRÓN NACIONAL: Patrón reconocido por una decisión nacional, en un país, para servir como referencia para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud considerada.

2.5.2 JERARQUÍA DE PATRONES

Dependiendo de las incertidumbres admisibles en los resultados de medida, la calidad metrológica que se exige a los patrones puede ser diferente.

Puede apreciarse que existe una jerarquía de patrones. El objetivo es el de lograr la diseminación de los patrones primarios a las empresas y

organismos con el fin de crear una cadena de calibraciones que permite que las medidas sean trazables a un grupo de patrones aceptado y acreditado internacionalmente. Los laboratorios nacionales, a su vez, aseguran la exactitud de sus patrones mediante comparación con el laboratorio que posea el patrón primario nacional. Es decir, se mantiene una trazabilidad demostrable y materializada en el CEM. Por último, el patrón primario se contrastará en el Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

El laboratorio nacional posee el patrón primario, y un grupo de patrones nacionales de referencia de alta calidad y precisión muy similar, aunque ligeramente inferior a la del primario. Su misión es preservar el patrón primario, ya que estos son los que normalmente calibran a los patrones nacionales de calibración. A partir de los patrones primarios se derivan los patrones restantes.

Cuando los sistemas que realizan los patrones son delicados, no se desplazan del laboratorio, se recurre a otros de menor calidad pero móviles denominados patrones nacionales de transferencia, que serán utilizados como intermediarios en la calibración de patrones. Los centros intermedios establecen, a su vez, sus propias cadenas de calibración [CARRO DE VICENTE-PORTELA, J. (2003)].

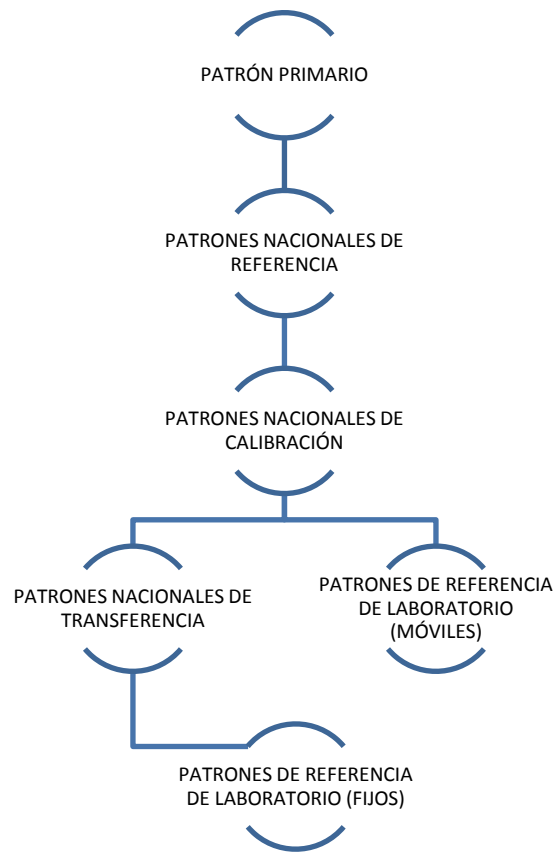


Figura 2.4: Jerarquía patrones.

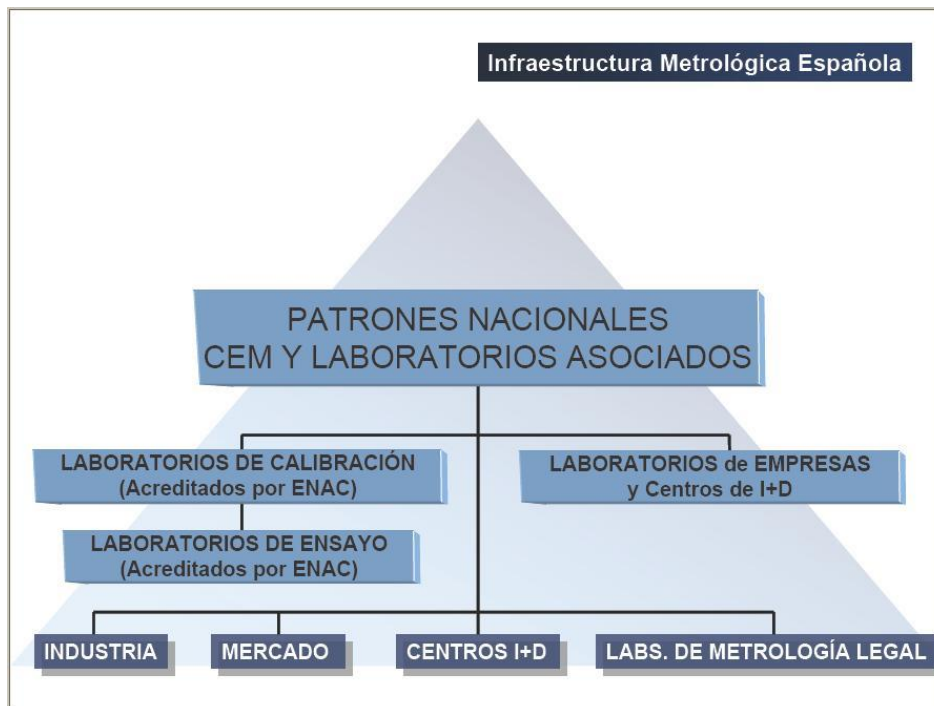


Figura 2.5: Infraestructura metrología española (CEM).

2.5.3 CALIBRACIÓN Y TRAZABILIDAD

Se concibe por Calibración, la operación que bajo condiciones específicas establece una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas a partir de los patrones de medida, y establece una dependencia que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación. El resultado de la calibración determina las características metrológicas del instrumento o del material de referencia, permitiendo establecer las correcciones a aplicar en las indicaciones de los aparatos de medida. Puede expresarse mediante una función de calibración, un diagrama de calibración o una curva de calibración. Finalmente, la calibración da lugar a un certificado de calibración.

Es frecuente confundir la calibración con el ajuste y la verificación de un sistema de medida. Para aclarar posibles dudas, se entiende por ajuste la acción de comprobar que un elemento, como puede ser un procedimiento de medida, un material o un sistema de medida dado, satisface los requisitos especificados. En cambio, la verificación, consiste en revisar, inspeccionar, ensayar, comprobar, supervisar, o realizar cualquier otra función análoga, que establezca y documente que los elementos, procesos, servicios o documentos están conformes con los requisitos especificados [GARRIDO, U. D. (1998)].

Cuando se realiza una calibración se ofrece una trazabilidad metrológica, que muestra una cadena de relaciones, la cual se puede recorrer en sentido inverso y en caso de fallos o problemas, se puede descubrir su origen. Según el VIM, se entiende por trazabilidad a aquella propiedad de un resultado de medida por el cual puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones. Por lo tanto, es un elemento fundamental para lograr la correcta disseminación de las unidades de medida y permite la comparación de resultados de medida obtenidos entre sí, independientemente de cuándo y dónde se hayan realizado.

En la secuencia de calibraciones desde el patrón de referencia hasta el sistema de medida final, la incertidumbre de medida va aumentando

inevitablemente. Para garantizar la trazabilidad, los patrones cómplices deben someterse a un cuidado y una conservación específica.

2.6 CONCEPTOS METROLÓGICOS

A continuación se muestran los conceptos fundamentales y generales, así como los términos asociados a un instrumento de medida definidos por el CEM.

- CAMPO DE MEDIDA (RANGO DE MEDIDA): Intervalo de valores que puede tomar la magnitud a medir con un instrumento, de manera que el error de medida, operando dentro de las condiciones de empleo, sea inferior al máximo especificado para el instrumento. Un aparato puede tener varios campos de medida.
- ALCANCE: Valor máximo del campo de medida.
- ESCALA: Conjunto ordenado de signos en el dispositivo indicador que representan valores de la magnitud medida.
- DIVISIÓN DE ESCALA: Intervalo entre dos valores sucesivos de la escala. Hay instrumentos con división constante y otros con división de escala variable.
- LECTURA: Indicación obtenida directamente de un instrumento de medida.
- RESOLUCIÓN: Incremento mínimo de la magnitud de medida que provoca en el indicador una variación claramente perceptible.
- SENSIBILIDAD: Cociente entre el incremento observado de la variable (lectura) y el incremento correspondiente de la magnitud

de medida. Este parámetro depende del tipo de amplificación que posean.

- ERROR: Se denomina error de un instrumento de medida a la diferencia que existe entre la magnitud que indica y el valor real. Se llama corrección al valor absoluto del error con signo contrario.
- INCERTIDUMBRE: Estimación del intervalo de valores dentro del cual se encuentra el verdadero valor de la magnitud de medida.
- REPETIBILIDAD: Grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud, obteniéndose con el mismo método, por el mismo observador, con los mismos instrumentos de medida, en el mismo lugar y a intervalos de tiempo suficientemente cortos.
- REPRODUCIBILIDAD: Grado de concordancia entre los resultados de mediciones aisladas de la misma magnitud y con el mismo método, pero en condiciones diferentes.
- REVERSIBILIDAD: Diferencia de las indicaciones de un instrumento de medida cuando se mide el mismo valor de la magnitud, en sentido creciente o decreciente.
- FIABILIDAD: Facultad de un elemento, servicio o proceso para realizar una función requerida bajo condiciones establecidas, durante un tiempo determinado.
- TIEMPO DE RESPUESTA: Intervalo de tiempo transcurrido entre el instante en que una señal de entrada sufre un cambio brusco especificado y el instante en que la señal de salida alcanza y permanece dentro de los límites especificados alrededor de su valor final en régimen estable.

- **ESTABILIDAD:** Aptitud para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.
- **DERIVA:** Variación continua a lo largo del tiempo debido a variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida.
- **ZONA MUERTA:** Máximo intervalo en cuyo interior puede hacerse variar una señal de entrada en los dos sentidos, de modo que no se produzca variación alguna de la señal de salida.
- **EXACTITUD:** Capacidad de dar indicaciones próximas al valor verdadero de la magnitud de medida. Una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error sistemático de medida.
- **PRECISIÓN:** Calidad que caracteriza la aptitud de un instrumento para dar indicaciones próximas al valor verdadero de la magnitud de medida. Una medición es más precisa cuanto más pequeño es el error aleatorio de medida. Su indicación más habitual es mediante indicadores de dispersión, como la varianza o la desviación típica.

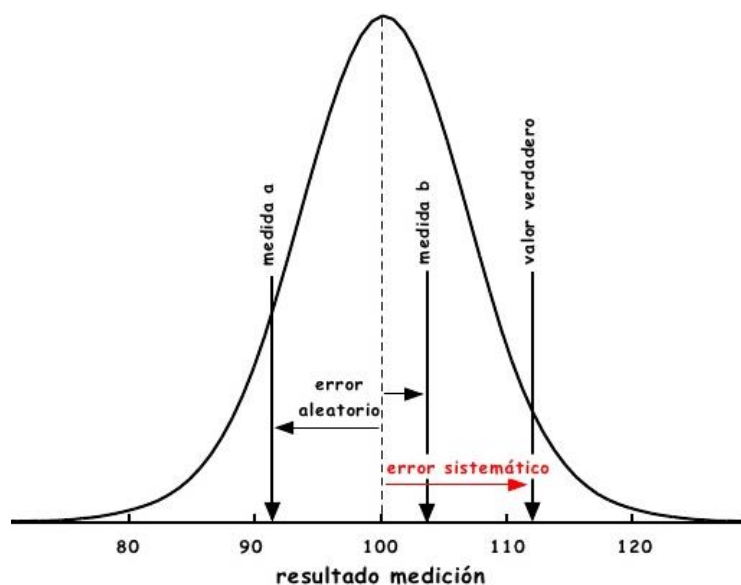


Figura 2.6: Caracterización cuantitativa de la veracidad y la precisión (Sistemas de diagnóstico clínico y biológico, BioSystem España).

Capítulo 3

Incertidumbre y errores de medida

Incertidumbre y errores de medida

3.1 LA MEDIDA Y SUS ERRORES

Medir es comparar el valor de un mensurando con el valor asignado a la magnitud que se adopta como unidad de medida del Sistema Internacional, para así determinar cuántas veces está comprendida la segunda dentro de la primera. En la medida se deben considerar diversos elementos como:

- Magnitud física
- Valor más probable
- Incertidumbre
- Nivel de significación
- Unidad

La medición se realiza con instrumentos o sistemas de medida, que deben estar previamente calibrados con el fin de conocer la fiabilidad y veracidad a la hora de indicar los resultados. Para ello habrán sido comparados con patrones de mayor calidad dotados de trazabilidad

Sabemos que todas las medidas vienen limitadas por posibles errores experimentales como son los accidentales, los debidos a la sensibilidad del aparato de medida o los sistemáticos. Es imposible conocer el “valor

verdadero” de una magnitud ya que el error es inherente a todo proceso de medida, pero gracias a la teoría de errores, podemos acotar los límites entre los que debe estar dicho valor. En muchos casos el resultado de la medición se determina a partir de una serie de medidas (repetibilidad), es decir, se reproducen las medidas un número determinado de veces procurando mantener todas las magnitudes de influencia constantes, como son, instrumento, ambiente, método, etc.

3.1.1 MÉTODOS DE MEDIDA

Los métodos de medida se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Podemos hacer una distinción de los métodos de medida, entre los cuales se puede diferenciar entre medida directa e indirecta.

- Medida Directa:

Una medida es directa cuando se obtiene el valor del mensurando se obtiene directamente del instrumento de medida, es decir, sin tener que realizar ningún tipo de cálculos.

- i. Método de medida Diferencial o por Comparación:

Se utilizan patrones o materias de referencia y un instrumento comparador, para obtener un valor del mensurando.



Figura 3.1: Balanza mecánica.

ii. Método de medida Absoluta o Directa:

El resultado se obtiene aplicando el instrumento de medida directamente sobre el mensurando.



Figura 3.2: Pie de rey.

- Medida Indirecta:

Se denomina indirecta cuando utilizamos una serie de medidas directas como magnitudes de entrada en el cálculo de una medida. Un ejemplo puede ser la multiplicación de la base y la altura para calcular el área de un rectángulo.

$$A = a * b$$

Ecuación 3.1: Medida indirecta.

3.1.2 ERRORES EN LA MEDIDA

Todas las mediciones están sujetas a error, el resultado de una medición es siempre inexacto, por lo que se puede señalar que cuando

realizamos una medición obtenemos un valor que denominaremos como valor convencionalmente verdadero.

Se define exactitud como la proximidad entre un valor medio y un valor verdadero de un mensurando. Una medición será más exacta cuanto menor sea el error de medida (diferencia entre un valor medio de una magnitud y un valor de referencia). El origen de estas inexactitudes o errores en nuestras mediciones pueden tener diversos orígenes, como por ejemplo [CARRO DE VICENTE-PORTELA, J. (2003)]:

- i. Errores debidos a defectos en el instrumento de medida, como puede ser el desgaste o golpes en el equipo.
- ii. Errores debidos a la temperatura y la humedad que provocan deformaciones elásticas temporales en el mensurando y en el instrumento de medida.
- iii. Errores por contribución del operario. Debido a errores de lectura o a una mala utilización de instrumento de medida. También influyen los esfuerzos mecánicos que realiza el trabajador sobre los palpadores del instrumento, ya que se produce un falseamiento de la medida.
- iv. Errores producidos por trabajar con un equipo cuya calibración haya sido realizada de manera deficiente.
- v. Errores sistemáticos. Aquellos que permanecen constantes o varían de manera predecible y conservan su signo siempre y cuando no varíen las condiciones a las que está sometida la medición. Al contrario que los errores aleatorios, su origen no es fortuito. Una vez conocidos son fácil de controlar y corregir.
- vi. Errores derivados del mensurando, ya que puede que posea un acabado superficial irregular.
- vii. “Errores de coseno” debidos al mal posicionamiento del mensurando con respecto del sistema de medida. En muchos el

ángulo de inclinación entra la escala y la dirección de medida es tan pequeño que se puede suponer despreciable.

- viii. Errores debidos a variables aleatorias, como pueden ser vibraciones, campos eléctricos o magnéticos.

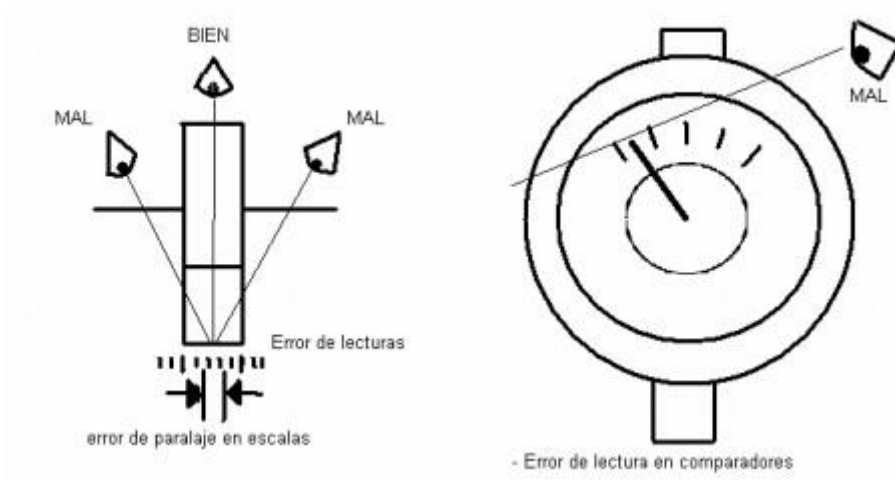


Figura 3.3: Error de paralelaje debido al error de lectura del instrumento (Rodríguez C. F. (2010).

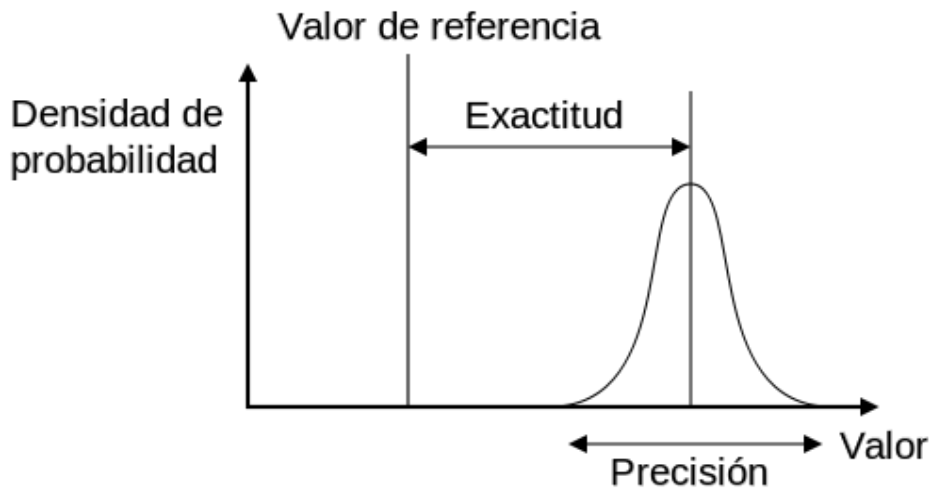


Figura 3.4: Error debido al instrumento.

En función de la exactitud demandada se usará un instrumento con una precisión determinada. Es frecuente que se confundan los términos exactitud y precisión. Debemos estar al tanto de que cuando hablamos de precisión nos referimos a la dispersión del conjunto de valores obtenidos en la repetición

de las medidas de una determinada magnitud. Cuanto menor sea esta dispersión, mayor será la precisión. En cambio la exactitud está asociada al error sistemático. Un instrumento es más exacto cuando es capaz de dar indicaciones más próximas al valor verdadero de la magnitud medida.

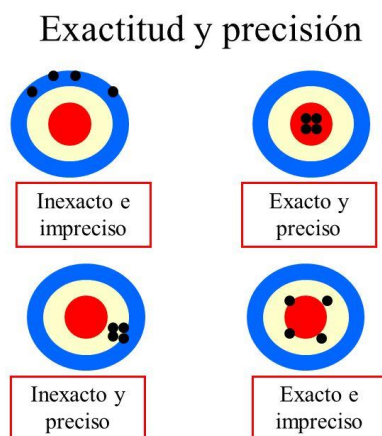


Figura 3.5: Diferencia entre exactitud y precisión (Departamento de química analítica, Universidad Nacional de Rosario)

3.2 INCERTIDUMBRE DE MEDIDA Y EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

Existe una amplia variedad de errores que afectan al resultado de una medición y con diferentes orígenes. En muchos casos, tras un amplio estudio, se pueden detectar, cuantificar y corregir, pero esto no siempre sucede. Además estos exhaustivos estudios suponen un gasto importante de recursos.

Como indicativo cuantitativo de la calidad del resultado de una medición de una magnitud física se utiliza la incertidumbre. Todo proceso de medida lleva asociado un modelo matemático con el cual se calcula la incertidumbre final a partir de las magnitudes de influencia no conocidas con certeza, que participan en dicho proceso de medida. Cuando hablamos de incertidumbre, nos referimos a un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores otorgados a un mensurando. El parámetro, por ejemplo puede ser una

desviación típica o la semiamplitud de un intervalo con una probabilidad de cobertura determinada.

La incertidumbre puede tener diversos orígenes, como pueden ser [GARRIDO, U. D. (1998)]:

- Efectos sistemáticos.
- Valores inexactos asignados a patrones o al instrumento de medida.
- Muestreo no representativo.
- Desviaciones personales en la lectura de instrumentos analógicos.
- Definición incompleta del mensurando.
- Errores introducidos en el cálculo, por redondeo y truncamiento.
- Errores debido a la falta de conocimiento de las condiciones ambientales.

En la mayor parte de los casos, el mensurando Y se obtiene a partir de N magnitudes de entrada X_1, X_2, \dots, X_n , de mediante una función modelo f .

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Ecuación 3.2: Función modelo.

La función modelo representa el procedimiento de medición y el método de evaluación. Describe la obtención de los valores de la magnitud de salida Y a partir de los valores de las magnitudes de entrada.

3.2.1 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA

La incertidumbre típica de medida asociada al resultado de la medición se determina a partir de valores estimados x_i de las magnitudes de entrada X_i y sus incertidumbres típicas asociadas. Dicha estimación de las incertidumbres típicas de medida de las magnitudes de entrada se pueden

clasificar en dos tipos acorde con la guía para la expresión de la incertidumbre de medida:

i. EVALUACIÓN TIPO A DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA:

Las estimaciones de entrada son obtenidas por análisis estadístico de series de observaciones.

La mayor parte de las veces, la mejor estimación de una variable aleatoria (magnitud que varía al azar) es la media aritmética de las n observaciones. Se realizan sucesivas mediciones experimentales (n) en condiciones de repetibilidad. Para ello, como se ha dicho con anterioridad, usaremos el mismo instrumento de medida, el mismo método, el mismo operario y las mismas condiciones.

Hay que tener en cuenta que para que sea una estimación lo suficientemente fiable el número de n observaciones debe ser suficientemente grande.

En este caso, el valor convencionalmente verdadero será la media aritmética de todos los valores observados.

$$\bar{x} = \bar{q} = \frac{\sum_{k=1}^n q_k}{n}$$

Ecuación 3.3: Media aritmética

Y para estudiar la dispersión de los n valores de la serie de medidas, es decir, la variabilidad de los valores observados, se emplean dos estimadores:

- El estimador estadístico experimental varianza muestral, definido como:

$$s^2(q_k) = \frac{\sum_{k=1}^n (q_k - q)^2}{n - 1}$$

Ecuación 3.4: Varianza

- La raíz cuadrada de la varianza muestral, la desviación típica experimental:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - q)^2}{n - 1}}$$

Ecuación 3.5: Desviación típica

Se puede dar el caso de que se disponga de una medida bajo control estadístico que posea una estimación de la varianza compuesta o procedente de un conjunto de resultados acumulados, s_p^2 , o de la desviación típica experimental correspondiente, s_p .

Tabla 3.1: Series de medidas.

	Medidas	Media	Varianza
	q ₁₁ , q ₂₁ ,... q _{n1} ,	X ₁	S ₁₂
	q ₁₂ , q ₂₂ ,... q _{n2} ,	X ₂	S ₂₂
Series
	q _{1p} , q _{2p} ,... q _{np}	X _p	S _{p2}
	x ₁ , x ₂ , ... , x _p	μ	σ ² /n

En ese caso la varianza de la media aritmética podrá estimarse como:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s_q^2}{n}$$

Ecuación 3.6: Varianza de los valores estimados

ii. EVALUACIÓN TIPO B DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA:

Las estimaciones de entrada se basan en una evaluación basada en juicios científicos u otros medios distintos al análisis estadístico, como pueden ser resultados de medidas anteriores, la experiencia o conocimiento del comportamiento de materiales o instrumento, datos suministrados por certificados de calibración o el fabricante...etc.

Podemos distinguir dos situaciones:

- a. Cuando se conoce el valor de un único mensurando, ya sea porque sólo se ha podido medir una vez o porque el resultado se ha tomado de una documentación técnica como podría ser un certificado de calibración, o los datos de un fabricante. En este caso se adoptará como valor del mensurando e incertidumbre la que haya sido facilitada. En su defecto se calculará en base a los datos de los que se disponga.
- b. Cuando se puede suponer una distribución de probabilidad para la magnitud de entrada X_i , la estimación de los valores es la media \bar{x}_i , y su desviación típica es la incertidumbre $u(x_i)$.

Algunas de las distribuciones empleadas más comunes son la normal, la triangular y la uniforme o rectangular. No obstante, si se dispone de información sobre el mensurando como que los valores del mensurando que tienden a ser más frecuentes en ciertas zonas del intervalo, se puede optar por otras distribuciones de probabilidad como podría ser una triangular.

En ocasiones solo pueden estimarse unos límites superior, a_+ , e inferior, a_- , para el valor de la magnitud de entrada X_i , y puede suponerse una distribución de probabilidad, en función del comportamiento de la magnitud de entrada. Para la distribución rectangular o uniforme los estimadores entre esos límites son:

$$x_i = \frac{1}{2}(a_+ + a_-)$$

Ecuación 3.7: Estimación del valor convencionalmente verdadero en una distribución rectangular

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12}(a_+ - a_-)^2$$

Ecuación 3.8: Incertidumbre asociada a xi

3.2.2 CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA DE LA ESTIMACIÓN DE SALIDA

Si las magnitudes de entrada no están correlacionadas, la incertidumbre típica de la estimación de la salida es:

$$U^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$$

Ecuación 3.9: Incertidumbre típica de la salida.

Donde $u_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, N$) es la contribución a la incertidumbre típica asociada a la estimación de salida y , resultante de la incertidumbre típica asociada a la estimación de entrada x_i :

$$U_i(y) = C_i \cdot U_i(x_i)$$

Ecuación 3.10: Incertidumbre típica de la estimación de la salida.

Siendo c_i los coeficientes de sensibilidad, es decir, el grado en que la estimación de salida y se ve afectada por las variaciones de entrada x_i .

Si por el contrario, dos magnitudes de entrada X_i y X_k están correlacionadas, debe considerarse su covarianza como una contribución a la incertidumbre de medida. El grado de correlación está determinado por el coeficiente de correlación $r(x_i, x_k)$.

$$u(x_i, x_k) = u(x_i) \cdot u(x_k) \cdot r(x_i, x_k) \quad i \neq j$$

Ecuación 3.11: Incertidumbre asociada a magnitudes de entrada correlacionadas.

En este caso, la incertidumbre asociada a la magnitud de salida se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2(y) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N u_i(y) \cdot u_k(y) \cdot r(x_i, x_k)$$

Ecuación 3.12: Incertidumbre asociada a la magnitud de salida.

3.2.3 CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

La incertidumbre expandida de medida U, es el resultado de multiplicar la incertidumbre típica u(y) de la estimación de salida con un factor de cobertura k. Este factor de cobertura k se aplica para dar fiabilidad a la incertidumbre calculada en el intervalo [y - U, y + U].

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

Ecuación 3.13: Incertidumbre expandida de medida.

En general el factor de cobertura k toma valores entre 2 y 3. El valor del factor de cobertura óptimo es k=2, con ello indicamos que el nivel de confianza del intervalo de incertidumbre es del 95% aproximadamente. Podemos tomar k=2 cuando se cumplen las siguientes hipótesis:

- Criterio de Normalidad:

Atribuimos al mensurando una distribución normal. Esto no siempre se puede asegurar, daremos por válida esta hipótesis siempre que el mensurando proceda de una relación funcional en la que al menos tres componentes de la incertidumbre típica sean suficientemente fiables, es decir, sean Tipo B, por lo que se cumpliría el Teorema Central del Límite. Su enunciado dice que “Si una población tiene una varianza σ^2 y media μ , la distribución de la media muestral de n medidas independientes, tiende a una

distribución normal de media μ y varianza σ^2/n , siendo n lo suficientemente grande”.

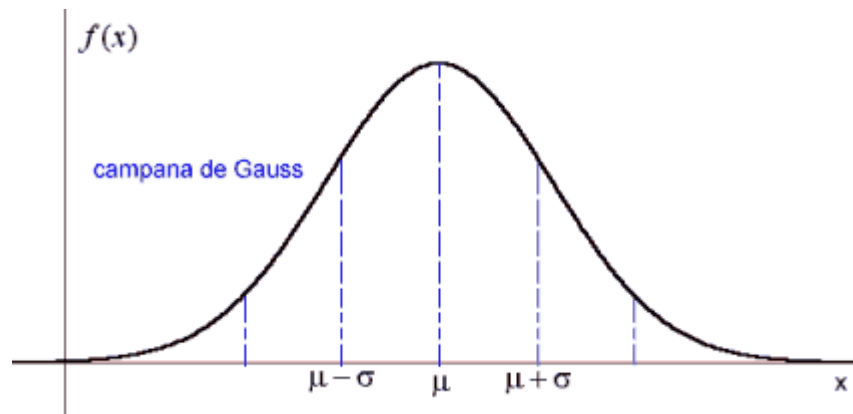


Figura 3.6: Representación gráfica de la función de densidad de la ley Normal.

- Criterio de Fiabilidad:

Este criterio se cumple siempre que las contribuciones a la incertidumbre de Tipo A posean un tamaño muestral (n) superior a diez.

Si no se cumple la hipótesis de fiabilidad calcularemos los grados de libertad, que pueden definirse como la libertad del error o la variabilidad en el conjunto, mediante la fórmula de Welch-Satterthwaite.

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

Ecuación 3.14: Fórmula de Welch-Satterthwaite.

Una vez conocidos los grados de libertad, utilizaremos la tabla basada en una distribución T de Student evaluada para una probabilidad de cobertura

del 95,45%. En el caso de que no sea un número entero, deberá truncarse al siguiente número entero más pequeño.

Tabla 3.2: Valores del factor t de Student.

n	t(n)	n	t(n)	n	t(n)
1	12.706	11	2.201	21	2.080
2	4.303	12	2.179	22	2.074
3	3.182	13	2.160	23	2.069
4	2.776	14	2.145	24	2.064
5	2.571	15	2.131	25	2.060
6	2.447	16	2.120	26	2.056
7	2.365	17	2.110	27	2.052
8	2.306	18	2.101	28	2.048
9	2.262	19	2.093	29	2.045
10	2.228	20	2.086	30	2.000

3.2.4 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El centro Español de Metrología es el máximo organismo responsable de la Metrología en España. Por ello mediante la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida se pretende garantizar la trazabilidad y uniformidad de los procesos de medida, y el establecimiento y la difusión de criterios para la correcta utilización de la terminología.

El valor de la incertidumbre es el primer índice de la calidad de una medida, que es tanto mayor cuanto menor es aquella. Pero para poder hacer comparaciones, debe seguirse el mismo criterio de evaluación. Cuando se pretende expresar el resultado de una medición hay tener en cuenta que:

- La incertidumbre se muestra con dos cifras significativas.

- El valor convencionalmente verdadero ha de tener el mismo número de decimales que la incertidumbre expandida $U(y)$.
- Si redondeamos la incertidumbre expandida $U(y)$, no podemos exceder la estimación en más de un 5%.
- Se debe describir detalladamente la forma en la que se ha definido el mensurando Y .
- El resultado numérico debe ir acompañado con las unidades correspondientes del mensurando y de la incertidumbre.
- Se debe indicar el valor de k utilizado para el cálculo de la incertidumbre expandida $U(y)$.

3.3 RELACIÓN ENTRE INCERTIDUMBRE Y TOLERANCIA

Como se ha expuesto anteriormente, la incertidumbre es el primer índice de calidad de una medición. Dicho esto, es necesario saber que, desde el punto de vista estricto de la Metrología, la incertidumbre por sí sola no tiene sentido. Si lo tiene cuando nos referimos a una indicación de una medida junto con su incertidumbre, desde el punto de vista de la Metrología Industrial, ya que es la herramienta de la cual disponemos para aceptar o rechazar la medición, en función de un criterio previamente establecido.

El criterio utilizado es el de tolerancia. Entendemos por tolerancia de una magnitud a aquel intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que sea aceptada o rechazada.



Figura 3.7: Criterio de seguridad que se utiliza en la práctica metroológica.
(Carro de V. P. J, 2003)

Si el intervalo de incertidumbre está contenido en el intervalo de tolerancia, se dará por apto el valor del mensurado. Si por el contrario, no lo está, se rechazará.

Existe una relación entre incertidumbre (U) y tolerancia (T), que viene determinada por la siguiente expresión:

$$3 \leq \frac{T}{2U} \leq 10$$

Ecuación 3.15: Relación entre incertidumbre (U) y tolerancia (T).

Una incertidumbre muy pequeña reduce el campo de tolerancias, por lo que será conveniente el uso de instrumentos de medida de alta precisión, lo que supondría un importante gasto económico. Por ello es necesario acertar con una solución de compromiso que nos permita el cumplimiento de las especificaciones requeridas, aprovechando al máximo los recursos de los que se dispone, pero sin emplear más de los necesarios. Con un ejemplo se comprenderá mejor lo expuesto:

Para medir la longitud de un tablero para conformar un escritorio, no es necesario el uso de un sistema interferómetro láser, si no que bastará con el

empleo de un flexómetro. Como podemos observar, este segundo equipo tiene un coste, tanto material como técnico (coste de personal) bastante inferior al láser.

En definitiva, se debe tener en cuenta que hay que adecuar los instrumentos de medida al proceso productivo, especificaciones del producto, exigencias del cliente y a los recursos económicos que se poseen.

Capítulo 4

Calidad y Metrología

Calidad y Metrología

4.1 INTRODUCCIÓN

La metrología y la calidad están íntimamente relacionadas y la una no se concibe sin la otra. No hay calidad sin control de calidad, no hay control de calidad sin mediciones, no hay mediciones sin calibración, no hay calibración sin trazabilidad, no hay trazabilidad sin patrones de medida y no hay patrones de medida sin metrología.

En este capítulo se abordarán aspectos relacionados con la calidad, tanto de normas para establecer los requisitos de calidad como el proceso a seguir por los laboratorios para conseguir el certificado de acreditación.

La primera ley de Metrología que se aprobó en España fue la Ley 3/1985 de 18 de marzo. A lo largo de los años que estuvo en activo se fue modificando, haciendo alarde de su gran flexibilidad y de su capacidad de adaptación. Actualmente la Ley 32/2014, de 22 de diciembre de 2014 regula las actividades metrológicas en España. Se desgrega en seis capítulos:

- i. Capítulo I: Disposiciones generales.

Se manifiestan los objetivos y principios generales de la actividad metrológica en España.

- ii. Capítulo II: Sistema legal de unidades de medida.

Hace referencia al Sistema Internacional de Unidades, así como sus símbolos y abreviaturas.

También se refleja a la conservación y diseminación de los patrones nacionales y de referencia.

iii. Capítulo III: Control metrológico del Estado.

Se muestran las fases de control metrológico haciendo hincapié a la vigilancia, inspección y reparación de los instrumentos sometidos a dicho control.

iv. Capítulo IV: Protección del patrimonio histórico.

Detalla el protocolo a seguir cuando las pesas, balanzas y toda clase de instrumentos metrológicos que formen parte del Patrimonio Histórico español salen del territorio nacional.

v. Capítulo V: Organización.

Hace referencia a los deberes por parte del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, El consejo Superior de Metrología y del Centro Español de Metrología para velar por el correcto uso de los sistemas de medición y del Sistema Internacional de Unidades.

vi. Capítulo VI: Régimen de infracciones y sanciones.

Se realiza una clasificación de las infracciones y de la cuantía de la sanción.

En nuestro país el sistema de calidad y competitividad industrial está sustentado por:

- La Acreditación, se encarga de constatar la conformidad para desempeñar las tareas de evaluación de la competencia. La acreditación se realiza a través de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).

- La Metrología, mediante el CEM y sus laboratorios designados, se verifican los patrones nacionales con patrones de distintos países para satisfacer las necesidades metrológicas.
- La Normalización y Certificación, desempeña la función de protección del consumidor y del medio ambiente, es decir, fomenta la calidad, la seguridad y la compatibilidad. En España el organismo encargado es AENOR, entidad dedicada al desarrollo de la normalización. Las normas establecen las características técnicas que deben cuantificarse correctamente, como tolerancias, ajustes, magnitudes y unidades, terminología y definiciones...

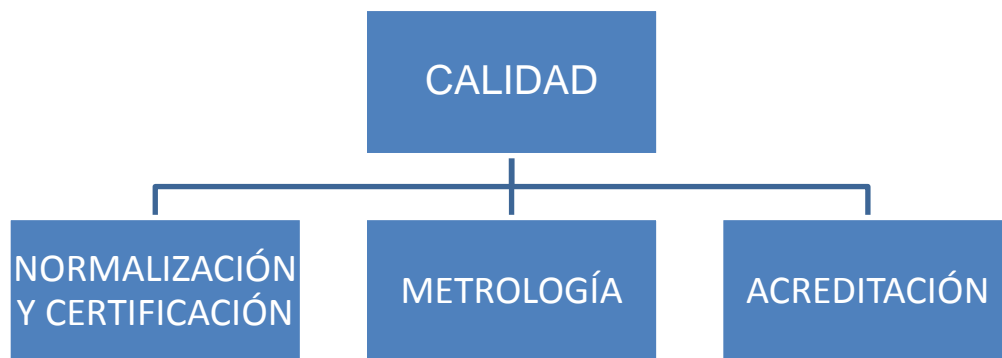


Figura 4.1: Representación gráfica de los pilares de la calidad.

A continuación se tratará en mayor profundidad estos aspectos relacionados con la calidad, los certificados y las acreditaciones.

4.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD. UNE-EN-ISO 9001:2015

Un sistema de gestión de la calidad es una serie de actividades coordinadas que se llevan a cabo sobre un conjunto de elementos (recursos, procedimientos, documentos, estructura organizacional y estrategias) para lograr la calidad de los productos o servicios que se ofrecen al cliente, es decir, planear, controlar y mejorar aquellos elementos de una organización que influyen en satisfacción del cliente y en el logro de los resultados deseados por la organización.

Los objetivos y beneficios potenciales para una empresa u organización que instaure un sistema de gestión de calidad basado en la norma UNE- EN-ISO 9001:2015 son muy diversos, como por ejemplo:

- Capacidad para proporcionar productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente.
- Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente.
- Capacidad de demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de calidad especificados.
- Permite a la pequeña y mediana empresa situarse al nivel de las más grandes, equiparándose en eficiencia y compitiendo en igualdad de posibilidades en el mercado.

Por lo tanto, implantando un sistema de gestión de calidad se mejora la imagen de la empresa y del producto, se incrementa la competitividad, aumenta la satisfacción de los clientes y empresa, y se minimizan costes.

Hay que señalar que todas las normas desarrolladas por ISO son de carácter voluntario, y han sido desarrolladas en respuesta a las necesidades del mercado, por consenso internacional de expertos en los sectores industriales, técnico o comercial, universidades y consumidores.

La norma UNE- EN-ISO 9001:2015 contribuye a la eficacia y eficiencia de la organización con el fin de alcanzar los resultados previstos de acuerdo con la política de calidad. Esto puede alcanzarse utilizando el Ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), el cual puede describirse brevemente como:

- Planificar: Establecer los objetivos del sistema y sus procesos, los recursos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización, identificando los riesgos y oportunidades pertinentes.
- Hacer: Implementar lo planificado.
- Verificar: Realizar el seguimiento y cuando sea posible la medición de los procesos y productos, objetivos y requisitos, e informar sobre los resultados obtenidos.
- Actuar: Tomar acciones para mejorar si es necesario.

Una de las esencias para lograr un sistema de gestión de calidad eficaz es el concepto de “pensamiento basado en riesgos”, es decir, realizar acciones preventivas para eliminar posibles no conformidades en el futuro y hacer un análisis de las no conformidades para evitar su recurrencia.

Para asegurar el correcto desempeño en la empresa de esta norma, se produce un seguimiento y evaluación. La organización lleva a cabo auditorías internas a intervalos planificados para proporcionar información acerca de si el sistema de gestión de calidad es conforme, y se implementa y mantiene eficazmente. En el supuesto caso de que ocurra una no conformidad, incluida cualquiera originada por quejas de clientes, la organización debe reaccionar y cuando sea aplicable tomar acciones para controlarla y corregirla.

4.3 REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN. NORMA UNE-EN ISO 17025

La conformidad del sistema de gestión y calidad implementado por el laboratorio, con los requisitos de la Norma ISO 9001, no constituye por sí sola una prueba de la competencia del laboratorio para producir datos y resultados técnicamente válidos. Mediante la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 se establecen los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o de calibraciones que debe poseer un laboratorio. Tales como por ejemplo:

- Poseer un equipo personal directivo y técnico con los recursos necesarios para desempeñar sus funciones, incluida la implementación, mantenimiento y mejora del sistema de gestión de calidad.
- Poseer procedimientos para asegurar la protección de la información confidencial y los derechos de propiedad.
- Poseer una estructura definida de la gestión del laboratorio, junto con sus responsabilidades bien especificadas.
- Poseer una política y un procedimiento para la implementación de acciones correctivas ante una no conformidad o una desviación de la política del sistema de gestión de calidad. Para ello es necesario analizar las causas, implantar acciones correctoras y realizar un seguimiento de dichas acciones para asegurarse de su eficacia.
- Efectuar periódicamente auditorías internas.

- Poseer instrumentos y patrones en correctos estado, que cuenten con calibraciones y trazabilidades metrológicas vigentes.
- Los laboratorios deben asegurar las condiciones ambientales para que no se produzca una invalidación de los resultados, ni se comprometa la calidad en las mediciones. Además tienen la necesidad de que exista una separación eficaz entre áreas vecinas en las que se realicen actividades incompatibles para evitar que se produzca una contaminación.

Como se puede observar, los laboratorios de calibración y ensayos que cumplen los cuantiosos requisitos de esta Norma Internacional, también cumplirán los requisitos de la Norma ISO 9001.

4.4 ACREDITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LABORATORIOS

Actualmente se han establecido diferentes sistemas con el propósito de asegurar que productos y servicios cumplen las especificaciones exigidas por el cliente y por organismos oficiales. Uno de estos sistemas es el de la certificación, mediante la producción bajo sistemas de calidad certificados se garantiza una producción fiable.

En los Laboratorios de Calibración se procede a acreditar la calidad del instrumento calibrado, para ello se debe adjuntar su certificado de calibración. Dicho documento es elaborado y expedido por el laboratorio. Para poder emitir estos certificados, el laboratorio habrá de superar un tedioso proceso, de manera que se demuestre que es técnicamente competente y que los resultados obtenidos son válidos. La acreditación se adjudica a una competencia técnica, y se describirá de forma clara, precisa y sin ambigüedades las actividades acreditadas, de forma que se proporcione tanto

al cliente del laboratorio como a otras partes interesadas una información concreta sobre la aptitud técnica demostrada.

En el proceso de evaluación de la competencia técnica se examina la estructura organizativa del laboratorio, la documentación de su sistema de calidad, su infraestructura de equipos y servicios, su personal técnico y su capacidad de demostrar que no se deterioran las condiciones de funcionamiento del laboratorio en el transcurso del tiempo.



Figura 4.2: Ejemplo de Certificado de Acreditación emitido por ENAC a un laboratorio de calibración

Para que los consumidores puedan confiar realmente en estas certificaciones, deben ser expedidas por otros organismos acreditados, es decir, estas empresas certificadoras de productos y sistemas de gestión necesitan igualmente demostrar su competencia. Para lograrlo deben acreditarse por organismos nacionalmente reconocidos. En España, ENAC aporta el prestigio, la experiencia, la profesionalidad y el máximo reconocimiento internacional, asegurando que la actividad de los laboratorios acreditados responda a sus expectativas. Es una entidad privada, independiente y sin ánimo de lucro, que acredita organismos que realizan actividades de evaluación y proporcionan garantía de la competencia técnica mediante un proceso de evaluación único, transparente y reproducible. Su organización y procedimientos de actuación se ajustan a los criterios y normas

establecidas en el Reglamento (CE) nº765/2008 del Parlamento Europeo y el Consejo, de 9 de julio de 2008.

Su función es generar confianza en el mercado y en la sociedad en general en relación a la competencia técnica de los evaluadores de los Laboratorios de Ensayo, Laboratorios de Calibración, Entidades de Inspección, Verificación y Certificación acreditados, lo que se traduce en un aumento de la competitividad de productos y servicios y en una disminución de los costes para la sociedad.



Figura 4.3: Estructura ENAC (ENAC).

Por lo tanto, la acreditación es una herramienta voluntaria establecida a nivel internacional que supone el reconocimiento por una tercera parte de la competencia técnica, del sistema de calidad y de la imparcialidad de un laboratorio. Por lo que indica que un organismo o una persona es competente para realizar trabajos específicos, reuniendo las condiciones establecidas. Los laboratorios, como expedidores de certificados de calibración, deben

acreditarse, para obtener el reconocimiento de que trabajan de una manera adecuada y cumpliendo los requisitos.

4.4.1 PROCEDIMIENTO DE ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS

Como se ha expuesto con anterioridad, ENAC es el único organismo encargado de otorgar las acreditaciones en España según permite el Real Decreto 1715/2010. Dentro del abanico de sus servicios se encuentra la acreditación de laboratorios de calibración según la norma UNE-EN ISO 17025. Esta declaración de competencia técnica se establece mediante el cumplimiento de los requisitos contenidos en la norma. ENAC, además, establece el procedimiento por el cual se lleva a cabo el proceso de acreditación. Este procedimiento se describe, paso a paso, en el documento PAC-ENAC-LEC, “Procedimiento de acreditación de laboratorios”, que actualmente está en su revisión 5 (realizado en julio de 2014) y se puede resumir brevemente en los siguientes puntos:

i. Solicitud de acreditación.

El laboratorio interesado deberá cumplimentar un formulario en el cual se declarará que se conocen y aceptan los requisitos de acreditación, y se compromete a respetar el Procedimiento de Acreditación.

ii. Proceso de acreditación.

Una vez que ENAC reciba la solicitud, revisará la documentación para comprobar si la actividad es susceptible de ser acreditada o no. En el caso favorable, ENAC emitirá un presupuesto estimado del coste de evaluación, el cual el laboratorio ha de hacer efectivo en un 50% la cantidad estimada para poder continuar el proceso.

Posteriormente se designará un equipo auditor que llevará a cabo el proceso de evaluación. Dicho proceso se

compone de un estudio por parte del equipo auditor con el afán de verificar que la documentación técnica es la adecuada. Se proseguirá con la auditoría, en la cual se solicitara la realización de algunas calibraciones o ensayos, según sea el caso, con el fin de comprobar la correcta realización. Se concluirá con un informe de auditoría, el cual se indica al laboratorio solicitante el modo de actuación.

iii. Decisión de acreditación y certificado de acreditación.

Tras una decisión favorable, y un abono por parte del solicitante de la totalidad de los costes, ENAC emitirá un Certificado de Acreditación. En el anexo técnico se incluirá la dirección del laboratorio, una descripción de las actividades acreditadas. También ha de figurar la Capacidad de Medida y Calibración (CMC) para cada una de las magnitudes, campos y objetos sometidos a calibración para los que se concede la acreditación.

En el certificado de calibración que el laboratorio acreditado expedirá se deberán incluir datos como las condiciones bajo las cuales fueron hechas las calibraciones, la incertidumbre de la medición y la trazabilidad. Un apunte a tener en cuenta es que no debe aparecer ninguna recomendación sobre el intervalo de calibración.

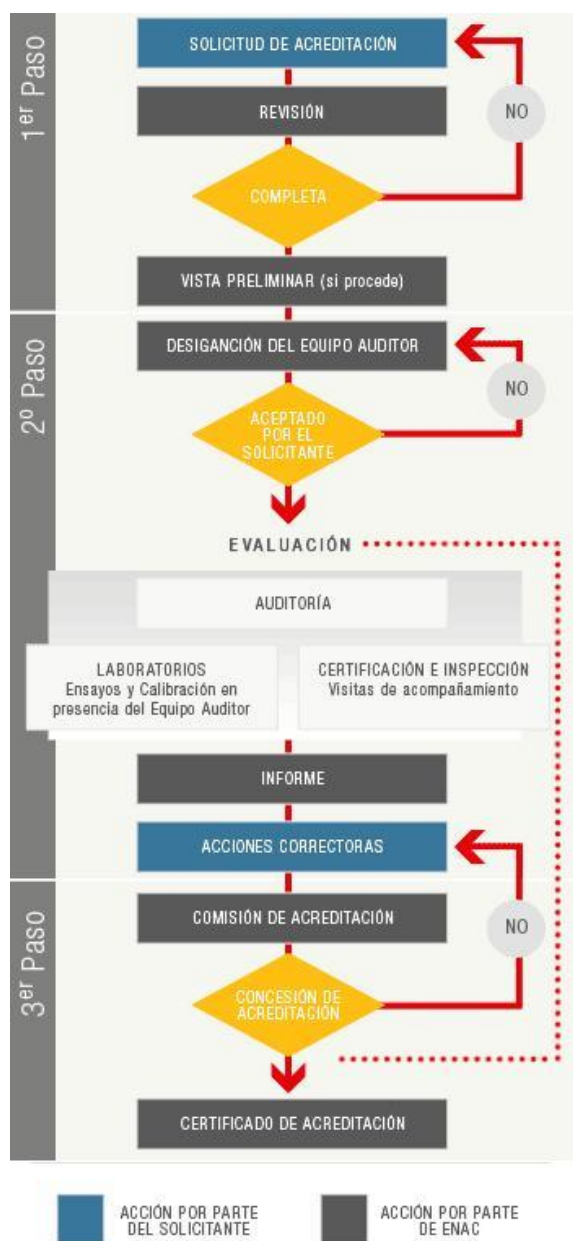


Figura 4.4: Proceso para conseguir acreditación ENAC (ENAC).

La decisión por parte del personal responsable del laboratorio de la necesidad o no de entrar en un proceso de acreditación debe basarse en factores técnicos y organizativos, ya que el volumen de trabajo de esa nueva área debe justificar el esfuerzo e inversión que se necesitan.

Cuando hablamos de acreditación, hablamos de confianza, de seguridad, de nuevas vías de negocio. Hablamos de garantizar la fiabilidad y el reconocimiento internacional de las calibraciones, ensayos, inspecciones y

certificaciones para reforzar la capacidad competitiva de las empresas. Es aplicar el máximo rigor a la ejecución de estas actividades para transmitir al consumidor seguridad y tranquilidad. Algunos de los múltiples beneficios de la acreditación son [www.enac.es.(Junio 2016)]:

- Para la empresa:
 - Reduce tiempos y costes: Las pruebas de los productos conllevan unos costes y un consumo de tiempo. Es recomendable evitar la repetición de resultados que implican tiempo y costes añadidos. Mediante los servicios de evaluación acreditados se aporta un valor añadido a un producto o servicio, por lo que se reduce la necesidad de tener que volver a auditar una empresa para nuevos clientes o mercados.
 - En cuanto a fiabilidad y reconocimiento, repercute directamente en la confianza de los clientes, lo que refuerza la imagen de la empresa.
 - Minimiza riesgos: Contar con evaluadores acreditados ayuda a reducir la probabilidad de producir o proveer un producto defectuoso, al permitirle tomar decisiones basadas en una información técnicamente fiable.
 - Elimina incertidumbres sobre su capacidad técnica.
- Para los evaluadores: La acreditación de ENAC proporciona a las organizaciones de evaluación de la conformidad el reconocimiento de su competencia técnica. Les permite trabajar tanto en aquellos sectores y actividades en los que la acreditación es un requisito obligatorio, como en aquellos en los que es un requisito voluntario pero comúnmente exigido por los clientes.

- Para la administración: La acreditación es un elemento que facilita el desarrollo de mercados seguros, con una libre oferta de productos y servicios fiables.

En resumen se puede decir que, la certificación de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 9001 es la confirmación de que el laboratorio ha establecido un sistema de gestión de la calidad conforme con ciertos requisitos, mientras que la acreditación de acuerdo a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 confirma la competencia técnica del laboratorio y garantiza la fiabilidad en los resultados de las calibraciones.

Capítulo 5

Laboratorios de Calibración. LCD.

Laboratorios de Calibración. LCD.

5.1 INTRODUCCIÓN A LOS LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN

Se entiende por laboratorio de calibración, una entidad técnica, consistente en un conjunto de medios materiales y humanos perfectamente definidos, que realiza calibraciones de instrumentos de medida, dando trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

Los laboratorios de calibración surgen para cubrir las necesidades de competencia industrial de las empresas, ya sean grandes, medianas o pequeñas. Como hemos mencionado con anterioridad, actualmente la mayoría de las empresas están acogidas por la UNE-EN-ISO 9001, que trata lo concerniente a los sistemas de gestión de calidad. Es cierto que numerosas empresas cuentan con sus propios laboratorios para mantener un control metrológico interno, pero es necesario garantizar una trazabilidad de sus patrones e instrumentos de medida. De esta necesidad de calibración externa y de aseguramiento de la trazabilidad, surge la implantación de los laboratorios de calibración.

La función metrológica en la empresa es señalada en los referenciales ISO, estableciendo que el papel de la función metrológica consiste en dominar la aptitud en el empleo de todos los medios de medida utilizados en la empresa y dotarlos de aseguramiento. Por tanto se ha de definir el conjunto

de instrumentos, procedimientos y de recursos humanos intervinientes en la calibración, verificación y mantenimiento de los equipos utilizados para alcanzar la calidad del producto.

Las empresas, al igual que los laboratorios de calibración, deben poseer un plan de calibración. Un plan de calibración es la herramienta para estructurar la calibración sistemática y organizada de todos los instrumentos de medida del centro. Ha de realizarse de forma jerarquizada, calibrando cada instrumento con uno de mayor precisión. En dicho plan, deben quedar reflejadas las etiquetas de calibración, las instrucciones de los equipos y los resultados de las calibraciones anteriores. También han de poseer un manual de calidad, en el que se haga descripción de la secuencia y de la interacción de los procesos incluidos en el Sistema de Gestión de Calidad, procedimientos adoptados por el sistema de gestión de calidad en las actividades de la organización y documentos para la realización de los procesos para garantizar la calidad en el campo de actividad a desempeñar. Deben quedar definidas las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del responsable de calidad, incluida su responsabilidad para asegurar el cumplimiento de las normas.

Se pueden distinguir cuatro tipos diferentes de laboratorios de calibración:

- Laboratorio permanente: es el erigido en un emplazamiento fijo durante un periodo superior a tres años.
- Laboratorio provisional: emplazado en un área destinada a este fin durante un periodo que se supone inferior a tres años.
- Laboratorio móvil: furgoneta, caravana o laboratorio de calibración portátil plenamente equipado.
- Organizaciones o individuos: uno o más individuos que no poseen un laboratorio permanente pero que realizan mediciones, análisis, calibraciones para determinar las características o cualidades técnicas de materiales o productos.

Las calibraciones realizadas por el personal de un laboratorio permanente, se pueden realizar fuera del emplazamiento en el que éste se encuentra. Para ello el laboratorio cuenta con equipos portátiles debidamente calibrados. Por ejemplo, en el Laboratorio de Calibración Dimensional existe un control exhaustivo de la temperatura, para según que salas, se garantice que se mantienen $20 \pm 0,5$ °C. Es evidente que cuando se realicen calibraciones in situ (instalaciones del cliente), la temperatura diferirá de esta. Para ello sus equipos portátiles deben estar calibrados en un rango de temperatura que contemple los posibles campos de actuación. De no ser así, la calibración se suspenderá.

5.2 EL LABORATORIO DE METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN DIMENSIONAL (LCD)

En el año 1993, por acuerdo de la Universidad de Valladolid, se creó el Laboratorio de Metrología y Calibración Dimensional (LCD) con el fin de dar servicio a nivel regional para realizar calibraciones a las entidades que lo solicitasen.

El Laboratorio se ubicó en la planta sótano de la sede del Paseo del Cauce de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, siendo sus instalaciones acondicionadas adecuadamente para cumplir con los requisitos exigidos para laboratorios de metrología.



Figura 5.1: Logotipo del LCD.

Las principales áreas de actuación del laboratorio, dónde se realizan tanto ensayos metrológicos como calibraciones son:

- Área Dimensional: Se ofrecen unas instalaciones permanentes que garantizan un mantenimiento y control de las condiciones ambientales, aunque también se pueden realizar trabajos “in situ”.
- Área Mecánica-Masa: Es una de las áreas con mayor carga de trabajo actualmente, ya que la mayoría de las empresas están acogidas a la ISO 9001.
- Área Mecánica-Fuerza y Par: En esta área la mayor parte de trabajos que se realizan son ensayos de diversos campos, como por ejemplo el estudio para medicina de tendones de conejos o la medición de la fuerza de extracción de determinados componentes de un vehículo.
- Área Acústica y Vibraciones: La actividad desarrollada en esta área se encuentra fundamentalmente centrada en el ruido industrial y en la caracterización de máquinas. Se posee una amplia experiencia en la medida de potencia acústica y de niveles de vibración de máquinas, contando asimismo con una cámara semianecoica para la realización de ensayos.

El trabajo en las áreas Dimensional, Mecánica-Masas y Mecánica-Fuerza-Par se desarrolla en las instalaciones del sótano 11 de la sede del Paseo del Cauce de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid y en la actualidad su responsable técnico es D. Francisco Javier Santos Martín. El área de Acústica y Vibraciones se encuentra en el Edificio de I+D+i de la Universidad, situado en el Campus Miguel Delibes, y su responsable técnico es D. Jesús Gómez Pastor. El Responsable de Calidad del Laboratorio es D. Roberto López Ruiz y el director del laboratorio es D. Manuel San Juan Blanco.

El laboratorio dispone de una estructuración en la que se diferencian las siguientes salas:

i. Sala de recepción, almacenamiento y embalaje de equipos.

- Recepción de equipos y muestras a calibrar y verificar.
- Identificación de equipos y muestras.
- Almacenamiento de equipos y muestras.
- Embalaje de equipos y muestras calibradas.
- Complimentación de hojas de entrada y salida de equipos y muestras.
- Devolución de equipos y muestras.

ii. Sala de Metrología Dimensional.

- Realización del mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Preparación de las calibraciones, ensayos e inspecciones.
- Realización de calibraciones, ensayos y verificaciones.
- Complimentación de hojas de toma de datos.

iii. Sala de Interferometría.

- Realización del mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Preparación de las calibraciones, ensayos e inspecciones.
- Realización de calibraciones, ensayos y verificaciones.
- Complimentación de hojas de toma de datos.

iv. Sala de Mecánica-Masa.

- Realización del mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Preparación de las calibraciones, ensayos e inspecciones.
- Realización de calibraciones, ensayos y verificaciones.
- Complimentación de hojas de toma de datos.

v. Sala de Mecánica-Fuerza y Par.

- Realización del mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Preparación de las calibraciones, ensayos e inspecciones.
- Realización de calibraciones, ensayos y verificaciones.
- Complimentación de hojas de toma de datos.

vi. Zona de oficinas.

- Gestión de correspondencia.
- Atención telefónica.
- Gestión de almacenes.
- Realización del mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Preparación de la documentación necesaria para la elaboración de las calibraciones, verificaciones, ensayos e inspecciones.

- Cumplimentación hojas de cálculo.
- Evaluación de los resultados.
- Elaboración de certificados de calibración, verificación, ensayo o inspección.
- Archivo de la documentación generada en el desarrollo de la actividad.
- Establecer programas de formación y cualificación del personal en materia técnica.
- Elección de equipos de calibración (interna).
- Selección de proveedores en los aspectos técnicos.
- Preparación y elaboración de ofertas de calibración.
- Gestión de reclamaciones técnicas.
- Supervisión técnica y funcional.
- Supervisión de la evaluación de los resultados de las actividades desarrolladas por el Laboratorio.
- Elaborar, aprobar y actualizar el Manual de la Calidad y los Procedimientos Generales.
- Seguimiento de la calidad en el Laboratorio.
- Supervisar la implantación de las acciones preventivas y correctivas.
- Supervisar la implantación de las acciones preventivas y correctivas.

vii. Sala de reuniones.

- Toma de decisiones de las directrices a seguir.

- Realización de auditorías internas y externas.

Las áreas habilitadas para la realización de las calibraciones y ensayos son lo suficientemente espaciosas como para limitar los riesgos de daño o de peligro, y como para permitir a los técnicos operar con facilidad y precisión en sus movimientos. Además, dichas salas estas debidamente separadas por familias para evitar que se realicen en un mismo espacio actividades incompatibles.

Donde se realizaran la totalidad de las actividades ejecutadas para este estudio, será en la sede de Paseo del Cauce. El laboratorio se encuentra ubicado sobre una losa anti-vibratoria para impedir que pueda existir un desvirtualización en las mediciones debido a factores externos. En todas las salas existe un control exhaustivo de las condiciones ambientales para evitar la invalidación de los resultados obtenidos en las calibraciones. Para el control de la temperatura y humedad se dispone de un sistema de climatización (calefacción y refrigeración) y de un equipo de registro continuo de dichas condiciones ambientales. El equipo de registro consiste en varias sondas de temperatura, humedad, presión y una unidad de almacenamiento de datos. Estas sondas realizan una medida continua cada 20 segundos, y cada 5 minutos se realiza la media de las medidas tomadas, almacenándose en el equipo de registro. De este modo la temperatura y humedad relativa del aire en las salas está permanentemente controlada. Para controlar las condiciones de humedad en el laboratorio se cuenta con un equipo de humidificación y otro de deshumidificación. Consecuentemente, la ventilación natural en el laboratorio no es posible, pues cambiarían las condiciones de humedad y temperatura en las salas.

Como se puede apreciar, hay un meticuloso control de las condiciones ambientales, por ello, las piezas, elementos o instrumentos de medida que intervengan en el proceso, han de someterse a un atemperamiento, el cual consiste en su recepción y depositamiento en el laboratorio el tiempo estipulado según procedimiento para que se aclimaten y que no se produzca adulteración en las mediciones debido a contribuciones por diferenciales de temperatura.

El laboratorio también cuenta con un sistema para la protección contra sobrecargas eléctricas, ya que cuenta con numerosos instrumentos metrológicos de gran sensibilidad que se alimentan de la red eléctrica. Por lo tanto, una variación en la tensión de entrada puede originar un mal funcionamiento en el equipo de medida y originar un daño en las mediciones.



Figura 5.2: Sala de interferometría del LCD vista desde la sala de metrología dimensional.

5.2.1 DILIGENCIAS DEL LCD

La actividad del Laboratorio se centra principalmente en los dos siguientes campos:

5.2.1.1 Calibración

Se cuenta con una amplia experiencia en calibración, disponiendo de una amplia cartera de clientes tanto a nivel provincial, como a nivel regional. También se cuenta con numerosos clientes a nivel.

El LCD garantiza la trazabilidad en todas las calibraciones, bien sea ENAC o no. Para ello dispone de los patrones calibrados y trazables a patrones nacionales e internacionales, necesarios para la calibración en el área dimensional, en el área de masas (balanzas y masas), y en el área de

fuerza y par (herramientas dinamométricas, instrumentos de medida de fuerza y células de carga, tanto a tracción como a compresión).

Se cuenta con un amplio listado de calibraciones dentro del alcance ENAC, como pueden ser:

- Comparadores mecánicos.
- Micrómetros de exteriores de 2 contactos.
- Micrómetros de interiores de 2 y 3 contactos.
- Bloques patrón longitudinales.
- Pies de rey.
- Verificadores de exteriores.
- Verificadores de interiores.
- Masas patrón normalizadas y no normalizadas.
- Balanzas monoplato.

También se ofrece a los clientes la calibración de otros muchos equipos con certificado de Trazabilidad a Patrones Nacionales, es decir procedimientos no acreditados por ENAC, como por ejemplo:

- Herramientas dinamométricas.
- Instrumentos de medida de fuerza.
- Barras patrón de extremos.
- Láminas de espesor.

5.2.1.2 Ensayos de Metrología

Es posible realizar ensayos para estudiar factores de influencia en cualquier proceso productivo, como podría ser la medición de la fuerza de

extracción de una determinada pieza. Estos ensayos no son únicamente aplicables al campo industrial, sino a la mayoría, como puede ser el de investigación clínica, al cual el LCD se mantiene íntimamente ligado, realizando estudios en cooperación con el Hospital Clínico Universitario de Valladolid. Recientemente se colaboró en un proyecto con células madre mesenquimales alogénicas en matriz de polímero proteico termosensible para el tratamiento de las roturas del manguito rotador del hombro. El LCD realizó la caracterización biomecánica realizando estudios experimentales en tendones infraespinosos de conejos.

Los equipos con los que se cuenta en las instalaciones son:

- Medidora láser (planitud, rectitud, cabeceo, linealidad, paralelismo, perpendicularidad, velocidad,...).
- Medidora de tres coordenadas.
- Medidora de una coordenada vertical.
- Medidoras de una coordenada horizontal.
- Rugosímetro.
- Nivel electrónico.
- Proyector de perfiles.
- Máquina generadora de fuerza.
- Etc.

Capítulo 6

Instrumentos de medida

Instrumentos de medida

6.1 INTRODUCCIÓN

En este Trabajo Fin de Grado se procederá a realizar la medición de patrones de diámetro interior. Estos equipos son utilizados por el Laboratorio de Calibración Dimensional para la realización de calibraciones de instrumentos de medida, como pueden ser micrómetros de interiores de dos o tres contactos...etc.

Para la medición de los mismos, utilizaremos una Máquina Tridimensional (MMC) ubicada en la sala de metrología dimensional, y una Medidora de 1 Coordenada Horizontal (M1CH) situada en la sala de interferometría.



Figura 6.1: Sala de metrología dimensional.

6.2 PATRONES CILÍNDRICOS DE DIÁMETRO INTERIOR

Los patrones de diámetro interior son patrones materializados de acero, que contienen un hueco cilíndrico con un acabado lo más liso y perfecto posible.

Los patrones cilíndricos de diámetro interior son piezas de precisión, sumamente delicadas y de elevado costo. Requieren un extremo cuidado, tanto en su manipulación como en su almacenamiento, a fin de evitar deterioros y la pérdida de sus propiedades. Para ello, debemos tener en cuenta lo siguiente:

- El ambiente de trabajo deberá estar en torno a 20°C, ya que es a la cual se calibran los bloques patrón. Debe ser un ambiente protegido de atmósferas húmedas, polvorientas o corrosivas, como así también de la luz solar, radiaciones térmicas, campos magnéticos o eléctricos.

- Para el cuidado de los anillos patrón se deberá trabajar siempre sobre superficies blandas y utilizar guantes o pinzas, evitando usar las manos desprotegidas, que podrían estar sucias o húmedas. Antes del uso, los anillos deberán limpiarse cuidadosamente con disolventes apropiados para quitar el lubricante que los protege. En nuestro caso utilizaremos una mezcla de etanol (70%) y éter (30%). Deben manipularse sin tocar sus caras de medida ni tomar varios a la vez en la mano, como tampoco dejarlos permanecer mucho tiempo en la mano para que no se calienten.
- Después del uso, los patrones deberán limpiarse nuevamente, lubricarse y guardarse en su estuche.



Figura 6.2: Juego de anillos patrón de diámetro interior.

6.2.1 COTAS A TENER EN CUENTA

La cota de referencia, como no podía ser de otra manera, es el diámetro. En la mayoría de los anillos se puede visualizar en su parte superior un trazo que sirve para indicar dónde se ubica el máximo arco, es decir, el diámetro. De esta manera nos será más fácil el posicionamiento del anillo en

la bancada con respecto a los palpadores de la máquina de medición de una coordenada horizontal.



Figura 6.3: Anillo patrón de diámetro interior.

6.3 MAQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (MMC)

Una máquina de medición por coordenadas es un instrumento metrológico compuesto por elementos móviles que se trasladan a lo largo de unas guías con recorridos ortogonales para realizar la medición de una determinada pieza y su determinación de las coordenadas X,Y,Z. Estas coordenadas se establecen mediante un palpador y un sistema de medición del desplazamiento [BUENO R. M (2012)].

El fundamento de una maquina medidora por coordenadas es medir puntos en el espacio. Para ello es imprescindible determinar un origen. Se pueden determinar aspectos de la geometría de una pieza, como perpendicularidad, paralelismo, posición, angularidad, rectitud, planitud, redondez, simetría y concetricidad. La precisión y exactitud de dicha maquina depende de su capacidad para que a partir de los puntos, calcule distancias, ángulos, formas...etc.

Estas máquinas son muy versátiles, ya que cubren rangos de medida muy amplios y cuentan con una gran variedad de cabezales de contacto que permiten la medición de piezas de geometría compleja y con zonas de difícil accesibilidad. El palpador está conformado por rubí, material con elevada resistencia, no deformable y muy estable térmicamente.

La máquina de medición por coordenadas se compone de:

- una bancada.
- una mesa, en nuestro caso de granito, que garantiza una rigidez y una estabilidad térmica.
- Software para ejecutar el programa de mediciones y que realice los cálculos oportunos, como puede ser la simulación de un plano a partir de tres puntos tomados en el espacio.
- Una pantalla donde visualizar la interface del programa.

El equipo con el que realizaremos nuestras mediciones es de marca DEA MISTRAL, modelo MISTRAL SP, pudiendo ofrecer una incertidumbre mínima de 4 micrómetros. El instrumento es calibrado por el propio laboratorio, a través de unos bloques patrón longitudinales de grado 0, marca CARY. Estos BPL son calibrados externamente, y dan trazabilidad a equipos del laboratorio con una calidad inferior.

La MMC está dotada de un software PC-DMIS CAD ++, se trata de un sistema de programación de metrología de arquitectura abierta habilitado para CAD. PC-DMIS nos proporciona a los usuarios las herramientas necesarias para medir cualquier tipo de geometría en cualquier tipo de pieza.

El laboratorio no utiliza la máquina de medición por coordenadas para calibración de instrumentos, su principal uso está destinado a la verificación metrológica de piezas, como puede ser una máquina de impactos, o el cigüeñal del motor de un vehículo.

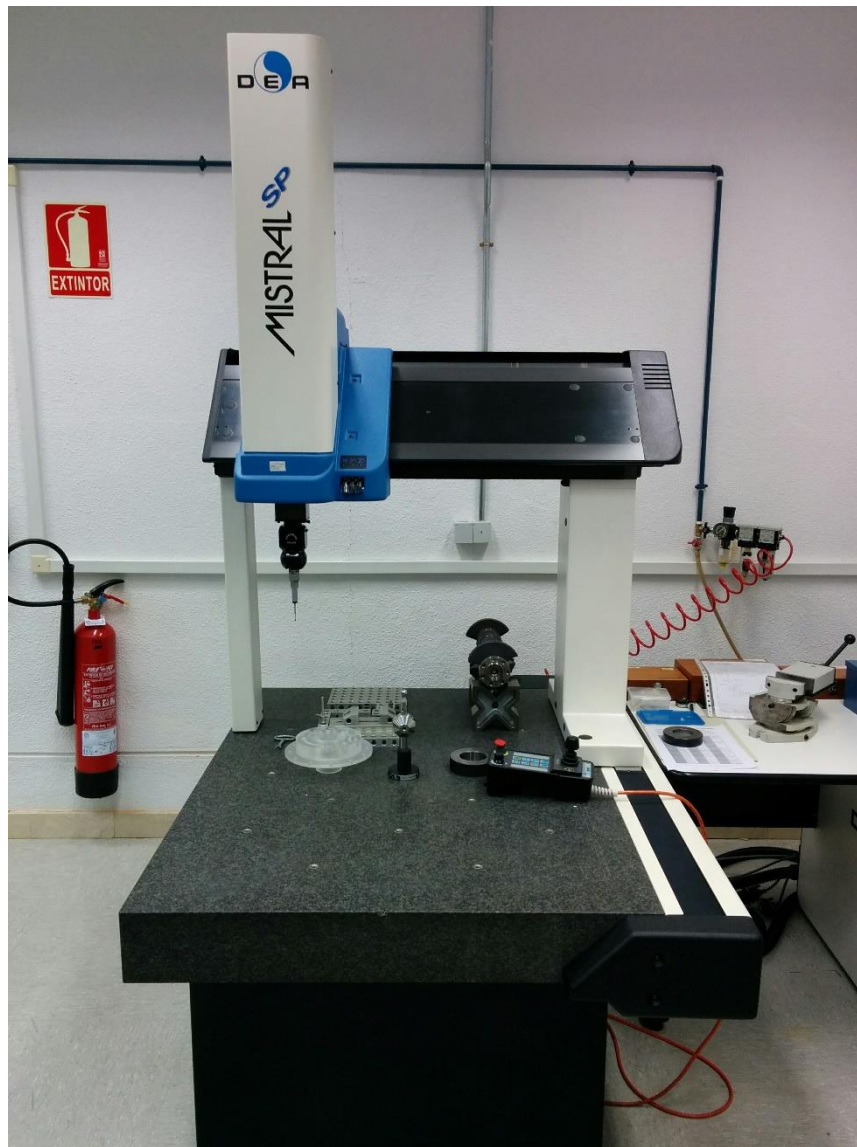


Figura 6.4: Máquina de medición por coordenadas (MMC).

6.4 MEDIDORA DE 1 COORDENADA HORIZONTAL (M1CH)

Una Medidora de 1 Coordenada Horizontal es un instrumento de medida que controla una única dimensión. El equipo con el que se realizarán las medidas es una Máquina de Medición Universal 828 PC marca Mahr y su incertidumbre mínima asociada son 2,6 micrómetros.

El equipo se compone de:

- Una bancada, donde posicionaremos los mensurando objeto de nuestro estudio.
- Un brazo móvil y otro fijo.
- Unos palpadores, los cuales están alojados en los brazos. Son intercambiables, elegiremos uno u otro en función de la geometría de la pieza o de la dificultad de acceso de la zona a medir. También se puede ajustar la fuerza con la que actúan. El rango comienza en 0,5 newton, y se extiende hasta 10 newton. Cuanta menor sea la fuerza con la que se ejerce el palpado menor será la deformación que se produce en el mensurando, lo que se traduce en una medición más precisa.
- Unas mordazas para realizar la sujeción del mensurando a la mesa. De esta manera lograremos evitar que se produzca un movimiento relativo cuando se realice el palpado. También posee un conjunto de manivelas de movimiento preciso, llamado comúnmente de “ajuste fino”. Mediante éstas, podemos posicionar el patrón con respecto a los palpadores para lograr que se realice un contacto lo más perfecto posible.
- Software para ejecutar el programa de mediciones.

Puede surgir la duda de si estamos midiendo un arco de circunferencia o el diámetro. Para asegurarnos de que estamos midiendo el diámetro, desplazaremos ligeramente la bancada con unas ruletas de precisión. El software del equipo cuenta con un interface en el cual se indicará a través de un monitor si se está midiendo un valor máximo. De ser así, en la pantalla aparecerá una barra de color verde. Si por el contrario, no se está midiendo un máximo, es decir, estamos midiendo un arco de circunferencia, la barra que aparecerá en la pantalla será de color rojo.

Actualmente, una de las actividades que más desarrolla el laboratorio con este equipo es la medición de láminas de espesor, como pueden ser los

filmes transparentes que envuelven los alimentos que habitualmente compramos en el supermercado.



Figura 6.5: Medidora de 1 Coordenada Horizontal (M1CH).

Capítulo 7

Desarrollo experimental

Desarrollo experimental

7.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se realizará una detallada descripción del proceso seguido para la realización de las mediciones, los factores de influencia, las condiciones de trabajo...

Primeramente se procederá a la limpieza de los patrones que se utilizarán. Para ello usaremos un producto compuesto de éter etílico y etanol, en un porcentaje 30% frente a 70%. Hay que especificar que los datos ofrecidos se corresponden a porcentaje en volumen y que la mezcla es producida por el personal técnico del laboratorio.

Una vez haya transcurrido el tiempo pertinente para que se evapore el producto de limpieza potencialmente residual en nuestros patrones, comenzaremos a realizar las mediciones.

7.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON M1CH

La primera serie de mediciones es realizada en la sala de interferometría con la Medidora de 1 Coordenada Horizontal, no sin antes asegurarnos de que los valores de temperatura y humedad son adecuados según lo especificado en el procedimiento interno de calibración PEC/LCD/07,

que se encarga de los pasos a seguir en la calibración de patrones cilíndricos de diámetro interior.

Para realizar las mediciones es necesario realizar un ajuste previo en el instrumento de medida. El ajuste es realizado con los valores estimados de anillos calibrados previamente. Esta calibración ha sido efectuada externamente al LCD. Debe utilizarse como patrón de ajuste un anillo de valor nominal próximo al del mensurando, para no realizar desplazamientos del husillo superiores a 30 mm, lo que supondría un riesgo potencial para las medidas. Se verían afectadas porque al realizar un amplio desplazamiento del husillo perderíamos precisión.

El procedimiento para estimar el valor del diámetro del anillo es el siguiente: se coloca el patrón y se toman 5 medidas distribuidas uniformemente a lo largo de su altura. Después se gira el anillo 90° y se realiza la misma acción. De este modo se hace un muestreo lo más representativo posible, para compensar posibles errores de forma.



Figura 7.1: Medidora de 1 Coordenada Horizontal realizando el palpado de un patrón de diámetro interior.

El criterio de aceptación o rechazo de las mediciones es el valor de cierre del ajuste. Realizamos un ajuste con el patrón de ajuste antes del inicio de la medición de cada anillo. Al finalizar la medición del anillo volveremos a colocar el patrón de ajuste y a realizar dicho ajuste. Para que la medida se pueda tomar como válida, la variación entre el ajuste inicial y el final ha de ser inferior a 50 micrómetros. De suceder esto, las medidas realizadas resultan inválidas y se procedería a su repetición.

Los datos obtenidos tras concluir las mediciones son los siguientes:

Tabla 7.1: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 70 mm.

Patrón de ajuste	Patrón diámetro interior	Valor estimado
75,0010 mm	(Valor Nominal)	(última calibración)
Mediciones	70,0000 mm	70,0025 mm
1	70,00218	
2	70,00231	
3	70,00242	
4	70,00237	
5	70,00251	
6	70,00223	
7	70,00225	
8	70,00250	
9	70,00249	
10	70,00256	
Media Aritmética	70,00238 mm	

Tabla 7.2: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 56,0012 mm

Patrón de ajuste	Patrón diámetro interior	Valor estimado
49,0017 mm	(Valor Nominal)	(última calibración)
Mediciones	56,0012 mm	56,0028 mm
1	56,00338	
2	56,00330	
3	56,00318	
4	56,00322	
5	56,00299	
6	56,00317	
7	56,00320	
8	56,00295	
9	56,00294	
10	56,00305	
Media Aritmética	56,00314 mm	

Tabla 7.3: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 51,0021 mm

Patrón de ajuste	Patrón diámetro interior	Valor estimado
49,0017 mm	(Valor Nominal)	(última calibración)
Mediciones	51,0021 mm	51,0037 mm
1	51,00374	
2	51,00388	
3	51,00381	

4	51.00390
5	51,00387
6	51,00346
7	51,00340
8	51,00350
9	51,00361
10	51,00371
Media Aritmética	51,00369 mm

Tabla 7.4: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 23,0002 mm

Patrón de ajuste	Patrón diámetro interior	Valor estimado
25,0019 mm	(Valor Nominal)	(última calibración)
Mediciones	23,0002 mm	23,0001 mm
1	22,99995	
2	22,99988	
3	22,99972	
4	22,99983	
5	22,99989	
6	23,00023	
7	23,00007	
8	23,00014	
9	23,00005	

10	23,00022
Media Aritmética	23,00000 mm

Como podemos observar a simple vista, las medidas parecen ser correctas, ya que los valores obtenidos se asemejan a los conseguidos en la última calibración.

7.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON MMC

La segunda serie de mediciones se realizará en la sala de metrología dimensional. Al igual que en el caso anterior, antes de comenzar, se comprobará que las condiciones ambientales son las idóneas.

Se pondrá en marcha el equipo y se observará que el circuito de aire a presión, por el cual la máquina es capaz de desplazar el brazo con el palpador, posee una presión óptima y permitirá realizar las medidas.

Una vez realizados estos pasos, daremos la instrucción al equipo para que realice la verificación del palpador que tiene insertado. Para ello realiza un palpado sobre una esfera, la cual está calibrada. De esta manera, la máquina determinará la constante del palpador y así minimizar posibles errores de esta índole cuando realice medidas.

Para nuestro estudio utilizaremos un palpador con la punta de rubí, ubicado en un cabezal marca RENISHAW, modelo PH10M, como el que se adjunta en la siguiente imagen.



Figura 7.2: Determinación de la constante del palpador de MMC.

Las medidas se podrán tomar de forma manual, es decir, mediante el joystick, el técnico maneja el dispositivo y realiza el palpado manualmente donde desee. En nuestro caso la manera de proceder será automática, mediante la creación de un programa de medición. Realizaremos un palpado manual sobre el plano superior del anillo. A continuación se harán tres contactos sobre el contorno del anillo a medir. De este modo hemos creado un sistema de referencia y hemos indicado al programa donde se encuentra ubicado nuestro anillo. Ahora señalaremos que deseamos realizar la medición de cada anillo con un palpado compuesto por 32 contactos, así lograremos una buena estimación del diámetro. Se realizarán tres mediciones de cada anillo, y cada una a una altura diferente para compensar los posibles errores de forma que tenga nuestro patrón.

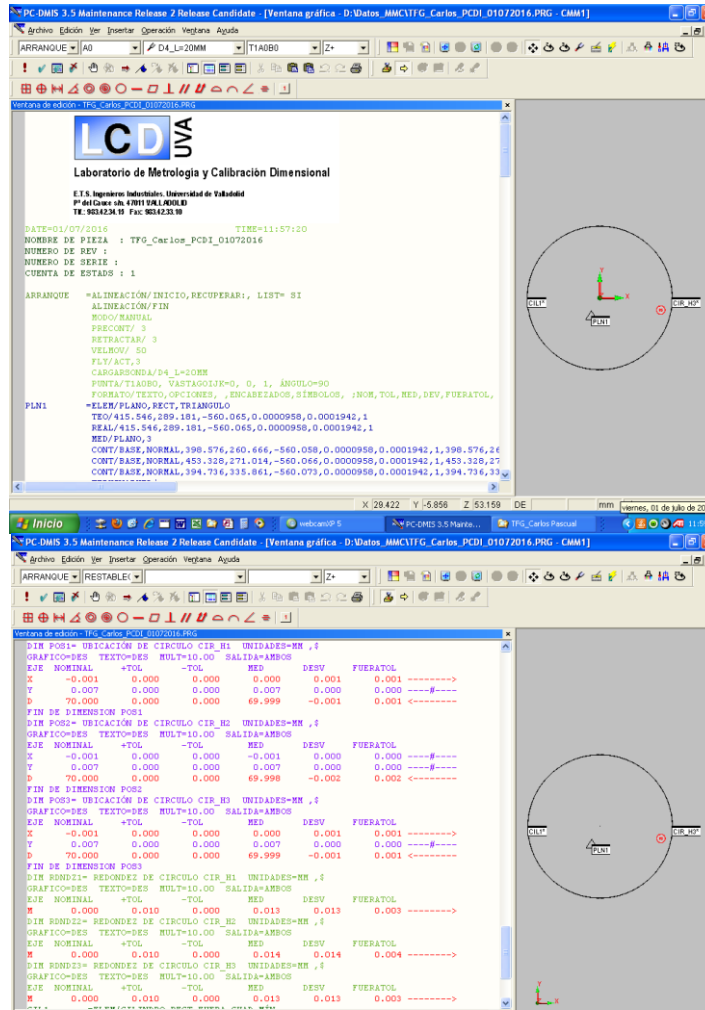


Figura 7.3: Creación del programa de medición.

Los resultados obtenidos tras las mediciones son los siguientes:

Tabla 7.5: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 70,0000 mm

Mediciones (mm)	Patrón diámetro interior (Valor Nominal)	Valor estimado (última calibración)
	70,0000 mm	70,0025 mm
H1	69,999	
H2	69,998	
H3	69,999	
Media Aritmética	69,999 mm	

Tabla 7.6: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 56,0012 mm

Mediciones (mm)	Patrón diámetro interior (Valor Nominal)	Valor estimado (última calibración)
	56,0012 mm	56,0028 mm
H1	56,002	
H2	56,000	
H3	56,002	
Media Aritmética	56,001 mm	

Tabla 7.7: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 51,0021 mm

Mediciones (mm)	Patrón diámetro interior (Valor Nominal)	Valor estimado (última calibración)
	56,0021 mm	56,0037 mm
H1	51,002	
H2	51,002	
H3	51,002	
Media Aritmética	51,002 mm	

Tabla 7.8: Valores de medidas realizadas al patrón de diámetro interior nominal 23,0002 mm

Mediciones (mm)	Patrón diámetro interior (Valor Nominal)	Valor estimado (última calibración)
	23,0002 mm	23,0001 mm
H1	22,997	

H2	23,000
H3	22,998
Media Aritmética	22,998 mm



Figura 7.4: Medición de un anillo patrón de diámetro interior.

7.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Tras realizar las mediciones de los patrones de diámetro interior con los diferentes instrumentos de medida, se procederá a realizar una intercomparación entre los diversos resultados obtenidos.

La evaluación de los resultados se hace mediante el cálculo de la diferencia existente entre la medida de cada patrón y el valor de referencia tomado para cada patrón. A cada diferencia le asignaremos una incertidumbre combinada de la medida realizada y de la establecida como valor de referencia. Se supondrá que no hay correlación entre las diversas medidas. Para la obtención de los resultados de la intercomparación se evaluarán los índices de compatibilidad y los valores de z-score, que es un estadístico mediante el cual relacionamos las desviaciones obtenidas con el valor de la incertidumbre admisible.

- El índice de compatibilidad es un indicador que cuantifica la similitud de las medidas, y cuya fórmula es la que se indica a continuación. Las medidas serán compatibles si $I.C. \leq 1$.

$$I.C = \frac{D_{ref} - D_{medido}}{\sqrt{U_{ref}^2 + U_{inst.medida}^2}}$$

Ecuación 7.1: Índice de compatibilidad

- Z-score es otro indicador similar al índice de compatibilidad, pero no se ve afectado por la incertidumbre del instrumento de medida, por lo que no se produce un “falseamiento de los datos”. Esto es debido a que un instrumento puede medir relativamente mal, pero si tiene una incertidumbre elevada, al elevarse al cuadrado y estar dividiendo, entonces puede dar mejor índice de compatibilidad que un equipo muy preciso y con una incertidumbre asociada muy pequeña.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 7.9: Intercomparación patrón 70 mm.

Grupo:	D (mm)	U (μm)	d _n (μm)	U(d _n) (μm)	abs(d _n) ≤ U(d _n)	I.C.:	Z-score
M1CH	70,0024	2,6	-0,1	3,7	SI	0,03	0,04
MMC	69,999	4,0	-3,5	4,8	SI	0,73	1,35

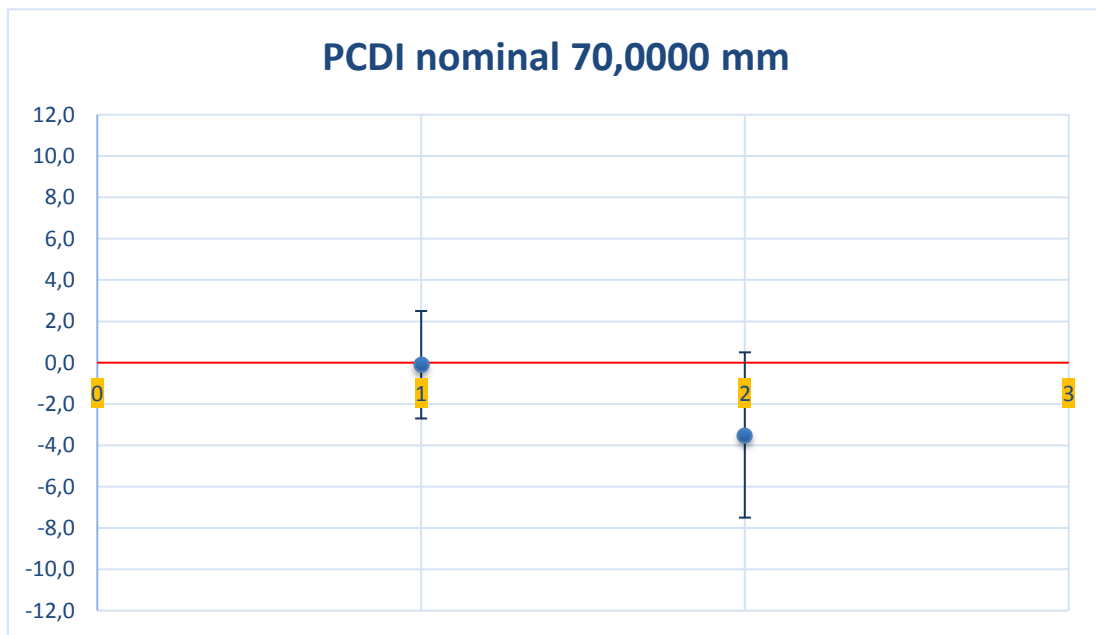


Figura 7.5: Diagrama intercomparación patrón 70 mm.

Tabla 7.10: Intercomparación patrón 56,0012 mm.

Grupo:	D (mm)	U (μm)	d _n (μm)	U(d _n) (μm)	abs(d _n) ≤ U(d _n)	I.C.:	Z-score
M1CH	56,0031	2,3	0,3	3,3	SI	0,09	0,13
MMC	56,001	4,0	-1,8	4,6	SI	0,39	0,78

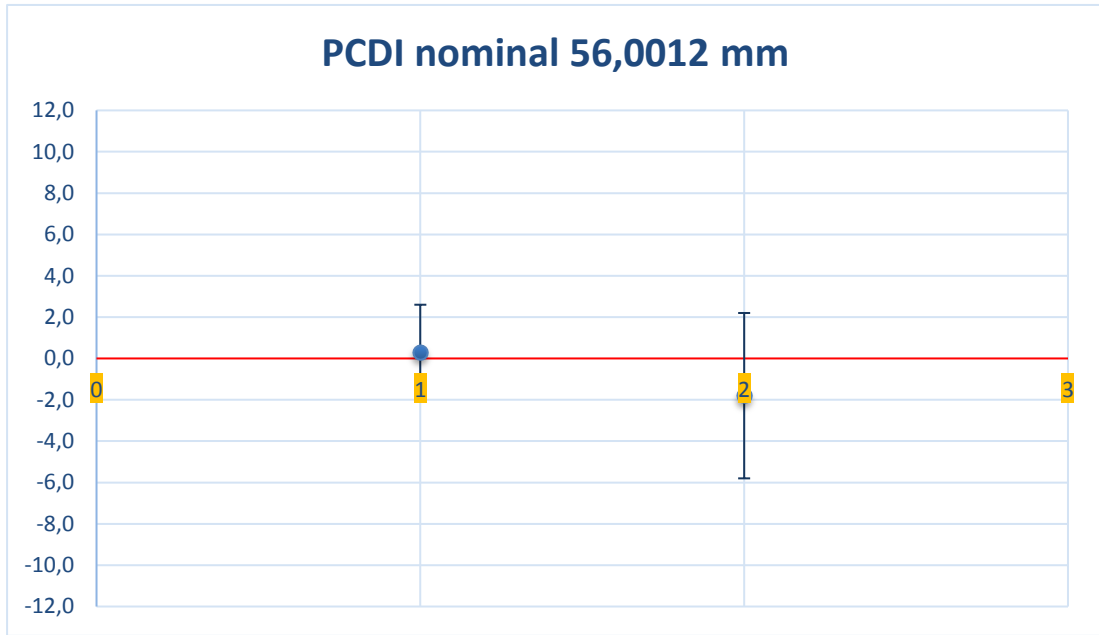


Figura 7.6: Diagrama intercomparación patrón 56,0012 mm.

Tabla 7.11: Intercomparación patrón 51,0021 mm.

Grupo:	D (mm)	U (μm)	d_n (μm)	$U(d_n)$ (μm)	$\text{abs}(d_n) \leq U(d_n)$	I.C.:	Z-score
M1CH	51,004	2,3	0,0	3,3	SI	0,00	0,00
MMC	51,002	4,0	-1,7	4,6	SI	0,37	0,74

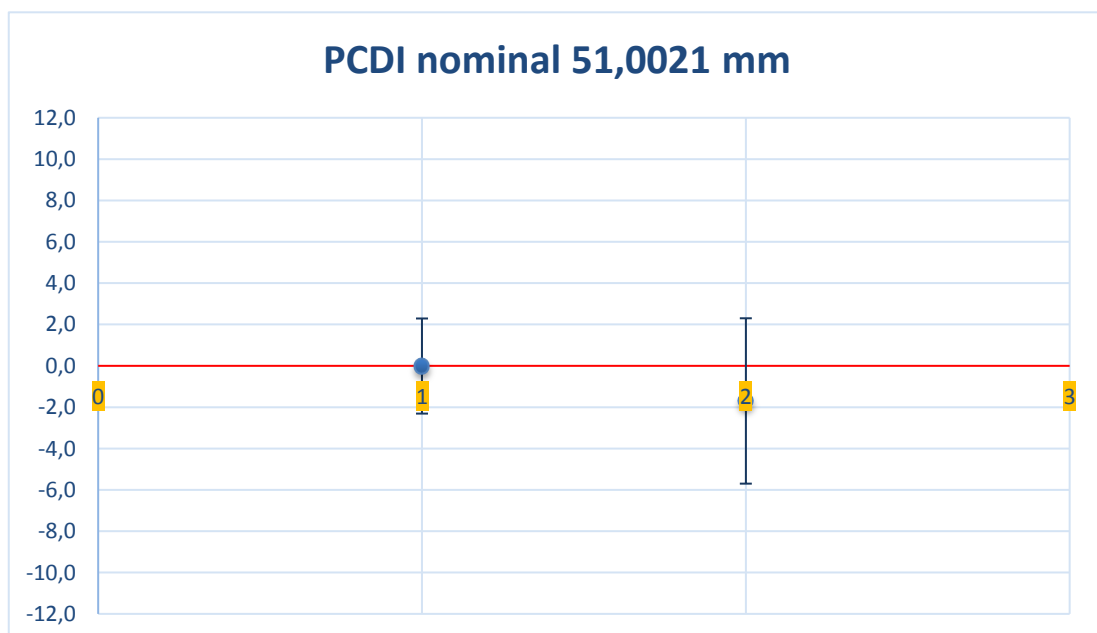


Figura 7.7: Diagrama intercomparación patrón 51,0021 mm.

Tabla 7.12: Intercomparación patrón 23,0002 mm.

Grupo:	D (mm)	U (µm)	d _n (µm)	U(d _n) (µm)	abs(d _n) ≤ U(d _n)	I.C.:	Z-score
M1CH	23,000	2,3	-0,1	3,3	SI	0,03	0,04
MMC	22,998	4,0	-2,1	4,6	SI	0,46	0,91

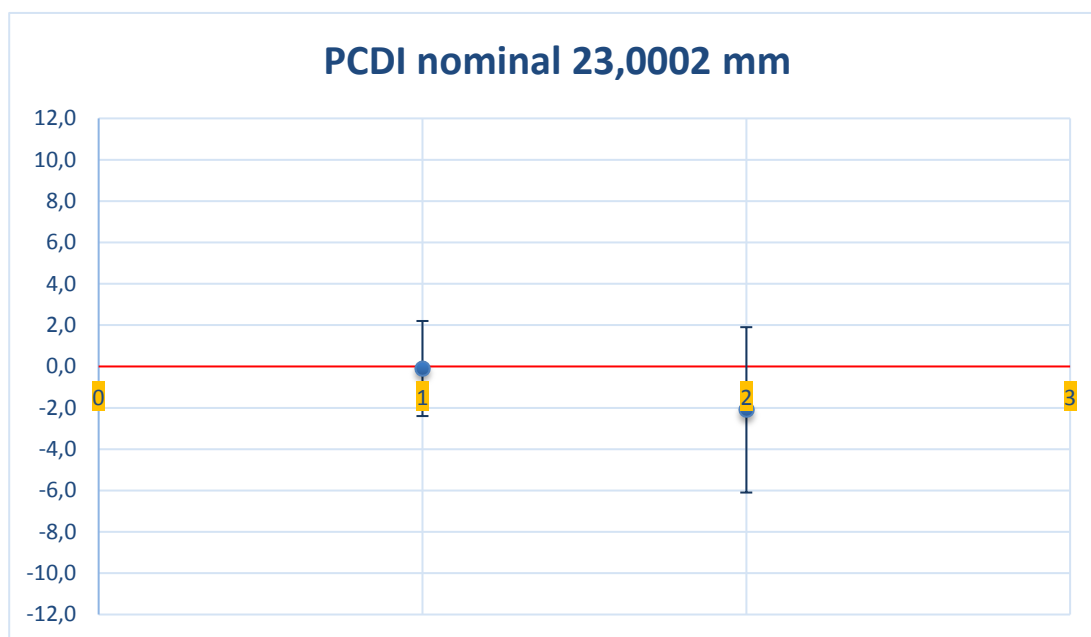


Figura 7.8: Diagrama intercomparación patrón 23,0002 mm.

En las gráficas presentadas se puede observar el intervalo de incertidumbre expandida de cada instrumento de medida, siendo el número 1 la Medidora de 1 Coordenada Horizontal y el número 2 la Máquina Tridimensional.

La medida de referencia (valor de la última calibración del patrón) se corresponde con el trazo rojo de las gráficas, y tiene asociada una incertidumbre expandida que varía en función del patrón. Los valores de la siguiente tabla han sido obtenidos del último certificado de calibración, con fecha de 31 de julio de 2014. En el caso de la máquina MMC, tiene asociada una incertidumbre expandida de 4 µm frente a las 2,6 µm de la máquina M1CH.

Tabla 7.13: Incertidumbre expandida de los patrones de referencia.

Patrón (mm)	70,0000	56,0012	51,0021	23,0002
Incertidumbre expandida (µm)	2,6	2,3	2,3	1,8

Por tanto se puede observar que en todos los casos existen solapamientos de intervalos de los dos instrumentos de medida con el de la referencia, por lo que los resultados son compatibles.

De no haber obtenido estos resultados, tendríamos que buscar las posibles causas, que bien podrían ser debidas a que el equipo de medida no se encuentra en un estado idóneo para la realización de tareas de calibración, debido a un mal uso por parte del técnico, etc.

A la vista de los resultados, también podemos percatarnos de que los valores obtenidos por la M1CH siempre son más próximos al valor de referencia que los ofrecidos por la MMC, por lo que podemos decir que es un instrumento de medida más exacto.

Si observamos detenidamente los índices de compatibilidad y los valores de Z-score calculados, podemos subrayar que la M1CH siempre tiene valores más próximos a 0, lo que indica una notable precisión y exactitud en las medidas realizadas. Por el contrario, en las realizadas con la MMC, se aprecia una variabilidad entre el I.C. y el Z-score, esto es debido a la elevada incertidumbre que posee el equipo.

Tabla 7.14: Intercomparación I.C y Z-score.

Patrón (mm)	70,0000		56,0012		51,0021		23,0002	
	I.C.:	Z-score	I.C.:	Z-score	I.C.:	Z-score	I.C.:	Z-score
M1CH	0,03	0,04	0,09	0,13	0,00	0,00	0,03	0,04
MMC	0,73	1,35	0,39	0,78	0,37	0,74	0,46	0,91

Podemos concluir que todos los resultados entran dentro de los valores esperados. Existe compatibilidad en todos los casos entre los resultados obtenidos por los instrumentos de medida y los valores de referencia.

Capítulo 8

Estudio económico

Estudio económico

8.1 INTRODUCCIÓN

En cualquier proyecto que se realice, debe tenerse en cuenta el coste económico asociado que conlleva. A lo largo de este capítulo abordaremos algo fundamental, como es el estudio económico del proyecto para determinar su viabilidad y llevarlo a la práctica.

Este estudio se ha desarrollado en el Laboratorio de Metrología y Calibración Dimensional (LCD) de la Universidad de Valladolid durante el año 2016, por lo que se trata de un proyecto que contiene aspectos teóricos junto con acciones reales que han sido llevadas a cabo por el propio laboratorio. Para estudiar la viabilidad del proyecto se calcularán todos los costes asociados al trabajo que se ha desarrollado. Dentro de los costes existentes, se puede diferenciar entre:

- Costes directos: Son los que se asocian directamente a la realización del estudio.
- Costes indirectos: Son los costes derivados de la realización del estudio, pero que no están directamente relacionados.

Algunos de los costes, ya sean indirectos o bien directos, que se asumirán son:

Costes del proyecto, para el estudio y la elaboración de la documentación.

- Material (principalmente informático).
- Amortización (de los equipos informáticos).
- Costes generales (oficina, electricidad, etc.).
- Personal (Técnicos del Laboratorio).
- Intercomparación (ensayos y pruebas).

Previamente al cálculo de los costes de personal y de amortización, es necesario conocer las tasas por hora de los salarios y de las amortizaciones del material. Para ello deberemos conocer el número de días efectivos de trabajo existentes en el año 2016, y así poder establecer el número de horas por año que trabajan los profesionales involucrados en la realización del proyecto, y con ello, calcular en función del número de horas utilizadas, el coste laboral generado.

El modus operandi es el siguiente, se ha de restar a los 366 días de los que consta el año, ya que 2016 es bisiesto, los días que no se trabaja (sábados y domingos, vacaciones, enfermedad, etc.). Con ello se obtiene lo que denominamos total de días efectivos de trabajo al año. Seguidamente, para conseguir el número de horas efectivas trabajadas a lo largo del año, se multiplica por 8 horas/día el resultado anterior. Esta información se resume en la siguiente tabla:

Tabla 8.1: Cálculo de número de horas totales anuales.

Concepto	Días
Año medio	366
Sábados y Domingos	-105
Días efectivos de vacaciones	-22

Días efectivos reconocidos (festivos)	-14
Media de días perdidos por enfermedad	-10
Cursillos de formación, etc.	-5
Total días efectivos al año	210

Total horas anuales (8 horas al día)	1680
---	-------------

8.2 COSTES DIRECTOS

Los costes directos se pueden clasificar en:

- Costes de personal: Considera el salario del personal involucrado.
- Costes de material amortizable: Se incluyen todos los materiales amortizables empleados a lo largo del estudio.
- Costes de material no amortizable: Todos los costes asociados a recursos consumibles.

A continuación, se presenta de forma detallada cada uno de estos costes.

8.2.1 COSTE PERSONAL

Para el desarrollo del estudio de mediciones se requiere un ingeniero experto en Metrología, que actúa como técnico. Su salario es el siguiente:

Tabla 8.2: Coste total trabajador en un año.

Concepto	Euros/año
Sueldo neto anual	25000,00 €/año
Prestaciones a la Seguridad Social (35%)	8750,00€/año

Coste anual total	33750,00 €/año
--------------------------	-----------------------

Sabiendo las horas que se van a trabajar y la cuantía que va a suponer, hay que calcular el coste por hora del trabajador. Para ello dividimos el coste total del ingeniero entre el número de horas anuales (33750,00 €/año/1680 horas/año):

Tabla 8.3: Coste horario.

Concepto	Euros/hora
Coste horario	20,09 €/h

Para saber el número de horas totales invertidas en el trabajo se necesita saber las horas empleadas por el ingeniero en el desarrollo de cada una de las etapas del estudio:

Tabla 8.4: Horas empleadas en la realización del trabajo.

Concepto	Horas
Estudio y documentación metroológica	40
Estudio de la normativa técnica	40
Realización de mediciones según procedimientos	30
Análisis resultados obtenidos	20
Redacción memoria descriptiva	200
Horas Totales proyecto	330

Dentro del desarrollo de la documentación, se tienen en cuenta, además, las distintas etapas en la creación del proyecto (estudio de la documentación, análisis de la situación actual, etc.), que son la base para establecer los costes de las distintas actividades y sus requerimientos tanto

materiales como humanos. De esta forma, es posible analizar la influencia de cada una de las fases del proyecto con relación al coste total. Para ello, suponemos que este trabajo ha sido encargado a un equipo profesional libre, ajeno a la empresa.

Esta es la distribución de las horas de cada etapa del trabajo en los meses del año:

Tabla 8.5: Diagrama de Gantt. Fases y etapas del estudio.

F A S E	ACTIVIDADES	AÑO - MESES					
		2016					
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	Estudio y documentación metrológica	■	■	■			
	Estudio de la normativa técnica	■	■	■			
2	Realización de las mediciones			■			
3	Análisis resultados obtenidos			■	■		
	Redacción memoria descriptiva				■	■	■

Ya estamos en disposición de calcular el coste de personal. Se obtiene multiplicando las horas totales empleadas en el trabajo por el coste de la hora de trabajo. Por tanto el presupuesto correspondiente al personal asciende a:

Tabla 8.6: Coste de personal.

Concepto	Euros
Coste de personal	6629,70 €

8.2.2 COSTE DE MATERIAL AMORTIZABLE

El proceso de documentación, estudio de la normativa y redacción de informes se ha llevado a cabo con un ordenador portátil personal, y el software de edición de documentos adecuado. También se tendrá en cuenta, en el precio de los ordenadores las licencias del sistema operativo (Windows 10) y el paquete ofimático (Microsoft Office 2013), ya que están instalados y se han utilizado para la ejecución de este proyecto.

Como instrumentos de medida se han utilizado los equipos de los que dispone el LCD, por lo que no se harán referencia a ellos en los costes, puesto que para la persona que realiza las intercomparaciones no supone ninguno.

Para el equipo informático con el que se ha trabajado durante este Trabajo Fin de Grado se considera un periodo de amortización de tres años y para las licencias informáticas cinco.

Se estima que el equipo informático se ha usado durante unas 600 horas, y los equipos de medición 15 horas cada uno.

La amortización, calculada por el método lineal, varía en función de la vida útil. Se halla dividiendo la inversión monetaria inicial entre los años de amortización, los días que se trabaja en un año (210) y las 8 horas de jornada laboral. Una vez hecha la división, se multiplica el resultado anterior por las horas que se han dedicado al uso de esos equipos.

Tabla 8.7: Amortización de equipos.

Concepto	Inversión	Tiempo amortización	Horas uso	Coste anual
Ordenador Portátil HP Intel® Core™ Dúo con 4 Gb de RAM	685,00 €	3	300	40,77 €
Microsoft Windows 10	150,00 €	5	300	5,36 €
Microsoft Office 2013	500,00 €	5	200	11,90 €
Total	1335,00 €			58,03 €

Por tanto, el coste final de amortización es de 58,03 €.

8.2.3 COSTE DE MATERIAL NO AMORTIZABLE

El coste de material no amortizable se refleja en la siguiente tabla. Los conceptos relacionados son los de los materiales necesarios para el desarrollo del estudio.

Tabla 8.8: Coste de material no amortizable.

Concepto	Euros
Material de oficina	25,0
Suministros de impresora	120,0
CD-ROM	3,0
Encuadernación	30,0
Total sin IVA	178,0
IVA 21%	37,38
Total IVA incluido	215,38

Los costes de material no amortizable ascienden a 215,38 €.

8.2.4 COSTES TOTALES DIRECTOS

La totalidad de los costes totales del trabajo ascienden a:

Tabla 8.9: Total costes directos del estudio.

Concepto	Costes
Coste de personal	6629,70 €
Coste de material amortizable	58,03 €
Coste de material no amortizable	215,38 €

Total	6903,11 €
--------------	------------------

8.3 COSTES INDIRECTOS

En este apartado se incluyen los coste derivados del estudio pero no imputables al mismo, como serían los gastos en energía e internet.

Tabla 8.10: Total costes directos del estudio.

Concepto	Euros
Consumo de electricidad de los equipos	300,00 €
Telefonía e internet	100,00 €
Alquiler de oficina	400,00 €
Total Costes Indirectos	800,00 €

Los costes indirectos son 800,00 €.

8.4 COSTE TOTALES

Una vez que hemos calculado tanto los costes directos como los indirectos, sumamos los dos para ver cuál es el coste total del estudio.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costes:

Tabla 8.11: Costes totales del estudio.

Concepto	Euros	% Total
Total costes directos	6903,11 €	
Personal	6629,70 €	86,07 %
Amortización	58,03 €	0,75 %

Material	215,38 €	2,80 %
Total de costes indirectos	800,00 €	
Luz e internet	800,00 €	10,39 %
Coste Total	7703,11 €	

Como se observa, el coste total del estudio asciende a 7703,11 €.

Veamos la distribución de costes:

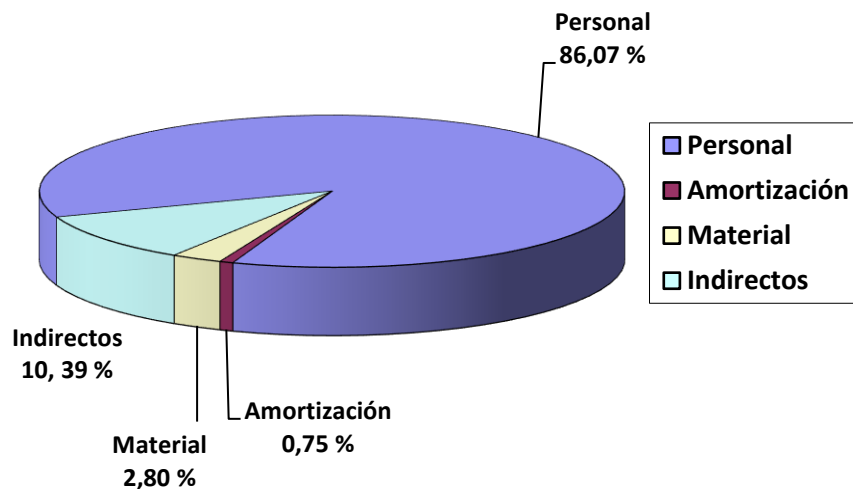


Figura 8.1: Diagrama de costes.

Capítulo 9

Conclusiones

Conclusiones

9.1 SÍNTESIS GENERAL DEL TRABAJO

En este capítulo se expondrán las principales aportaciones y conclusiones obtenidas de la realización de este Trabajo Fin de Grado, en el que la última acción ha sido la realización de una intercomparación de los resultados obtenidos al medir un elemento conocido por dos instrumentos de medida distintos ubicados en el Laboratorio de Metrología y Calibración Dimensional.

Este Trabajo se ha centrado en todo lo concerniente a la metrología y la calidad, poniendo de manifiesto su evolución a lo largo de la historia y la importancia en innumerables aspectos de nuestra vida cotidiana. Se ha demostrado lo imprescindible que es la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales para generar confianza en el mercado y favorecer un progreso en el ámbito científico. También se hecho referencia a los laboratorios de calibración, la jerarquía a la que están sujetos, las normas bajo las que se rigen y los procesos de acreditación que han de superar.

Un punto clave ha sido el Laboratorio de Metrología y Calibración Dimensional de la Universidad de Valladolid, donde se han realizado las mediciones objeto de este estudio. Se ha realizado un análisis en profundidad de las áreas de las que consta, y de las cuales mantiene acreditación ENAC. Del mismo modo se han expuesto las funciones y labores del personal con el

que cuenta, y se ha detallado alguno de los instrumentos de medida que posee.

El objetivo principal con el que se emprendía este estudio era conocer las contribuciones a la incertidumbre de las medidas realizadas por dos instrumentos de medida, como son una máquina de medir por coordenadas y una medidora de 1 coordenada horizontal, bajo las mismas condiciones de trabajo.

9.2 CONCLUSIONES

Con la realización del Trabajo Fin de Grado se ha demostrado la funcionalidad de las intercomparaciones, método habitual de trabajo entre laboratorios para la determinación de los valores de nuestros patrones. Patrones que son de vital importancia, ya que a partir de ellos se diseminaran las unidades a nivel internacional y nacional.

A continuación se procederá a enumerar las conclusiones:

- Lo primero que se realizó en este proyecto fue la familiarización con el funcionamiento del Laboratorio acreditado bajo la norma UNE-EN ISO/17025 y con las bases de la metrología. Este estudio ha sido realizado formando parte del personal del LCD, lo que ha facilitado la tarea de entender su funcionamiento, así como el estudio de la documentación básica de referencia de la metrología. Pero además de ayudar en el entendimiento de los conceptos claves para el desarrollo del trabajo, la práctica de las calibraciones en otras áreas como mecánica – fuerza y par y mecánica - masa, también ha influido positivamente para la comprensión de los métodos de cálculo de la incertidumbre, la identificación de sus fuentes de contribución, la importancia de las condiciones ambientales, etc.

- Se ha conseguido entender el funcionamiento y adquirir las habilidades necesarias para manejar con soltura los instrumentos de medida utilizados en el Trabajo, tanto de la MMC como de la M1CH, siguiendo los procedimientos específicos del LCD y las numerosas directrices estipuladas por la norma UNE-EN ISO 17025.
- Se ha definido una sistemática para realizar la comparación de las medidas realizadas sobre un juego de patrones dimensionales de diámetro interior, minimizando las componentes de la incertidumbre de medida.
- Se han realizado las mediciones de los patrones diámetro interior con los equipos anteriormente citados. En dicho proceso, se ha cuidado en todo momento, el cumplimiento de los procedimientos de medida, las condiciones climáticas y el uso y manejo de equipos y patrones.
- Se ha procedido al análisis de los resultados obtenidos, realizando por tanto la comparación y alcanzando los resultados previstos.
- Por último, podemos emitir el siguiente juicio: la medida realizada es inherente al procedimiento y al sistema de medida, pero si se verá afectada por la calidad metrológica del instrumento. Aun así, las medidas realizadas anteriormente descritas son plenamente compatibles.

Capítulo 10

Bibliografía

Capítulo 10

Bibliografía

AENOR. (2000). UNE-EN ISO 3650_2000. Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón. Madrid: Aenor.

AENOR. (2005). UNE-EN ISO 17025:2005. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Madrid: Aenor.

AENOR. (2008). UNE 66180:2008. Sistemas de gestión de la calidad. Guía para la gestión y evaluación metrológica. Madrid: Aenor.

AENOR. (2010). UNE-EN ISO/IEC 17043:2010. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud. (ISO/IEC 17043:2010). Aenor: Madrid.

AENOR. (2012). UNE-EN ISO 14253-2:2012. Especificación geométrica de productos (GPS). Inspección mediante medición de piezas y equipos de medida. Parte 2: Guía para la estimación de la incertidumbre en las mediciones GPS, en la calibración del equipo de medida y en la v. Madrid: Aenor.

AENOR. (2013). UNE-EN ISO 14253-2:2012/AC:2013. Especificación geométrica de productos (GPS). Inspección mediante medición de piezas y

equipos de medida. Parte 2: Guía para la estimación de la incertidumbre en las mediciones GPS, en la calibración del equipo de medida.. Madrid: Aenor.

AENOR. (2015). UNE-EN ISO 14253-1:2015. Especificación geométrica de productos (GPS). Inspección mediante medición de piezas y equipos de medida. Parte 1: Reglas de decisión para probar la conformidad o no conformidad con las especificaciones. (ISO 14253-1:2013). Madrid: Aenor.

AENOR. (2015). UNE-EN ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de calidad. Requisitos. Madrid: Aenor.

AZNAR GARCÍA, J. (2015). La unificación de pesos y medidas en España durante el siglo XIX. Madrid: CEM.

BUENO, R.M.(2012) Introducción a la metrología. Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

CARRO DE VICENTE-PORTELA, J. (2003). Trazabilidad (2ª ed.). Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. (Mayo 2016). Área de longitud. Obtenido de <http://www.cem.es>

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. (Mayo 2016). Breve historia de la metrología. Obtenido de <http://www.cem.es>

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA (2016). De la barra de platino e iridio a los peines de frecuencia. Obtenido de <http://www.cem.es>

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA (2000). Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (2ª ed.). Tres Cantos, Madrid: Lerko Print, S.A.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. (2016). Uso del concepto de trazabilidad metrológica por los laboratorios de calibración. Obtenido de <http://www.cem.es>

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA (2012). Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (3ª ed.). Madrid: CEM.

ESTEBAN, E. P. (2016). Breve introducción a la metrología. Madrid: AENOR N.A.

ESTEBAN, E. P. (2000). Estimación de la Incertidumbre. Madrid: AENOR N.A.

GARRIDO, U. D. (1998). TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN (2ª ed.). Valladolid: EUP.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. (2016). Ley 32/2014, de 22 de diciembre de 2014. Centro Español de Metrología. Obtenido de <http://www.cem.es/>

PUENTE, F. G. (1982). El sistema métrico decimal. Su importancia e implantación en España. Cuadernos de historia moderna y contemporánea.

RODRIGUEZ, C.F. Lecturas de ingeniería. Metrología Dimensional. Facultad de estudios superiores Cuatitlán

SÁNCHEZ PÉREZ, Á. M. (1999). Fundamentos de Metrología. Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. (2016). Metrología. Sistemas y técnicas de medida para el control de calidad.

www.cem.es

www.enac.es