



119
233

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.**

FACULTAD DE INGENIERIA

**Establecimiento del Plan de Calibración en el
Laboratorio de Metrología Dimensional del Centro de
instrumentos de la U. N. A. M.**

Tesis Profesional

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

GUILLERMO TORAL TORAL

GABRIEL VELAZQUEZ SANDOVAL

DIR. ING. GERARDO A. RUIZ BOTELLO

MEXICO, D. F.

1 9 8 7.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

PAGINA

INTRODUCCION

CAPITULO 1

GENERALIDADES EN TORNO A PATRONES DE LONGITUD

1.1 Definición de conceptos.....	1
1.2 Unidades de medida.....	7
1.3 Evolución de los Sistemas de Medida.	
1.4 Sistema Internacional de Unidades (SI).....	10
1.4.1 Breve historia del SI.	
1.4.2 Estructura del SI.....	12
1.4.3 Definición de las unidades utilizando Métodos Experimentales.....	16
1.4.4 Ventajas del SI.	
1.5 Patrones de Medida.....	17

CAPITULO 2

FUNDAMENTOS DE LA METROLOGIA

2.1 Definición de Metrología.....	20
2.2 Clases generales de Mediciones.	
2.3 Metrología Técnica o Industrial.....	22
2.4 Metrología Legal.	
2.5 Metrología Científica.	
2.6 Magnitudes físicas que abarca la Metrología Dimensional.....	23
2.7 Naturaleza de las Medidas de Precisión.....	24
2.8 Características de un Laboratorio de Metrología Dimensional.....	28
2.8.1 Condiciones Constructivas y Ambientales. 2.8.1.1 Ubicación.	
2.8.1.2 Dimensiones.	
2.8.1.3 Aislamiento.	
2.8.1.4 Vibraciones.	
2.8.2 Parámetros a controlar en el Laboratorio....	34
2.8.2.1 Temperatura.	
2.8.2.2 Humedad Relativa.	
2.8.2.3 Presión.	
2.8.2.4 Limpieza.	

2.8.3	Otros factores a considerar en el diseño del Laboratorio.....	39
2.8.3.1	Iluminación.....	
2.8.3.2	Nivel de ruido.....	
2.8.3.3	Color.....	
2.8.3.4	Campo eléctrico, magnético, etc.....	
2.8.3.5	Estabilidad de la tensión.....	
2.8.4	Sistema de acondicionamiento de aire.....	43
2.8.4.1	Sistema de flujo no laminar.....	
2.8.4.2	Sistema de flujo laminar.....	
2.8.4.3	Estratificación de la temperatura.....	

CAPITULO 3

CALIBRACION DE BLOQUES PATRON

3.1	Patrones de Longitud.....	50
3.2	Desarrollo de los Bloques Patrón.....	
3.3	Descripción y requerimientos de los Bloques Patrón.....	52
3.3.1	Materiales para su Fabricación.....	
3.3.2	Longitud y Geometría.....	55
3.3.3	Características Superficiales.....	58
3.3.4	Estabilidad.....	60
3.3.5	Coefficientes de Expansión Térmica.....	62
3.3.6	Procesos de Fabricación.....	64
3.3.7	Características No-Dimensionales.....	68
3.3.8	Adherencia.....	71
3.4	Manejo de Bloques Patrón.....	72
3.4.1	Formación de una longitud nominal.....	
3.4.2	Accesorios.....	
3.4.3	Limpieza y Conservación.....	75
3.4.4	Disminución de la Exactitud.....	76
3.5	Fenómeno de Interferencia.....	78
3.5.1	Interferencia.....	
3.5.2	Coherencia.....	
3.5.3	Aplicación del principio de Interferencia a las mediciones dimensionales.....	80
3.5.4	Descripción de los principales interferómetros.....	82
3.5.4.1	Interferómetro tipo Fizeau.....	
3.5.4.2	Interferómetro tipo Michelson.....	
3.5.4.3	Interferómetro tipo Kösters.....	
3.5.4.4	Interferómetro tipo Laser.....	
3.6	Calibración de Bloques Patrón.....	91
3.6.1	Inspección de bloques patrón.....	92
3.6.2	Métodos de Calibración.....	94
3.6.2.1	Calibración Interferométrica.....	
3.6.2.1.1	Criterios de rechazo en la medida de bloques patrón por interferometría.....	

3.6.2.1.2	Método de los Excedentes Fraccionarios.	
3.6.2.1.3	Pruebas de planitud y paralelismo de las caras de bloques patrón.	
3.6.2.2	Calibración por Comparación.	
3.6.2.2.1	Factores principales de influencia.	
3.6.3	Incertidumbre de Calibración.....	109
3.6.3.1	Método Interferométrico	
3.6.3.2	Método por Comparación.	
3.6.3.3	Niveles de precisión.	
3.6.3.4	Expresión de la Incertidumbre.	
3.6.3.4.1	Procedimiento propuesto para establecer las fórmulas de incertidumbre.	
3.6.3.4.2	Cálculo de la incertidumbre global de medición.	
3.6.3.4.3	Calibración de bloques patrón de 0.5 a 100 mm.	
3.6.3.4.4	Estimación de la Desviación Estándar Compuesta.	
3.6.4	Calibración Periódica.....	117
3.6.5	Certificados de Calibración.....	118
3.6.6	Aplicaciones de los Bloques Patrón.	

CAPITULO 4

ESTABLECIMIENTO DEL PLAN DE CALIBRACION

4.1	La Calibración en México.....	121
4.2	Plan de Calibración.....	122
4.3	Objetivos del Plan de Calibración.....	123
4.4	Elementos del Plan de Calibración.....	126
4.4.1	Diagramas de Niveles de Precisión.	
4.4.2	Fichero de Instrucciones.....	127
4.4.3	Archivo de Resultados.	
4.4.4	Etiquetas de Calibración.....	130
4.4.5	Periodos de Calibración.	
4.5	Inventario de Equipo.....	131
4.6	Precisión y Alcance de los instrumentos de medida.....	139

CAPITULO 5

ANALISIS ECONOMICO

5.1	Inversión inicial.....	143
5.1.1	Adquisición de equipo.	
5.1.2	Transportación y viáticos.....	144
5.1.3	Acopio de información.	

5.2 Costos de Operación.	
5.2.1 Personal requerido para el desarrollo del proyecto.	
5.2.2 Sustancias y materiales.....	147
5.3 Costos de Mantenimiento.	
5.4 Costos de Reinversión.	
5.5 Costo total del proyecto.....	148
CONCLUSIONES.....	149
ANEXO.....	152
BIBLIOGRAFIA.....	181

INTRODUCCION

El progreso de la ciencia y la técnica, el auge industrial, la producción de bienes, así como la intensificación de las relaciones económicas y sociales tanto a nivel nacional como internacional, han acrecentado los problemas de medición.

En el trabajo artesano, en el cual, una persona o muy pocas realizan un producto completo en todos sus aspectos, la exactitud y precisión poco importa, puesto que todo proceso está siempre sujeto a un ajuste final. En el sistema de trabajo actual, impuesto por el factor económico, la exactitud y precisión son absolutamente necesarias para los sistemas de fabricación en serie. Por tal motivo, la detección de defectos, la inspección y el control de calidad de la producción exige una constante mejora de las prácticas de medida.

La demanda de productos a nivel mundial, cada vez más exigente en cuanto a calidad se refiere, obliga a los países a adoptar prácticas de medida, emplear y desarrollar instrumentos de medición con la precisión y exactitud necesaria para determinar intervalos de incertidumbre cada vez más estrechos. En este punto, cabe destacar que la Metrología es un punto de partida en la evolución industrial de una nación, adquiriendo así, una destacada importancia en el ámbito del desarrollo económico, asegurando mediante criterios metrologógicos dentro de la producción industrial la concordancia de las normas técnicas, facilitando el desarrollo del comercio.

Se ha dicho, para calificar la importancia que la medida tiene en el desarrollo de un país, que del nivel de medida alcanzado, dependerá su eficacia tecnológica. Con ello, los errores de medida pasan a ocupar el primer plano en importancia en el logro de la precisión y exactitud requeridas; para corregirlos es necesario conocerlos, saber como eliminarlos y contar con una adecuada organización para evitar que se produzcan.

En México, es necesario desarrollar una actividad metrológica muy intensa en todos los niveles, destacando la importancia de la medición en los procesos industriales, ya que muchos productos que son fabricados para consumo interno se venden sin importar mucho su precio o su funcionamiento, dada la poca o nula competencia; pero con el reciente ingreso de México al GATT, y con la drástica caída de los precios del petróleo, nuestro país enfrenta uno de los retos más grandes de su historia industrial; los mercados nacionales se verán invadidos de productos de alta calidad a precios bajos contra los cuales tendrá que competir la industria nacional. Por otra parte, la necesidad de divisas no petrolíferas y la apertura de fronteras extranjeras a nuestros productos, crea una posibilidad de expansión industrial, la cual se puede lograr mediante un mejor control de calidad.

Para ello, hay que hacer referencia a la operación de calibrado consistente en la comparación del instrumento de medida o patrón de trabajo con un patrón de referencia, indicando cuales son las discrepancias.

La calibración establece un nexo entre la investigación metrológica y su aplicación técnica, al relacionar los laboratorios que mantienen los patrones de referencia con los usuarios de instrumentos de medición y patrones de trabajo.

Por tanto, es conveniente establecer un "Plan de Calibración", consistente en una organización sistemática de la calibración de los patrones, instrumentos o equipos de una entidad dedicada a la medición, determinando correctamente las incertidumbres con las cuales se llevan a cabo las mediciones.

Además, cabe mencionar que la existencia de centros de estudio y desarrollo metrológico en los países industrializados, así como el grado de perfección de las máquinas y herramientas de medición hoy existentes, son índices claros de la importancia de esta materia.

El objetivo de este trabajo, es establecer por medio de una adecuada organización, los niveles de precisión de los instrumentos del laboratorio, determinar sus periodos de calibración y elaborar la documentación necesaria para asegurar plena confiabilidad en las mediciones y calibraciones efectuadas en el Laboratorio de Metrología Dimensional del Centro de Instrumentos de la UNAM.

GENERALIDADES EN TORNO A PATRONES DE LONGITUD

1.1 Definición de conceptos

La Metrología requiere del consenso sobre el significado de términos que se emplean en las actividades desarrolladas inherentes a ésta; principalmente por ser de aplicación en una gran diversidad de áreas.

En el área dimensional en forma particular, es imprescindible la unificación del significado de conceptos acerca de los diferentes términos comúnmente empleados que conforman el lenguaje técnico, que permita una comunicación verbal y consistente. Por tal motivo, se citan a continuación las siguientes definiciones:

MAGNITUD

Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que se puede distinguir cualitativamente y determinar cuantitativamente.

DIMENSION

Es la expresión en unidades de medida con que se expresan las características geométricas de un cuerpo, con las cuales se puede conocer forma y tamaño.

MEDICION

Conjunto de operaciones experimentales que tienen por objeto determinar el valor de una magnitud. Este conjunto de operaciones deberá sustentarse bajo un fundamento científico.

MEDICION ESTATICA

Medición de una magnitud cuyo valor puede ser considerado constante durante su medición, es decir, no varía con el tiempo.

MEDICION DINAMICA

Determinación del valor instantáneo de una magnitud y, en su caso, de su variación con respecto al tiempo.

PROCESO DE MEDICION

Comprende: principios, método, procedimiento, valores de la magnitud de influencia, patrones de medición y cálculos relativos a una medición determinada.

METODO DE MEDICION

Conjunto de operaciones teóricas y prácticas, involucradas en la realización de las mediciones de acuerdo a un principio establecido. Estos métodos pueden ser:

a. Método de Medición Directo. Es aquél en el cual, el valor de la magnitud a medir es obtenida directamente, es decir, cuando se compara una magnitud con otra de la misma clase elegida como patrón o con un instrumento considerado como tal.

b. Método de Medición Indirecto. Método de medida que consiste en determinar el valor de una magnitud, a partir de mediciones de otras magnitudes relacionadas funcionalmente con la magnitud a medir.

c. Método de Medición Fundamental o Absoluto. Es un método en el cual, el valor de la magnitud a medir es determinada a partir de mediciones de magnitudes de base apropiadas.

d. Método de Medición por Comparación Directa. Método de medida que consiste en comparar directamente una magnitud con otra de la misma naturaleza de valor conocido, elegida como patrón.

e. Método de Medición por Sustitución. Es aquél en el cual, la magnitud a medir es reemplazada por otra de la misma naturaleza de valor conocido, elegida de tal manera que el efecto provocado sobre el dispositivo indicador sea el mismo.

f. Método de Medición Diferencial. Método de medición en el cual la magnitud a medir es comparada con otra de la misma naturaleza de valor conocido, sólo ligeramente diferente al valor de la magnitud a medir, y en el cual la diferencia entre los dos valores es medida.

g. Método de Medición por Cero. Es aquél en el cual, los efectos causados sobre el dispositivo indicador por la magnitud a medir y por la magnitud tomada como patrón actuando simultáneamente, se equilibran dando cero como resultado.

RESULTADO DE UNA MEDICION

Es el valor de una magnitud medida obtenida por medición. Debe indicarse al usar este término si se trata de:

- Una indicación.
- El resultado bruto.
- Un resultado corregido.
- Una medida obtenida a partir de varias mediciones.

Una expresión completa del resultado de una medición incluye información sobre la incertidumbre de medición y sobre los valores apropiados de las magnitudes de influencia.

EXACTITUD DE MEDICION

Proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y el valor (convencionalmente) verdadero de la magnitud medida.

REFETIBILIDAD DE MEDICIONES

Proximidad de concordancia entre resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud efectuadas bajo las condiciones siguientes:

- Con el mismo método de medición.
- Por el mismo observador.
- Con los mismos instrumentos de medición.
- En el mismo lugar.
- A intervalos cortos de tiempo.

REPRODUCIBILIDAD DE MEDICIONES

Proximidad de concordancia entre los resultados de la misma magnitud cuando las mediciones individuales se efectúan:

- Bajo diferentes métodos de medición.
- Por diferentes observadores.
- En lugares distintos y condiciones de uso diferente.
- Con diferentes instrumentos de medición.

A intervalos de tiempo prolongados en relación a la duración de una medida.

INCERTIDUMBRE DE MEDICION

Estimación que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se encuentra el valor verdadero de la magnitud medida. La incertidumbre está comprendida en general de muchos componentes, algunos de los cuales pueden ser estimados a partir de distribuciones estadísticas de una serie de resultados de mediciones.

ERROR DE MEDICION

Todas las medidas tienen errores de medición. El error es la diferencia entre el resultado obtenido de una medición y el valor verdadero. La incertidumbre es el máximo error que podría ser razonablemente esperado y es una medida de exactitud (véase fig. 1.1). El error de medición tiene dos componentes:

a. Error Sistemático. Componente del error de medición, que en la repetibilidad de mediciones de una misma magnitud permanece constante o varía en forma previsible, en valor absoluto y signo (véase fig. 1.2).

b. Error Aleatorio. Componente del error de medición que varía en forma imprevisible en valor absoluto y signo, cuando se efectúa un gran número de mediciones de la misma magnitud en condiciones prácticamente idénticas. No debemos esperar obtener el mismo resultado en las mismas; a esta variación se le conoce como error de precisión (véase fig. 1.3). La desviación estándar (σ) es usada como una medida del error de precisión. Una gran desviación estándar significa una gran dispersión de las mediciones.

INSTRUMENTO DE MEDIDA

Es un dispositivo que permite efectuar las mediciones. Sirve para transformar la magnitud medida, o alguna otra magnitud relacionada con ésta, en una indicación o una información equivalente.

PRECISION DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA

Cualidad que caracteriza la aptitud de un instrumento de medida para dar indicaciones próximas al valor verdadero de la magnitud medida, tomando en cuenta el error de medición.

Ha sido práctica usual llamar precisión a la expresión cuantitativa de los errores de medición. La tendencia moderna es reservar esta palabra como término cualitativo, y utilizar incertidumbre para la expresión cuantitativa.

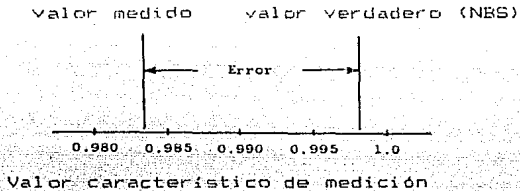
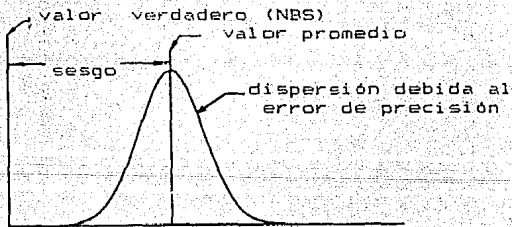


Fig. 1.1 Error de Medición.



Valor característico de medición

Fig. 1.2 Error Sistemático.

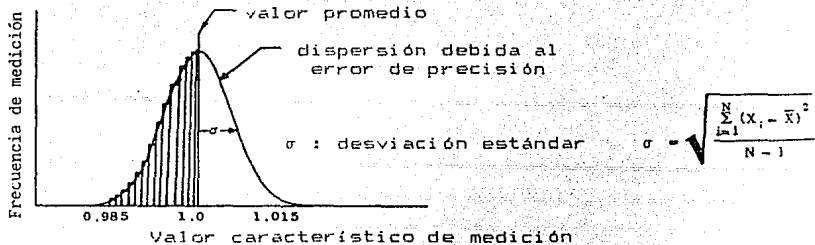


Fig. 1.3 Error Aleatorio.

ESCALA

Conjunto ordenado de trazo (líneas o signos grabados correspondientes a valores determinados de una magnitud a medir) asociados con una cifra.

DISCRIMINACION DE UN INSTRUMENTO

Es la división más pequeña de la escala del instrumento de medición en el caso de un instrumento analógico, o el menor dígito si se trata de un sistema de lectura digital.

SENSIBILIDAD DE UN INSTRUMENTO

Es el grado con el cual un instrumento puede detectar la variación de la cantidad que se va a medir.

RESOLUCION DE UN INSTRUMENTO

En una escala analógica, la resolución de un instrumento de medición es la razón del ancho de la escala con respecto al ancho del indicador.

$$\text{RESOLUCION} = \frac{\text{Ancho del indicador}}{\text{Discriminación}}$$

En un sistema digital, la resolución y la discriminación son sinónimos.

CALIBRACION

Conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar el valor de los errores de un instrumento, patrón o equipo de medida, procediendo a su ajuste o expresando a éstos mediante tablas o curvas de corrección.

PATRON

Instrumento de medición destinado a definir, materializar, conservar o reproducir la unidad; uno o varios valores conocidos de una magnitud, para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición.

Existen varias clases de patrones: Individual, Colectivo, Primario, Testigo, Secundario, de Referencia, de Trabajo, de Transferencia, Vistara, Internacional, Nacional, etc.

TRAZABILIDAD

Propiedad de un resultado de medición que permite hacer la precisión de la misma a un patrón aceptado o especificado, por

medio del conocimiento de las precisiones de los sucesivos escalones de medición a partir de dicho patrón.

1.2 Unidades de Medida

La unidad de medida, es aquella magnitud específica adoptada por convención cuyo valor numérico se admite como uno. Con ella se miden todas las magnitudes de una misma clase, mediante una operación que consiste en comparar la extensión concreta de cierta magnitud con su unidad, para ver cuántas veces contiene la una a la otra. La técnica de esta operación, con un grado de precisión adecuado, así como todos los aspectos relacionados con las unidades de medida (estudio, conservación, materialización, etc.) y los instrumentos de medición, conforman el dominio de la metrología.

El conjunto de magnitudes caracterizadas por el mismo atributo cualitativo, constituyen una clase de magnitud.

Se denomina magnitud de influencia, a cualquier magnitud que no es objeto de la medición, pero que influye sobre el valor de la magnitud a medir o sobre el resultado de la medición.

Estas magnitudes de influencia pueden clasificarse en general en cuatro grupos:

- Relacionadas con el operador.
- Relacionadas con el instrumento de medida.
- Relacionadas con la propia pieza a medir.
- Relacionadas con los agentes externos.

1.3 Evolución de los Sistemas de Unidades

La medida ha estado implícita en la vida cotidiana y en el progreso, al menos desde el Neolítico que hizo posible el sedentarismo, la agricultura, los excedentes y el intercambio. Para medir lo que se cambiaba fueron surgiendo unidades necesariamente relacionadas con la propia experiencia humana.

En la civilización Caldea, uno de los vestigios más antiguos consiste en una estatua del rey-dios Gudea que soporta en sus rodillas una regla graduada, la cual constituía el patrón legal de medida en la ciudad de Lagash (véase fig.1.4).

Gracias a las excavaciones arqueológicas se sabe hoy bastante de los sistemas de unidades Sumerio, Babilónico y Egipto. Gracias a la Biblia se

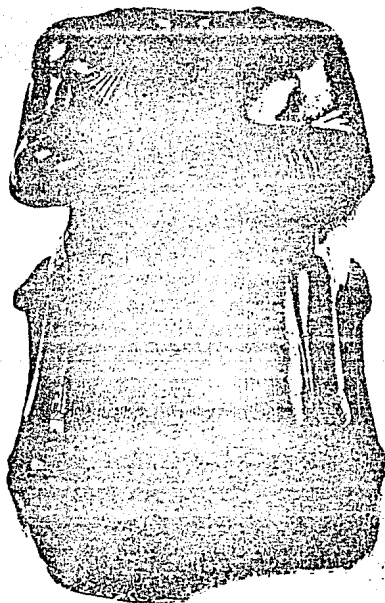


Fig. 1.4 Estatua decapitada del rey-dios Gudea.

conoce también el Hebreo. Existe una clara tendencia a derivar las sucesivas unidades de la de longitud.

Así por ejemplo, en la cultura Egipcia es donde alcanzan gran difusión las medidas autocráticas, como el Auna, definido como la longitud del antebrazo de faraón; en la cultura China, la distancia entre dos nudos de una caña de bambú constituía el patrón de longitud; en la cultura Egipcia definieron el Estadio como la longitud de 200 pasos.

Por lo que respecta a las culturas de la América Precolombina, éstas también empleaban patrones de medida directa y casi exclusivamente del cuerpo humano. Así, en la cultura Maya, el Oc (pie) fué su patrón de medida más usual. Una serie de medidas fueron admitidas empleando como referencia el suelo hacia las extremidades superiores del cuerpo humano. Por ejemplo, Hun ppuluc u-uxul (distancia comprendida entre el suelo y la parte más alta de la pierna). Por lo que respecta a la cultura Azteca, su patrón de medida adoptado como oficial y obligatorio tanto para el comercio como para la arquitectura fué el xocopalli (pie). Ninguna de las dos culturas tenía relación con un sistema de estimación de peso.

Durante el Imperio Romano se estableció un sistema de Pesas y Medidas homogéneo para el mundo de entonces civilizado, pero posteriormente se disgrega con la caída del mismo, empleándose referencias de todo tipo durante la Edad Media.

Fué así como el desarrollo comercial de la sociedad burguesa de los siglos XVI y XVII, crea una corriente de interés hacia el establecimiento de unas unidades concretas y bien definidas en Europa. Así aparecen en Francia la Toesa y la Pila de Carlomagno, en Gran Bretaña la yarda y la libra.

Con éstos antecedentes, en 1791 la Asamblea Nacional Francesa establece el Sistema Métrico de base Decimal, que empleaba como unidad de longitud el metro, definido como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, y como unidad de masa el kilo, definido como la masa de un decímetro cúbico de agua a 4 °C en que su densidad es máxima, así como sus patrones en forma de barra a cantos y cilindro de platino respectivamente.

En 1875 se firma la convención del metro y se crea la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), con sede en Sévres, y se definen, el metro como la distancia entre dos trazos grabados en un plano neutro de una regla de platino iridiado al 10% con sección en equis asimétrica (calculado por H.Tresca), y el kilo como la masa de un cilindro de la misma aleación y de una altura igual a su diámetro, todo ello a una temperatura de 0 °C (véase fig.1.5).

En 1895, siendo presidente de México Porfirio Díaz dicta la Ley de Pesas y Medidas, ordenando que a partir del 16 de septiembre de 1896 el Sistema Métrico Decimal Internacional de Pesas y Medidas sea el único legal en los Estados Unidos Mexicanos, y establece el uso del metro como unidad de longitud, el kilogramo como unidad de masa y el segundo como unidad de tiempo.

Respecto a los sistemas de unidades, han existido y aún perduran algunos de ellos, basados en criterios y magnitudes diferentes, dando lugar a confusión. A continuación se citan los sistemas principales:

- Sistema MKS.
- Sistema CGS.
- Sistema MTS.
- Sistema MKSA-Giorgi, etc.

La evolución de los sistemas de unidades culmina en 1960, con la adopción del Sistema Internacional (SI).

1.4 Sistema Internacional de Unidades

1.4.1 Breve historia del Sistema Internacional de Unidades

Desde la aparición de civilizaciones tan antiguas como la Egipcia y la Babilónica, el hombre ha desarrollado un sinnúmero de formas de medir, las cuales han sido muy diversas en cuanto a nombre y valor. Puede decirse que las medidas que se iniciaron como simples "Patrones" convencionales han evolucionado a la par con el desarrollo de las civilizaciones hasta llegar a "Sistemas" de unidades de medida con bases científicas y de aplicación internacional.

Posteriormente, debido al avance tecnológico fuè necesario uniformizar las dimensiones de partes de equipos y maquinaria, además el progreso industrial y el nivel de vida exigían cada vez menor incertidumbre en las medidas y en las unidades, así como una mayor confiabilidad en la transferencia y comparación de patrones entre distintos centros de medida, desempeñando un papel muy importante en este sentido la normalización.

La Normalización repercute en la economía de un país, ya que las normas son instrumentos básicos para el desarrollo comercial equitativo, y permiten el entendimiento en los

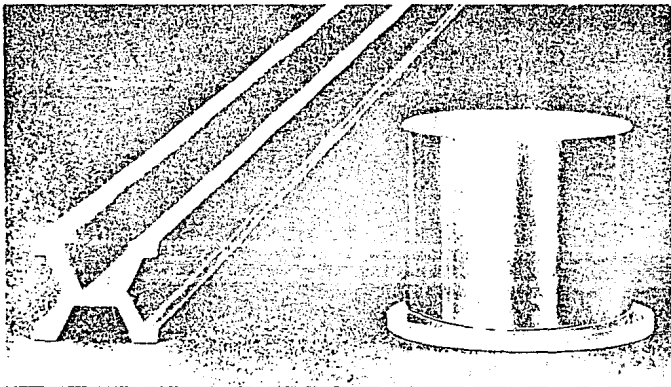


Fig. 1.5 Prototipo internacional del metro y el kilogramo patrón de platino iridiado.

diversos campos de la ciencia y la tecnología. Pero en una norma no se pueden fijar dimensiones o condiciones específicas para un método de prueba sino se tiene un sistema de referencia previamente establecido, que permita determinar cuantitativamente el valor de las "magnitudes".

Por estas razones, y por motivos históricos, tales como la necesidad de los científicos de finales del siglo XVIII de contar con un lenguaje común para expresar los resultados de sus investigaciones, en el año de 1960, la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) en la resolución No. 12 decidieron por unanimidad la creación de un Sistema Internacional de Medición, al que se le denominó Sistema Internacional de Unidades y cuya abreviación son las siglas SI.

1.4.2 Estructura del Sistema Internacional de Unidades

El Sistema Internacional está integrado por tres clases de unidades: unidades de base, unidades derivadas y unidades suplementarias. El SI también utiliza prefijos para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de estas unidades.

Unidades de Base. Son las unidades en las cuales se fundamenta la estructura del Sistema Internacional; en la actualidad son siete, correspondientes a las magnitudes de: Longitud, Masa, Tiempo, Intensidad de corriente eléctrica, Temperatura termodinámica, Intensidad luminosa y Cantidad de sustancia, cuyos nombres son respectivamente: metro, kilogramo, segundo, ampere, kelvin, candela y mol (véase tabla 1.1).

Unidades Derivadas. Son las unidades que se forman combinando las unidades de base o bien éstas y las suplementarias según expresiones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes. Muchas de estas expresiones algebraicas pueden ser reemplazadas por nombre y símbolos especiales, los cuales pueden ser utilizados para la formación de otras unidades derivadas (véase tabla 1.2).

Unidades Suplementarias. Son las unidades con las cuales no se ha tomado una decisión de si pertenecen a las unidades de base o a las unidades derivadas; corresponden a las magnitudes de ángulo plano y ángulo sólido y cuyos nombres son respectivamente: radián y esterradián (véase tabla 1.3).

MAGNITUD	NOMBRE	SÍMBOLO	DEFINICIÓN
Longitud	metro	m	Longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante una duración de $1/299\,792\,458$ de segundo.
Masa	kilogramo	kg	Prototipo material internacional, de platino iridiado, de altura (39 mm) igual al diámetro depositado en el BIPM.
Tiempo	segundo	s	Duración de 9,192,631,770 períodos del Cesio 133 (transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental).
Intensidad de corriente eléctrica	ampere	A	Intensidad que entre dos conductores paralelos, en el vacío a una distancia de un metro, produce una fuerza de 2×10^{-7} N/m.
Temperatura termodinámica	kelvin	K	Es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.
Intensidad luminosa	candela	cd	Es la intensidad luminosa, en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de 540×10^{12} hz cuya intensidad energética en esa dirección es $1/683$ watt/esterradián.
Cantidad de sustancia	mol	mol	Es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existen átomos en 0.012 kg de carbono 12.

Tabla 1.1 Unidades de Base del Sistema Internacional.

Magnitud	Nombre de la Unidad (SI) Derivada	Símbolo	Expresión en Unidades (SI) de Base	Expresión en otras Unidades (SI)
frecuencia	hertz	Hz	s^{-1}	
fuerza	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	
presión	pascal	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	N/m^2
trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	$N \cdot m$
potencia, flujo energético	watt	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	J/s
carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	$s \cdot A$	
potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión, fuerza electromotriz	volt	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-1}$	W/A
capacidad eléctrica	farad	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	C/V
resistencia eléctrica	ohm	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-2}$	V/A
conductancia eléctrica	siemens	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	A/V
flujo de inducción magnética, flujo magnético	weber	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-1}$	$V \cdot s$
densidad de flujo magnético, inducción magnética	tesla	T	$kg \cdot s^{-2} A^{-1}$	Wb/m^2
inductancia	henry	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-2}$	Wb/A
flujo luminoso	lumen	lm	$cd \cdot sr$	
luminosidad	lux	lx	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$	lm/m^2
actividad nuclear	becquerel	Bq	s^{-1}	
dosis absorbida	gray	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$	J/kg

Tabla 1.2. Unidades Derivadas del Sistema Internacional SI.

Magnitud	Nombre de la Unidad	Símbolo	Definición de la Unidad
ángulo plano	radián	rad	es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo y que interceptan sobre la circunferencia de este círculo, un arco de longitud igual a la del radio
ángulo sólido	esterradián	sr	es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera corta sobre la superficie de esta esfera una área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera

Tabla 1.3 Unidades Suplementarias del Sistema Internacional SI.

Nombre del prefijo	Símbolo		Factor
exa	E	10^{18}	trillón
peta	P	10^{15}	mil billones
tera	T	10^{12}	billón
giga	G	10^9	mil millones
mega	M	10^6	millón
kilo	k	10^3	mil
hecto	h	10^2	cien
déca	da	10^1	diez
deci	d	10^{-1}	décimo
centi	c	10^{-2}	centésimo
mili	m	10^{-3}	milésimo
micro	μ	10^{-6}	millonésimo
nano	n	10^{-9}	mil millonésimo
pico	p	10^{-12}	billonésimo
femto	f	10^{-15}	mil billonésimo
atto	a	10^{-18}	trillonésimo

Tabla 1.4 Prefijos que se utilizan en el Sistema Internacional.

Prefijos para formar los múltiplos y submúltiplos de las unidades del SI

En la 11a. CGPM (1960, resolución 12) se adoptó una primera serie de nombres y símbolos de prefijos para formar múltiplos y submúltiplos de 10^{-12} a 10^{12} . Los prefijos 10^{-15} y 10^{-18} se tomaron en la 12a. CGPM (1964, resolución 8) y durante la 15a. CGPM (1975, resolución 10) se adoptaron los de 10^{15} y 10^{18} . La aplicación de estos prefijos se hace para indicar el orden de magnitud y en esta forma eliminar los dígitos que no tienen mayor importancia (véase tabla 1.4).

1.4.3 Definición de las Unidades utilizando Métodos Experimentales

Como las definiciones de unidades basadas en un objeto específico están expuestas al envejecimiento, desgaste y rotura, es conveniente definir las utilizando "normas" naturales, como por ejemplo: la densidad del agua, la velocidad de la luz en el vacío, etc. Han recibido una aplicación fundamental estas normas naturales, principalmente las "Constantes Naturales" que relacionan varias magnitudes de diversos campos de la Física.

En virtud de que las normas naturales son fáciles de reproducir, se emplean cada vez más para la realización práctica de varias unidades, mediante el uso de "constantes naturales fundamentales" usadas como normas de transferencia o "puntos fijos", cuyos valores se determinan a manera experimental para evitar el riesgo de restringir el sistema en exceso, para la fijación de estos "valores convenidos"; de esta forma, la definición actual del metro, está basada en una constante natural que es la velocidad de la luz en el vacío.

1.4.4 Ventajas del Sistema Internacional de Unidades

El Sistema Internacional de Unidades es un sistema científico de unidades de medición compatible, esencialmente completo y armonizado internacionalmente, que comparado con otros sistemas de unidades tiene las siguientes ventajas:

- Los patrones básicos pueden ser reproducidos en forma objetiva.
- Es fácil de aprender, recordar y entender.
- Conduce a simplificar los cálculos técnicos.
- Permite optimizar los diseños, eliminando tamaños y tipos innecesarios.

-Facilita las operaciones comerciales a nivel nacional e internacional.

1.5 Patrones de Medida

Los patrones de medida son aquellos objetos o instrumentos que permiten materializar, conservar y reproducir las unidades de medida, múltiplos y submúltiplos de ellas. A manera estrita, se denominan patrones primarios (básicos o fundamentales) a los que materializan cualquiera de las unidades básicas del SI, de acuerdo a su propia definición. Cualquier otra realización de una unidad no básica, o unidad básica pero no conforme a su definición, forma un patrón secundario.

Se observa una clara evolución en la determinación de las unidades fundamentales de los sistemas, que comenzaron por ser elementos materiales concretos y determinados que se suponían prácticamente invariables y que durante mucho tiempo cumplieron perfectamente con su objetivo.

La evolución tecnológica, y sobre todo las exigencias de precisión cada vez mayores, han hecho que estos patrones se vayan modificando debido a resultados arrojados en experimentos naturales o físicos. Existe un verdadero trasfondo filosófico en esta evolución, por lo que conviene analizar las dos propiedades fundamentales para todo patrón; su invariabilidad, la posibilidad de reproducción y disseminación.

Cuando el metro patrón lo constituía una barra depositada en Sévres, la posibilidad de reproducción y disseminación era nula, y evidentemente sufría constantes variaciones en su longitud, aunque éstas fueran inapreciables. Sin embargo, en cada momento el patrón era único y su valor en dicho momento definía a la unidad. Pero al cambiar la unidad y referirla a la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante una duración de $1/299\,792,458$ de segundo, todo varía; ahora, la posibilidad de reproducción y disseminación es ilimitada, por lo que cualquier nación puede tener su propio patrón y realizarlo tantas veces como lo desee.

Sin embargo, dado que no se presentan dos fenómenos idénticos en la naturaleza, se desprende que nunca dos experiencias del metro patrón arrojarán el mismo valor. Con el actual desarrollo de la ciencia, la capacidad de apreciación actual del metro resulta superior a la definición del metro como barra de platino, por lo cual viene a ser más precisa.

De acuerdo a la clasificación anterior de los patrones primarios y secundarios, se tiene que, excepto para la masa, cuyo único patrón primario absoluto es el depositado en Francia, de todas las demás unidades existe un patrón primario o patrón prototipo

internacional siempre y cuando se disponga de un equipo que permita realizar la definición del mismo, conforme a las especificaciones requeridas para alcanzar una precisión adecuada. Estos equipos pueden evolucionar y por tanto mejorar el grado de precisión del patrón primario, en función de la capacidad de apreciación o resolución de los mismos.

A partir de los patrones primarios depositados en el Laboratorio Nacional, se derivan los patrones secundarios e instrumentos secundarios para atender las necesidades de medición de cada nación. Aunque esto a su vez crea pérdidas de precisión, ya que nunca se puede asignar a un patrón una precisión igual a la del patrón contra el que se compara por lo que han de tomarse en cuenta los errores introducidos por el propio proceso de calibración.

En la fig. 1.6 puede observarse un esquema de la diseminación de patrones en una organización metrológica nacional.

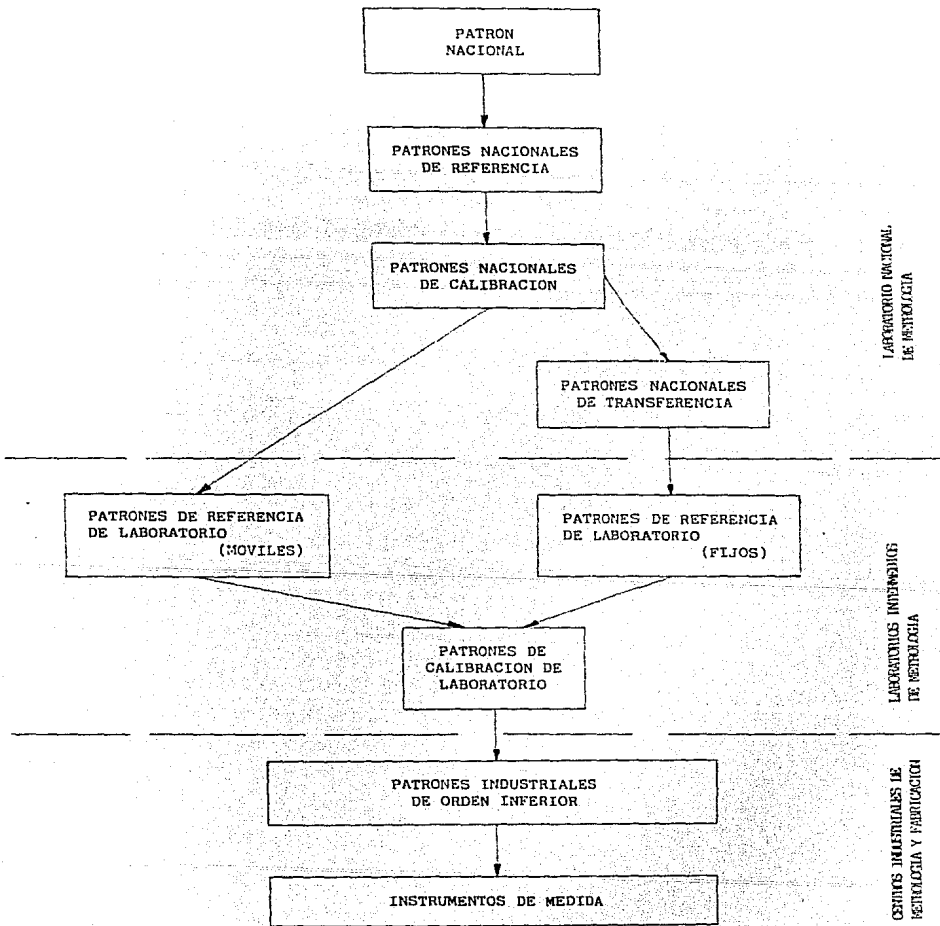


Fig. 1.6 Diseminación de Patrones.

FUNDAMENTOS DE LA METROLOGIA

2.1 Definición de Metrología

La Metrología se define como la "ciencia de la medición", y entendida en un amplio sentido abarcaría la totalidad de la física experimental.

Usualmente se emplea éste término con sentido más restringido, para señalar parte de la ciencia de la medición que sirve para proveer, mantener y diseminar un conjunto consistente de unidades, o para dar una base sobre la cual se podrá fundamentar la obligación del cumplimiento de normas de equidad en el comercio expresadas por la Ley de Pesas y Medidas, o para suministrar los datos necesarios para el control de calidad en la industria.

Al desarrollar la metrología, el hombre obtiene una herramienta cada vez más confiable, precisa y efectiva, pero también más compleja, que le ha permitido pasar del conocimiento cualitativo al conocimiento cuantitativo. Esto se ha logrado mediante equipos de medición más sofisticados.

El campo de la metrología es el mundo físico en que vivimos y cada innovación tecnológica proporciona una nueva o diferente forma de ver las cosas, en consecuencia, ésta se encuentra en constante expansión.

2.2 Clases generales de mediciones

Una medición es una serie de manipulaciones de objetos o sistemas físicos, siguiendo un protocolo definido, cuyo resultado es un número. Se pretende que dicho número represente con unicidad la cantidad (o intensidad) de alguna magnitud corporizada en el objeto de prueba. Se llega a este número para tener una base eficiente que fundamente una decisión que sea efectiva respecto a

cierto objetivo, o que satisfaga alguna necesidad humana dependiendo de las propiedades del objeto de prueba.

Estos objetivos o necesidades pueden ser considerados con provecho, como posibles de alcanzar mediante tres clases generales de mediciones:

-Metrología Técnica o Industrial.

-Metrología Legal.

-Metrología Científica.

Estas clases generales de mediciones se subdividen a su vez según su propósito en:

-Metrología Dimensional.

-Metrología Mecánica.

-Metrología Óptica.

-Metrología Eléctrica.

-Metrología Electrónica.

-Metrología Térmica.

-Metrología de Radiaciones Ionizantes.

A continuación se citan algunos campos de acción de la metrología:

-El comercio.

-La industria.

-La medicina.

-La agricultura.

-La ecología.

-La astronomía.

-Investigación tecnológica.

2.3 Metrología Técnica o Industrial

La metrología industrial consiste principalmente en la medición y verificación de magnitudes geométricas, por lo que proporciona la información necesaria para garantizar la calidad de un producto y controlar su proceso de fabricación.

Esta clase incluye las mediciones realizadas para asegurar la compatibilidad dimensional, la conformidad con especificaciones de diseño necesarias para el funcionamiento correcto, o en general, todas las mediciones que se realizan para asegurar la adecuación de algún objeto con respecto al uso previsto.

Una empresa que prescinde del uso de la metrología, confía en una calidad que no conoce y que por tanto no puede controlar.

La evolución que se registra actualmente en la metrología industrial está caracterizada por las siguientes condiciones exigidas por los usuarios:

- Reducción del tiempo de verificación.
- Disminución del costo de verificación.
- Intensificación de la automatización.
- Ampliación del campo de aplicación.
- Aumento de la precisión.

2.4 Metrología Legal

La metrología legal tiene como función, garantizar el cumplimiento de la legislación metrológica oficial (Ley de Pesas y Medidas), mediante una verificación periódica de la precisión y seguridad de funcionamiento de los instrumentos de medición, que se utilizan en transacciones comerciales.

Tradicionalmente la metrología legal se ha ocupado del control de los equipos de medición en el comercio; en la actualidad, en muchos países son ya un campo de la legislación metrológica las mediciones de la ciencia médica; también abarca el ámbito de la seguridad, como son: velocidad de vehículos, contaminación ambiental, niveles de sonido, niveles de humedad en productos agrícolas, etc.

2.5 Metrología Científica

Cuando las mediciones tienen por finalidad validar, mejorar o sugerir nuevas teorías acerca de nuestro conocimiento del

universo, aparecen nuevos problemas que no existen en la metrología técnica o en la legal.

Tal vez, el más importante de estos nuevos problemas, es la desaparición de la libertad de elegir el sistema de medición por razones de conveniencia o economía. Esto deja de ser legítimo. Todas las magnitudes susceptibles de medición, están definidas por el sistema de medición que son lógicamente independientes y totalmente arbitrarias, por ejemplo, solamente una puede corresponder al concepto de masa que satisfaga a la vez las Leyes de Newton y Einstein.

Las leyes de la física parecen requerir aquello que los metrologistas prudentes rechazan: una magnitud "verdadera", "absoluta" o "apropiada". En cierta manera, una magnitud apropiada queda definida por la lógica subyacente del universo físico, según se refleja y traduce por las leyes de la física.

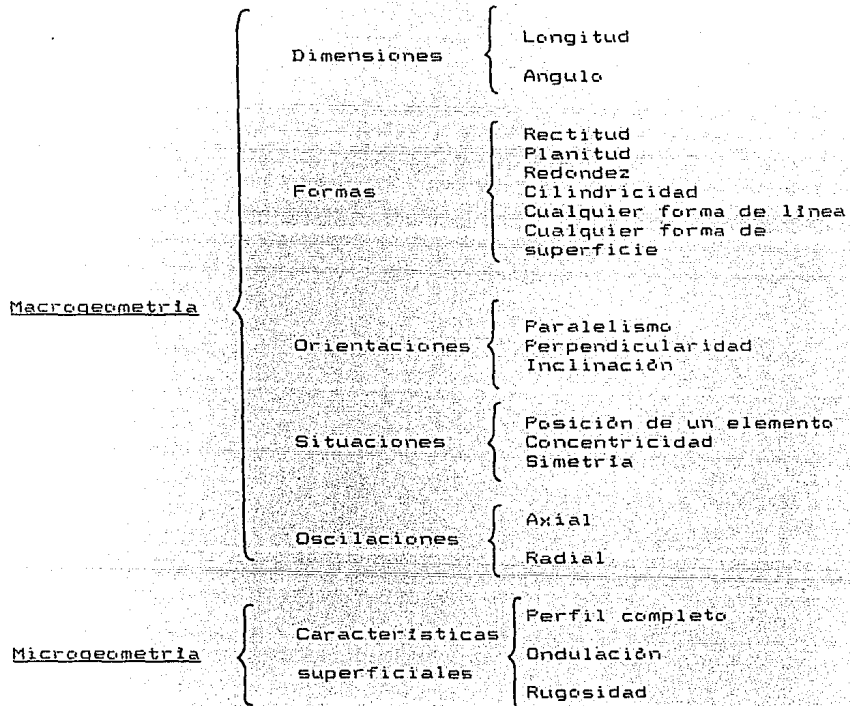
El problema consiste en determinar cual magnitud definida por un sistema de medición es la "apropiada". El problema podría ser encarado en forma experimental mediante el uso de un conjunto redundante de constantes fundamentales. Para ello, se podrían generar varios conjuntos de constantes fundamentales obtenidas experimentalmente que difirieran sólo por la forma en que una de las magnitudes, por ejemplo la masa, estuviera definida operacionalmente por un conjunto de axiomas de medición, la autoconsistencia de cada conjunto sería entonces una medida de la propiedad de la magnitud.

Las mediciones que constituyen la metrología científica, son propiamente del dominio de la Física experimental.

2.6 Magnitudes físicas que abarca la Metrología Dimensional

En forma estricta, todas las mediciones geométricas se derivan de la longitud, por lo que, conviene definir como magnitudes físicas otros conceptos que faciliten la labor de estudio de la metrología.

El ámbito de la metrología dimensional se divide por convención en el estudio de la Macrogeometría y Microgeometría de los piezas u objetos. De acuerdo a lo anterior se tiene que:



La Macrogeometria hace distinción entre dimensiones y formas. Las dimensiones a medir son longitudes y ángulos. Las longitudes a medir en una pieza pueden ser reales o ficticias, según los puntos (dos) si existen físicamente o si son prolongaciones de superficies o ejes de la misma.

Los ángulos están definidos conceptualmente como el cociente de longitudes y son entes que caracterizan toda una tecnología propia del cálculo y la medición.

Las formas obedecen a un campo de posibilidades prácticamente ilimitado que se amplía constantemente a medida que la tecnología progresa, en el afán de determinar con más exactitud la forma total de una pieza. Las formas a controlar en las piezas se resumen en seis formas, tres orientaciones, tres situaciones y

una oscilación.

En la tabla 2.1 se establece una simbología para la identificación de formas.












	<i>Rectitud</i>
	<i>Paralelismo</i>
	<i>Perpendicularidad</i>
	<i>Angularidad</i>
	<i>Simetría</i>
	<i>Planitud</i>
	<i>Redondez</i>
	<i>Cilindricidad</i>
	<i>Concentricidad</i>
	<i>Cualquier forma de línea</i>
	<i>Cualquier forma de superficie</i>

Tabla 2.1 Símbolos correspondientes a las formas más usuales.

La calidad superficial o Microgeometría estudia en forma detallada el estado superficial de las piezas.

Con el desarrollo de la tecnología mecánica, se le ha dado cada vez mayor importancia a esta característica que está relacionada con el desgaste, rozamiento, brillo, lubricación, resistencia a la fatiga, etc.

La importancia de la medición del acabado superficial se ha incrementado en los últimos años por diversas razones, sobresaliendo la presión ejercida por parte de los consumidores sobre los fabricantes para generar productos de óptimo funcionamiento, confiables y eficientes. Estas razones han forzado a la industria a rediseñar muchos productos para satisfacer la calidad demandada por los consumidores.

Las tolerancias en la medición del acabado superficial se vuelven muy estrechas particularmente en dos áreas: (1) control funcional de la pieza a fabricar, y (2) control económico del proceso de fabricación. Por otra parte, su medida requiere de métodos cada vez más complejos para poderla determinar con una precisión aceptable.

Para la medición de formas y dimensiones, así como el acabado superficial de las piezas, existe una gran variedad de patrones, instrumentos y máquinas; el empleo de uno u otro está en función del grado de precisión que se requiera (véase tabla 2.2).

Por último, no sólo es importante saber medir; existen muchas formas de hacerlo, y el resultado estará condicionado por el método a emplear. Por ello, cada vez resulta más importante respetar las normas que definen los procedimientos de medición así como los instrumentos a emplear, cálculos a realizar, etc.

2.7 Naturaleza de las medidas de precisión

La asignación del método de medida adecuado para un proceso, es uno de los aspectos más importantes y por tanto trascendente de la ciencia metroológica, ya que, el objetivo de todo sistema de medición debe proporcionar la precisión suficiente que asegure la validez de la pieza según sus especificaciones.

A continuación se citan tres principios generales de las medidas de precisión:

- 1.-Para obtener la máxima precisión en la comparación es necesario que el patrón y el elemento a medir tengan magnitudes físicas muy similares.
- 2.-El patrón y el elemento a medir deben tener igual forma y medirse por el mismo procedimiento.
- 3.-Tan perjudicial es la realización de una medida sin la precisión suficiente, como emplear una alta metrología para una medición que no la requiera.

En forma general, puede asegurarse que la relación costo-precisión sigue la forma indicada por la figura 2.1, de manera que, para medidas de gran precisión cercanas a los límites alcanzados por los instrumentos más avanzados, el costo se dispersa asintóticamente.

PATRONES DE LONGITUD.

Lámparas patrón. Interferómetros. (Ver G 04.).
Bloques patrón longitudinales.
Accesorios para bloques patrón.
Columnas de bloques patrón.
Barras patrón de extremos.
Patrones cilíndricos de diámetro.
Bolas patrón.
Reglas patrón de trazos.

MEDIDORES DIRECTOS DE LONGITUD.

Reglas de trazos. Cintas métricas.
Pies de rey.
Sonda de regla.
Medidor de una coordenada horizontal.
Medidor de una coordenada vertical.
Medidor de dos coordenadas.
Medidor de tres coordenadas. MMC. Robots.
Cabezas micrométricas.
Sondas micrométricas.
Micrómetro de exteriores.
Micrómetro de interiores de dos contactos.
Micrómetro de interiores de tres contactos.
Micrómetros especiales.
Calibres de límites lisos.

COMPARADORES DE LONGITUD Y ACCESORIOS.

Comparadores mecánicos.
Comparadores neumáticos.
Comparadores electrónicos.
Comparadores ópticos.
Soportes de comparador.
Accesorios de comparadores.
Montajes multicota.
Banco verificador de comparadores.
Otros comparadores.

PATRONES ANGULARES.

Polígonos patrón.
Bloques patrón angulares.

MEDIDORES DE ANGULOS.

Transportador.
Platos divisores y/o inclinables.
Reglas y mesas de senos.
Niveles. Plomadas.
Autocolimador.

MEDIDORES DE RECTITUD, PLANITUD, ALINEACION, Y PERPENDICULARIDAD.

Reglas de rectitud, reglas biseladas, reglas de cantos, reglas de control, reglas de rectitud, reglas paralelas, regla triangular.
Escuadras de perpendicularidad, escuadras de montaje.
Cilindros de perpendicularidad.
Patrones de planitud de vidrio, calibres de cristal, calibres plano-paralelo, discointerferencial.
Mesas de planitud, mármoles, plano de referencia.
Palancas con comparador.
Anteojos de alineación.
Reglas ópticas.
Otros medidores.

MEDIDORES DE REDONDEZ.

Patrón de redondez.
Medidora de redondez.

MEDIDORES DE ROSCAS.

Patrones de micrómetro de roscas.
Calibres de límites para roscas.
Micrómetros de roscas.
Medidoras del paso de rosca.
Medidoras de diámetros de rosca.
Galgas para roscas.

MEDIDORES DE ENGRANAJES.

Pie de Rey de Engranajes.
Medidora de perfil de engranajes.
Medidora de concentricidad de engranajes.
Medidora de concentricidad de engranajes por rotadura.
Galgas y accesorios para engranajes.

MEDIDORES DE FORMAS EN GENERAL.

Perfilómetros.
Microscopios.
Proyector de perfiles.
Plantilla de formas, retículo.
Calibres de límites de formas.

MEDIDORES DE CALIDAD SUPERFICIAL.

Patrones de rugosidad.
Comparador visotáctil de rugosidad.
Microscopio de corte óptico.
Rugosímetro de palpador.
Rugosímetro interferencial.
Reflectómetro.

APARATOS TOPOGRAFICOS, GEODESICOS Y DE NAVEGACION.

Medidores de ángulos, distancias, superficies, volúmenes.
Ruedas métricas.
Taquímetros.
Planímetros.
Medidores de volumen.
Medidores de nivel.
Medidores de espesor.

CAPTADORES Y MEDIDORES GEOMETRICOS PARA TRATAMIENTO ELECTRONICO.

Captadores lineales resistivos, inductivos y capacitivos, ópticos y magnéticos.
Captadores rotativos y resistivos, inductivos, capacitivos, ópticos y magnéticos.
Niveles electrónicos.
Palpadores y detectores de contacto electrónicos.
Ordenadores. Automatas de medida. Programas.
Medidores ligados a clasificación de piezas.

VARIOS.

Muebles y estuches. Herramientas especiales.
Componentes mecánicos. Soportes. Trípodes. Uves.
Entrepuntos, etc.
Accesorios electrónicos, neumáticos, ópticos, etc.
Materiales para limpieza y mantenimiento.
Consumibles, rotuladores, gráficos, etc.
Diversos.

Tabla 2.2 Clasificación funcional de equipos de Metrología Dimensional.

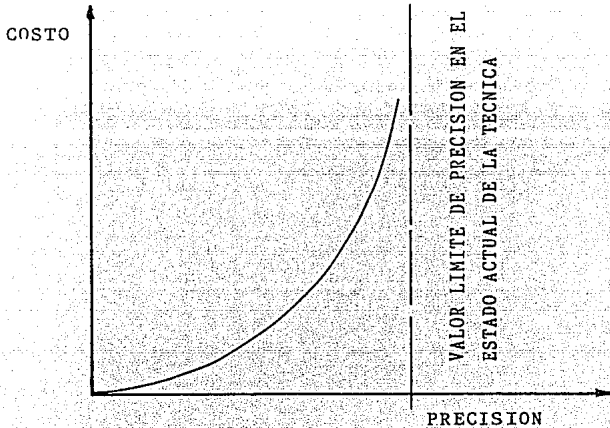


Fig. 2.1 Relación costo-precisión.

2.8 Características de un Laboratorio de Metrología Dimensional

En el ámbito de la metrología, las mediciones se pueden realizar tanto en un laboratorio primario nacional, así como en el propio taller, donde los operarios comprueban las mediciones de las piezas con instrumentos simples.

Existen dentro de esta gama diferentes centros llamados laboratorios de metrología, en los cuales se realizan mediciones de precisión y se calibran patrones empleados en el control de calidad. El empleo del término "laboratorio" está dado por las características que debe reunir. La exactitud de las mediciones está en función de las condiciones ambientales que prevalecen en el laboratorio.

2.8.1 Condiciones Constructivas y Ambientales

La construcción de un laboratorio de metrología dimensional requiere de una gran inversión, ya que debe tenerse presente que los instrumentos y maquinaria a emplear en el mismo, son de alta calidad, por tanto, no es lógico instalarlos inadecuadamente, debido a que es prácticamente imposible la

realización de importantes obras de reforma en dicho lugar, pues el polvo, la humedad y en general la suciedad producidas por éstas, pueden llegar a inutilizar el instrumental.

Las condiciones constructivas y ambientales de un laboratorio de metrología dimensional están fijadas por las siguientes condiciones:

- Por el trabajo que se va a desarrollar, estableciendo el nivel de precisión requerido.
- El acondicionamiento a mantener.
- Los instrumentos y maquinaria que se tenga previsto instalar.
- Por el número de personas que trabajarán de manera permanente en el mismo.
- Flexibilidad para que en el futuro pueda haber cambios y movimientos.

A continuación se mencionan las variables de influencia más significativas que han de tomarse en cuenta para realizar un diseño apropiado de un laboratorio de metrología dimensional.

2.8.1.1 Ubicación

Una cuidadosa elección en la ubicación del laboratorio tiene influencia directa en el costo inicial y el costo de mantenimiento, así como en el comportamiento habitual del mismo.

Si se parte de que la mejor forma de mantener ciertas condiciones determinadas, es aislarse de fuentes de calor tales como calderas y hornos, influencias atmosféricas y electromagnéticas, de fuentes de vibración cercanas, se deduce que el lugar ideal para la instalación de un laboratorio de metrología dimensional, es un sótano.

La dirección de los vientos dominantes ha de tomarse en cuenta, para evitar que humos, cenizas o partículas de polvo provenientes de chimeneas cercanas al laboratorio tengan acceso al mismo.

El sótano deberá contar con una puerta de acceso para el trabajo diario, así como, para efectos de entrada y salida de maquinaria, piezas de gran tamaño y a efectos de seguridad del personal en caso de un posible accidente, una segunda puerta localizada en el extremo opuesto a la primera que en condiciones normales permanezca herméticamente cerrada.

En caso de contar con un laboratorio con paredes al exterior, se deberán evitar al máximo las ventanas, y en caso que las haya, se procurará que estén orientadas al norte (hacia el sur en el hemisferio sur), y tendrán vidrios múltiples. Los espacios entre los vidrios deberán estar sellados herméticamente y el espacio entre ellos no deberá ser mayor de 0.02 m, además de estar protegidos con persianas o cortinas blancas, siendo preferibles los toldos blancos (véase fig. 2.2).

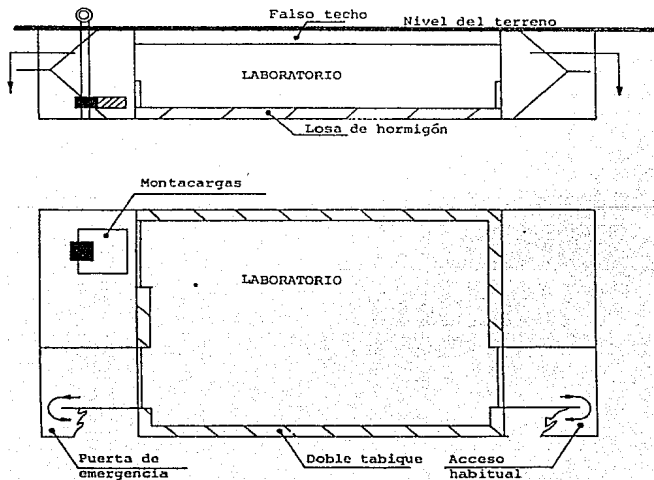


Fig. 2.2 Croquis de un Laboratorio de Metrología Dimensional.

2.8.1.2 Dimensiones

El tamaño del laboratorio de metrología dimensional depende de la naturaleza y cantidad de trabajo a desarrollar. Se aconseja una altura libre del orden de 2.5 a 3 m y una superficie mínima de 50 m², la cual es suficiente para pequeñas empresas.

A partir de esta dimensión, puede llegarse a unos 200 m² con un total de 8 personas, estableciendo un valor medio de 25 m² por persona. También debe tomarse en cuenta para el diseño del laboratorio, un área adyacente dentro del mismo, para mantener las piezas que vayan a ser medidas previniendo así influencias significativas del medio ambiente. Se recomiendan de 10 a 20 m² para esta zona (véase fig. 2.3).

Es importante controlar el número de personas permitidas en un área cuando se esté efectuando una calibración de algún instrumento, ya que por ejemplo, un bloque de calibración de 100 mm puede dilatarse 6.3×10^{-4} mm o más, debido al calor corporal de 2 o 3 personas colocadas a su alrededor.

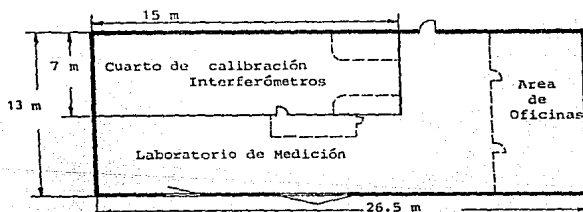


Fig. 2.3 Esquema general del Centro de Calidad de C.E. Johansson situado en Eskiltuna, Suecia.

2.8.1.3 Aislamiento

Los materiales empleados para la construcción de los muros, techo y piso deben proporcionar un aislamiento térmico adecuado.

Es recomendable disponer de doble tabique separados de 0.05 a 0.10 m en todos los muros, lo cual proporciona una gran estabilidad en la temperatura, humedad, así como la disminución de ruido a bajo costo, con una pequeña pérdida de espacio. Este hueco se puede aprovechar para colocar algún material aislante.

El techo necesita tan sólo una protección impermeabilizante contra la lluvia y una cámara de aire fácil de conseguir con un falso plafón, soporte a la vez del sistema de iluminación y de la distribución del aire

acondicionado. Este falso plafón en el techo puede aislarse térmicamente mediante una capa de fibra de vidrio o de algún material similar.

Conviene emplear en el techo materiales de calidad, para evitar el desprendimiento de partículas que contaminen el ambiente.

Mientras los dos primeros aspectos son tomados en cuenta, generalmente se ignora el piso como un elemento considerable de pérdida de calor.

Se recomienda que el piso esté cubierto con linóleo o plástico, de preferencia adherido o dispuesto como una sola pieza. Si se emplea duela de madera o tiras de materiales antes mencionados, deberán sellarse todas las uniones para reducir la acumulación de polvo y facilitar la limpieza.

El equipo en contacto directo con el piso, tiene gradientes de temperatura que afectan las mediciones, aún cuando esté soportado por bases o pedestales; una barrera térmica compuesta de fibra de vidrio cubierta con aluminio depositada en el piso bajo la máquina es benéfica.

Un local que reúna las características descritas con anterioridad, podrá mantenerse dentro de márgenes muy estrechos de acondicionamiento.

2.8.1.4 Vibraciones

Como se mencionó con anterioridad, el mejor seguro contra las vibraciones es una adecuada ubicación del laboratorio.

El piso ha de estar protegido mediante una losa de concreto de 0.25 a 0.50 m de espesor, separada en bloques menores de 2 m de ancho por bandas de madera como se ilustra en la figura 2.4.

El ejemplo de un diseño en particular en E.E.U.U., para aislar de vibraciones a los instrumentos de una planta de fabricación de engranes, el piso del laboratorio está construido de una sola losa de concreto de 0.45 a 0.60 m de espesor, rodeada lateralmente y en su parte inferior con un elastómero de 0.025 m de espesor todo soportado en una cama de arena de 0.15m. Esta cimentación ha demostrado una efectividad superior a amplitudes tan pequeñas como 0.05×10^{-3} m.

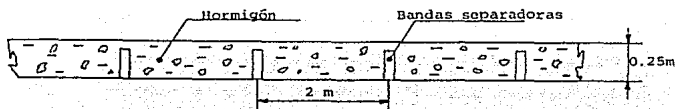


Fig. 2.4 Suelo de hormigón.

Otro diseño en particular, es el empleado por la Federal Products Inc. de E.E.U.U., cuyo diseño se muestra en la figura 2.5.

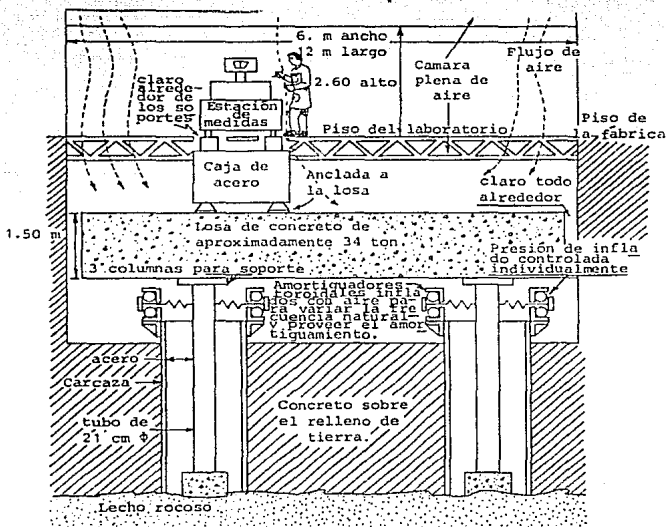


Fig. 2.5 Centro de medición de productos de precisión de la Federal Products Inc.

Independientemente del sistema que se instale en el piso como una protección global en todo el local, la mayoría de las máquinas e instrumentos de gran precisión empleados en el laboratorio, tienen incorporados sus propios sistemas antivibratorios. A pesar de ello, no debe prescindirse de una protección general.

Los instrumentos de medición montados en los muros, como los interferómetros para planitud o comparadores de nivel, están sujetos a verse afectados por la apertura y cierre de puertas no sólo las del laboratorio, sino también la de los cuartos adyacentes al mismo. Las tolerancias admisibles para la vibración dependen del tipo y del diseño del instrumento de medición.

Se deben controlar las vibraciones tanto en el plano vertical como en el horizontal, siendo las vibraciones de gran amplitud y alta frecuencia más perjudiciales que las vibraciones de baja amplitud y baja frecuencia; procurando en todo caso que la aceleración máxima de vibraciones esté comprendida entre 0.002 y 0.003g (siendo g la aceleración de la gravedad). Para una vibración continua se recomienda una aceleración de 0.001g para frecuencias cercanas a 100 Hz, y un máximo desplazamiento de 0.025 μ m para frecuencias abajo de 100 Hz. Para vibraciones intermitentes, como aquellas provenientes de pisadas, se recomienda una máxima aceleración de 0.01g.

2.3.2 Parámetros a controlar en el Laboratorio

El nivel que ocupa un laboratorio de metrología dimensional, está definido por las tolerancias de control establecidas para los diferentes parámetros a ser controlados dentro del mismo.

2.3.2.1 Temperatura

La estabilidad absoluta de las dimensiones de una pieza no están aseguradas ni aún en sustancias que aparentemente están estabilizadas como las rocas. El efecto de las variaciones de temperatura sobre el tamaño y forma de las piezas, así como también de las condiciones de unión de los ensambles son conocidos comúnmente, aunque no siempre son considerados y respetados.

Entre los efectos más importantes producidos por las variaciones de temperatura, destaca la dilatación térmica que sufren los metales y que afectan considerablemente la longitud de las piezas y partes metálicas, fundamentalmente a los patrones de longitud, es decir, los bloques patrón.

Los requerimientos esenciales para mediciones finas se pueden lograr en un local bien ventilado, libre de corrientes y fluctuaciones rápidas de temperatura. Uno de los principales problemas en un local controlado es evitar los efectos de las fuentes de calor y humedad (ganancias o pérdidas), además de las personas que son una fuente de calor que oscila entre 100 y 140 W. Existen otros factores que afectan la distribución uniforme de temperatura y humedad que son el calor generado por los propios aparatos, luces, asoleo directo, zonas con ventanales simples, equipo y mobiliario muy voluminoso que puede causar variaciones al impedir un inadecuado flujo de aire.

Como norma internacional, se fija con carácter de exclusivo la temperatura de 20 °C para todas las mediciones realizadas en el laboratorio, las cuales estarán referidas a esta temperatura. La experiencia ha mostrado que para controlar la temperatura del aire dentro del laboratorio, es necesario que éste sea introducido por una cámara cerrada localizada en el techo, alimentada por un ducto principal provisto de rejillas para dirigir el aire y distribuirlo homogéneamente en toda el área de trabajo del laboratorio, a través de rejillas localizadas en el falso plafón.

Respecto a los márgenes de variación de temperatura admisibles sobre la temperatura de referencia (20 °C), pueden aceptarse los siguientes valores:

<u>TIPO</u>	<u>CONTROL</u>
Zona de Interferometría	± 0.2
Zona de Calibración	± 1.0
Zona de Medición	± 2.0

Aunque el valor absoluto es lo importante, lo verdaderamente interesante es la uniformidad de la misma, o sea, mantener una temperatura constante o dentro de ciertas desviaciones mínimas.

Un factor de gran interés a tener en cuenta respecto al acondicionamiento térmico, es el ciclo de variación de la temperatura dentro del margen admisible, el cual ha de ser lo más largo posible, y al menos de unas 6 horas de duración (véase la fig. 2.6).

Otro punto a tomar en cuenta en el factor temperatura, es la necesidad de llevar un registro de los valores que se obtienen, así como realizar una inspección que garantice que los valores requeridos son realmente obtenidos. Estos dos criterios son de vital importancia, ya que si el laboratorio pierde durante algún tiempo sus condiciones ambientales, se puede llegar a la necesidad de invalidar las mediciones o compensar los errores debidos a la pérdida de las mismas. Paros de hasta 30 min. o variaciones de hasta 3°C pueden admitirse normalmente.

Una causa básica del error en mediciones de precisión, consiste en que la pieza a medir y el patrón de referencia no se encuentren a la misma temperatura.

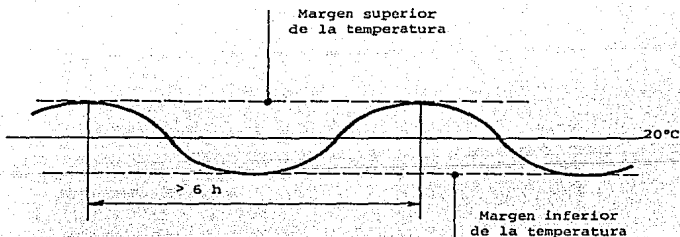


Fig. 2.6 Ciclo de variación de la temperatura.

2.8.2.2 Humedad Relativa

La interdependencia entre la humedad y la temperatura debe tomarse en cuenta cuando se establecen las condiciones ambientales requeridas en un laboratorio de metrología.

La humedad relativa en un laboratorio de metrología dimensional debe ser controlada, a fin de prevenir la oxidación de superficies ferrosas altamente pulidas, así como partes metálicas de la maquinaria de medición de bajo coeficiente de dilatación muy sensible a la oxidación.

Cabe hacer notar que la condensación del vapor de agua contenido en el aire, ocurre cuando la pieza o equipo presenta una temperatura inferior al punto de rocío del aire presente en el laboratorio.

Todo ello obliga a trabajar en un ambiente lo suficientemente seco, para que la humedad contenida en el aire no tienda a depositarse sobre las superficies metálicas.

En el laboratorio de metrología, normalmente se trabaja a la temperatura de referencia de 20 °C y una humedad relativa de $45 \pm 5 \%$, ya que, la oxidación de las piezas ocurre cuando la humedad relativa sobrepasa el 50%. Una humedad por debajo del 40 %, traería como consecuencia problemas fisiológicos y de confort para las personas que trabajan en el laboratorio, así como problemas de electrostática.

Una forma particular de corrosión atmosférica que se encuentra en el trabajo metroológico es debido a la contaminación de superficies ferrosas por el sudor de las manos. Las glándulas sudoríparas de las manos se activan principalmente por factores fisiológicos y psicológicos, viéndose también influenciadas por la humedad relativa; por ello, los valores mencionados con anterioridad de temperatura y humedad son deseables para evitar el problema del sudor de las manos.

Algunas precauciones para evitar este problema son:

- Limpiar todas las superficies de acero después de ser manipuladas.
- El contacto dactilar deberá evitarse al máximo, ya que éste resulta más corrosivo que el sudor de las palmas de las manos.

2.8.2.3 Presión

Las variaciones de presión atmosférica existentes de un lugar a otro, o en diferentes épocas del año, no tienen efectos directos sensibles sobre las piezas a medir, y por tanto puede trabajarse con cualquier valor.

La presión atmosférica y la humedad son importantes sobre todo en mediciones de tipo óptico por interferometría, donde el índice de refracción del aire se ve afectado por estas dos variables.

Es conveniente mantener el laboratorio presurizado, para no permitir la entrada de polvo a su interior, sino por el contrario, asegurar cierta fuga de aire hacia el exterior. Esta sobrepresión estática es del orden de 10 a 25 Pascales (Pa). El nivel exacto de la diferencial de presión requerida depende del movimiento del aire exterior al laboratorio.

2.3.2.4 Limpieza

El laboratorio de metrología dimensional debe ser un área lo más limpia posible, lo cual es tal vez, una de las condiciones más difíciles de conseguir, en cuanto a las especificaciones de tamaño y concentración máxima de partículas dentro del mismo.

Basándose en el principio de que resulta más fácil no introducir suciedad (fundamentalmente polvo), que eliminarla, existen una serie de sistemas y precauciones a la entrada del laboratorio, como son: la instalación de doble puerta, corriente de aire, empleo de ropa y calzado especial, etc.

Algunas de estas medidas son fáciles de adoptar, mientras que otras pueden ser complejas o de cumplimiento engorroso para el personal, por lo que no es posible recomendarlas con carácter general. Reforzando estas medidas, debe instalarse una ventilación forzada interior muy ligera, pero suficiente para arrastrar partículas de polvo y mantener una eliminación constante de las mismas. Deben eliminarse todas las partículas de tamaño superior a $1\mu\text{m}$.

Cabe considerar la prohibición de fumar dentro del laboratorio, ya que ésta viene a ser una fuente más de suciedad a través del humo y las cenizas. La práctica diaria ha demostrado que las partículas producidas por el humo del cigarro, son rápidamente eliminadas por el sistema de ventilación. En general, puede resultar más perjudicial el efecto psicológico de la prohibición de fumar en los operarios, que el de las partículas producidas. En todo caso, se recomienda fumar lo menos posible, así como la abstención total de fumar en las áreas de interferometría y de calibración.

La filtración del aire es un requisito indispensable y es una condición contribuyente a la exactitud en las mediciones. Por ejemplo, en mediciones de fracción de micra, se requiere la filtración de partículas mayores de $0.5\mu\text{m}$.

Este control puede lograrse utilizando filtros secos o de tipo viscoso en los ductos de entrada del aire y mejorarse a través de filtros de recirculación localizados en el interior del laboratorio. Adicionalmente a estos filtros comunes, puede requerirse para aplicaciones especiales el empleo de limpiadores de aire electrostáticos, capaces de remover partículas de hasta $0.001\mu\text{m}$ o de filtros de carbón activado por si el ambiente contiene olores y humos nocivos.

El trabajo experimental ha demostrado que las superficies de acero con acabado muy fino son susceptibles a la corrosión producida por el polvo depositado en éstas.

La Norma Federal Americana AFS No.209 hace referencia a varias clases de limpieza en laboratorios y talleres de inspección en relación al tamaño de partículas que pueden tener, a saber:

100	AFS	Estación de trabajo limpia (en condiciones de trabajo).
10,000	AFS	Local limpio (en condiciones de descanso o trabajo).
100,000	AFS	Local limpio (sólo en condiciones de trabajo).

La primera es de orden mayor y rige en laboratorios de calibración, en los cuales se debe monitorear continuamente para determinar el tamaño de partículas presentes en los mismos, tanto en el periodo de trabajo como el de descanso (véase fig. 2.7).

2.8.3 Otros factores a considerar en el diseño del Laboratorio

Para finalizar y de manera muy somera, se indican a continuación otros detalles que son de importancia:

2.8.3.1 Iluminación

La iluminación del área comprendida por el laboratorio ha de ser suficiente y adecuada, evitando puntos de iluminación cercanos a instrumentos por ser fuentes de calor. Los valores mínimos recomendados de iluminación para toda clase de tareas se han incrementado en los últimos años, y los valores presentes dados por la Illuminating Engineering Society (IES) para la medición de partes muy pequeñas, el intervalo va de los 300 a 2000 luxes (30 a 190 pie candela). Un valor de 800 a 1100 luxes (75 a 100 pie candela) a nivel del banco de trabajo (a una altura de 0.95 m) se considera adecuada para la mayoría de los propósitos.

El sistema de iluminación empleado debe suministrar una cantidad adecuada de luz sin causar reflejos o sombras. Las relaciones de contraste entre las áreas de trabajo y sus alrededores juegan un papel muy importante en el confort visual de los operarios, sugiriéndose máximas relaciones de contraste de:

- 3 : 1 Entre zonas de trabajo y sus alrededores.
- 10 : 1 Entre la zona de trabajo y las zonas más oscuras.
- 20 : 1 Entre fuentes luminosas o ventanas y superficies adyacentes a ellas.
- 40 : 1 En cualquier lugar dentro del campo normal de visión.

Estas relaciones de contraste son recomendadas como máximas; las reducciones de éstas generalmente son benéficas.

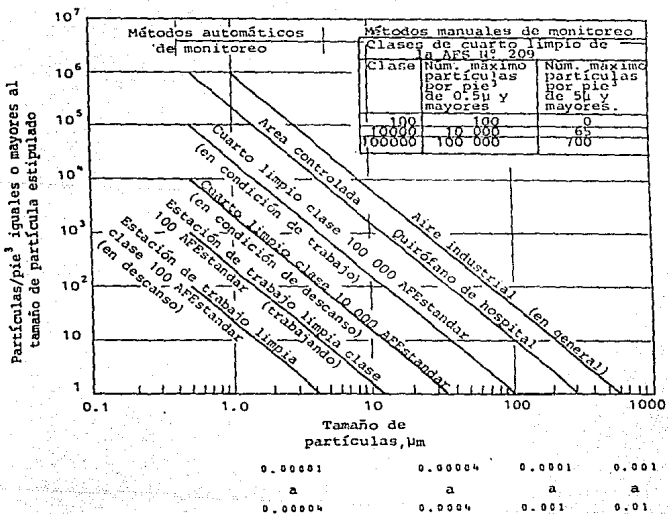


Fig. 2.7 Curvas de distribución del tamaño de partículas y cuartos limpios según la Norma Federal Americana.

Se recomienda usar "luz fría" a base de lámparas fluorescentes, debido a la iluminación sin sombras que proporciona aunado al mínimo calor que producen; por ejemplo, para alcanzar un nivel de iluminación de 1000 luxes (90 pies candela), se requieren aproximadamente 50

W/m² de energía total, de la cual sólo el 25 % es energía radiante, es decir, 12.5 W.

Hay cuatro factores que determinan la visibilidad: brillantez, tamaño, contraste y tiempo. La variación de uno de estos factores podrá afectar a uno o a todos los demás. Por ejemplo, al aumentar la brillantez, el ojo puede distinguir objetos más pequeños pero disminuye el contraste dificultando la lectura en una escala de finas graduaciones.

El color y los materiales usados para las superficies de trabajo, así como, la decoración del laboratorio juegan un papel importante en la efectividad de la iluminación, en la reducción de reflejos y psicológicamente en el bienestar del personal.

En algunas zonas para el empleo de instrumentos ópticos (mediciones por interferometría y laser), se puede disponer de cámaras cerradas en las cuales, el calor disipado por las lámparas puede ser removido por pequeños ventiladores que deberán apagarse antes de efectuar las lecturas (véase fig. 2.8).

2.8.3.2 Nivel de ruido

Mucho se ha escrito en cuanto a los efectos psicológicos dañinos que sufre un individuo al ser sometido a altos niveles de ruido sin que éste se percate de tal efecto; tal consideración hay que tenerla en mente para el diseño del laboratorio.

El tamaño del laboratorio, el grado de absorción de ruido, el ruido producido por el sistema de acondicionamiento de aire y el número de personas en el área, serán factores determinantes para los niveles de ruido bajo condiciones de trabajo. El nivel de ruido puede ser alto en ocasiones debido a actividades de trabajo normal.

El nivel de ruido ha de ser de 40 a 45 dB, y en todo caso inferior a 60 dB, siendo recomendable la instalación de un sistema de música ambiental programada.

El uso de materiales absorbentes de ruido en la superficie interior del laboratorio es recomendable para obtener un ambiente más agradable debido a la reducción de los efectos de reverberación.

2.8.3.3 Color

El uso de colores decorativos (amarillo o verde pastel)

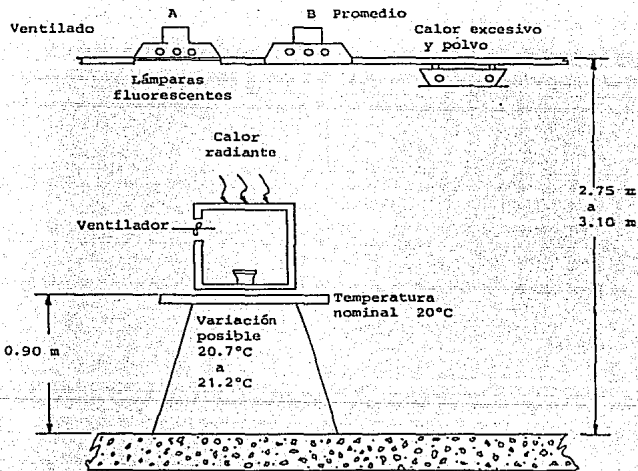


Fig. 2.8 Efecto de la iluminación por lámparas fluorescentes sobre los gradientes de temperatura.

en laboratorios mantenidos a 20 °C tienen un efecto definido en el confort y eficiencia del personal.

Para el falso techo se recomienda el color blanco o gris claro; las paredes se pintarán de color claro con pintura lavable que no desprenda partículas, sugiriéndose tonos de verde claro combinados horizontalmente, extendiendo el color más claro a mayor superficie de la parte superior de los muros.

El tráfico en el laboratorio debe evitarse al máximo y el número de veces que el personal abandone el área de trabajo para liberarse de la monotonía es un punto importante a ser considerado.

2.8.3.4 Campos eléctricos, magnéticos o gravitatorios

No es deseable que existan campos anormales de ninguna de las magnitudes anteriormente indicadas en un laboratorio de metrología dimensional, aunque su influencia no resultaría tan perjudicial como en el caso de que se tratara de una metrología eléctrica o acústica.

2.8.3.5 Estabilidad de la tensión

Algunos instrumentos metrológicos de alimentación eléctrica son susceptibles a la variación de la tensión, por lo que es conveniente contar con una red de estabilización general a la entrada del laboratorio.

Resulta práctico disponer de tomas con distintas tensiones y frecuencias, debido a que los instrumentos a emplear en el laboratorio son fabricados en diferentes países, bajo reglamentación diferente. Muchos instrumentos tienen reguladores integrados y tales variaciones en el suministro de la energía eléctrica no les afecta.

Cuando se requiere un alto grado de estabilización de tensión (mayor de 0.01%) o cuando se requiera un regulador para recuperar los transitorios dentro del intervalo de 50 a 100 microsegundos, es necesario el empleo de reguladores electrónicos especialmente diseñados en lugar de los reguladores SCR (rectificadores controlados de silicio). Con este tipo de reguladores es posible reducir el periodo de recuperación de transitorios a 50 microsegundos, considerando que la magnitud de los transitorios a la salida es aproximadamente el 5% de la tensión a la entrada.

Es necesario contar con una buena conexión a tierra, con el fin de evitar diferencias de potencial entre el chasis de los instrumentos y la tierra propiamente dicha.

2.8.4 Sistema de acondicionamiento de aire

Para lograr las especificaciones de temperatura, humedad relativa, presión y limpieza, es necesario la instalación de un sistema de acondicionamiento de aire, cuya maquinaria es bastante voluminosa y productora de ruidos, por lo que resulta indispensable situarla en un lugar independiente al laboratorio, y unido tan sólo a éste por ductos de entrada y salida de aire.

La función de una instalación de aire acondicionado, es la de mantener un ambiente dentro de las condiciones exigidas por

los usuarios, procesos o materiales que se encuentran en los espacios acondicionados. Para cumplir con esta función los fabricantes de equipo de aire acondicionado ofrecen diferentes equipos, los que utilizados en forma coordinada en una instalación, constituyen un sistema.

La evaluación de los diferentes sistemas que puedan cumplir con los requisitos fijados por las condiciones ambientales a mantener, es un paso básico e indispensable para el proyectista responsable del diseño de la instalación. Para ello, el proyectista debe estar familiarizado con las características, ventajas, desventajas y limitaciones de cada sistema. Hay que tomar en cuenta que toda detención del sistema ocasiona que la temperatura y humedad rebasen los límites permitidos, con el consecuente riesgo de sufrir daños en las superficies altamente ferrosas.

Según el medio refrigerante empleado, los sistemas de aire acondicionado se clasifican en cuatro grupos que son:

- Sistemas unitarios de expansión directa.
- Sistemas todo agua.
- Sistemas combinados agua-aire.
- Sistemas todo aire.

Los tres últimos sistemas son conocidos como sistemas centrales, debido a que el equipo de acondicionamiento de aire se encuentra ubicado en un área fuera del ambiente acondicionado y unido tan sólo a éste a través de extensos sistemas de tuberías. Una instalación puede utilizar uno o más de estos sistemas (véase fig. 2.9).

Debido a la dificultad que representa llevar permanentemente aire atmosférico a las condiciones citadas con anterioridad, se trabaja en circuito cerrado, con una pequeña reposición de aire fresco, la cual está en función del número de personas, del volumen del laboratorio y de la diferencia de temperaturas entre la atmósfera interior y exterior.

Se ha demostrado que una entrada de aire fresco libre de vapores nocivos, olores, etc., del orden de 15 a 25% del aire recirculado, es adecuado para evitar malestar en las personas. La renovación total del aire está comprendida entre 15 y 20 cambios por hora. Estos reciclados permiten tener una velocidad de circulación del aire de tal manera que mantenga la misma temperatura en distintos puntos del laboratorio.

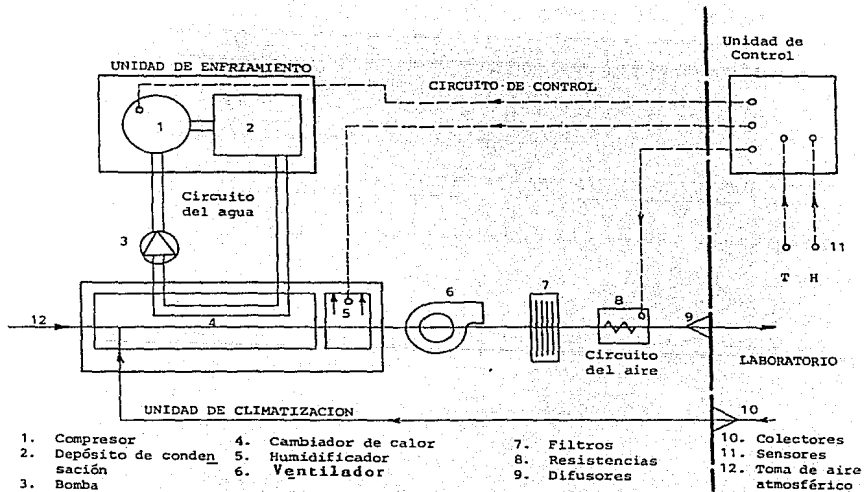


Fig. 2.9 Sistema típico de acondicionamiento de aire.

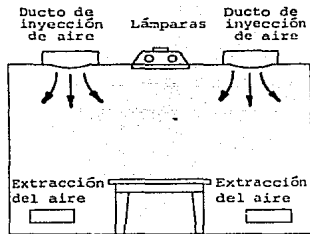
Cabe mencionar que el flujo de aire en recintos controlados se divide en dos grandes grupos:

2.8.4.1 Sistema de flujo no laminar

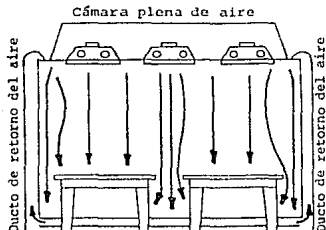
El aire se introduce a través de difusores localizados en el falso techo y se extrae por ductos cercanos al piso. Este sistema es el más común y resulta muy económico, pero no proporciona una distribución completa y uniforme del aire.

2.8.4.2 Sistema de flujo laminar

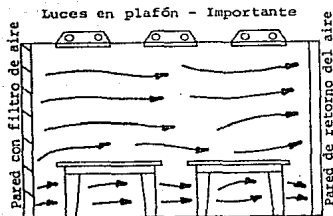
En el sistema de flujo laminar, toda una pared forma la entrada del aire y su extracción se lleva a cabo en la pared opuesta (sistema de flujo cruzado horizontal) o por



a) Laboratorio acondicionado convencionalmente.



b) Suministro de aire acondicionado y filtrado con cámara plena.



c) Patrón del flujo del aire laminar.

Fig. 2.10 Patrones de flujo de aire en recintos controlados.

el techo y el piso como entrada y salida respectivamente (sistema de flujo vertical descendente). Este último resulta ser el mejor debido a que la interferencia ocasionada por equipo y mobiliario al paso de la corriente de aire es mínima, además de mantener una ligera presión positiva (véase fig.2.10).

La velocidad del aire deberá ser compatible con el confort del personal y no deberá exceder de 15.5 m/min. Si se manejan grandes volúmenes de aire en el local, la diferencia en humedad y en temperatura entre el aire proveniente del sistema y el aire del local, debe ser pequeña. Una diferencia de hasta 1.5 °C no es percibida por lo general.

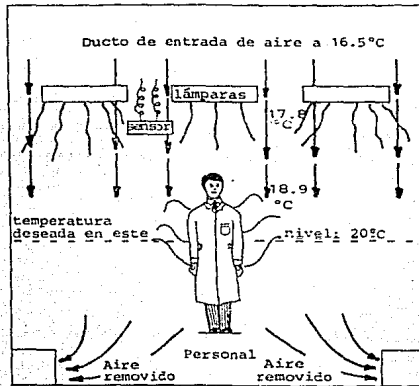
2.8.4.3 Estratificación de la temperatura

En los laboratorios de metrología, uno de los efectos más comúnmente encontrados es el de la estratificación, es decir, un gradiente de temperatura que esta en función de la altura del local, lo cual provoca por consiguiente una distorsión de los instrumentos y problemas de exactitud en las mediciones.

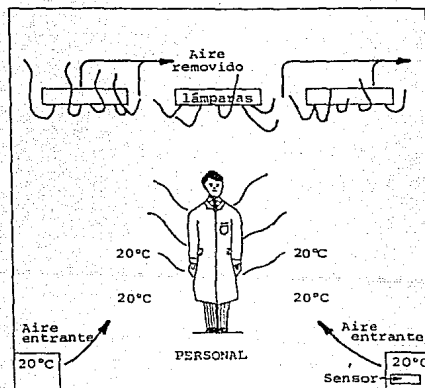
El sistema convencional de aire acondicionado de inyectar el aire por el techo y recogerlo por el piso no garantiza la movilidad del mismo por todo el local, presentándose así la estratificación. Además, el aire debe ser introducido con una temperatura inferior a 20°C, debido a que en su camino encuentra fuentes de calor (lámparas, personas, etc.). Con este tipo de sistema se puede lograr un control de hasta $\pm 1/20$ °C en un sólo nivel del laboratorio.

Por otro lado, si se invierte la dirección del flujo, esto es, si se inyecta el aire por el piso y se recoge por el techo, la estratificación se reduce hasta en un 80 % y la temperatura de inyección se mantiene cerca de 20°C con la misma unidad de control. Empresas en E.E.U.U. y en Italia, han adoptado este sistema con excelentes resultados (véase fig.2.11).

Para finalizar, en la tabla 2.3 se presentan las condiciones ambientales presentes en diferentes laboratorios de metrología.



a. Flujo de aire convencional en un laboratorio con ambiente controlado.



b. Flujo de aire invertido en un laboratorio con ambiente controlado.

Fig. 2.11 Distribución y control de la temperatura del flujo de aire.

	LAMBARO	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA	RENOVACION DE AIRE	TIPO DE AIRE	PISTO	ILUMINACION	VIBRACIONES
BUENO LABORATORIO DE CALIBRACION FEDERAL PRODUCTO S. R. C. S. R. C. S. R. C.	A= 6m L= 12m H= 2,65m	ZONA DE CALIBRACION 20 ± 0,2°C CAMBIO EN LA TEMPERATURA MENOR A 0,05°C POR HORA.	65 ± 2%	120 CAMBIOS POR HORA CON 10% DE RENOVACION PRESION POSITIVA.	LAMBARA VERTICAL DESCERDESTE PARA PLENA EN TUBO Y PISO.	MEDOS DE 1 x 10 ² y 1 x 10 ³ PARTÍCULAS/CC SUELOS DE 5 x 10 ² y 1 x 10 ³ PARTÍCULAS/CC 0,5 ppm.	800 LUXES CON LAMPARAS FLUORESCENTES.	0,125 Hz. NIVEL DE RUIDO DE 60 dB MAXIMO.
FABRICA Y LABORATORIO DE MEDICION DE BLOQUES PATRON DE SUCCIA	A= 15m L= 25,5m INCLUIDA OFICINA Y RECINTO DE CALIBRACION DE 15 x 7m	ZONA DE MEDICION 21 ± 2°C (EN LA FABRICA) ZONA DE MEDICION 20 ± 1°C (EN LABORATORIO) ZONA DE CALIBRACION 20 ± 0,2°C	50% MAXIMO	100,000 m ³ /hr CON 60% DE RENOVACION PRESION POSITIVA.	LAMBARA VERTICAL DESCERDESTE, DIFUSORES Y COLGANTES EN TUBO.	EN EL DEPARTAMENTO DE BLOQUES PATRON, 1200 PARTÍCULAS/CC ENTRE 0,3 y 10 µm, CON MEDOS DE 700 PARTÍCULAS A 1 µm.	----- LAMPARAS FLUORESCENTES.	AMPLITUD 3 µm EN FRECUENCIA HASTA 10 Hz AMPLITUD HASTA 1 µm PARA FRECUENCIAS MAS ALTAS.
RECOMENDACION PARA LABORATORIO AICC ESPAÑA.	50 A 70 m ² ALTURA 2-5 A 3 m SE RECOMIENDA AREA ADICIONAL DE 20 m ² PARA INTERFERENCIAS	ZONA DE MEDICION 20 ± 2°C ZONA DE CALIBRACION 20 ± 1°C ZONA DE INTERFERENCIAS 20 ± 0,2°C.	50% MAXIMO	20 CAMBIOS POR HORA CON 20% RENOVACION Y SOBREPRESION POSITIVA DE 12,5 a 25 Pa.	LAMBARA VERTICAL DESCERDESTE, DE PRE-FERENCIA EN TUBO Y PLENA EN TUBO Y PISO.	RETENER PARTÍCULAS HASTA DE 1 µm	800 A 1000 LUXES CON LAMPARAS FLUORESCENTES.	ACELERACION MAXIMA ENTRE 0,002 Y 0,003 g. NIVEL DE RUIDO INFERIOR A 60 dB
CENTRO DE INVESTIGACIONES UNAM MEXICO	A= 7,5 m L= 15 m H= 2,30m	ZONA DE MEDICION 20 ± 1°C ZONA DE CALIBRACION 20 ± 0,2°C (ESPERADA)	60% MAXIMO	20 CAMBIOS POR HORA 15% RENOVACION.	LAMBARA VERTICAL DESCERDESTE CON DIFUSORES EN TUBO Y COLGANTES EN TUBO.	FILTROS PARTICULAS HASTA DE 1 µm	1000 LUXES CON LAMPARAS FLUORESCENTES.	----- RUIDO INFERIOR A 60 dB.

TABLA 2.3 CONDICIONES AMBIENTALES EN DIFERENTES LABORATORIOS DE METROLOGIA

CALIBRACION DE BLOQUES PATRON

3.1 Patrones de Longitud

Los bloques patrón son bloques de acero en forma de paralelepípedo de sección rectangular o cuadrada, a través de los cuales, es posible materializar la unidad de longitud o submúltiplos de la misma, a partir de la longitud del patrón primario.

Se les denomina bloques patrón "longitudinales" para distinguirlos de los bloques patrón "angulares", que realizan misiones muy similares en el campo de la metrología angular. Se conocen también como patrones a cantos, calas o bloques Johanson, galgas plano-paralelepípedas, denominaciones que deben evitarse.

3.2 Desarrollo de los Bloques Patrón

En Suecia a finales del siglo XVIII, se introdujeron los calibres pasa-no pasa en la fabricación de rifles, para las piezas cuyo tamaño era necesario controlar. Debido a su rápido desgaste, se requirió contar con juegos separados de calibres de referencia por cada calibre de trabajo.

Para entender la necesidad de los bloques patrón, se requiere conocer sus antecedentes, comenzando con la barra construida por Christopher Polhem en 1880. Dicha barra, estaba constituida de diferentes espesores en su superficie, la cual fué fabricada originalmente en madera, y más adelante de hierro (véase fig.3.1).

Posteriormente, alrededor de 1890 Hjalmer Ellstrom, mecánico que trabajaba para una fábrica de armas sueca, construyó bloques de medición de acero con superficies paralelas, pero existía el problema de tener que mantener una gran cantidad de ellos para satisfacer todos los requerimientos de medición.

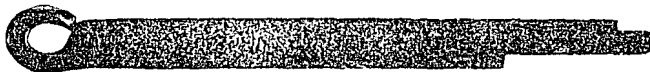


Fig. 3.1 Barras Polhem.



Fig. 3.2a Bloque calibrador de acero fabricado por Johansson; fué el primer paso hacia la elaboración del primer juego de bloques patrón.

Así en 1895, Carl Edward Johansson concibió la idea de hacer un juego de calibres maestros, que pudieran combinarse para todos los tamaños dentro de un amplio intervalo de longitudes con incrementos muy finos (véase fig. 3.2a y 3.2b). Lo llevó a cabo y fue más lejos aún, al reconocer que para que su juego de bloques tuviera un valor universal, debería calibrarse con respecto al patrón internacional. Hecho que consiguió más tarde.

El estuche original que C. E. Johanson diseñó y que también fabricó mediante el desarrollo de un proceso de lapeado especial, consistió de 102 bloques permitiendo 20,000 combinaciones diferentes de medida (véase fig. 3.3). Estos bloques encontraron buen uso en la fabricación de rifles.

Como resultado de sus esfuerzos, surgieron patrones finales--réplicas de los patrones internacionales que se convirtieron en patrones disponibles para todos los laboratorios metrológicos del mundo. Fue C. E. Johansson quien, además, propuso 20°C como la temperatura estándar para las mediciones.

En 1918, el Mayor William E. Hoke de la National Bureau of Standards (NBS), perfeccionó el desarrollo de los métodos mecánicos para el acabado superficial de los bloques, que han permitido la producción masiva de estos patrones.

3.3 Descripción y requerimientos de los Bloques Patrón

3.3.1 Materiales para su fabricación

Por varias décadas después de su invención, los bloques patrón fueron fabricados exclusivamente de acero con un alto contenido de carbono. A partir del avance de la tecnología metalúrgica, en la actualidad, los bloques patrón se fabrican de aceros duros, de carburo de tungsteno y de carburo de cromo sinterizado, con una excelente resistencia al desgaste, así como una elevada calidad superficial; aunque éstos últimos resultan sustancialmente más caros.

En la fabricación de bloques patrón, que inició la firma Sueca C.E. JOHANSSON en 1896, se emplean hasta nuestros días los siguientes materiales:

-Aceros con alto contenido de carbono, templados, revenidos y estabilizados para eliminar la austenita residual y evitar tensiones internas.

-Aceros aleados de composición similar a los aceros destinados para la fabricación de chumaceras, con los siguientes componentes:

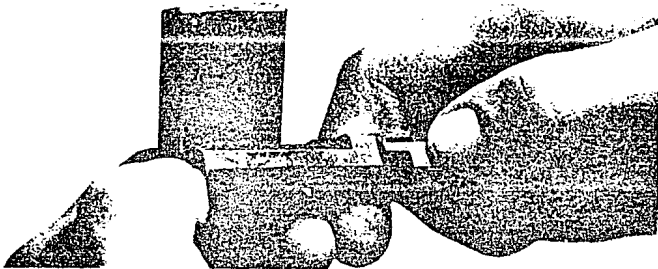


Fig. 3.2b Uso y tamaño del calibre Johansson.

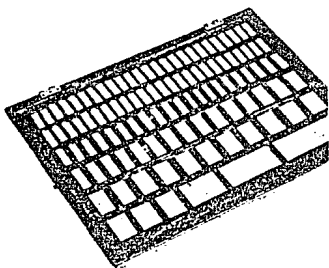


Fig. 3.3 Primer juego de Bloques Johansson.

Si = 1.5-2.0%	C = 1.0-1.4%
Cr = 0.8-1.6%	V = 0.1%
Mn = 1.0-1.2%	W = 0.5-0.7%

Se ha encontrado que esta calidad de acero posee propiedades benéficas, tales como: endurecibilidad, mínima distorsión al templado y una razonable resistencia al desgaste.

-Acero al cromo SAE 52100, cuya composición es:

Si = 0.20-0.35%	Cr = 1.30-1.60%
Mn = 0.24-0.45%	C = 0.95-1.10%
P = 0.025%	S = 0.025%

-Acero cromado superficialmente. Algunos fabricantes prolongan la vida de los bloques patrón de acero, mediante la aplicación de un cromado superficial, lo cual aumenta su resistencia al desgaste y a la corrosión.

-Acero inoxidable sin alear pero nitrurado. El uso de acero inoxidable para la fabricación de bloques asegura propiedades comparables a la aplicación del cromado superficial, con ventajas adicionales como gran dureza y una mayor estabilidad dimensional. Ciertas composiciones de aceros inoxidables, permiten un gran acabado superficial, condición de valor particular de los bloques patrón.

-Carburo de cromo sinterizado al 85% con un 15% de níquel como aglutinante; su resistencia a la corrosión llega a ser hasta diez veces superior a la del acero inoxidable. Es altamente estable y permite obtener un excelente acabado superficial.

-Carburo de tungsteno. Es altamente resistente al desgaste y a la corrosión. En aplicaciones donde el desgaste es una factor importante, el empleo de estos bloques justifica su uso.

Otros materiales se han seleccionado para la fabricación de bloques patrón, pero su uso actual es muy limitado. Así por ejemplo, se han fabricado bloques patrón de cuarzo fundido pulimentado, que admite un acabado de tipo vidrio óptico de tal manera, que la transparencia del cuarzo permite verificar el adecuado deslizamiento entre los bloques.

3.3.2 Longitud y Geometría

Para patrones de trabajo, tales como los bloques patrón, la distancia entre las superficies de calibración representa la dimensión nominal. En terminología de patrones, esta distancia se conoce como la longitud del bloque patrón (véase fig 3.4).

La longitud es la dimensión más importante del bloque patrón. La aproximación de su medida real con respecto a su valor nominal, determina la exactitud del patrón de trabajo. La longitud de un bloque patrón en un punto determinado de una de sus caras de medida, es la distancia entre este punto y una superficie plana rígida, del mismo material y acabado superficial, a la que se adhiere la otra cara de medida del bloque. La razón por la cual se define de esta forma la longitud de los bloques, es que así es como puede medirse dicha longitud en el método de máxima precisión existente, el de interferometría directa (véase fig. 3.5). Cuando se trabaja por comparación, la longitud de un bloque en un punto, es la distancia que separa dicho punto del correspondiente en la cara de medida opuesta, en la dirección perpendicular al plano que define una de éstas caras (véase fig. 3.6).

Dentro del campo de medida de 0-1000 mm, la norma francesa E11-010 (11) en su apartado 4 recomienda las longitudes nominales contenidas en la tabla 3.1. Normalmente, los bloques patrón se emplean por juegos con valores nominales determinados de entre los recomendados, de manera que permitan la formación de cualquier longitud con un cierto escalonamiento y precisión.

La tolerancia en la longitud de los bloques patrón resulta significativa, cuando las superficies de calibración cuya distancia de una a otra constituye la longitud medible, son sustancialmente planas y paralelas.

Como una regla, el valor total de los errores de planitud y paralelismo, no debe exceder el valor máximo de la tolerancia de longitud permitida, para cualquier grado particular de bloque patrón (véase tabla 3.2).

Los errores en planitud en adición al efecto potencial sobre la exactitud de la longitud, deben mantenerse a un mínimo nivel por razones tales como:

- a. Una planitud deficiente interfiere con la medición exacta de la longitud.
- b. La ausencia de planitud, puede impedir que las superficies de los bloques se adhieran por el deslizamiento de sus superficies.

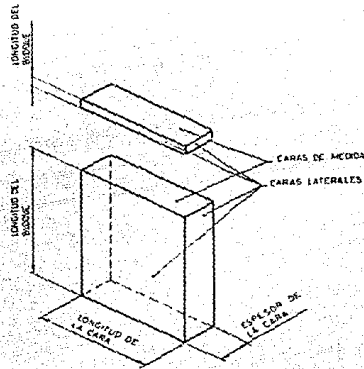


Fig. 3.4 Terminología de bloques patrón.

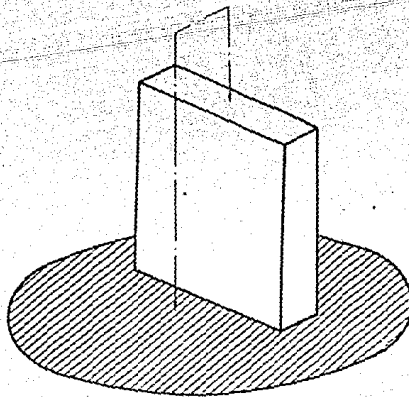


Fig. 3.5 Longitud de un bloque patrón (interferometría).

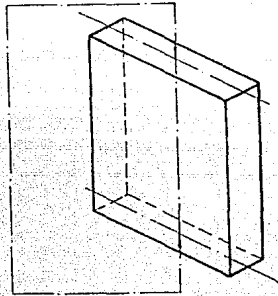


Fig. 3.6 Longitud de un bloque patrón (comparación).

LONGITUDES (mm)										Escalonamientos (mm)
0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,990	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995	0,996	0,997	0,998	0,999	0,001
1,001	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,006	1,007	1,008	1,009	—
1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	0,01
1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	
1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	
1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	
1,41	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	
1,6	1,7	1,8	1,9	—	—	—	—	—	—	0,1
2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	0,5
7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	
12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	
17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	
22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	—	—	—	
30	40	50	60	70	80	90	100	—	—	10
125	150	175	200	—	—	—	—	—	—	25
250	300	—	—	—	—	—	—	—	—	50
400	500	600	700	800	900	1000	—	—	—	100

Tabla 3.1 Longitudes nominales recomendadas para bloques patrón de hasta 1000 mm.

c. Las desviaciones de planitud por la reducción del área de contacto de la superficie, pueden acortar la vida útil del bloque patrón.

Aunque las tolerancias de planitud aplicadas al área de la superficie de calibración, omiten una zona límite de 0.5 mm para las caras laterales, el plano de dicha zona no debe estar por encima del plano de la superficie de calibración.

No obstante que las caras laterales no influyen directamente sobre la dimensión de longitud, deben mantenerse a un nivel razonable de exactitud. Este requerimiento se refiere primeramente a la perpendicularidad entre las caras de medida y las caras laterales, que no deberá exceder los 5 minutos arco para bloques patrón de 10 mm de longitud o más grandes.

Los bloques de sección rectangular, son los más universalmente empleados y se adaptan mejor en aplicaciones donde el espacio es restringido o el exceso de peso se debe evitar.

Los bloques de longitud nominal superior a 100 mm, pueden llevar dos barrenos transversales cercanos a sus extremos, para facilitar su acoplamiento.

Por lo que respecta a los bloques de sección cuadrada, estos se fabrican sobre todo en América con o sin barreno central, y aunque resultan más caros, son preferidos debido a que proporcionan una mayor adherencia, ya que cuentan con una área mayor de contacto (véase fig. 3.7).

El objetivo del barreno central en los bloques, es permitir un rápido acoplamiento mediante barras interiores de arrastre, como una seguridad adicional al acoplamiento de los mismos (véase fig. 3.8).

3.3.3 Características Superficiales

Algunas razones de gran importancia que son atribuidas a un alto grado de planitud de las superficies de calibración son:

- a. Una medición confiable de la longitud del bloque por medio de instrumentos de contacto (comparadores electrónicos), se puede ver afectada adversamente por una condición de rugosidad superficial, donde crestas de magnitud significativa se manifiestan como protuberancias sobre la superficie.
- b. Es necesario un alto grado de planitud, para proporcionar una buena superficie reflectante en la medición de longitud por interferometría (véase fig. 3.9).

Todas las dimensiones están en pulgadas

TAMAÑOS	ESTILO	DIMENSIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL	
		PROFUNDIDAD	ANCHO
Hasta 0.01	Rectangular	0.355+0.005, -0.010	0.787+0.040, -0.223
De 0.01 a 0.02	Rectangular	0.355+0.020, -0.010	1.181+0.074, -0.081
De 0.20 hasta 20	Rectangular	0.355+0.020, -0.010	1.378+0.010, -0.207
De 0.05 hasta 20	Rectangular	0.531±0.005	1.500±0.010
De 0.01 hasta 20	Cuadrado con barreno central achafalnado de 0.265 ± 0.005	0.95 ±0.01	0.95 ±0.01
De 0.01 hasta 20	Redondo	0.95 + 0.01 en diámetro	

Este tipo de bloques tiene un barreno de 0.250 in en bloques de 1 in de longitud, y dos barrenos de 0.250 in en bloques de longitud mayor a una in.

Tabla 3.2 Dimensiones de la sección transversal y tolerancias para bloques patrón.

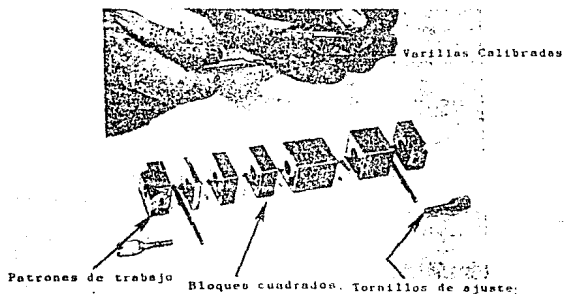


Fig. 3.7 Bloques de sección cuadrada.

Patrones de trabajo Bloques cuadrados; Tornillos de ajuste

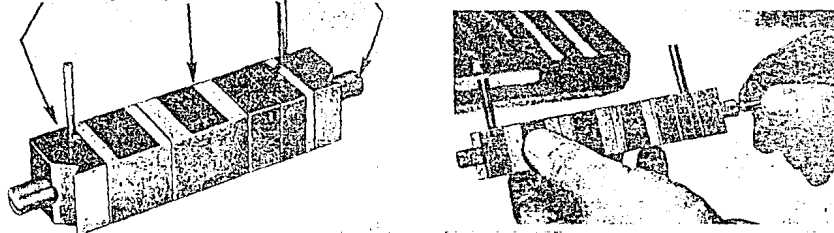


Fig. 3.8 Acoplamiento de bloques.

c. Los valores de rugosidad superficial de los bloques patrón de grado específico, superiores a los valores permisibles, disminuyen la confiabilidad de las mediciones cuando éstos son utilizados como comparadores.

d. La rugosidad superficial reduce también el deslizamiento y la resistencia de las superficies del bloque patrón causadas por el uso y la corrosión.

Aunque unos cuantos rayones de mínima profundidad pueden no afectar la exactitud del bloque patrón, es factible esperar efectos funcionales adversos, cuando el tamaño, espaciamiento y número de rayones exceda cierto nivel. La Federal Specification establece un límite máximo permisible para estas imperfecciones superficiales mostradas en la tabla 3.3.

3.3.4 Estabilidad

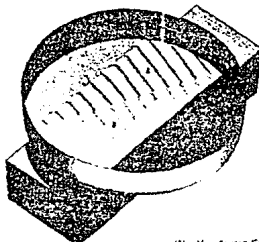
La estabilidad se refiere a la propiedad de los bloques para mantener su tamaño original con una mínima variación (generalmente crecimiento, pero puede darse el caso de reducción), resultado de la fase de transformación en los materiales metálicos. Cuando no se controla esta propiedad, los cambios en la fase de transformación pueden afectar seriamente la exactitud original de los bloques patrón.

A cada grado de precisión le corresponde una tolerancia dimensional a lo largo del tiempo, que la norma UNE 4041 especifica se comprobará mediante medidas de una muestra de bloques a lo largo de cierto tiempo, durante el cual, la temperatura de éstos permanecerá dentro del intervalo de 10 a 30 °C, encontrándose aislados de influencias externas.

La máxima variación admisible de longitud será la indicada en la tabla 3.4; el período será lo suficientemente largo, para que las posibles variaciones de longitud se distingan claramente de las variaciones imputables a las incertidumbres de las mediciones.

El factor más importante respecto a la estabilidad de los bloques patrón de acero, es la transformación muy lenta de la austenita residual en martensita, cuyo volumen específico es superior al de la austenita, lo que produce un efecto de "crecimiento" al paso del tiempo.

En algunas experiencias al respecto (durante 25 años), se ha encontrado en bloques de 25.4 mm a 101 mm de longitud, un crecimiento de hasta 0.02 μ m por año; en todos los casos se observó que la austenita retenida superaba el 10 %, que parece ser el valor a partir del cual se deja notar su influencia.



(The Van Kuren Co.)

Fig. 3.9 Superficie de un bloque patrón vista a través de un plano óptico.

PLANITUD Y PARALELISMO						RUGOSIDAD SUPERFICIAL		
Tamaño nominal en in hasta	2	4	8	20	Máximo error de medición	Cresta y valle predominante	Cresta máxima	
Tolerancia de los grados de estabilidad	0.5	1	1		1	2	0.5	
	1	2	3	3	4	1	2	0.5
	2	4	4	4	5	1	4	1.0
	3	5	5	5	6	2	4	1.0

Todas las dimensiones están en micropulgadas

Tabla 3.3 Tolerancias de planitud, paralelismo, y acabado superficial para bloques patrón.

Grados	Variación máxima admisible de longitud por año.
00	$\pm (0.02 + 0.0005 L_0)$
0	
1	$\pm (0.05 + 0.001 L_0)$
2	

(L_0 : longitud nominal en mm)

Tabla 3.4 Tolerancias de estabilidad dimensional en el tiempo (valores en μm).

Cuando el acero es templado, la austenita se transforma en martensita. Cuanto más alta sea la temperatura en el tratamiento térmico, menor será la cantidad de austenita transformada en martensita, por lo que permanece cierta austenita residual.

La martensita obtenida en este tratamiento consiste en α martensita y β martensita. Al cambiar la primera a la siguiente, que es más estable, el material se contrae.

Para alcanzar un rápido envejecimiento es tratado a 150 °C, por lo que su dureza (65 Rockwell C) no se degrada y el envejecimiento toma lugar rápidamente.

3.3.5 Coeficiente de Expansión Térmica

Existen ciertas propiedades importantes de los bloques patrón, las cuales pueden variar ampliamente dependiendo de los materiales usados en su fabricación. Algunas de estas propiedades son puramente técnicas en su naturaleza, otras - tales como el costo inicial y la vida útil - son comparadas en sus aspectos económicos. Sin embargo, existe un factor importante que no debe olvidarse nunca, debido a que está directamente relacionado con la confiabilidad de las mediciones de los bloques patrón: el coeficiente de expansión térmica.

Todos los bloques son calibrados a la temperatura de referencia de 20°C. Cuando los bloques son usados como patrones de referencia bajo condiciones donde todos los elementos de la calibración (instrumento, patrón y el espécimen) son mantenidos a esta temperatura, no debe esperarse ningún error debido al efecto de temperatura. Sin embargo, si alguno de los elementos tiene una temperatura diferente a la del patrón de referencia, su longitud cambiará por efectos de dilatación o contracción.

Los bloques patrón pueden usarse como piezas de referencia en mediciones por comparación, si los objetos a medir son sustancialmente similares en masa y forma a los bloques patrón, hechos del mismo material y de similar dureza. Bajo tales condiciones, la desviación de la temperatura de referencia es exactamente igual para los bloques patrón y el espécimen, por ende, no afectará la exactitud del comparador de calibración. En aplicaciones prácticas, éste puede ser el caso cuando piezas de acero templado son comparadas con bloques patrón de acero, a una temperatura ambiental constante.

Considerando la variedad de materiales de los bloques patrón, y también los materiales componentes de las piezas, las cuales deben ser medidas con precisión, las desviaciones de la temperatura de referencia provocarán valores diferenciales de los cambios dimensionales en la pieza de referencia y en el

objeto. Por esta razón, es obligatorio para la medición de longitudes críticas compensar la diferencia en las variaciones de longitud, debida a los valores no uniformes del coeficiente de expansión térmica. En la tabla 3.5, se muestran los valores promedio de los coeficientes de expansión térmica para diferentes materiales.

También se muestra una fórmula sencilla, la cual permite compensar los errores en la medición causados por cambios diferenciales en la temperatura. La norma UNE establece que cuando la variación de temperatura es de 10 a 30 °C, el coeficiente de expansión térmica está comprendido en los límites de $11.5 \pm 1.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Este es el coeficiente del acero, porque el acero es el metal más ampliamente usado en la industria metal-mecánica.

Para bloques de calidad superior, el fabricante debe indicar siempre el valor del coeficiente de dilatación lineal y su incertidumbre para cada juego. La medida del coeficiente de dilatación lineal de un juego de bloques de alta calidad, se efectúa con un interferómetro, fijando la temperatura en tres valores diferentes con uno o dos grados y midiendo la longitud del bloque en cada uno de ellos obteniéndose una gran precisión.

El factor de corrección de la temperatura de un bloque está basado en su coeficiente de dilatación lineal, para lo cual es necesario medir cuidadosamente la temperatura.

$$DL_t = L_{20} - L_t = L_n \alpha (20-t)$$

donde:

DL_t = Factor de corrección.

L_{20} = Longitud del bloque a 20 °C.

L_t = Longitud del bloque a la temperatura de medición (°C).

L_n = Longitud nominal del bloque.

α = Coeficiente de dilatación lineal del bloque (°C⁻¹).

t = Temperatura del bloque (°C).

De la fórmula anterior, se puede observar que no se comete un error apreciable al considerar en el segundo miembro la longitud nominal en lugar de la longitud real. Los valores de α para el acero, son del orden de $1.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

MATERIAL	COEFICIENTE $\times 10^{-6}$ mm/mm/°C
Acero para herramienta, endurecido	11.5
Acero inoxidable (410)	9.9
Carburo de tungsteno	5.4
Carburo de cromo	8.1
Cuarzo fundido	0.5
Cobre	16.9
Aluminio	23.0

Tabla 3.5 Coeficientes de expansión térmica.

3.3.6 Procesos de Fabricación

La fabricación de bloques es particularmente crítica en las últimas etapas del proceso. Las operaciones precedentes, considerando la forma singular de estos patrones de longitud, se realizan mediante métodos de maquinado convencionales. Sin embargo, el tratamiento térmico a partir del primer revenido, y a través de las etapas subsecuentes de endurecimiento, templado y relativa estabilización, son de gran importancia para la precisión final de los bloques patrón. Los procesos de tratamiento térmico, deben ser adaptados al tipo y grado particular de acero del cual son fabricados los bloques; los principales fabricantes de bloques patrón han desarrollado sus propias técnicas para obtener una mayor durabilidad y estabilidad.

Particularmente en este último aspecto, mejoramientos importantes se realizan mediante procesos de estabilización desarrollados científicamente, los cuales reducen la deformación aún en bloques muy pequeños, así como cambios dimensionales a causa de la fase de transformación del material en el templado. Los cambios dimensionales en bloques patrón aún no estabilizados pueden alcanzar unas centésimas de micra (0.025 μ m) por milímetro de longitud, durante uno o varios años, afectando gravemente la exactitud original del bloque obtenida durante su fase de fabricación.

La operación final de maquinado en la manufactura de los bloques es el lapeado. Este acabado debe revelar los siguientes parámetros críticos de los bloques patrón:

- a. Geometría de forma, particularmente la planitud y perpendicularidad de las superficies de medición.

b. La condición superficial (textura) de las caras de medición.

c. La distancia entre las superficies paralelas de medición, es decir, la "longitud" de los bloques patrón.

Antes de la operación de lapeado, los bloques son rectificadas proporcionando aproximadamente la forma y medida final, con una tolerancia dimensional de 0.01 mm. La mayor parte de los fabricantes aplica tres operaciones de lapeado; burdo, semiacabado y acabado. La remoción regular es distribuida entre estas operaciones subsiguientes en el orden de 60, 35 y 4%, dejando para el último paso de acabado 0.5 μ m aproximadamente de material para el acabado.

Se utilizan máquinas especiales de lapeado con discos de fundición tipo Mehanite (hierro fundido de grano fino) generalmente dispuestos en forma horizontal. El disco inferior llamado plato soporta los bloques mientras que el superior se coloca por encima de los mismos. Una boquilla especial, conocida como pieza de sujeción con aberturas apropiadas para retener el bloque, es colocada entre los platos. Por medio de engranes planetarios con movimientos excéntricos-rotatorios, se proporciona a los bloques una variación de velocidad y un cambio de dirección. Las variaciones de los patrones obtenidos, y el frecuente intercambio de la posición del bloque patrón, contribuye a obtener los resultados finales deseados. Otro factor de gran importancia, es la selección y cuidado del lapeado, el cual se realiza con abrasivos muy finos, suspendidos en aceites solubles especiales.

A continuación se describen los métodos empleados en la fabricación de bloques patrón en Gran Bretaña y Estados Unidos de Norteamérica:

a. En la Gran Bretaña se emplea el método N.P.L., Brookes y Sears establecieron las bases para la fabricación industrial de bloques patrón en Inglaterra.

El método consiste en preparar una barra en molde de acero, de la cual se cortan trozos que se maquinan a su tamaño aproximado y se endurecen mediante calentamiento a 760 °C y enfriamiento en agua. Se vuelven a maquinar y se calientan a baja temperatura para mejorar su estabilidad, antes de ser sometidos al esmerillado de acabado.

Los bloques se sitúan por grupos de ocho, en un plato magnético de ocho lados dejando sus caras paralelas. Para un lapeado de mayor precisión, se aplica el método de los tres platos; se montan ocho bloques sobre un plato magnético, se lapean sus caras libres y se les da la vuelta para lapear después sus caras opuestas. Mediante

un plato no magnético, a cuya superficie se adhieren los ocho bloques como se indica en la fig. 3.10a, se realiza el lapeado final; una vez trabajados de esta forma, se trasladan de posición como se indica en la fig. 3.10b, y se lapean por sus caras opuestas con lo que se logra un elevado paralelismo y un tamaño prácticamente igual en todos los bloques.

Cuando el lapeado final está casi concluido, se retiran los bloques del plato, se adhieren entre sí y se comparan con un bloque patrón mediante un comparador (por ejemplo, ocho bloques de 5mm, se comparan con uno de 40 mm). Los bloques se deben continuar lapeando tanto como sea necesario hasta lograr su tamaño final con la precisión suficiente. Con este método se asegura una elevada precisión de cada elemento.

- b. En los Estados Unidos de Norteamérica se utiliza el método Deall. De una barra de acero SAE 52100, se cortan los bloques para ser maquinados dejando un exceso de material de 0.25 mm en todas sus caras. En seguida se calientan a unos 843 °C y se enfrían a 49 °C, para volverse a calentar después durante una hora en un baño de aceite a 104°C, siguiendo con un enfriamiento mediante una corriente de aire a temperatura ambiente; la dureza mínima que se logra así es de 65 Rockwell C.

Se termina de maquinar el bloque en sus caras laterales, y se estabiliza por enfriamiento y calentamiento sucesivo un cierto número de veces; durante este proceso, los bloques se colocan en recipientes con parafina para evitar la oxidación y se enfrían a temperaturas del orden de -73 a -84 °C, en una unidad refrigeradora en seco, durante periodos variables con la longitud nominal de los bloques entre seis y diez horas, tras lo cual se retiran a la temperatura ambiente. Posteriormente los bloques se calientan a 110 °C durante tres horas en un horno de gas, para eliminar tensiones residuales.

El ciclo de enfriamiento-calentamiento se repite unas diez veces, incrementando la estructura martensítica de un 93 % a cerca del 100 %. Para la comprobación de estabilidad, un 10 % de cada lote de bloques se envía a una Oficina de Patrones. Dichos bloques se sumergen durante 24 horas en una solución de dicromato potásico (0.5-1.0 %) en ebullición, verificándose posteriormente que los bloques no han variado en su longitud más de 0.01 mm por cada 5 mm de longitud nominal, en caso contrario se rechaza todo el lote.

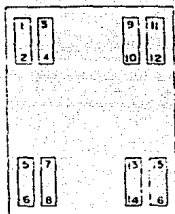


Fig. 3.10a

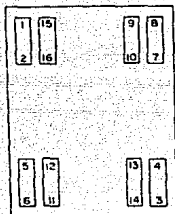


Fig. 3.10b.

Método N.P.L.

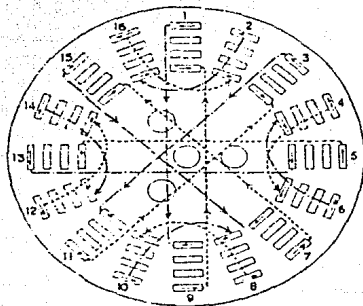


Fig. 3.11 Método DOALL.

Las caras de medida de los bloques se lapean en cuatro etapas: lapeado inicial, lapeado de semiacabado, lapeado de primer y segundo nivel. Se lapean 16 bloques al mismo tiempo en máquinas tipo Norton, en donde el disco superior flota pero no gira, en tanto que el disco inferior es accionado con un motor de velocidad variable, entre 60 y 90 rpm en el lapeado inicial y 30 rpm en el lapeado de semiacabado.

Los platos de lapeado, de fundición tipo Meehanite, se utilizan normalizados y estabilizados por grupos de tres, verificándose previamente su planitud mediante planos ópticos. El soporte de los bloques es fabricado en acero, con cuatro círculos concéntricos de alojamientos rectangulares, en 16 direcciones radialmente equidistantes como puede observarse en la fig. 3.11. Durante el lapeado inicial se eliminan unos 0.03 mm de material de las dos caras de medida de cada bloque, en doce vueltas de 30 segundos de duración cada una, dejando a los bloques con una desviación a su nominal inferior a 0.005 mm, y una rugosidad \approx 0.06 μ m. Después de cada uno de estos periodos de lapeado de 30 segundos, se cambia la posición de los bloques en el soporte asegurándose así la uniformidad de su reducción de tamaño, de acuerdo con la secuencia de la fig. 3.11.

Cada cuatro periodos de lapeado, se sacan los bloques y se dejan enfriar a temperatura ambiente colocándolos sobre una mesa de acero durante unos minutos, aprovechando para verificar la longitud de los bloques con un comparador adecuado.

En el lapeado de semiacabado se eliminan unos 0.003 mm de material y se deja a los bloques con una desviación máxima al nominal de 0.002 mm y una rugosidad \approx 0.04 μ m, en un proceso similar al lapeado inicial.

Al efectuar el primer pulido, se quitan unos 0.001 mm de material dejando el bloque con una desviación al nominal de 0.0008 mm y una rugosidad \approx 0.025 μ m. En esta fase se realiza una verificación precisa de la longitud del bloque, así como la planitud y paralelismo de sus caras de medida. Por último, el segundo pulido con un abrasivo más fino, deja al bloque terminado.

3.3.7 Características No-Dimensionales

Existen diversos parámetros y condiciones de los bloques patrón los cuales, aunque no afectan directamente la dimensión representada por los bloques, merecen atención y cuidado. Algunas de estas condiciones sólo tienen importancia en apariencia; otras pueden interferir con el uso o con el

importante pre-requisito de mantener un sistema confiable de calibración. Estas condiciones son:

- a. Apariencia. Las imperfecciones superficiales que se observan a simple vista no son deseables. Definitivamente, ninguna clase de imperfección (rebaba, protuberancias, rayaduras, etc.) puede ser tolerada sobre las superficies de calibración. Para evitar daños en las superficies de calibración, no deben tolerarse esquinas agudas; los cantos de las superficies de adherencia deben ser redondeadas uniformemente.
- b. Homogeneidad de las superficies de calibración. Los bloques patrón de carburo, fabricados mediante procesos de pulvimetalurgia, pueden tener superficies menos homogéneas que la de los bloques de acero. Una pequeña porosidad casi no afecta la longitud del bloque patrón, medida como la distancia entre los planos predominantes. Sin embargo, las imperfecciones en la superficie puede en algunos casos, provocar que las puntas de los palpadores en contacto con el bloque patrón, penetren a una profundidad mayor que la de la superficie predominante, dando como resultado falsas lecturas. Para reducir las incidencias de estas mediciones, se requiere que el diámetro, longitud o amplitud de las imperfecciones no excedan de 0.03 mm.
- c. Inscripciones de identificación. Cada bloque llevará grabado en forma legible y permanente, su longitud nominal, el nombre del fabricante y un número de serie que será común a todos los bloques de un juego en particular. Los bloques menores de 6 mm de longitud nominal irán grabados sobre una de sus caras de medida, dejando completamente libre de cualquier tipo de marcas una superficie de 9 x 12 mm en el centro de sus caras de medida. Los bloques 00, 0 y de "calibración", llevarán grabado además un número de serie. Es recomendable que los bloques de los restantes grados puedan ser también identificados.

Los bloques patrón de longitudes nominales superiores a 100 mm, llevarán marcas localizadas a $(0.211 \times L)$ mm de sus caras de medida, señalando las posiciones correctas de apoyo. En la fig. 3.12, se muestran los diferentes tipos de inscripciones en bloques patrón.

Los juegos de bloques patrón deben guardarse en estuches o cajas especialmente diseñadas, que tengan un lugar para cada uno de los bloques que lo componen, y que una vez cerradas, no exista la posibilidad de movimiento de los mismos. Las cajas pueden ser de madera o plástico, materiales blandos que no rayen las superficies de los

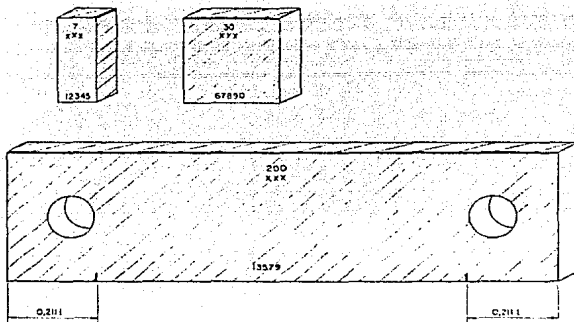


Fig. 3.12 Inscripciones en bloques patrón.

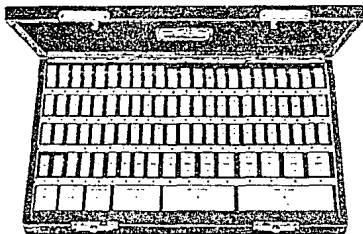


Fig. 3.13 Estuche para bloques patrón con compartimientos individuales marcados para cada bloque.

bloques, y con cierre hermético, para impedir la entrada de polvo. El valor nominal de cada bloque irá grabado frente a cada compartimiento para facilitar su localización. Asimismo, es recomendable que la caja lleve grabada además de la marca, el modelo del juego, número de serie de los bloques y calidad, así como el número de la norma respecto a la cual definen su calidad (véase fig. 3.13).

3.3.8 Adherencia

Propiedad de las caras de medida de un bloque patrón, que les permite unirse a otras superficies de planitud y calidad superficial similares, mediante fuerzas de carácter molecular.

Se han realizado diversos estudios para conocer la verdadera naturaleza de este fenómeno, el cual todavía no se ha podido explicar satisfactoriamente. Se supone que las fuerzas que actúan entre cada sólido son del tipo de cohesión molecular, junto a una fuerza de adhesión, también molecular, así como una fina capa de líquido formada por la humedad del aire. Se ha observado también que cuanto más tiempo permanecen unidos entre sí los bloques, más difícil resulta separarlos, debido a la disminución gradual del espesor de la película entre ambos, llegando a producir puntos de microsoldadura en frío, con el consiguiente deterioro de los bloques al separarlos.

El fenómeno de adherencia, fué observado por vez primera en 1870 por Whitworth, al poner en práctica el método de los tres planos ideado por él para la fabricación de superficies con elevada planitud, y posteriormente en 1875, Tyndall comprobó que la adherencia persiste aún en el vacío, lo que descarta la teoría de que este fenómeno se deba solamente a la presión atmosférica. De acuerdo con Budgett, aproximadamente un 75 % de la fuerza de adherencia se debe a la adhesión de la capa líquida y la cohesión molecular y un 25 % a la presión atmosférica.

El fenómeno de adherencia en superficies muy planas, especialmente en el caso de bloques patrón, es de fundamental importancia para obtener medidas exactas. Para conseguir una buena adherencia, las superficies deben limpiarse cuidadosamente con algún líquido desengrasante y volátil, como el éter, alcohol, etc., y un paño suave para no rayarlos. A continuación se procede a unir los dos bloques, deslizando suavemente uno sobre otro a la vez que se ejerce una cierta presión con los dedos mediante una trayectoria ondulante, para facilitar al máximo la eliminación de aire entre las caras de medida. El espesor de película de aire entre ambos bloques, cuando se han adherido correctamente, es prácticamente despreciable pues es del orden de 0.00000635 mm (0.006 μ m).

3.4 Manejo de Bloques Patrón

3.4.1 Formación de una longitud nominal

En la selección de bloques individuales necesarios para integrar por combinación una longitud específica, la manera práctica de proceder es el utilizar el menor número de piezas posibles, empezando a constituir la longitud requerida a partir de sus últimas cifras. Por ejemplo, para conformar la longitud de 182.925 mm se escoge la siguiente combinación de bloques:

- Un bloque de 1.005 mm (restando queda 181.920 mm).
- Un bloque de 1.420 mm (haciendo la diferencia resulta 180.500 mm).
- Un bloque de 0.5000 mm (por sustracción da 180.000 mm).
- Un bloque de 80.000 mm (restando deja 100.0000 mm).
- Un bloque de 100.000 mm (completa la combinación).

Tal longitud se forma, haciendo deslizar un bloque sobre otro con una ligera presión, y continuar de ésta forma hasta completarla. En la fig. 3.14, se muestran los pasos para acoplar los bloques y la longitud deseada ya integrada.

3.4.2 Accesorios

Para transferir la longitud exacta representada por una combinación específica de bloques patrón sobre un cuerpo donde tal dimensión debe ser establecida, se pueden considerar dos métodos:

- 1.-Transferencia directa. Usando bloques individuales o unos cuantos bloques acoplados.
- 2.-Transferencia con ayuda de elementos auxiliares. Los elementos auxiliares usados en la transferencia de longitud deben satisfacer los siguientes requerimientos:
 - a. Proteger la pila de bloques de caídas debidas a golpes accidentales durante su uso.
 - b. Representar la longitud original de la pila de bloques tan exacte como sea posible cuando se transfiera su dimensión.
 - c. Proporcionar los medios adecuados para transferir la longitud para diversas aplicaciones, variando las condiciones del espacio disponible y la configuración



Fig. 3.14 Pasos a seguir en el acoplamiento de bloques e integración de la longitud deseada.

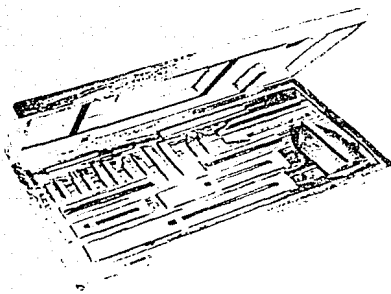


Fig. 3.15 Accesorios más comunes para bloques patrón.

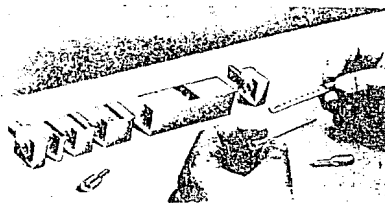


Fig. 3.16 Bloques patrón cuadrados con barreno central, ensamblados con varillas calibradas para formar una pila.

geométrica del objeto.

La fig. 3.15 muestra un juego de accesorios de uso frecuente con los bloques patrón. El juego de accesorios se selecciona de acuerdo a las aplicaciones donde se requiere una transferencia indirecta de longitudes de los bloques patrón. Un conjunto típico de accesorios debe contener los siguientes elementos :

- a. Mordazas de diferentes longitudes. Las mordazas son proporcionadas generalmente en longitudes nominales de 2.54, 5.08, 6.35, 12.7 y 15.875 mm, con todas las longitudes variables desde 41.2 mm hasta 101.6 mm. Los extremos de estas mordazas son planos de un lado y convexos por el otro. Esta última forma sirve para medir interiores de los calibres.
- b. Perfiles de sección transversal en "I", con una medida nominal de 19.05 mm y todas las longitudes de 101.6 mm a 152.4 mm. Los perfiles son útiles para el establecimiento de niveles de referencia en aplicaciones de los maestros de alturas.
- c. Trazadores. Son usados para trabajos de trazado.
- d. Puntos de centrado. Son útiles para comprobar el avance de partes roscadas; pueden usarse también para verificar el eje de posición de pequeños calibres con respecto a un plano de referencia.
- e. Bloques de pie. Son indispensables para aplicaciones donde la pila de bloques es usada como maestro de alturas, al establecer una distancia normal muy exacta a la parte superior de la placa superficial.
- f. Soportes ajustables. Son usados en conjunto con cualquiera de los accesorios mencionados, integrando con ellos y con la pila de bloques una sola unidad.

Los soportes ajustables son suministrados en diferentes longitudes. La longitud útil del soporte es determinada por la carrera del tornillo de ajuste.
- g. Varillas calibradas. Son sustituidas por los soportes en el caso de los bloques cuadrados de calibración con barrenos al centro. La fig. 3.16, muestra el uso de varillas calibradas cuyo ajuste burdo se realiza con un pequeño espaciamiento de los barrenos de la varilla y el ajuste final es hecho con el tornillo.
- h. Cantos rectos. Accesorios que no son de uso directo con los bloques patrón; son útiles en la verificación del nivel de coincidencia entre la cara extrema de la pila de

bloques y la pieza a medir.

3.4.3 Limpieza y Conservación

Los bloques patrón son muy sensibles a la oxidación y corrosión en sus caras medida, así como al rayado y marcas en su manejo, por la elevada calidad superficial de las mismas.

Para evitar en lo posible estos daños en los bloques que tienen un elevado costo, deben limpiarse siempre que se comience o se termine de trabajar con ellos.

Los métodos empleados para limpieza y desbarbado de los bloques de calibración de acuerdo al NBS se describen a continuación:

a. Tipos de bloques de calibración. Para propósitos de limpieza, los bloques de calibración se dividen en dos grupos:

- 1.-Rectangulares. Bloques sólidos de 9.52 mm (3/8") de ancho y una longitud de 28.57 mm (1 1/8") a 34.92 mm (1 3/8").
- 2.-Cuadrados (Hoke). Bloques de 24 mm (0.95") de sección transversal con un agujero taladrado y achaflanado de 9.52 mm (3/8") en el centro de la superficie de calibración.

b. Procedimientos de limpieza.

- 1.-Es recomendable utilizar un baño de limpieza compuesto de un solvente como el tricloroetileno, "varsol", freón o cualquiera de los agentes de limpieza comerciales sugeridos por los fabricantes de bloques de calibración.

En la realización de este baño, la parte inferior de los bloques deberá cubrirse con una capa de hule-neopreno para minimizar rayones y rebabas en las superficies de los bloques de calibración, originados por el contacto de metal a metal o por limaduras.

- 2.-Los bloques de calibración rectangulares, se sumergen en el baño y con un cepillo de pelo o cerdas suaves se remueve la capa de la película protectora de toda la superficie, para secarlos posteriormente con toallas libres de pelusa. Es recomendable una segunda limpieza del bloque con freón o con alcohol etílico para remover cualquier residuo remanente.
- 3.-En el caso de bloques de forma cuadrada, sus superficies exteriores se limpian de la misma manera

que la de los bloques rectangulares. El agujero que atraviesa el centro del bloque debe limpiarse y secarse completamente para prevenir escurrimientos de una película aceitosa sobre la superficie de medición y en la placa de soporte cuando se posicionan verticalmente.

c. Intervalos de limpieza.

Es conveniente volver a lavar los bloques de calibración horas antes de utilizarlos, por la formación de una película debida al medio ambiente, que puede afectar de manera adversa a los bloques durante la calibración.

d. Desbarbado de los bloques de calibración.

Los bloques de calibración pueden ser restaurados a las condiciones de uso normal después de ser dañados, utilizando tres tipos diferentes de piedra ópticamente planas para desbarbado: granito negro, Arkansas natural u óxido de aluminio sinterizado (véase fig.3.17).

- 1.-La piedra desbarbante de granito negro, se utiliza en bloques de acero cuando se desea empujar una rebaba para regresarla al área de la cual fué levantada.
- 2.-La piedra desbarbante natural de Arkansas, es una piedra blanca de grano fino empleada en bloques de acero para eliminar rebabas, mellas o rayones por el mal uso diario.
- 3.-El óxido de aluminio sinterizado, se utiliza para desbarbar los bloques patrón de acero o de carburo. Es mucho más efectivo sobre materiales duros como los carburos de tungsteno y de cromo.

3.4.4 Disminución de la exactitud de los bloques patrón

La exactitud original de los bloques patrón esta sujeta a cambios debido a tres causas principales:

- 1.-Por la inestabilidad del material del bloque patrón (acero o carburos).
- 2.-Debido al desgaste por el contacto físico con otras superficies metálicas, como la de los puntos de contacto del calibre, o por fricción durante el deslizamiento de los bloques. El desgaste es inevitable, aunque se puede controlar, ya que es consecuencia del uso regular de los bloques.

3.-Por daños a los bloques durante su manejo y almacenaje (corrosión, muestado, rayado, agrietamientos, etc.).



Fig. 3.17 Uso de piedras para restaurar los bloques patrón.

Cualquiera de estos factores puede influir para disminuir la exactitud de los bloques patrón, manifestándose con el tiempo como cambios dimensionales y de otro tipo, más allá de los límites de tolerancia de cada bloque en particular. Excepto en daños causados por el mal manejo de los bloques, estos cambios dimensionales no ocurren con frecuencia.

Las circunstancias que afectan el mantenimiento de la exactitud original de los bloques son múltiples y variadas. Ejemplos de esto son: las inherentes a la estabilidad del material del bloque, el desgaste, la frecuencia de uso, las condiciones ambientales (polvo, humedad, etc.), y quizás el factor más importante: la habilidad y el cuidado en el manejo de los bloques patrón.

Cuando un bloque se encuentra fuera de tolerancias en su calidad, puede degradarse a la calidad inferior en la que todavía cumple las especificaciones normalizadas y sustituirse por otro nuevo, para mantener el juego en la calidad original. Cuando esto suceda para el 5 o el 10% del total de bloques de un juego, lo más conveniente es degradar todo el conjunto, pues probablemente los bloques restantes no cumplan con las tolerancias en breve plazo.

Los fabricantes de bloques patrón son los únicos que pueden garantizar el éxito en la recuperación de bloques.

3.5 Fenómeno de Interferencia

Se entiende por luz a la zona "visible" del espectro electromagnético, comprendido entre las longitudes de onda de 0.4 μm para el color violeta y 0.7 μm para el color rojo. Al comportarse como un movimiento ondulatorio, la luz es capaz de producir interferencias luminosas, fenómeno que se produce cuando se superponen al menos dos trenes de ondas luminosas.

Un método óptico muy exacto para la medición de dimensiones es aquel que se basa en el principio de la interferencia de la luz. El instrumento basado en este principio se conoce como interferómetro y se utiliza para la calibración de bloques patrón y de otros patrones dimensionales.

3.5.1 Interferencia

Considerense dos conjuntos de haces luminosos ilustrados en la fig. 3.18, en la cual, se observa que ambos haces están en fase de modo que cuando se intersectan se aprecia una zona brillante en el punto s. Por el contrario, cuando los haces de luces están defasados se observa una zona oscura, razón por la cual se dice que se interfieren. Este es en esencia el principio de interferencia. El efecto de interferencia se produce al tener dos haces luminosos provenientes de una sola fuente que viajan a través de trayectorias de diferente longitud (véase la fig. 3.19).

Uno de los aspectos más importantes en la interferencia, es el efecto combinado de dos rayos de luz monocromática de igual longitud de onda, los cuales emanan de una fuente sencilla, siendo reunidos después de separarlos y hacerlos pasar sobre diferentes longitudes produciendo las franjas de interferencia.

Una manera elemental de realizar esto se basa en formar una delgadísima cuña de aire entre dos superficies ópticamente planas, una de las cuales pertenece a un cuarzo de caras planas y paralelas, y la otra es la superficie cuya planitud se quiere verificar (véase la fig. 3.20).

Al atravesar el cuarzo, una parte del rayo se refleja en la cara superior de la cuña y la otra parte lo atraviesa para reflejarse en la cara inferior de la cuña.

3.5.2 Coherencia

Se considera que la luz empleada en el fenómeno de interferencia es coherente, es decir, producida por dos fuentes que cumplan las siguientes condiciones (la primera implica la segunda):

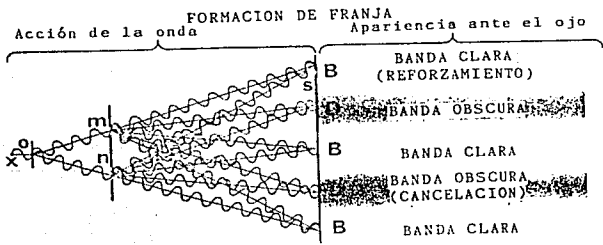
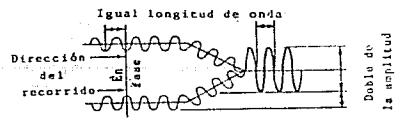
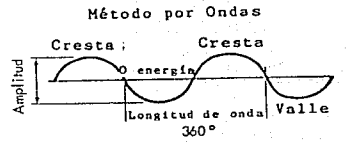
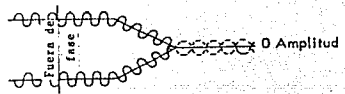


Fig. 3.18 Formación de franjas por el método alterno de reforzamiento y cancelación de ondas convergentes.



Quando se intersectan ondas de igual frecuencia, sus amplitudes se suman pero su longitud permanece igual.



Quando se intersectan ondas fuera de fase, sus amplitudes se cancelan dando como resultado una amplitud de cero.

Fig. 3.19 Interacción de ondas de igual frecuencia cuando se propagan en la misma dirección.

- a. La diferencia de fase de las dos fuentes se mantiene constante en el tiempo.
- b. Las dos fuentes emiten en la misma longitud de onda.

Ante la imposibilidad de disponer de dos fuentes reales e independientes que cumplan las condiciones de coherencia, se recurre a artificios para obtener las dos fuentes, tal como trabajar con una fuente y su imagen óptica, o bien, con dos imágenes diferentes de una misma fuente (cuña óptica), existiendo así una correspondencia de fase punto a punto en ambas fuentes, por estar relacionadas íntimamente con la original.

La coherencia se contempla bajo dos puntos de vista como se observa en la fig. 3.21.

- a. Coherencia espacial. Aún cuando la diferencia de caminos ópticos sea nula, las dos ondas proceden de puntos diferentes de la fuente.
- b. Coherencia temporal. Aunque las dos ondas procedan del mismo punto de la fuente, la diferencia de caminos ópticos no es nula.

3.5.3 Aplicación del Principio de Interferencia a las mediciones dimensionales

Consideremos que una de las dos placas paralelas esquematizadas en la fig. 3.22, es un plano óptico transparente y libre de esfuerzos, perfectamente pulida con caras planas; la otra placa tiene una superficie reflectora de metal. Los haces luminosos ac y bc, provenientes de una fuente de luz colimada adecuadamente, se proyectan en las placas, la separación (cuña de aire) entre ambas superficies es reducida, cuando el haz reflejado ac se aproxima a la posición del haz bc y si ambos haces tienen la misma longitud de onda y viajan en la misma trayectoria, se observa una zona brillante. En caso de que los haces estén defasados una banda brillante de mucho menor intensidad aparecerá (esta intensidad depende del grado de defasamiento entre ambos haces).

Cuando un haz luminoso se refleja, parte de éste penetra a través de la superficie reflectante ocasionando un cambio de fase. Esto significa que la fase del haz reflejado está ligeramente defasado con respecto al haz incidente, la cantidad de "defasamiento" puede variar de 0° a 180° ; esto varía con el ángulo de reflexión, material y con el acabado superficial del mismo.

La cuña de aire se puede medir por medio de bandas de franjas a partir de la diferencia en longitudes de dos trayectorias. En

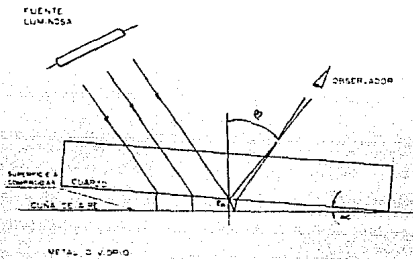


Fig. 3.20 Fundamento de la cuña de aire.

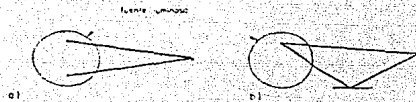


Fig. 3.21 Coherencia: a) Coherencia espacial. b) Coherencia temporal.

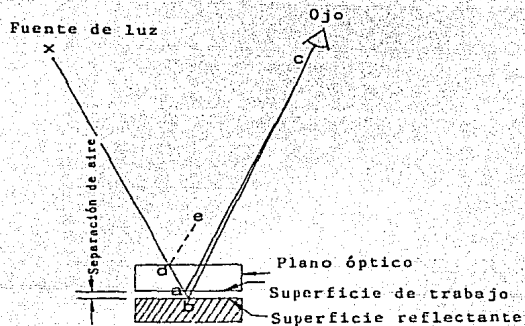


Fig. 3.22 Convergencia de dos rayos en el ojo causada por la cuña de aire.

la fig. 3.23, la trayectoria del haz de x a c por medio de la superficie R es siempre mayor que cuando esta reflejado en s .

Un cambio en el espesor de la cuña de aire resulta en una doble aproximación como cambio en la diferencia de la trayectoria. Dicho cambio en la diferencia de la trayectoria es importante ya que provoca un cambio en la relación de fases. En la fig. 3.24, las trayectorias se muestran como frentes de ondas y las ondas sencidales se utilizan para mostrar la energía de éstos. Una oscilación a la izquierda es un mínimo de energía y uno a la derecha significa un máximo de energía. Por lo explicado anteriormente, una sombra oscura acompaña a la parte izquierda de los ciclos mostrando la ausencia de luz.

En la fig. anterior, ambas trayectorias reflejadas están en fase; las fases máximas están en fase como lo están las mínimas, por lo que un observador podrá ver que al combinarse forman una franja brillante. Esto resulta a partir de la separación de la cuña de aire en $1/2$ longitud de onda.

Al reducir la cuña de aire a $1/4$ la separación de onda, la diferencia en la trayectoria cambia en $1/2$ onda. Esto causa que las dos trayectorias reflejadas se opongan una a otra; es decir, un punto de máxima energía esta opuesto a un punto de mínima energía por lo cual se cancelan, dando como resultado una franja oscura. Al disminuir la cuña de aire un $1/4$ de onda más, la diferencia en la trayectoria se vuelve cuatro medios de onda, por lo que las trayectorias se refuerzan provocando una franja brillante (véase fig. 3.25).

De la fig. anterior, se desprende que cuando la diferencia es un número par de media onda, habrá un reforzamiento de las ondas originando franjas brillantes; por otro lado, se cancelarán cuando la diferencia en la trayectoria sea un número impar de la mitad de la longitud de onda.

3.5.4 Descripción de los principales Interferómetros

Un caso muy sencillo de interferencia óptica puede ser observado con un plano óptico soportado por una superficie plana reflectante semejaando una cuña de aire, como se observa en la fig. 3.26. Cuando es iluminada normalmente por un rayo paralelo de luz monocromática, el sistema buscado es atravesado por una serie de franjas oscuras y brillantes que son rectas equidistantes y paralelas a la línea de intersección de las dos superficies planas, como se muestra en la fig. 3.27.

Este sencillo sistema óptico es la base de todos los interferómetros, y cuyo esquema óptico se observa en la fig. 3.28, y se utilizan para pruebas de exactitud de bloques patrón en lo concerniente a planitud, paralelismo y acabado superficial de sus caras y para la actualización de medidas. A

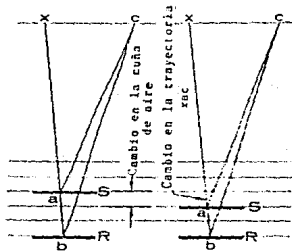


Fig. 3.23 El espacio entre S y R cambia casi al doble por la diferencia en longitud de las trayectorias xac y xbc.

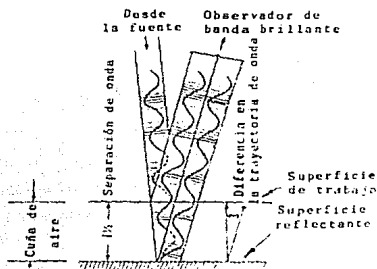


Fig. 3.24 Interacción de dos rayos reflejados ignorando cambios de fase por reflexión. Cada rayo es una línea que muestra el recorrido de las ondas frontales. La parte sombreada muestra los pulsos de energía.

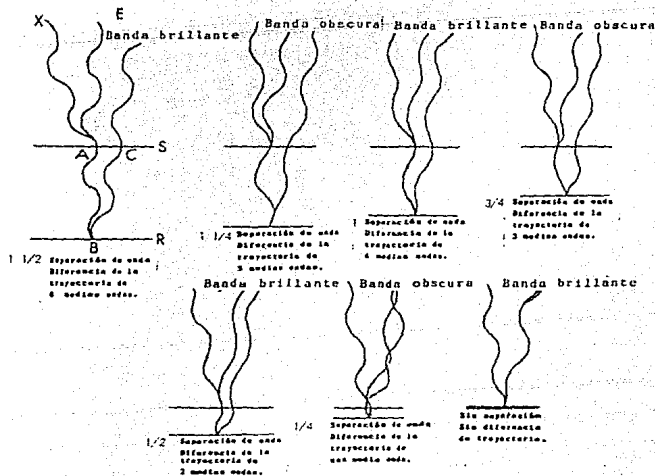


Fig. 3.25 Cambio en las bandas por la diferencia de la trayectoria en medias ondas.

Luz monocromática

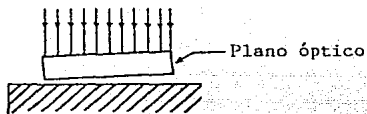


Fig. 3.26 Superficie plana reflectante semejando una cuña de aire.



Fig. 3.27 Franjas formadas entre una superficie plana reflectante y un plano óptico ligeramente inclinado.

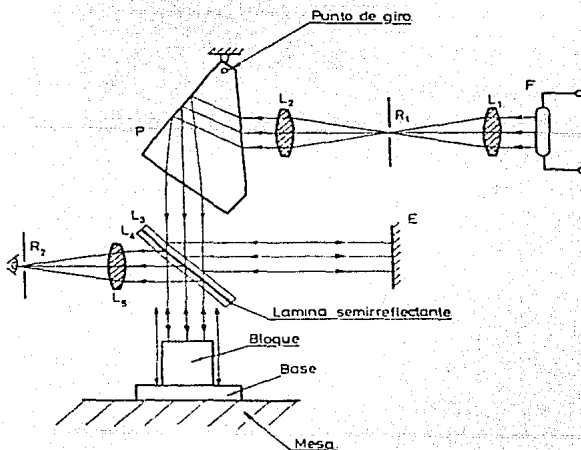


Fig. 3.28 Esquema óptico del interferómetro.

continuación se describen los principales interferómetros.

3.5.4.1 Interferómetro tipo Fizeau

En la fig. 3.29, se aprecia este instrumento diseñado por el National Physical Laboratory (NPL) de Inglaterra, para la medición de bloques patrón.

El espectro de una fuente de cadmio (líneas roja, verde, azul y violeta) atraviesan una lente condensadora L_1 y una colimadora L_2 , para pasar posteriormente a través de un prisma del que salen cada una con distinta inclinación. Al girar lentamente el prisma, se consigue que los rayos luminosos que salen verticalmente hacia abajo sean de un sólo color, obteniéndose una luz altamente monocromática.

Se puede observar que el haz de rayos monocromáticos, atraviesa una placa de vidrio ligeramente inclinada e incide sobre el bloque adherido a una base de cuarzo, generándose dos series de franjas como resultado de la interferencia de los rayos que se reflejan en la lámina de vidrio con los reflejados en la superficie superior del bloque y los reflejados en la superficie superior de la placa de cuarzo, obteniendo una imagen en la que se van a efectuar las lecturas, según la misma figura, para obtener el valor del bloque.

Los errores de medición en el interferómetro, se deben sobre todo a un pegado incorrecto del bloque y a la siguiente serie de correcciones que se señalan a continuación:

a. Corrección de longitud de onda.

Esta corrección se lleva a cabo mediante el empleo de tablas a partir de la lectura de las condiciones ambientales. Se considera que cada longitud de onda luminosa corresponde a las condiciones normalizadas de aire limpio a 20°C, a una presión de 760 mm de Hg., y una humedad relativa correspondiente a la presión parcial de 10 mm de Hg.

b. Corrección por cambio de fase.

Cuando un rayo de luz se refleja sobre vidrio o cuarzo, se produce un cambio de fase igual a π en su tren de ondas y la superficie reflectante óptica coincide con la geométrica. Sin embargo cuando el rayo se refleja sobre una superficie metálica se produce un desfaseamiento adicional con lo cual la superficie reflectante óptica se separa de la geométrica.

En este caso la corrección a realizar se muestra en la fig. 3.30, siendo:

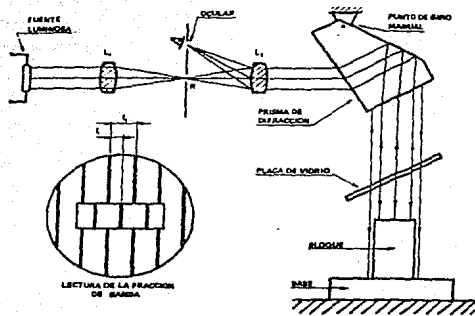


Fig. 3.29 Interferómetro tipo Fizeau.

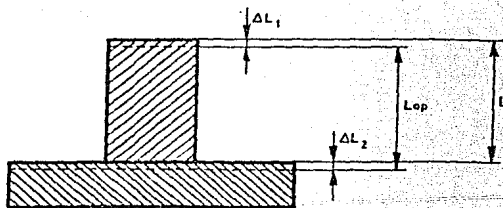


Fig. 3.30 Corrección por cambio de fase.

$$OL = L - L_{op} = OL_1 + OL_2$$

en donde:

L = Longitud real del bloque.

L_{op} = Longitud óptica del bloque.

OL_1 = Separación de las superficies real y óptica del bloque.

OL_2 = Separación de las superficies real y óptica en la base.

c. Corrección por forma de la rendija.

De acuerdo a la fig. 3.29 en el interferómetro tipo Fizeau, las rendijas de paso de la luz hacia el interior y de salida hacia el ocular, no están situadas en el mismo plano horizontal. Existe por ello un cierto ángulo entre los rayos incidentes y reflejados, que influye en la estimación de las fracciones de banda y que se corrige por la relación:

$$L / L_{op} = S^2 / 8f^2$$

en donde:

S = separación entre centros de las rendijas.

f = distancia focal de la lente colimadora L_2 .

Además, la oblicuidad de los rayos en el ocular, produce una pequeña deformación del área geométrica de la rendija ocular, directamente proporcional a esta área e inversamente proporcional a la distancia focal L_2 .

Los factores de corrección para los dos casos más comunes de rendijas de observación rectangular y circular, resultan ser:

$$\text{Rendija rectangular} \quad L / L_{op} = a^2 + b^2 / 24 f^2$$

$$\text{Rendija circular} \quad L / L_{op} = d^2 / 16 f^2$$

en donde:

a = anchura de la rendija rectangular.

b = altura de la rendija rectangular.

d = diámetro de la rendija circular.

f = distancia focal de la lente colimadora L_2 .

d. Corrección por temperatura.

Es necesario medir cuidadosamente la temperatura del bloque y aplicar el factor de corrección basado en su coeficiente de dilatación lineal:

$$\Delta L_b = L_{20} - L_t = L_n \alpha (20 - t)$$

en donde:

L_{20} = Longitud del bloque a 20°C.

L_t = Longitud del bloque a t°C.

L_n = Longitud nominal del bloque.

α = Coeficiente de dilatación lineal del bloque.

t = Temperatura del bloque.

3.5.4.2 Interferómetro tipo Michelson

Este aparato cuyo esquema constructivo se observa en la fig. 3.31, fue diseñado originalmente por Michelson y desarrollado posteriormente por el doctor Kösters y se utiliza para la medición absoluta de bloques patrón de hasta 100 mm.

La luz que procede de la fuente luminosa, pasa a través de una rendija R_1 a una lente colimadora L_1 e incide en forma de un haz de rayos paralelos sobre un prisma de dispersión análogo en todo al descrito en el interferómetro de Fizeau, y que cumple con la función de seleccionar una luz monocromática.

El haz de rayos que abandona verticalmente el prisma y llega a una lámina L_2 semireflectante en su cara superior e inclinada a 45° en la que parte del haz luminoso se refleja en su cara superior y sale horizontalmente hacia el espejo de referencia E y el resto atraviesa la lámina y sale verticalmente hacia abajo a reflejarse sobre el bloque y su base de soporte.

La otra lámina completamente transparente L_3 de idéntico material que la anterior, es un elemento compensador para que ambos haces de rayos tengan igual recorrido óptico. El primer

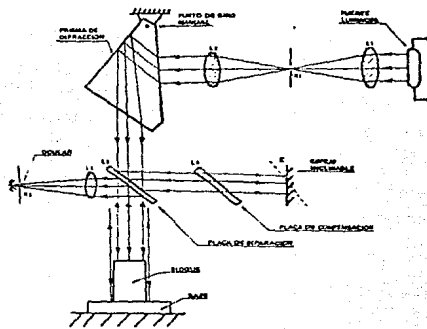


Fig. 3.31 Interferómetro tipo Michelson.

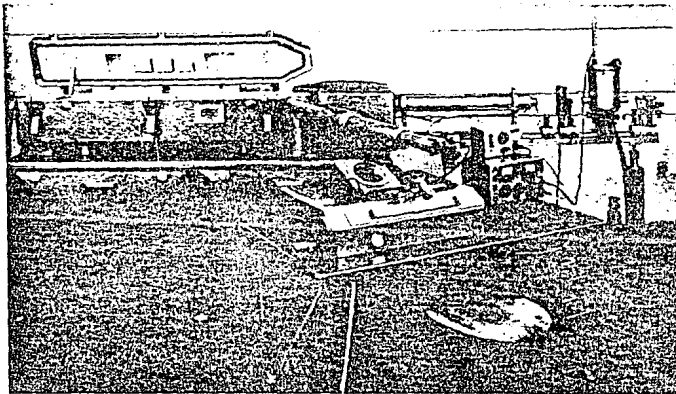


Fig. 3.32 Interferómetro tipo Kösters.

haz, se refleja en E y atraviesa de nuevo L_4 , para después atravesar L_5 y salir hacia la lente condensadora ocular L_6 ; el segundo haz, refleja parte en la cara superior del bloque y parte en la base y regresa a L_5 , atravesando la lámina para reflejar en su cara superior y salir hacia la lente L_6 junto con el primer rayo.

Si el espejo E tiene una ligerísima inclinación, se producen franjas de interferencia entre el primer haz de rayos reflejados en él y los dos haces reflejados en el bloque y la placa de base, por existir el efecto de la cuña de aire.

A la medición obtenida se le aplican los mismos cálculos y correcciones que al interferómetro tipo Fizeau. Las precisiones mejoran cuanto más pequeños son los bloques a medir, y oscilan entre $\pm 0.03 \mu\text{m}$ y $\pm 0.02 \mu\text{m}$.

Actualmente, los interferómetros de empleo más común en laboratorios de metrología, son los interferómetros de tipo Michelson.

3.3.4.3 Interferómetro tipo Kösters

Este interferómetro fue diseñado en forma exclusiva para la calibración de bloques patrón, proponiendo modificaciones fundamentales con respecto a los interferómetros antes descritos, y cuyo diagrama se muestra en la fig. 3.32.

Entre las modificaciones propuestas, figura la introducción de un laser de He-Ne como fuente de luz monocromática, de una mesa óptica de dos niveles con soporte de estabilización para evitar fluctuaciones en el patrón de interferencia, de un filtro especial para convertir el haz originado en el laser, en un frente de ondas esféricas y libre de cambios en la intensidad y de un expansor de haz.

Las exactitudes deseadas en la medición de patrones son muy elevadas. Kösters indica que para patrones de 0.5 m de longitud el error no rebasa $0.01 \mu\text{m}$.

3.3.4.4. Interferómetro tipo Laser

Como el rayo laser posee una elevada coherencia (es decir, ondas de igual frecuencia y que siempre están en fase), permite emplear una fuente laser altamente monocromática para la medida directa de desplazamientos hasta de varios metros, mediante el recuento total de las franjas de interferencia producidas en dicho desplazamiento (véase fig. 3.33).

El aparato consiste en un tubo con espejos en los extremos, uno de ellos semitransparente. Dentro del tubo va la sustancia emisora (Helio o Neón) la cual al excitarse emite ondas, que a su vez se reflejan muchas veces en los espejos para producir rayos que atraviesan el espejo semitransparente, obteniéndose de esta manera rayos de luz coherente, los cuales pueden ser modulados, produciéndose así el rayo laser.

3.6 Calibración de Bloques Patrón

Los bloques patrón de longitudes nominales de hasta 100 mm se miden en posición vertical, mientras que los de longitud superior se miden en posición horizontal y apoyados en dos puntos determinados conocidos como puntos de Airy. La razón de esta diferencia de posición estriba en que, siendo en general más sencilla la medición en posición vertical, en bloques mayores a 100 mm resulta considerable el acortamiento debido a su propio peso, que obedece a la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \gamma L^2 / 2E$$

donde:

ΔL = Acortamiento por propio peso.

L = Longitud del bloque.

γ = Peso específico del acero.

E = Módulo de Young.

En el caso de que un bloque patrón de longitud mayor a 100 mm sea sostenido en posición horizontal, éste se dobla por su propio peso como sigue:

$$\Delta l_x = 0.00000115 L^2 W^2 / E^2 I^2$$

donde:

Δl_x = Deformación del bloque patrón.

L = Longitud del bloque patrón.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia alrededor del eje horizontal.

W = Masa por unidad de longitud.

(Véase fig. 3.34 y Tabla 3.6)

Se recomienda sostener el bloque en los puntos de Airy que están a 0.211 L de distancia de ambos extremos. Las posiciones de soporte están marcadas en los bloques patrón, como se observa en la fig. 3.35.

Los puntos Airy en un instrumento de medición tal como un bloque de calibración, están ubicados de tal manera, que los extremos queden paralelos. Los puntos de sostén están determinados por la fórmula siguiente:

$$d = L / \sqrt{N^2 - 1}$$

Con dos puntos de apoyo, $d = 0.5774 L$. Es decir, la distancia entre cada uno de los extremos y el punto de apoyo debe ser 0.211 como se aprecia en la fig. 3.35.

3.6.1 Inspección de Bloques Patrón

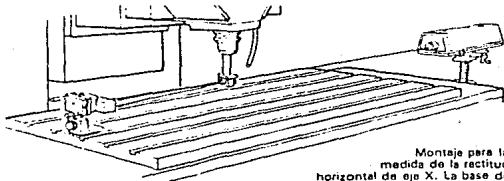
Considerando la gran importancia de obtener una confiable exactitud en la calibración de bloques patrón, se debe seguir un riguroso orden. La calibración de bloques patrón comprende los siguientes pasos, los cuales no necesariamente seguirán la secuencia del listado, en la medición de longitudes de dimensión significativa.

1.-Preparación, generalmente consiste en:

a. Limpieza, actualmente se realiza con ultrasonido, auxiliado con baños de solvente.

b. Igualación y estabilización de la temperatura por contacto de los bloques con una placa mojada (conocida también como pila caliente), durante un tiempo apropiado. El propósito de esto es eliminar prácticamente las diferencias de temperatura entre los patrones y los bloques que se van a verificar.

2.-Inspección Visual. Consiste en la detección directa de rayones, muescas e imperfecciones, causadas durante el manejo y uso de los bloques. La inspección se realiza comúnmente con la ayuda de una lupa, pero cuando existen dudas respecto a la condición de las superficies de calibración, la rugosidad o marcas profundas pueden verificarse por medio de trazadores de alta sensibilidad. La inspección visual comprenderá también la condición de los extremos. Las rebabas son particularmente perjudiciales para el funcionamiento adecuado de los



Montaje para la medida de la rectitud horizontal de eje X. La base de montaje del reflector de rectitud simplifica el alineamiento, y permite la rotación del reflector de 90° para medidas de rectitud vertical.

Fig. 3.33 Interferómetro tipo Laser.

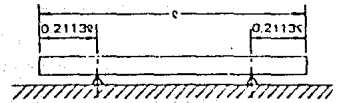


Fig. 3.34 Soporte de los puntos Airy.

	Deformación	Deformación en ambos extremos por vuelciento (Inclinación)	
		Centro	
Puntos Airy	35 mm, cara vertical	0.000016	0
	9 mm, cara vertical	0.004	0
Ambos extremos	35mm, cara vertical	0.0065	10.4
	9mm, cara vertical	0.15	44.6

Tabla 3.6 Deformación de un bloque patrón de 1000 mm por su propio peso, en el tiempo que es sostenido horizontalmente (μm).

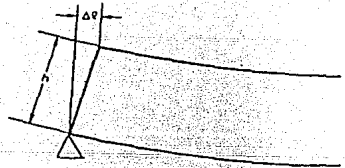


Fig. 3.35 Soporte en ambos extremos.

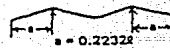
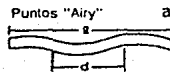


Fig. 3.36 Distancia entre los extremos y el punto de apoyo.

bloques y pueden causar daños a los otros bloques cuando son acoplados. Las rebabas pequeñas es posible removerlas mediante el uso de piedras desbarbantes.

- 3.-Inspección de la geometría del bloque patrón. Dos importantes parámetros requieren ser inspeccionados durante la recalibración: planitud y paralelismo.

Planitud. La mejor forma de verificar este parámetro es utilizando un plano óptico bajo una luz monocromática. Las desviaciones de la luz de interferencia en la rectitud de las bandas indican defectos de planitud. La extensión de la deflexión, evaluada en el ancho de la franja o en fracciones de ella, debe compararse con las tolerancias para errores de planitud.

Paralelismo. Se puede verificar mediante el uso de un par de planos ópticos y con la ayuda de un bloque patrón que tenga una medida nominal igual a la del bloque a verificar. El paralelismo del patrón se considera aceptable, cuando esta dentro de las tolerancias especificadas. La inspección considera varios pasos y se requiere una gran habilidad para su realización. El paralelismo puede verificarse conjuntamente con la inspección dimensional de un comparador, cuando se toman varias longitudes medidas a través de la superficie de calibración del bloque; las diferencias graduales en las dimensiones medidas son indicadores del error de paralelismo.

- 4.-Prueba funcional. Verificando la calidad de adherencia. La capacidad de los bloques patrón para ser adheridos sin una separación significativa, y la forma de integrar una longitud conocida, es una de las propiedades básicas en las cuales descansan muchos de los usos de estos patrones.

Una prueba más confiable consiste en el deslizamiento de un bloque limpio sobre un plano óptico, inspeccionando la superficie de adherencia mediante un colorante, el cual indica una capa de aire, cuya área no debe exceder del 5% de la superficie de adherencia del bloque patrón.

3.6.2 Métodos de Calibración

Las precisiones y métodos de medida, se establecen en función de la calidad de los bloques, los cuales se calibran por dos procesos diferentes como se observa en la tabla 3.7

Calidades	Incertidumbre de medida	Métodos
00	$\pm (0.05 + 0.0002 l)$	Interferometria
0 *	$\pm (0.10 \pm 0.0003 l)$	Interferometria
1	$\pm (0.15 \pm 0.00045 l)$	Comparación
2	$\pm (0.30 \pm 0.0007 l)$	Comparación

Tabla 3.7 Precisiones en bloques patrón.

* Algunos autores consideran que los bloques de calidad 0 se calibran por interferometria sólo de manera excepcional y los ubican en los métodos por comparación.

3.6.2.1 Calibración Interferométrica

Mediante este método se calibran bloques de calidad 00, y en todo caso los de calidad 0, por otra parte, cuando la inspección de bloques patrón se realiza por el método de interferencia, proporciona las siguientes ventajas:

- 1.- Confiable exactitud.
- 2.- Sensitividad de 25.4µm o mayor.
- 3.- Versatilidad que permite inspeccionar :
 - a. Planitud.
 - b. Paralelismo.
 - c. Acabado superficial.

A continuación se describe el proceso de calibración interferométrica:

El bloque se adhiere a una base plana de vidrio como se aprecia en la fig. 3.37, y se procede a medir la cara de la base de vidrio unida a su cara inferior, por medio del método de los excedentes fraccionarios en un interferómetro, a partir de varias líneas o longitudes de onda de una fuente de luz monocromática.

El resultado debe corregirse posteriormente y ser referido a las condiciones normalizadas, por efecto de la temperatura, índice de refracción, rendija de observación y cambio de fase en la reflexión de la luz.

Al observar el espectro de franjas de interferencia en la longitud de onda en que resulte más luminosa, se puede deducir también la planitud de la cara superior del bloque y su paralelismo con la inferior.

Es conveniente que la medida se efectúe por ambas caras del bloque, a las cuales se denominará como cara A y cara B, de acuerdo con el criterio señalado en la fig. 3.38.

La calibración interferométrica debe realizarse en una sala de medición que debe estar acondicionada a 20 ± 0.2 °C.

Es aconsejable tener un sistema de cálculo automatizado, así como criterios de rechazo a superar por los resultados de medición.

3.6.2.1.1 Criterios de rechazo en la medida de los bloques patrón por interferometría.

Las desviaciones admisibles al valor nominal, en función de la calidad de los bloques son:

$$00 \text{ D} = \pm (0.05 + 0.001 \text{ L})$$

$$0 \text{ D} = \pm (0.10 + 0.002 \text{ L})$$

donde:

L = longitud nominal (mm).

D = desviación admisible (μm).

Primer rechazo (condición 1): La diferencia entre las temperaturas totales, inicial y final, es superior a cinco centésimas de grado centígrado:

$$|t_1 - t_2| \leq 0.05 \quad \text{Aceptación}$$

$$|t_1 - t_2| > 0.05 \quad \text{Rechazo}$$

Segundo rechazo (condición 2): La diferencia entre la temperatura media final y la de referencia, es más de dos décimas de grado centígrado.

$$|t_m - 20| \leq 0.2 \quad \text{Aceptación}$$

$$|t_m - 20| > 0.2 \quad \text{Rechazo}$$

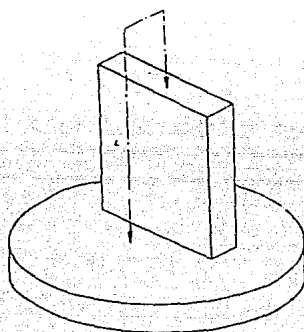


Fig. 3.37 Adherencia del bloque a una base plana de vidrio.

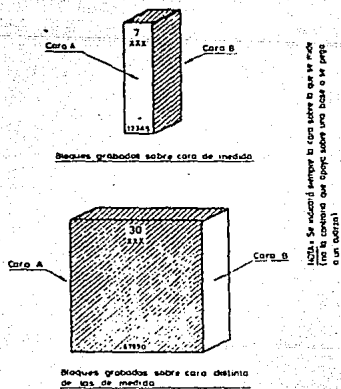


Fig. 3.38 Identificación de las dos caras de medida.

3.6.2.1.2 Método de los Excedentes Fraccionarios

El conjunto de los dos espejos E_1 y E_2 a la distancia I del esquema de la fig. 3.39, queda materializado en la medición por el conjunto del bloque unido al plano patrón, según lo indica la fig. 3.40, con lo que I pasa a ser la longitud real del bloque.

El interferómetro no mide en realidad la longitud I , sino que a partir de una longitud aproximada L , llamada nominal, mide la corrección C_1 que se introduce en L para tener la longitud real I del bloque patrón. El proceso de medición es el siguiente:

- 1.- Medir el bloque con algún medio auxiliar, obteniendo la longitud nominal L con aproximación $I - L = C_1 \pm 3\mu\text{m}$
- 2.- Calcular el número entero N de $\tau/2$ que contiene L así como el excedente fraccionario (F) para las diferentes radiaciones de medida, obteniéndose:

$$L = (N + F) \tau / 2$$

- 3.- Se miden en el interferómetro los excedentes fraccionarios f , (desplazamiento entre los dos sistemas de franjas, de acuerdo a la fig. 3.41) en las distintas radiaciones de trabajo teniendo $L = (n+f) \tau/2$, de este proceso se deduce:

$$C_1 = I - L = [(n - N) + (f - F)] \tau / 2$$

$$\text{si } (n - N) = O_n \text{ y } (f - F) = O_f \text{ queda}$$

$$C_1 = (O_n + O_f) \tau / 2$$

en la cual se desconoce el número de O_n de $\tau/2$ contenidos en C_1 , pero se conoce el excedente fraccionario O_f pues f ha sido medido y F calculado. Al analizar la expresión y como la longitud C_1 es constante, al variar la unidad de medida $\tau/2$ los dos sumandos variarán y se irán obteniendo unas determinadas parejas O_n y O_f que serán únicas para cada radiación, por lo que resulta evidente que la serie de valores conocidos O_f determinan el valor de la corrección C_1 :

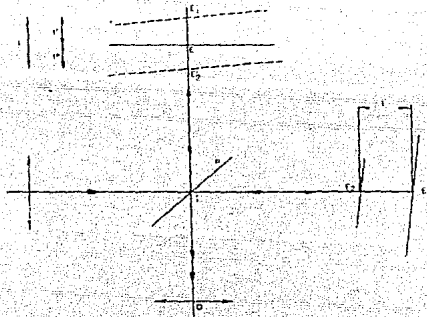


Fig. 3.39 Doble cuña de aire.

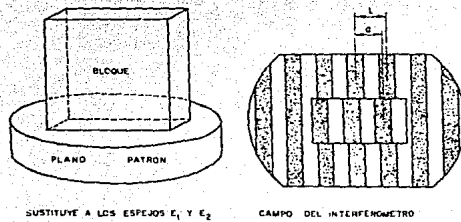


Fig. 3.40 Bloque unido al plano patrón.

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= f(\tau_1 / 2) \\ C_2 &= f(\tau_2 / 2) \\ C_3 &= f(\tau_3 / 2) \end{aligned} \right\} C_i$$

De esta manera, el valor de C_i se encuentra solo con estos excedentes fraccionarios.

Los excedentes fraccionarios se leen en el interferómetro con una precisión de $1/10$ de $\tau / 2$, lo que proporciona una incertidumbre en el valor de C_i del orden de $\tau / 20 \approx 0.025 \mu\text{m}$. A la corrección por longitud de C_i habrá que añadir las de dilatación, longitud de onda, contacto vidrio - acero, etc., que el interferómetro facilita para obtener el valor real de un bloque patrón a 20°C . El mismo interferómetro completa el proceso de calibración, midiendo la planitud y el paralelismo entre las caras.

3.6.2.1.3 Pruebas de planitud y paralelismo de las caras de los bloques patrón.

La aplicación específica de los interferómetros, es la medición de la longitud de bloques patrón de alta precisión.

El diagrama esquemático de un interferómetro armado en el N.P.L. en Teddington en 1921, para inspeccionar la planitud y el paralelismo de las caras de bloques calibrados, se observa en la fig. 3.29. La fuente de iluminación en este aparato es vapor de mercurio. La luz de la lámpara, después de ser concentrada en una rendija, es suministrada en paralelo por medio de un lente colimador e ilumina el bloque, esto es, cruzando hacia la placa base. Se forman franjas sobre la superficie del bloque, y sobre la placa base por medio de un plano óptico soportado sólo sobre la superficie del bloque. Si la superficie del bloque es perfectamente plana, las franjas serán totalmente rectas y equidistantes como se observa en la fig. 3.42. Si la cara del bloque no es plana aunque sea sólo $25.4 \mu\text{m}$ se revela por un arqueamiento de las franjas, como se muestra en las partes C y D de la figura anterior. El error de planitud de la superficie del bloque, puede estimarse fácilmente por medio de la cantidad de curvatura de las franjas en términos de su espaciamiento, el cual representa una escala aproximadamente de 0.00254 mm .

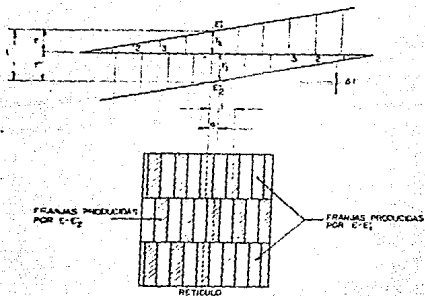


Fig. 3.41 Método de los Excedentes Fraccionarios.

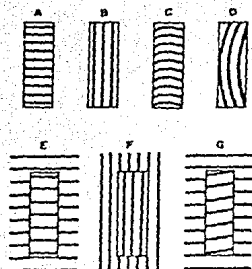


Fig. 3.42 Franjas de interferencia formadas sobre las superficies del bloque y la placa base.

El paralelismo entre las dos superficies del bloque, es examinado por anotación del grado de paralelismo entre dos juegos de franjas, uno formado sobre la superficie del bloque, y el otro sobre la superficie circundante de la placa base, como se observa en los diagramas E y F de la figura anterior; el diagrama G muestra el caso de un bloque, el cual tiene un defecto de paralelismo entre sus caras, contando a partir de la tercera franja, de aproximadamente 0.08 μm .

3.6.2.2 Calibración por Comparación

Es la medida que normalmente se aplica a los bloques de calidad 0 por comparación con los bloques calidad 00, y a los bloques de calidades 1 y 2 por comparación con bloques calidad 0.

Para bloques de hasta 100 mm, se emplean comparadores electrónicos de muy alta amplificación, con una o dos cabezas de medida, como se observa en la fig. 3.43.

En este método, los dos bloques de longitud nominal igual y calidades diferentes, se colocan sobre una mesa de rodillos guiados por una plantilla, que facilita la colocación en las diferentes posiciones de medida, y mediante un dispositivo mecánico o neumático se efectúa el contacto de los dos palpadores con las dos caras de medida del bloque. Es importante que el palpador superior tenga una fuerza algo mayor que el inferior, con el fin de que los bloques estén siempre bien apoyados sobre los rodillos.

Las señales de salida de ambos palpadores al lector electrónico son conectados en posición diferencial, de tal manera que las lecturas de la escala son las diferencias de distancia entre los dos palpadores, cuando se apoyan sobre cada uno de los bloques.

Normalmente la medida se realiza en cinco puntos para cada una de las dos posiciones posibles del bloque, desplazándolo mediante la plantilla para hacer contacto en el centro de las caras y en cuatro puntos cercanos a sus esquinas. En el bloque que actúa como referencia, que es el de mayor calidad, el contacto se realiza en su centro, ya que al principio, es el punto que mejor define la longitud del bloque.

En la fig. 3.44, se muestran en forma esquemática las posiciones de contacto de los palpadores en las diez medidas que en total han de realizarse en cada pareja de bloques para su comparación.

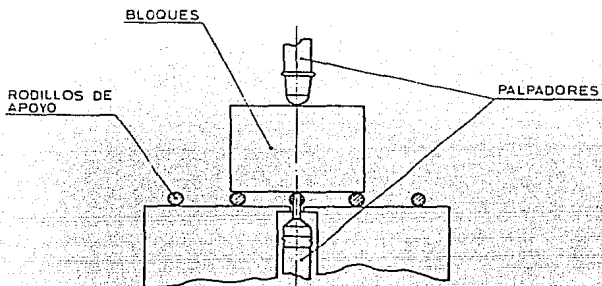


Fig. 3.43 Comparador electrónico de doble palpador.

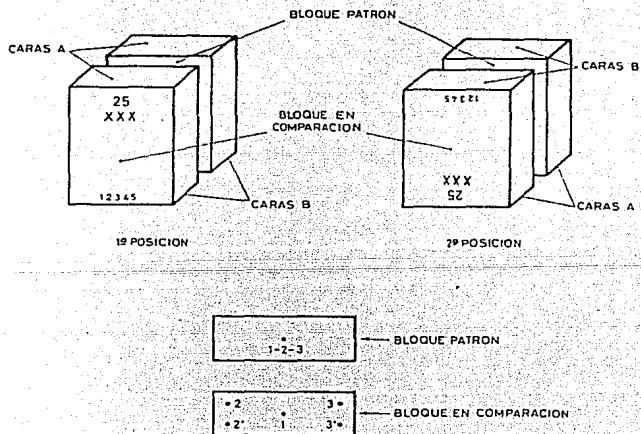


Fig. 3.44 Posiciones de contacto en la comparación de bloques patrón.

Los bloques de calidad 1 y 2 se comparan con respecto a bloques de calidad 0, mediante comparadores de un sólo palpador, con amplificación mecánica ó electrónica que proporcione la precisión suficiente. A continuación se anexa el formato del informe de calibración de bloques patrón del Laboratorio de Metrología del CI.

3.4.2.2.1 Factores principales de influencia en la comparación de bloques patrón

En el caso particular de la comparación de bloques patrón, los factores de mayor importancia, son: temperatura ambiental, la forma de las cabezas palpadoras y la fuerza de contacto entre el palpador y bloque.

a. Temperatura ambiental.

Si no fueran similares los materiales de ambos bloques (lo que se debe evitar), es necesario introducir la siguiente corrección, debida a la diferencia de coeficientes de dilatación:

$$D_a = L_0 (\alpha_0 - \alpha) (20 - T)$$

donde:

L_0 = Longitud nominal de los bloques.

α_0 = Coeficiente de dilatación lineal del bloque de mayor calidad.

α = Coeficiente de dilatación lineal del bloque de menor calidad.

T = Temperatura de la comparación.

Para este tipo de medidas, se recomienda que la temperatura sea de 20 ± 1 °C, con una estabilidad en el transcurso del tiempo mejor de 0.3 a 0.5° C / hora. Debe trabajarse en un ambiente lo suficientemente limpio y sin vibraciones importantes.

b. Forma y naturaleza de los materiales en contacto.

Con respecto a la forma, las cabezas palpadoras en la zona de contacto con la cara plana de medida del bloque, son esféricas con diferentes valores de radio, como se observa en la fig. 3.45.

En un contacto esfera-plano, con fuerza de contacto F , se tiene una deformación que sigue aproximadamente la ley de Hertz (*):

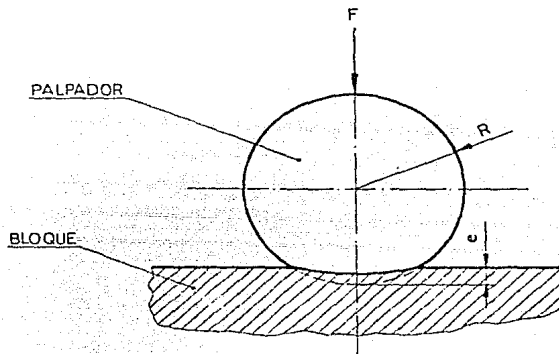


Fig. 3.45 Deformación en el contacto esfera plano.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Longitud nominal (mm)		Desviaciones al nominal y diferencias de longitud máximas admisibles (µm)							
		Grado 00		Grado 0		Grado 1		Grado 2	
Más de	Hasta inclusivo	Desviaciones	Diferencias	Desviaciones	Diferencias	Desviaciones	Diferencias	Desviaciones	Diferencias
—	10	± 0,06	0,05	± 0,12	0,10	± 0,20	0,15	± 0,45	0,30
10	25	± 0,07	0,05	± 0,14	0,10	± 0,30	0,16	± 0,60	0,30
25	50	± 0,10	0,06	± 0,20	0,10	± 0,40	0,18	± 0,80	0,30
50	75	± 0,12	0,06	± 0,25	0,12	± 0,50	0,18	± 1,00	0,35
75	100	± 0,14	0,07	± 0,30	0,12	± 0,60	0,20	± 1,20	0,35
100	150	± 0,20	0,08	± 0,40	0,14	± 0,80	0,20	± 1,60	0,40
150	200	± 0,25	0,09	± 0,50	0,16	± 1,00	0,25	± 2,00	0,40
200	250	± 0,30	0,10	± 0,60	0,16	± 1,20	0,25	± 2,40	0,45
250	300	± 0,35	0,10	± 0,70	0,18	± 1,50	0,25	± 2,80	0,50
300	400	± 0,45	0,12	± 0,90	0,20	± 1,80	0,30	± 3,60	0,50
400	500	± 0,50	0,14	± 1,10	0,25	± 2,20	0,35	± 4,40	0,60
500	600	± 0,60	0,16	± 1,30	0,25	± 2,60	0,40	± 5,60	0,70
600	700	± 0,70	0,18	± 1,50	0,30	± 3,00	0,45	± 6,00	0,70
700	800	± 0,80	0,20	± 1,70	0,30	± 3,60	0,50	± 6,90	0,80
800	900	± 0,90	0,20	± 1,90	0,35	± 3,80	0,50	± 7,50	0,90
900	1000	± 1,00	0,25	± 2,00	0,40	± 4,20	0,60	± 8,00	1,00

Tabla 3.9 Tolerancias de desviación y diferencia para las distintas calidades de bloques patrón.

$$e = \sqrt[3]{\frac{9 F^2}{16 R} \left[(1 - \nu_1^2) / E_1 + (1 - \nu_2^2) / E_2 \right]}$$

en donde:

e = Deformación por contacto (mm).

F = Fuerza de contacto (N).

R = Radio del palpador (mm).

ν_1, ν_2 = Coeficiente de Poisson de los cuerpos en contacto (adimensionales).

E_1, E_2 = Módulos de elasticidad longitudinal de los dos cuerpos en contacto (N / mm²).

*La deformación total es función de la fuerza de contacto, geometría y propiedades elásticas de las superficies. Hertz desarrollo una metodología de cálculo para la deformación total uniaxial, basado en la teoría de la elasticidad y considerando que los cuerpos son isotrópicos, que no hay fuerza tangencial en contacto, y que el límite elástico no es excedido en el área de contacto.

Si se comparan bloques de grado 0 o de carburo de tungsteno con respecto a bloques de grado 00 de acero, la corrección de temperatura ambiental, por milímetro de longitud nominal de los bloques comparados y grado centígrado de diferencia a la temperatura de referencia, será:

$$C_t = \frac{\Delta d}{L_0 (20 - T)} = \alpha_0 - \alpha = (11.5 - 5.8) \times 10^{-6}$$

$$= 5.7 \times 10^{-6} \text{ mm/mm } ^\circ\text{C} = 5.7 \times 10^{-3} \mu\text{m/mm } ^\circ\text{C}$$

Si se trabaja con un comparador de doble palpador con cabezas de acero de 3mm de diámetro y con una fuerza de contacto de 0.25 N, la corrección por contacto, será:

$$e_{aa} = \sqrt[3]{\frac{9 (0.25)^2}{16 (1.5)} \frac{0.915}{21 \times 10^4} + \frac{0.915}{21 \times 10^4}} = 0.121 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$e_{AT} = \sqrt[3]{\frac{9 (0.25)^2 + 0.915 + 0.942}{16 (1.5) + 21 \times 10^4 + 21 \times 10^4}} = 0.093 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$C_c = 0.121 - 0.093 = 0.028 \text{ } \mu\text{m}$$

y para los dos palpadores:

$$C_c = 2 \times 0.028 = 0.056 \text{ } \mu\text{m}$$

Este valor es bastante alto como para introducir un error importante si no se le toma en cuenta.

3.6.3 Incertidumbre de calibración

3.6.3.1 Método Interferométrico

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), establece dos ecuaciones de incertidumbre, para la medida interferométrica directa de bloques grado 00:

$$I_A = \pm (0.02 + 0.0002 L_0) \text{ } \mu\text{m}$$

$$I_B = \pm (0.02 + 0.0003 L_0) \text{ } \mu\text{m}$$

I_A es la cota máxima de incertidumbre que es deseable poder asegurar en este tipo de mediciones, en tanto que I_B es la cota máxima de incertidumbre aceptable si no se logra cumplir I_A .

3.6.3.2 Método por Comparación

En el caso de calibración por comparación no existen ecuaciones de incertidumbre legales. Se considera ideal asegurar los resultados con una incertidumbre diez veces menor, lo que no es posible aplicar en medidas de elevada precisión, en donde las tolerancias de desviación nominal son del orden de décimas de micrómetro. Por esto, se aconseja trabajar con incertidumbres iguales o inferiores a la tercera parte de la tolerancia de desviación:

INCERTIDUMBRE \leq 1/3 DESVIACION MAXIMA ADMISIBLE

En los bloques más pequeños de calidad 0, esto supone una incertidumbre $\pm 0.04 \mu\text{m}$, para la cual han de compararse siempre bloques del mismo material, evitando posibles errores debido a la temperatura y al contacto, con lo que el error de la comparación se compone de dos términos, el propio del bloque 00 que es el patrón en la comparación y el que es producto de la lectura realizada con los dos comparadores electrónicos.

$$L^0 = L^{00} \pm d$$

$$\epsilon(L^0) \leq \epsilon(L^{00}) + \epsilon(d)$$

en donde:

L^0 = longitud del bloque grado 0.

L^{00} = longitud del bloque grado 00.

d = distancia medida en la comparación.

Si el juego de bloques grado 00 se mide en forma periódica para establecer en el mismo la precisión que se ha de diseminar posteriormente a los juegos de menor grado de calidad, es posible obtener un valor en bloques pequeños de:

$$\epsilon(L^{00}) \leq 0.02 \mu\text{m}$$

Los transductores inductivos que tienen los palpadores electrónicos, son calibrados a su vez para pequeños desplazamientos con errores del orden de $0.02 \mu\text{m}$; considerando una ley cuadrática para el error total debido a ambos palpadores, y asumiendo que en cada punto se realizan al menos dos medidas, se llega al valor:

$$\epsilon(d) \leq \sqrt{0.02^2 + 0.02^2} / \sqrt{2} = 0.02 \mu\text{m}$$

y en total

$$\epsilon(L^0) \leq 0.04 \mu\text{m}$$

De lo anterior se deduce, que en condiciones extremas se trabaja al límite de la precisión necesaria, lo que justifica las exigencias de acondicionamiento, limpieza y experiencia que se requieren para la calibración por comparación.

3.6.3.3 Niveles de precisión

La norma UNE 4041 establece cuatro calidades o grados de precisión para bloques patrón, que se denominan: 00, 0, 1 y 2.

La diferencia fundamental en las calidades 00, 0, 1 y 2, estriba en la tolerancia para su desviación a la longitud nominal, la tolerancia de diferencia de longitudes que acota el error geométrico de las caras de medida, la estabilidad a lo largo del tiempo, etc. Las tolerancias aumentan progresivamente del grado 00 al grado 2.

La calidad de calibración (C) no es comparable con las otras cuatro, ya que no se establece a priori tolerancia de desviación.

GRADO	DESVIACIONES (μm)	DIFERENCIAS (μm)
00	$\pm (0.05 + 0.001 l_0)$	$(0.05 + 0.0002 l_0)$
0	$\pm (0.10 + 0.002 l_0)$	$(0.10 + 0.0003 l_0)$
1	$\pm (0.20 + 0.004 l_0)$	$(0.16 + 0.00045 l_0)$
2	$\pm (0.40 + 0.008 l_0)$	$(0.30 + 0.0007 l_0)$

(l_0 = longitud nominal máxima en mm)

Tabla 3.8 Ecuaciones de cálculo.

Las tolerancias de desviación respecto al nominal y de variación de longitudes para los diferentes grados de calidad de acuerdo a la Norma UNE 4041 se incluyen en la Tabla 3.9; esta norma tiene correspondencia con la norma ISO 3650-1978 y con la norma DIN 861-enero 1980. Los valores de tolerancia recogidos en la tabla anterior, se deducen a partir de las ecuaciones de la Tabla 3.8.

Es conveniente aclarar que cada norma establece sus grados de calidad, cuya correspondencia se establece de la siguiente manera:

NORMAS			GRADOS DE CALIDAD			
GGG	-G-	15C- 1973	0.5	1	2	3
DIN	861	1980	0 0	0	1	2 K
ANSI	B89.1.9	1973	0.5	1	2	3
ISO	3650	1979	0 0	0	1	2
UNE	4041	1982	0 0	0	1	2 C
BS	4311	1968	0 0	0	1	11
JIS			0 0	0	1	2

Nota: El grado de calibración K tiene el mismo valor que el grado de exactitud 00 en las tolerancias para el intervalo de desviaciones, y en las desviaciones permisibles de la dimensión nominal en un punto arbitrario \pm tiene el mismo valor para el grado de exactitud 1.

3.6.3.4 Expresión de las Incertidumbres de Calibración

El método propuesto en este párrafo fué definido por el grupo de trabajo del BIFM y tiene la referencia INC-1.

La combinación de los diferentes tipos de incertidumbre (una característica sistemática dominante o una característica aleatoria dominante) no puede realizarse fácilmente. La recomendación de la INC-1 propone un método que permite combinar las diferentes componentes de la incertidumbre.

La incertidumbre de un resultado de medida comprende regularmente múltiples componentes que pueden ser agrupados en dos categorías:

A. Aquellas que se evalúan utilizando métodos estadísticos sobre una serie de determinaciones repetidas.

B. Las que se evalúan por otros medios.

No existe siempre una correspondencia simple entre la clasificación de las categorías "A" o "B" y la característica "aleatoria" o "sistemática" utilizada antes para clasificar las incertidumbres. La expresión "incertidumbre sistemática" es susceptible de conducir a errores de interpretación por lo que deberá evitarse su empleo.

Toda descripción detallada de la incertidumbre deberá incluir una lista completa de sus componentes e indicar para cada una el método usado para atribuirle un valor numérico.

Los componentes de la categoría "A" se caracterizan por las varianzas estimadas S_i^2 (o las desviaciones típicas estimadas de S_i) o los números Y_i de grados de libertad. En cada caso, deberán darse las covarianzas.

Los componentes de la categoría "B" deberán estar caracterizados por los términos u_i , que pueden ser considerados como las aproximaciones de las varianzas correspondientes donde se admite su existencia. Los términos u_i podrán ser tratados como las varianzas, los términos u_i como las desviaciones típicas.

La incertidumbre compuesta deberá ser caracterizada por el valor obtenido aplicando el método usual de las varianzas, y debe expresarse bajo la forma de "desviaciones típicas".

Para algunos usos particulares se acostumbra multiplicar por un factor la incertidumbre compuesta, con el fin de obtener la incertidumbre de medida (incertidumbre global), el valor de este factor será dado.

3.6.3.4.1 Procedimiento propuesto para establecer las fórmulas de incertidumbre

- a. Realizar un análisis lo más completo posible de las causas de las incertidumbres que afecten el método de calibración y aplicar las correcciones con carácter sistemático.
- b. No considerar las causas de incertidumbre ligadas a las características del instrumento por calibrar. El laboratorio de calibración deberá indicar estas incertidumbres en el momento en que se calibre el instrumento y proporcionará un documento de calibración (certificado de calibración).
- c. Evaluar la contribución de cada componente de la incertidumbre :

- * Las componentes de tipo "A" serán estimadas aplicando métodos estadísticos.

- * Las componentes de tipo "B" serán apreciadas en base a la experiencia. Es común apreciar la incertidumbre máxima de las componentes, en este caso u_i podría estar dado por la regla práctica siguiente:

$$U_j = \frac{\text{Incertidumbre máxima de la componente } j}{3}$$

* Estimar la desviación estándar compuesta :

Como algunas componentes de la incertidumbre no son independientes, se obtiene un límite superior realizando una suma lineal:

$$s = \sum_i s_i \quad \text{y} \quad u = \sum_j u_j$$

En el caso donde los componentes puedan considerarse como independientes, la desviación estándar compuesta se obtiene realizando una suma cuadrática:

$$s = \sqrt{\sum s_i^2 + \sum u_i^2}$$

Nota: En el caso donde un término función al cuadrado de la magnitud de medida aparezca bajo el radical conduce a expresiones complejas; con el fin de simplificar las fórmulas, se puede emplear la siguiente regla empírica aproximada:

$$\sqrt{A^2 + B^2 L^2} \Rightarrow A + B L \quad L : \text{magnitud medida,}$$

3.6.3.4.2 Cálculo de la incertidumbre de medición (incertidumbre global)

El resultado final de una medición se expresa, por una parte, por un estimador $\hat{\mu}$ del valor verdadero, y por la otra, por una estimación de la incertidumbre de medida. En la práctica es común indicar incertidumbre bajo la forma de un intervalo, en el cual se sitúa con una fuerte probabilidad, el valor verdadero de la magnitud medida.

Si se conoce la ley de distribución de la población, se puede a partir de una varianza conocida, determinar un intervalo de confianza correspondiente a un nivel de confianza dado. Si es necesario, por ejemplo, de una ley de distribución normal, los límites de confianza corresponden respectivamente a los niveles de confianza del 95 % y 99 % y son 2σ y 3σ . Salvo casos particulares, se desconoce la ley de distribución de $\hat{\mu}$ y la hipótesis de una distribución

normal es bastante arbitraria. Se puede determinar convencionalmente a partir de la ley de distribución, un "intervalo de incertidumbre", análogo a un intervalo de confianza.

De esta manera se calcula una incertidumbre de medida OP_i , que se obtiene multiplicando la desviación típica $\hat{\sigma}$ determinada por un factor convencional k igual a 3: $OP_i = \pm k \hat{\sigma}$.

Por ejemplo, del cuadro de cadenas de calibración se escogen los límites de confianza de $\pm 3 \hat{\sigma}$ correspondientes a un nivel de confianza del 99.7%. La incertidumbre de medida se expresará, bajo la forma:

$$OP_i = \pm k \hat{\sigma} \quad k \geq 3$$

El coeficiente k se considera como un coeficiente de seguridad y es estimado en función de los parámetros inherentes al laboratorio.

3.6.3.4.3 Calibración de Bloques Patrón de caras planas y paralelas de 0.5 a 100 mm

El método consiste en comparar un bloque patrón de longitud conocida con un bloque de referencia de las mismas dimensiones, con la ayuda de un comparador electrónico. En las correcciones de incertidumbres, una característica sistemática ayuda a realizarlas; el análisis de incertidumbres elementales se ilustra en el siguiente ejemplo:

* Incetidumbre de tipo A

A.1 Incertidumbre de repetibilidad estimada de la desviación estándar de una serie de mediciones con la ayuda de un comparador en un bloque patrón de referencia.

Incetidumbre tipo A: $S_1 = \pm 50 \times 10^{-6}$ mm (repetibilidad del comparador al probar un bloque patrón).

* Incetidumbre de tipo B

B.1 Incertidumbre de exactitud del comparador.

B.2 Incertidumbre de cuantificación (tomada en cuenta dos veces).

- B.3 Incertidumbre debida a un defecto de la geometría del sistema mecánico (por ejemplo, planitud).
- B.4 Para una desviación de temperatura Δt (inferior a $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) con respecto a la temperatura de referencia ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y para una desviación debida entre los coeficientes de dilatación del bloque de referencia y del bloque a calibrar inferior a $1 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, incertidumbre debida a la desviación: $\delta \cdot L \cdot \Delta t = 0.5 \cdot 10^{-6}\text{ L}$.
- B.5 Incertidumbre debida a la diferencia máxima de temperatura de $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre los dos bloques para un coeficiente de dilatación mayor al del acero ($11.5 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$): $\delta \cdot L \cdot \delta (\Delta t) = 1.15 \cdot 10^{-6}\text{ L}$.
- B.6 Incertidumbre debida a la posible diferencia entre dos módulos de elasticidad para una fuerza de 0.75 N .
- B.7 Desviación del Bloque Patrón permitida por Norma, en el bloque de referencia.

INCERTIDUMBRE MÁXIMA (L en mm)	u_i (L en mm)
B.1 $\pm 100 \cdot 10^{-6}\text{ mm}$	$\pm (100/3) \cdot 10^{-6}\text{ mm}$
B.2 $\pm (10 \cdot 10^{-6}\text{ mm})$	$\pm (20/3) \cdot 10^{-6}\text{ mm}$
B.3 $\pm 100 \cdot 10^{-6}\text{ mm}$	$\pm (100/3) \cdot 10^{-6}\text{ mm}$
B.4 $\pm 0.5 \cdot 10^{-6}\text{ L}$	$\pm (0.5/3) \cdot 10^{-6}\text{ L}$
B.5 $\pm 1.15 \cdot 10^{-6}\text{ L}$	$\pm (1.15/3) \cdot 10^{-6}\text{ L}$
B.6 $\pm 20 \cdot 10^{-6}\text{ mm}$	$\pm (20/3) \cdot 10^{-6}\text{ mm}$
B.7 $\pm (50 + 0.3\text{ L}) \cdot 10^{-6}\text{ mm}$	$\pm (50/3 + 0.3/3\text{ L}) \cdot 10^{-6}$

S.6.3.4.4 Estimación de la Desviación Estándar Compuesta

Las componentes pueden ser consideradas como independientes.

$$s = \sqrt{s_1^2 + \sum_{i=1}^7 u_i^2}$$

$$s^2 = [50^2 + (100/3)^2 + (20/3)^2 + (100/3)^2 + (0.5/3 L)^2 + (1.15/3 L)^2 + (20/3)^2 + (50/3 + 0.3/3 L)^2] 10^{-12}$$

$$s^2 = [50^2 + (100/3)^2 + (20/3)^2 + (100/3)^2 + (20/3)^2 + (50/3)^2 + (0.5/3)^2 L^2 + (1.15/3)^2 L^2 + (0.3/3)^2 L^2] 10^{-12} \text{ mm}^2$$

$$s^2 = [5088 + 0.18 L^2] 10^{-12} \text{ mm}^2 \quad ; L \text{ en mm.}$$

$$s = \pm (71 + 0.43 L) 10^{-6} \text{ mm}$$

Incertidumbre de medición (global). Para la incertidumbre global se estima un coeficiente de 3.5, que es aceptable en un laboratorio para sus mediciones. La incertidumbre de medición es:

$$U\hat{\phi} = \pm (250 + 1.5 L) 10^{-6} \text{ mm}$$

3.6.4 Calibración Periódica

En vista de los diversos factores que afectan la consistencia de exactitud de los bloques patrón, estos patrones de referencia se deben inspeccionar en intervalos regulares.

La frecuencia de calibración de los bloques patrón depende de dos factores:

- Del grado de exactitud en el cual son clasificados los bloques patrón.
- La extensión en la alteración dimensional, la cual puede ser anticipada en vista de las circunstancias del uso de los bloques.

Tentativamente un periodo de 6 meses para la recalibración de los mismos, puede ser considerado. La experiencia, basada en los resultados de repetidas inspecciones, puede indicar un cambio en este programa. En algunos casos la recalibración de bloques patrón en intervalos de tres meses se considera como la deseable.

Como períodos de deliberación para una utilización normal de los bloques se recomiendan entre 15 y 20 años, con la facultad de disminuir o alargar un poco estos períodos en función de la frecuencia y condiciones del uso de los mismos.

Para los catálogos 00 y 0 es necesario además proporcionar la información al valor nominal de cada bloque, y la incertidumbre relativa para dicha desviación. Se recomienda también indicar la diferencia de longitudes, lo que se deduce inmediatamente en los bloques 0 a partir de los valores máximo y mínimo de desviación al nominal correspondientes a los diez puntos medidos en las caras. En bloques 00, la medida se refiere al punto central que es con el que luego se trabaja, pero es también conveniente poder indicar la diferencia, por ejemplo, mediante la fotografía del interferograma observado.

3.4.5 Certificados de Calibración

Un certificado de calibración debe ser expedido por el laboratorio que lleve a cabo la inspección sistemática del bloque patrón. El certificado atestiguará la exactitud y las condiciones bajo las cuales fueron obtenidos tales resultados, y también confirmará la trazabilidad de los patrones de referencia usados para la calibración de los mismos.

El certificado particular de cada bloque incluirá su medida y número de serie, con la cantidad y dirección (L) de la desviación medida respecto a la nominal. El certificado también indicará el grado de exactitud de los bloques inspeccionados; la calificación de bloques deficientes está basada en las tolerancias definidas para cada grado en particular.

Además, el certificado de calibración deberá contener el valor del coeficiente de dilatación lineal empleado para efecto de la corrección descrita en la medición interferométrica.

3.4.6 Aplicaciones de los Bloques Patrón

Por el alto grado de exactitud de los bloques patrón, éstos se emplean para diferentes trabajos de verificación y de acuerdo a las siguientes normas de referencia:

- 1.-Grado ISO "calibración" o GGG-0.5.

Patrones especiales requeridos en trabajos de calibración de precisión extremadamente alta. No recomendables para uso general y tienen que ordenarse individualmente.

Son utilizados comúnmente como patrones de referencia de longitud o "primarios".

2.-Grado ISO-00 o GGG-1.

Patrones de referencia de laboratorio. Se emplean para calibrar los bloques calibradores de inspección y para trabajos de verificación de alta precisión.

3.-Grado ISO-0 o GGG-2.

Por lo regular se usan como bloques calibradores de inspección y como patrones en el taller.

4.-Grado ISO-1.

Generalmente se emplean como patrones en el taller.

5.-Bloques grado Calibración.

Los bloques que ostentan grados de nivel calibración permiten tener bloques con requisitos especiales de planitud y paralelismo para aplicaciones específicas, utilizando sus datos del reporte oficial de calibración. Por ejemplo, los del grado de nivel de exactitud de $0.03 \mu\text{m}$ o de $0.05 \mu\text{m}$ se pueden emplear como referencia para calibrar otros bloques de calibración.

ESTABLECIMIENTO DEL PLAN DE CALIBRACION

Un concepto de vital importancia para disminuir los gastos en la adquisición de equipos de medición en las empresas industriales, es el de seleccionar para cada actividad la calidad necesaria y suficiente.

Si se considera que la vida media de un instrumento de medición es del orden de 10 a 15 años, y que el instrumento o patrón de referencia debe ser de un orden de magnitud superior en precisión de 5 a 10 veces mayor que el instrumento a calibrar, se infiere que el proceso de calibración es demasiado costoso y complejo para la vigencia de la calibración, que en el mejor de los casos puede llegar a ser de dos años. Por lo que resulta lógico pensar que en todos los sitios donde se realicen mediciones se deben mantener patrones de referencia, sobre todo en pequeñas y medianas empresas. Sin embargo, es necesario asegurar en todos ellos el cumplimiento de las especificaciones de sus equipos de medición.

Aunado a lo anterior, debe tomarse en cuenta las características del laboratorio que será utilizado y la disponibilidad presupuestaria para definir el equipo que servirá para calibrar, determinando así, que calibraciones se efectuarán en el laboratorio y cuales se tendrán que realizar por medio de otro laboratorio.

Con ello, y un "PLAN DE CALIBRACION" periódico de cada instrumento enlazado a niveles de calidad superior de modo multidireccional, es decir tridimensional, que permita a partir de patrones de máxima precisión controlar la veracidad de los diferentes escalones afectados.

4.1 La Calibración en México

Los procesos de calibración y trazabilidad son un tanto complejos, pues requieren de una estructura metroológica bien desarrollada, ágil y efectiva que sólo los países industrializados poseen (Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Japón, la URSS), ya que ésta, es parte fundamental de su desarrollo tecnológico e industrial.

En México, no se cuenta con una organización metroológica que apoye completamente e impulse el desarrollo tecnológico e industrial, debido a la escasez de laboratorios debidamente equipados que ofrezcan servicios de calibración, aunado a la falta de recursos humanos preparados para esta necesidad.

Los escasos laboratorios de metrología que existen en nuestro país muchos veces están incompletos, además, la mayoría de los patrones de referencia no están disponibles, ya sea por falta de trazabilidad o por la falta de un procedimiento para prestar el servicio.

La Dirección General de Normas (DGN) mediante el Sistema Nacional de Calibración (SNC), pretende asegurar la trazabilidad de los patrones internacionales y garantizar la disseminación de la precisión mediante el Centro Nacional de Metrología (CENAM) como Laboratorio Primario y Laboratorios Autorizados como prestadores de Servicios de Calibración, y soporte para la transferencia de la precisión en la industria. Estos últimos deberán contar con instalaciones, equipos, personal técnico capacitado y métodos operativos adecuados para asegurar plena confiabilidad de los servicios que realicen. En lo referente a la Metrología Dimensional, el CENAM aún no cuenta con el Patrón Primario de Longitud por lo que no puede establecerse una Cadena Metroológica adecuada.

Hasta la fecha, esto se subsana mediante el empleo de Bloques de Calibración, es decir, patrones de máxima precisión cuyos valores se toman como verdaderos dado que han sido calibrados por un centro metroológico de nivel superior, el cual extiende un certificado que ampara los valores de dichos bloques por un determinado tiempo. Al término de este, los bloques deben ser calibrados por el mismo centro metroológico u otro del mismo nivel con el fin de mantener una adecuada disseminación de la precisión.

En México, la calibración de los bloques en la industria es prácticamente nula, ocasionando que muchas industrias trabajen con bloques descalibrados, lo que se refleja en la calidad de sus productos y en la eficiencia productiva de su planta.

El contar con Laboratorios de Calibración en el país, beneficiará enormemente a quienes hagan uso de sus servicios. Asimismo, al extender esta actividad se pueden ir conociendo y desarrollando

métodos de calibración, lo cual proporciona experiencias y conocimientos de un campo hasta ahora poco explorado en nuestro país.

4.2 Plan de Calibración

Recibe el nombre de " PLAN DE CALIBRACION ", la organización sistemática para la calibración de los patrones, instrumentos o equipos de una entidad dedicada a la medición, determinando las incertidumbres con las cuales se efectúan las mediciones.

Todo Plan de Calibración ha de tener presente los distintos niveles de precisión de los diferentes patrones, instrumentos y equipos de medida que periódicamente deberán calibrarse en un nivel superior, pudiendo, a su vez, servir para calibrar niveles inferiores al suyo.

El Plan de Calibración debe apoyarse al siguiente principio fundamental: " Cualquier cadena de calibración ha de ser descendente a través de todos los niveles, sin retrocesos y sin cerrarse sobre sí misma ". Mediante este principio, se asegura la calibración de todo instrumento por otro de mayor precisión. Sin embargo, existen algunas excepciones de este principio fundamental, como por las inspecciones previas de un instrumento o aquellas operaciones en que no se requiere asegurar la precisión.

Para diferenciar dichas operaciones de las que pertenecen estrictamente a la cadena de calibración, se colocan sus flechas numeradas a la entrada y salida de los bordes de cada cuadro, en lugar de los bordes horizontales.

Para la correcta ejecución del Plan de Calibración, así como el cálculo de las incertidumbres que se obtienen dependiendo del método de medida, se requiere de un gran esfuerzo tanto económico como en tiempo.

Las ventajas de implantar un Plan de Calibración son entre otras:

- a. Asegurar la precisión de las mediciones.
- b. Disminución de los errores sistemáticos.
- c. Obtención de la trazabilidad interna y externa.
- d. Mantenimiento adecuado de todos los patrones e instrumentos.
- e. Experimentación personal.

La calibración puede traer consigo otros beneficios adicionales, como son la determinación de instrumentos poco utilizados que pueden ser sustituidos por otros de uso frecuente, o el uso de instrumentos de menor exactitud, con la siguiente economía para ciertas aplicaciones.

La forma más eficaz de llevar la calibración, tanto a nivel empresa como a nivel nacional e internacional, es respetando un Plan de Calibración, con niveles o clases de instrumentos con periodos de calibración adaptados a las características del instrumento y a la severidad de las condiciones en que se trabaje (véase Fig.4.1).

4.2 Objetivos del Plan de Calibración

Los objetivos que se pretenden alcanzar son :

- a. Determinar correctamente la incertidumbre total de las mediciones y/o calibraciones que se realicen en el laboratorio. Para el cumplimiento de este objetivo resulta importante la calibración periódica de los diferentes instrumentos, patrones y equipos de medición existentes en el laboratorio.

Para tal efecto se cuenta con un laboratorio de aproximadamente 110 m² de superficie, con un sistema de acondicionamiento de aire con temperatura y humedad controlada a 20 ± 1 °C y 50 ± 10 % respectivamente. En su interior se encuentra un recinto de aproximadamente 7m² dentro del cual se pretende mantener la temperatura a $20 \pm 0,2$ °C (mediante un control electrónico), con el propósito de realizar en su interior la calibración por comparación de bloques patrón.

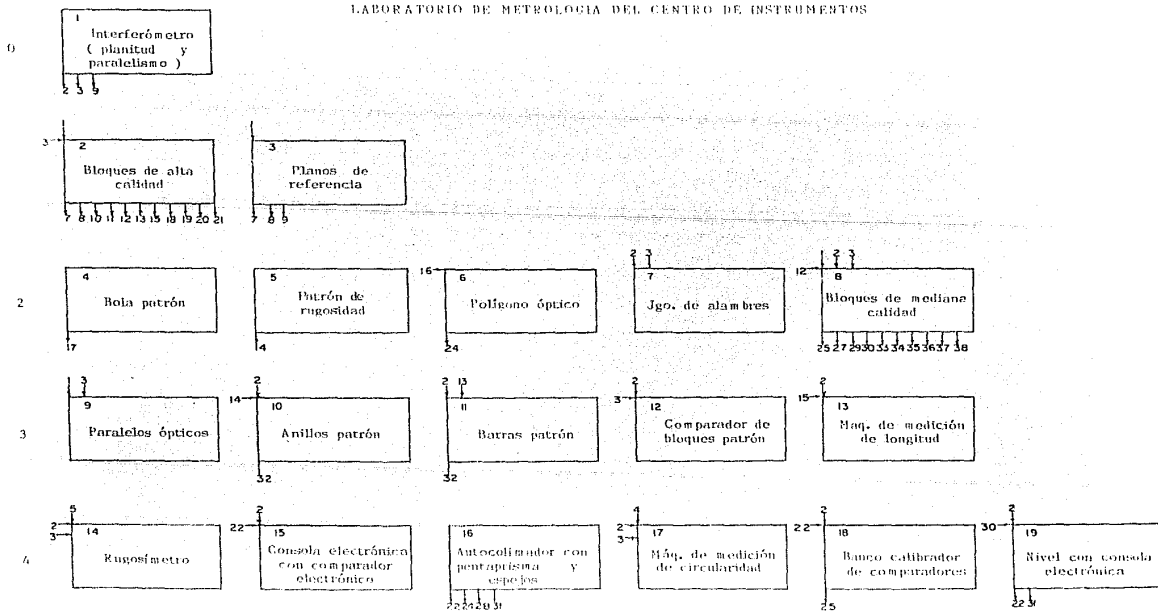
- b. La intención del Centro de Instrumentos es hacer extensivo el servicio de intercomparación de bloques patrón a otras entidades dedicadas a la metrología, de tal forma que se ahorre tiempo y dinero al evitar que dichas entidades envíen sus patrones de trabajo al extranjero con el objeto de ser calibrados.

Así, el Centro de Instrumentos se convertirá en una institución de referencia que procurará diseminar la precisión con una confiabilidad aceptable, esquematizada de la siguiente forma:

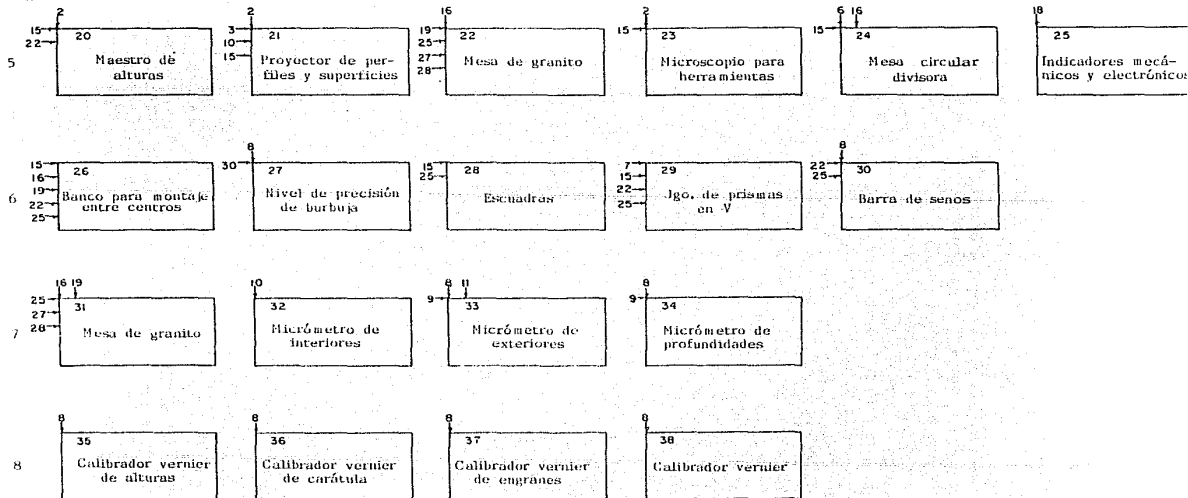
N I V E L.

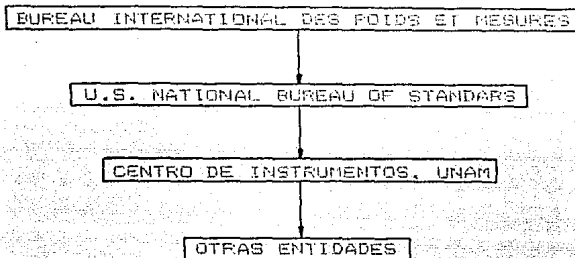
PLAN DE CALIBRACION

LABORATORIO DE METROLOGIA DEL CENTRO DE INSTRUMENTOS



N I V E L.





4.4 Elementos del Plan de Calibración

La organización del Plan de Calibración está soportada por la siguiente información:

4.4.1 Diagrama de Niveles de Precisión

En este diagrama de niveles se ordenan todos los instrumentos del laboratorio de mayor a menor precisión en diferentes niveles, indicando también las cadenas de calibración; esto es, a que instrumentos calibra (flechas salientes) y cuales lo calibran a él (flechas entrantes).

El primer nivel o nivel superior, está formado por los patrones de referencia del laboratorio (en este caso son los bloques de calibración grado laboratorio), es decir, aquellos patrones o instrumentos de máxima precisión cuyos valores se toman como referencia. Estos patrones han de ser calibrados periódicamente por otro centro de nivel superior y cuyos valores nominales e incertidumbres están certificados por cierto periodo de tiempo.

Del segundo al penúltimo nivel se incluyen los instrumentos que son calibrados con los del nivel inmediato superior y que a su vez calibran a otros de nivel inferior (véase Fig.4.2).

El último nivel, generalmente el más numeroso, está integrado por los instrumentos que una vez calibrados no calibran a otros.

Este diagrama de niveles corresponde al diagrama de bloques de jerarquía de los instrumentos de medida que define la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), y define una serie de cadenas de calibración de mayor a menor precisión a través de niveles, asegurando de esta forma un Sistema Interno de Disseminación de la precisión y la

incertidumbre respectiva hacia los patrones nacionales e internacionales de longitud.

Sobre este diagrama, es conveniente llevar un registro de los instrumentos que han sido calibrados y cuáles no, durante el periodo que se establezca como vigencia de calibración completa al laboratorio, que puede durar de uno a tres años. Por tal motivo, uno de los puntos más importantes es la determinación de los periodos de calibración para cada equipo, instrumento y patrón.

4.4.2 Fichero de Instrucciones

En este fichero de instrucciones se establecen todas las instrucciones necesarias para la realización de la calibración de cada instrumento y/o patrón que permita al metrólogo ejecutar paso a paso las actividades necesarias para realizar la inspección y calibración de los mismos.

En este fichero se encuentran también debidamente escritos el método de comparación, comprobación y calibración para cada instrumento y/o patrón.

La redacción debe ser lo más clara y concisa posible a fin de evitar la posibilidad de errores en la ejecución de la calibración. En la misma ficha de instrucciones se encuentran también los datos de identificación de los mismos, como son: nombre, marca, denominación, nivel, a que corresponde, la última fecha en que se usó el método de medición, elementos que lo calibran y a los que calibra, etc. (véase fig.4.3).

Para el manejo y almacenamiento de esta información es de suma utilidad el empleo de una microcomputadora en el laboratorio, para el procesamiento de datos, así como para el monitoreo de magnitudes físicas y cálculos diversos.

A manera de ejemplo, se anexan 10 fichas de calibración que forman parte del fichero de instrucciones creado para la ejecución del Plan de Calibración (véase anexo). Las fichas de calibración restantes, se encuentran en la Sección de Metrología del Centro de Instrumentos a la disposición de cualquier persona interesada en ellas.

4.4.3 Archivo de Resultados

En este archivo se almacenan los informes y resultados de las calibraciones que se realizan, en formatos especiales de un formato claro y sencilla, resaltando la incertidumbre resultante, así como la fecha y el nombre del metrólogo. Esta información se puede almacenar en la bitácora de los propios instrumentos o en la misma microcomputadora.

CENTRO DE INSTRUMENTOS - LABORATORIO DE METROLOGIA

PLAN DE CALIBRACION

Vigencia:

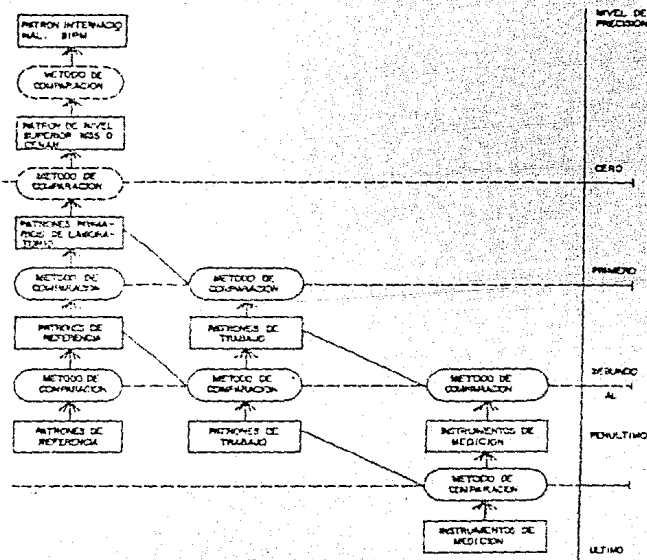


Fig. 4.2 Diagrama de Niveles de Precisión.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE :	CLAVE :
	MARCA/MODELO :	No. DE SERIE :
	NIVEL DE PRECISION :	FECHA :
	CALIBRA A :	LO CALIBRAN :
I N S T R U C C I O N E S		
1.-		
2.-		
3.-		

Fig. 4.3 Formato del Fichero de Instrucciones.

CI UN AM	CENTRO DE INSTRUMENTOS UNAM	
NOMBRE :	RESULTADOS :	
MARCA/MODELO/No. SERIE :	PROXIMA CALIBRACION :	
No. DE INFORME :	EJECUTO :	
FECHA DE CALIBRACION :	REVISO :	

Fig. 4.4 Formato de la Etiqueta de Calibración.

Los informes de calibraciones externas deberán realizarse en formatos impresos que contengan como mínimo la siguiente información : identificación del instrumento o patrón, metodología empleada, resultados obtenidos, observaciones.

Este archivo permitirá observar la evolución de los distintos errores y en especial los errores sistemáticos a fin de corregirlos en la medida posible y modificar en su caso, los periodos de revisión.

4.4.4 Etiquetas de Calibración

Una vez que se ha realizado la calibración de un instrumento y/o patrón, es indispensable que los resultados obtenidos se presenten sobre el propio equipo, mediante una etiqueta que contenga la siguiente información:

- Identificación del instrumento (nombre, marca, modelo etc.).
- Personal que realizó la calibración.
- No. de informe.
- Fecha de la calibración.
- Fecha en que deberá calibrarse nuevamente.

Esta etiqueta no garantiza por si sola el correcto funcionamiento del instrumento, pero permite estar al tanto de la próxima calibración (vease fig.4.4). Adicionalmente, el laboratorio debe contar con un registro o inventario de todos los instrumentos y patrones en el que se definan las fechas previsibles y reales de calibración.

4.4.5 Periodos de Calibración

Los intervalos de tiempo en que se considera válida una determinada calibración de un patrón o de un instrumento de medida no son constantes y difieren de un aparato a otro, debiendo ser revisados periódicamente de acuerdo a los siguientes criterios:

- Grado de precisión del instrumento.
- Frecuencia de uso.
- Rentabilidad económica de la calibración.
- Estabilidad y desviación del elemento con el tiempo.

Es la propia experiencia la que determinará con más exactitud el período de revisión óptimo para cada instrumento. Debe elegirse un período lo suficientemente corto que asegure razonablemente que el instrumento se ajuste antes de que salga de especificaciones, y lo suficientemente largo para que la calibración resulte económica y operativa.

Después de realizar tres calibraciones es aconsejable reconsiderar el período establecido para modificarlo si es necesario, de acuerdo a los valores prácticos obtenidos. Como orientación, se exponen en la tabla 4.1 los períodos de revisión de distintos patrones, instrumentos y equipos de medida.

Cuando no se tiene definido un intervalo de calibración para cierto patrón, se recomienda el siguiente procedimiento:

Bajo estrecha vigilancia y con "pruebas cruzadas", así como un "sistema funcional de monitores de patrones", calibrar cada seis meses durante un período de tiempo de tres años. Si todas las calibraciones están dentro de la exactitud especificada y no muestran cierta tendencia a cambiar, extender el período de calibración a un año durante los próximos tres años. Si persiste la misma situación, es decir, que no hay cambios significativos, prolongar el período de calibración a dos años y continuar con este intervalo hasta que aparezcan cambios significativos.

Si se observan cambios después de haberse cumplido los intervalos de calibración, es necesario disminuir el período hasta que los cambios se reduzcan a niveles tolerables o se hayan eliminado debido a las acciones correctivas.

Por el contrario, si se observan cambios significativos durante la calibración semestral, dicho período debe reducirse a la mitad, es decir, cada trimestre y así sucesivamente.

4.5 Inventario de Equipo

Un laboratorio de metrología posee un grupo de instrumentos de precisión de medición dimensional resguardados en un medio ambiental propicio, los cuales son manejados con habilidad por el personal para proveer la precisión necesaria en las mediciones para el control dimensional en la producción, fabricación, etc.

Los requerimientos de equipo de medición varían con el tamaño, geometría y la precisión requerida por el trabajo que se va a desarrollar. Un laboratorio de inspección de bloques puede incluir:

CALIBRACION	Periodo de revision en meses
Barras y mesas de senos	6 a 12
Bloques angulares	12 a 24
Bloques calibres (calas)	12 a 24
Bolas	12
Calibres tampón (lisos, de rosca, cilindricos, cónicos)	3 a 6
Calibres de anillo y herradura (lisos, de rosca, cilindricos, cónicos)	3 a 6
Calibres tampón de ajuste (lisos, de rosca, cilindricos, cónicos)	12
Calibres de ajuste (lisos, de rosca, cilindricos, cónicos)	12
Calibres de altura (gramin)	12
Comparadores de cuadrante y de palanca	3 a 6
Escuadra	6 a 9
Instrumentos ópticos de alineación	6
Máquinas de medir	12
Mármoles (masas de plantud)	12
Medidores neumáticos	6 a 12
Medidores electrónicos	6 a 12
Medidores de espesores de recubrimiento	6 a 12
Micrómetros	3
Micrómetros de altura	12
Microscopios de medida	12
Niveles de burbuja y electrónicos	6
Paralelas rectangulares y en «V»	12
Patrones de perpendicularidad	12
Plas de ray	12
Planos ópticos	12
Platos divisores (mesa giratoria)	12
Proyectoras de perfiles	12
Reglas de canto recto	6
Reglas graduadas	12
Rugosímetros y medidores de redondez	12
Transportadores de ángulos	6
Varillas cilindricas o calibradas	6 a 12
Vidrio plano paralelo	6 a 12

Tabla 4.1. Periodos de revisión de patrones, instrumentos y de ajuste.

- Patrones y Medidores Directos de Longitud.
- Comparadores de Longitud y accesorios.
- Patrones y Medidores Angulares.
- Medidores de Rectitud, Planitud, Alineación, Perpendicularidad.
- Medidores de Redondez.
- Medidores de Formas en General.
- Medidores de Calidad Superficial, etc.

En este caso en particular, el laboratorio de metrología del Centro de Instrumentos de la UNAM, cuenta con la siguiente infraestructura:

CENTRO DE INSTRUMENTOS - LABORATORIO DE METROLOGIA

INSTRUMENTOS ESPECIALIZADOS

EQUIPO	MARCA	MODELO
Máquina medidora de engranes	Fellows	35 Microde
Microscopio para herramientas	Gaertner	ME00183
Lector digital del microscopio	Spaulding	1276-9
Termohigrógrafo	Honeywell	61EX9-HH
Interferómetro	Davidson Optronics	D-305-L
Máquina medidora de circularidad	Federal	EAS-1745
Comparador óptico	Nikon	V-160
Contador digital	Nikon	CM-6F
Impresora digital	Nikon	CM-6P
Comp. de bloques calibradores	Brown & Sharpe	970
Consola del comparador	Brown & Sharpe	1022
Máq. de medición de longitud	Pratt & Whitney	U-304290
Sist. de medición de rugosidad	Federal	EAS-4400
Banco p/montaje entre puntos	Taft Peirce	9005
Esterómetro	Vigor	GA-728
Nivel electrónico	Federal	EGH-13
Comparador de calibración	Mitutoyo	521-105
Autocolimador	Nikon	60

CENTRO DE INSTRUMENTOS - LABORATORIO DE METROLOGIA

PATRONES

EQUIPO	MARCA	MODELO
Juego de alambres sist. inglés	Cleveland	6630
Juego de alambres sist. métrico	Cleveland	6628
Jgo. de bloques calibradores	Johansson	E1
Jgo. de bloques calibradores	Johansson	M1-112
Jgo. de accesorios para bloques	Johansson	ES-43
Jgo. de accesorios para bloques	Johansson	M-40
Jgo. de accesorios para bloques	Johansson	E-43
Jgo. de bloques de protec. 0.05"	Johansson	E-49M
Jgo. de bloques de protec. 1.0mm	Johansson	M-49M
Juego de accesorios	Johansson	1065
Base para bloques	Johansson	45E
Plano óptico	Davidson Optonics	D617-4
Jgo. de 8 bloques calibradores	Carl Zeiss	-----
Jgo. de alambres sist. métrico	Carl Zeiss	13270
Jgo. de bloques sist. inglés	Starret	Rectangular
Jgo. de bloques sist. inglés	Starret	Cuadrado
Jgo. de bloques sist. métrico	Starret	Rectangular
Esfera de referencia	Federal	MR-1800
Medidor maestro de alturas	Mitutoyo	515-318

Patrones del rugosímetro	Federal	21-9010-01
Patrones del perfil	Federal	0900042
Bloque de calibración (mm)	Mitutoyo	-----
Bloques de calibración (mm)	Mitutoyo	-----
Bloque de calibración (mm)	Mitutoyo	-----
(2) Planos ópticos	UNAM	-----
Calibre roscado	Pratt & Whitney	-----
Cilindro patrón	-----	YBS1254S
Planos ópticos (mm)	Mitutoyo	OP-25
Planos ópticos (")	Mitutoyo	OP-1
Jgo. de barras patrón (mm)	Mitutoyo	-----
Pentágono óptico	Nikon	8538
Pentaprisma	Nikon	15168

CENTRO DE INSTRUMENTOS - LABORATORIO DE METROLOGÍA

INSTRUMENTOS DE PROPOSITO GENERAL

EQUIPO	MARCA	MODELO
Mesa de granito	Continental Granito	36 x 48 x 2
Mesa de granito	Rock of Ages	-----
Escuadra de trazo	Challenge	IAP
Escuadra de trazo	Challenge	AP
Nivel de precisión	Starret	199
Carátula indicadora	Starret	81-111

Carátula indicadora	Starret	655-441
Bese de prueba para indicadores	Brown & Sharpe	7743
Barra de senos de 10 "	Francis	77777777
Barra de senos de 100 X 5 mm	Fowler	52-452-025
Calibrador "pasa no pasa"	Carl Zeiss	Passacast
Palpador electrónico	Federal	EHE-105a
Palpador electrónico	Federal	EHE-105b
Indicador de carátula	Federal	R11
Indicador de carátula	Federal	E21
Indicador de carátula	Federal	C & K
Indicador de carátula	Federal	CSM
Palpador electrónico tubular	Federal	EHE-1061
Indicador de carátula	Federal	R18B
Soporte para palpador	Federal	2400
Consola electrónica	Federal	EAS-1461
Soporte p/indicador de carátula	Federal	MT-024
Soporte p/cabeza calibradora	Federal	AT-114
Comparador de 0.00005 X 0.008 "	Federal	LT 4
Comparador de 0.002 X 240 mm	Federal	T-87
Comparador de 0.01 X 1.0 mm	Federal	T-85
Punta de contacto	Federal	PT-512
Punta de contacto	Federal	PT-513
Punta de contacto	Federal	PT-520
Calibrador para indicadores	Federal	400B-3
Calibrador para indicadores	Federal	400B-4
Bese de prueba p/indicadores	Federal	1492B-15

Base de comparación	Federal	35B-243
Base de transferencia	Federal	2400
Soporte p/cabeza calibradora	Federal	At-114
Chuck	Federal	At-123
Calibrador vernier de alturas	Mitutoyo	514-163
Bloques en "V"	Mitutoyo	911-511
Bloques en "V"	Mitutoyo	181-902
Jgo. de micrómetros p/ext.	Mitutoyo	103-914
Micrómetro para profundidades	Mitutoyo	129-111
Soporte para micrómetro	Mitutoyo	156-101
Soporte para micrómetro	Mitutoyo	156-101
Jgo. de 3 micrómetros p/int.	Mitutoyo	368-901
Jgo. de 2 micrómetros p/int.	Mitutoyo	368-902
Jgo. de 6 micrómetros p/int.	Mitutoyo	368-903
Micrómetro para exteriores	Mitutoyo	103-217A
Micrómetro p/prof. 0-1 "	Mitutoyo	MT-063
Calibrador "pasa no pasa"	Mitutoyo	510-105R
Jgo. de acc. p/bloques patrón	Johansson	1065
Puntas de micrómetro	Mitutoyo	116-200
Micrómetro p/exteriores	Mitutoyo	MCN-25
Micrómetro p/exteriores	Mitutoyo	MCN-50
Espejo	Nikon	10032
Espejo	Nikon	31343
Soporte para micrómetro	Carl Zeiss	MT-084
Vernier para engranes (mm)	Starret	456MB

Vernier de carátula (mm)	Mitutoyo	551536
(2) Chucks	EMCO	150410 150420
(2) Palpador bidireccional	Brown & Sharpe	599-958
Termómetro	UNAM	087
Termómetro de columna	Precisión	-----
(3) Consola electrónica	Pratt & Whitney	DBCA-184
Base del autocolimador	Nikon	-----
Comparador de 0.0005 "	Federal	T-11
Soporte para micrómetro	Carl Zeiss	NT-083

4.3 Precisión y Alcance de los Instrumentos de Medida

El objetivo de las técnicas de medida dimensional es la conversión de magnitudes geométricas, como longitudes, desplazamientos, ángulos, curvas, macrogeometría o formas de cuerpos físicos, y microgeometría o estado superficial, en informaciones aptas para tomar decisiones respecto a la conformidad de un pieza fabricada con los planes de fabricación, o simplemente para expresar cuantitativamente los diversos parámetros representativos de la geometría de una pieza.

Paralelamente al desarrollo de los conceptos básicos que han permitido definir los diferentes parámetros, como diámetro, profundidades, espesores, paralelismo, perpendicularidad, rectitud, rugosidad, etc., se han ido configurando una serie de equipos capaces de medir y expresar directamente, o a través de células posteriores, los resultados deseados.

Las de las propiedades más destacadas de un instrumento son la precisión y el campo de medida o el alcance.

En la medida que se han dominado nuevos principios físicos, ha sido posible disminuir la incertidumbre de los instrumentos de medida, pero un determinado alcance. La figura 4.5, muestra la evolución de la incertidumbre de los equipos de medida de longitudes.

En la fig. anterior, se observa que para la fabricación de los cilindros y pistones de las primeras máquinas de vapor de hierro, se admitía un juego entre el diámetro de ambos elementos equivalente al espesor de una moneda de media corona; posteriormente se ha reducido en forma sustancial la incertidumbre de fabricación y su consiguiente control.

Con la aparición del calibre se posibilita la medida de longitudes en milímetros. La aparición del micrómetro, basado en husillos roscados, permitió el dominio de la centésima de milímetro. Los principios ópticos permiten alcanzar por vez primera el campo de las milésimas de milímetro. Un avance significativo se consigue con la adaptación de los conocimientos de la electrónica a la maquinaria de precisión, con lo que se logra diferenciar mediante comparadores inductivos lineales, longitudes del orden de 10^{-4} m.

Por otra parte, la relación del alcance con la incertidumbre de medida es un dato característico de los instrumentos de una determinada época. En la actualidad, tal como se muestra en la figura 4.6, existen varios equipos para resolver cada una de las posibles combinaciones de estas dos propiedades.

Es preciso mencionar que los instrumentos de medida basados en principios electrónicos, permiten disponer al instante de señales procesadas de computadora.

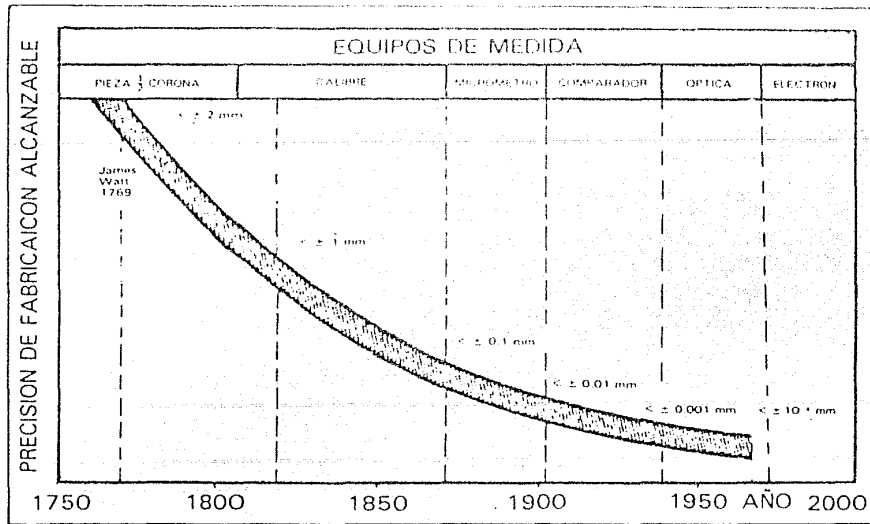


Fig. 4.5 Evolución de la incertidumbre de los equipos de medida.

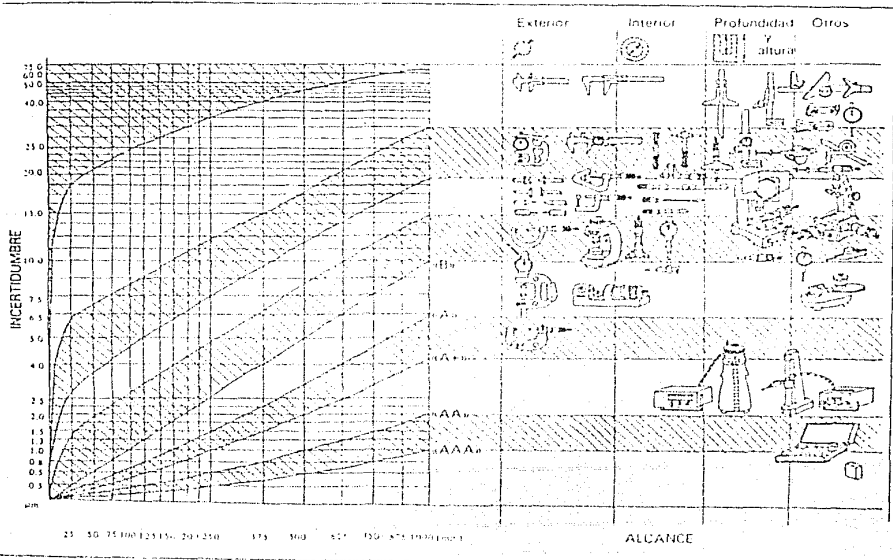


Fig. 4.6 Relación entre el alcance y la incertidumbre en diferentes equipos de medida de longitudes.

En la tabla 4.2 se presentan las máximas incertidumbres alcanzadas en un laboratorio europeo de calibración de los mas prestigiosos, junto a los correspondientes campos de medida abarcados para cada propiedad geométrica.

OBJETO Y TIPO DE MEDIDA	CAMPO DE MEDIDA	INCERTIDUMBRE
Longitud de ejes de líneas de espectro	(450...850)mm	(4...20) 10 ⁻⁶ mm
Patrones de longitud		
Cala paralela	(0,1...100)mm	(20...50) 10 ⁻⁶ mm
Cala paralela	(100...1000)mm	(5...50) 10 ⁻⁶ mm
Reglas de trazo	1000 mm	(0,1...10) 10 ⁻⁷ mm
Reglas de trazo	(1000...5000)mm	1,10 ⁻⁶
Reglas de trazo	5000 mm	1,10 ⁻⁶
Sistemas de Medida lineales		
Reglas absolutas		
Reglas incrementales		
Longitudes de piezas	(400x250x150)mm	2,10 ⁻³ mm
Medida tridimensional		
Longitudes exteriores (Diámetro, Distancia entre Superficies, Long. o altura)	(0,1...1000)mm	(0,02...3) 10 ⁻⁷ mm
Longitudes interiores (Diámetro, Distancias entre Superficies, Long. o Puntos)	(0,06...1000)mm	(0,03...3) 10 ⁻⁷ mm
Rectitud	1000 mm	0,1 10 ⁻³ mm
Longitud de pieza		
Redondez		0,1 10 ⁻³ mm
Diámetro de pieza	(0,05...400)mm	
Longitud de pieza	400 mm	
Rugosidad de piezas		
Patrón de rugosidad del PTB		
R _a *	(0,16...1,5) 10 ⁻³ mm	(0,01...0,05) 10 ⁻³ mm
R _z **	(0,8...3) 10 ⁻³ mm	(0,08...0,3) 10 ⁻³ mm
Patrón de ajuste del PTB	(11...10) 10 ⁻³ mm	(0,3...0,4) 10 ⁻³ mm
Profundidad de surcos	(0,25...10) 10 ⁻³ mm	(0,01...0,05) 10 ⁻³ mm
Anillos planos		
Patrones angulares		
Cotas angulares	0°...60°	0,2"
Inmedida inartarométrica	360°	0,15"
Espesor poligonal (Superficie de reflexión ≥ 90mm ²)		
Anillo cónico sobre:		
Bloques cónicos		3"
Reglas de senos		0,5"
División sobre:		
Platos divisores	360°	0,2"
Capitales rotativos	360°	0,2"
Ciclos a trazo	360°	0,2"
(Distancia entre trazos ≥ 10 ⁻³ mm)		
(Ancho de trazo ≥ 10 ⁻³ mm)		
Cabezas divisores	360°	1"
Teodolitos	360°	0,3"
Anteojo autocolimador	60°...60°	0,05", 0,2"
Ángulos planos sobre piezas simples	0°...180°	0,8"
Engranajes y roscas		
Patrón de ejes/entes	Diámetro del círculo base	
Desviación del círculo base	de 4...550 mm	(1...4) 10 ⁻³ mm
Patrón de roscas	Diámetro del círculo divisor	0,3 10 ⁻³ mm
Desviación del ángulo de inclinación	d < 600 mm	0,8"~1,3"
Desviación de forma de flancos	Ángulo de inclinación	
0°...45°		-0,3 10 ⁻³ mm
de 45°		
de 550 mm		1,4 10 ⁻³ mm
m = 10,2...20mm		(0,3...0,5) 10 ⁻³ mm
de 1000 mm		0,5 10 ⁻³ mm
de 0...300		0,5...5"
Desviación angular de la inclinación		0,5 10 ⁻³ mm
Desviación individual de la inclinación		2-10 ⁻³ mm
Estator de diente		
Roscas cilíndricas y cónicas		
Diámetro de flanco	Longitud l < 200 mm	3 10 ⁻³ mm
Diámetro exterior	mm	3 10 ⁻³ mm
Diámetro de núcleo	Diámetro exterior	3 10 ⁻³ mm
Paso	Rosca exterior	1...750)mm
Ángulo de flanco	Rosca interior	3 10 ⁻³ mm
Ángulo cónico	5...600)mm	3 10 ⁻³ mm
Husillos roscados		6"
Paso	Longitud l < 3000 mm	
	mm	
	Diámetro < 100mm	(0,5...4) 10 ⁻³ mm

Tabla 4.2 Campos de medida e incertidumbre máximas alcanzadas en los laboratorios Alemanes de calibración PTB.

ANALISIS ECONOMICO

Este análisis comprende costos de inversión inicial, costos de mantenimiento, costos de operación y costos de reinversión para un periodo de vida de 2 años.

5.1 Inversión Inicial

Considerando la infraestructura con que cuenta el Laboratorio de Metrología Dimensional del Centro de Instrumentos de la UNAM, para el desarrollo de este proyecto se pretende adquirir dos juegos de bloques patrón longitudinales grado laboratorio, uno en sistema métrico (112 piezas) y otro en sistema inglés (108 piezas), así como también un juego de bloques angulares calidad inspección (12 piezas), que se mantendrán permanentemente calibrados a través del servicio que ofrece el NBS, ya que por el momento en nuestro país no se pueden calibrar estos juegos de bloques.

Los patrones arriba mencionados servirán para disseminar la precisión a los demás instrumentos y equipos del laboratorio, los cuales están agrupados en distintos niveles de precisión como se vio anteriormente.

5.1.1 Adquisición de equipo

El costo del equipo por adquirir es:

- a. Jgo. de bloques patrón longitudinales grado ISO 00 en sistema métrico, de origen Sueco, marca C.E. Johansson.

\$ 45,000.00 Coronas suecas

- b. Jgo. de bloques patrón longitudinales especificación Federal O.S LM (Lab. Master), de origen Norteamericano, marca Starret.

\$ 7,000.00 Dólares

c. Jgo. de bloques angulares calidad inspección, de origen Norteamericano, marca Starret.

\$ 3,000.00 Dólares

5.1.2 **Transportación y viáticos**

El objetivo de visitar el NBS, Washington, D.C. Estados Unidos de Norteamérica es :

- a. Establecer de común acuerdo con el NBS la mecánica a seguir en el envío y recepción de los juegos de bloques que adquiriera el Centro de Instrumentos.
- b. Conocer la organización de los servicios de calibración que ofrece dicha institución e intercambiar impresiones y experiencias alrededor de los métodos y técnicas empleadas en la calibración de bloques por comparación, para su adaptación en el laboratorio de metrología del C.I.
- c. Conocer el Plan de Calibración de su laboratorio de Metrología Dimensional.

La duración de este viaje será de una semana, con un costo aproximado por persona de (no requieren dos):

\$ 1,700.00 Dólares

5.1.3 **Acceso de información**

Para el buen desarrollo de este proyecto se requiere también de: servicio de cómputo, biblioteca, fotocopiado y documentación, con un costo aproximado de :

\$ 400,000.00

5.2 Costos de Operación

5.2.1 **Personal requerido para el desarrollo del proyecto**

La duración de este proyecto será de dos años contados a partir de recibir el financiamiento (59% del costo total del proyecto) por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Las actividades están contenidas en el diagrama de barras anexo .

Para la ejecución de este proyecto se estiman un total de 2340 (dos mil trescientas cuarenta) horas/hombre distribuidas a lo largo de dos años.

	<u>Horas/nombre</u>	<u>Costo H/H</u>
Supervisión	260	\$ 2,510.00
Ingeniero de proyecto	620	\$ 5,900.00
Ingeniero asistente	1040	\$ 9,980.00
Secretaria	520	1,667.00

Dando un costo de: \$ 20,957.00 (CINCO MILLONES NOVENTA Y UN MIL QUINIENTOS OCHENTA PESOS 00/100 M.N.).

5.2.2 Sustancias y materiales

Sumado al costo anterior, se requiere comprar ciertas sustancias y materiales tales como: solventes, lubricantes, pénsas, piedras desbarbantes, etc., cuyo costo asciende a:

\$ 300,000.00

5.3 Costos de Mantenimiento

Los costos derivados del mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de acondicionamiento de aire según datos proporcionados por el proveedor de servicio, se estiman en:

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| a. Mantenimiento preventivo anual. | \$ <u>2,500,000.00</u> |
| b. Mantenimiento correctivo anual. | \$ <u>3,000,000.00</u> |

5.4 Costos de Reinversión

Una vez que la vigencia de la calibración de los juegos de bloques patrón haya expirado, éstos tendrán que ser enviados a un laboratorio de nivel superior a fin de conocer la exactitud y precisión de los mismos, ya que los bloques se pueden deteriorar con el tiempo, uso, y las condiciones ambientales.

Los intervalos de calibración de los juegos de bloques, así como los precios de reinspección y calibración de los mismos serán de:

<u>DESCRIPCION</u>	<u>PERIODO DE CALIBRACION</u> (MESES)	<u>COSTO</u> (DOLARES)
a. 100. de bloques longitudinales graso ISO 00.	24	\$ 1,200.00

b. Jgo. de bloques longitudinales especificación Federal O.S LM.	24	1,000.00
c. Jgo. de bloques angulares Unidad Inspección.	24	500.00
		<u>2,700.00</u>

3.9 Costo total del proyecto

Dado que los juegos de bloques, la calibración de los mismos, así como la transportación y viáticos están cotizados en moneda extranjera, se consideran los siguientes tipos de cambio:

- 1 Dólar = \$ 1,380.00 Pesos Mexicanos
 - 1 Corona Sueca = 250.00 Pesos Mexicanos
- (Pesos M.N. Octubre de 1987)

a. Inversión inicial.....	\$ 32,422,000.00
b. Costos de operación.....	5,391,750.00
c. Costos de mantenimiento.....	13,200,000.00
d. Costos de reinversión.....	<u>4,855,000.00</u>
\$ U.N.A.:	\$ 55,868,750.00

Por lo que el costo total del proyecto será de: \$ 55,868,750.00
(CINCUENTA Y CINCO MILLONES DOSCIENTOS SETENTA Y NUEVE MIL
QUINIENTOS OCHENTA PESOS 00/100 M.N.).

CONCLUSIONES

Para que la actividad metrológica se lleve a cabo en forma sistemática y eficiente se requiere una "conciencia metrológica" por parte de industriales, trabajadores y autoridades, para que entiendan claramente la importancia de medir tanto en el proceso productivo como después del mismo.

La práctica metrológica beneficia a:

- Los industriales, para realizar una evaluación y optimización técnica de sus productos, ajustándose a la reglamentación nacional y extranjera, si es el caso.
- Los distribuidores, que deben conocer antes de la comercialización de un producto, su funcionalidad, así como la satisfacción de normas y reglamentos.
- Las asociaciones de consumidores, que pretendan realizar estudios comparativos, así como evaluar la calidad de un producto.
- El gobierno, para realizar estudios técnicos que le permitan elaborar normas o especificaciones, así como para controlar el respeto a la reglamentación, y para evaluar los productos sometidos a la adquisición pública.
- Las compañías aseguradoras y expertos, con el fin de garantizar imparcialidad en conflictos sobre prestaciones o empleo correcto de productos industriales.

Es importante destacar que México se encuentra en una nueva etapa de desarrollo, en la cual uno de los más firmes apoyos para alcanzar los objetivos fijados en esta fase lo representa la calidad de los productos en todos los campos de la industria.

Para lograr dichos objetivos, la industria mexicana requiere entre otras cosas de recursos humanos capacitados, de máquinas-herramientas, así como de instrumentos de medición que permitan verificar la calidad obtenida.

De aquí la importancia de que todos los aparatos de medición utilizados en la industria tengan un mantenimiento y una calibración sistemática y regular, que permitan conservar dichas aparatos en perfectas condiciones de operación.

Para tal efecto se requiere de laboratorios de metrología con una infraestructura tal que permita diseminar la precisión a la industria, asegurando plena confiabilidad en las mediciones y por ende en la calidad de sus productos.

Estos laboratorios a su vez deben contar con un Plan de Calibración periódico que incluya cada patrón, instrumento, y/o equipo de medición existentes en el mismo y enlazados a niveles de calidad superior. Así mismo, estos laboratorios deben de mantener un estricto control de las condiciones ambientales.

El contar con Laboratorios de Calibración en nuestro país, permitirá a la industria nacional obtener un mejor control de la calidad de sus productos, lo cual condecorará a obtener un incremento de la productividad. Por tanto, es inaplazable el que se tomen medidas para fortalecer la aplicación de la metrología, de los sistemas de control de calidad a nivel nacional y promover los servicios de metrología y normalización hacia y desde la industria, con el objeto de incrementar la calidad de los productos y poder lograr niveles de exportación, ya que en el contexto general, México se está recuperando con respecto a otros países, lo cual tiende a limitar cada vez más su participación en el comercio internacional.

Además, cualquier proceso de industrialización con vistas a la sustitución de importaciones y promoción de exportaciones, genera demanda de servicios de medición que convalidan a la industria.

Por lo mencionado anteriormente y ante la carencia de Centros y/o Instituciones dedicadas al área mencionada, el Laboratorio de Metrología del Centro de Instrumentos de la UNAM intenta convertirse en una institución de referencia para la prestación de servicios de medición y calibración, tanto para la propia UNAM como para la industria en general.

Cabe mencionar que el laboratorio de metrología del CI es un Laboratorio Oficial autorizado por la UGN para prestar servicios

de calibración de máquinas para medir errores de división en engranes cilíndricos, así como medición de engranes cilíndricos con máquinas para medir errores de división, por lo que los informes de medición y calibración que se efectúen en dicho lugar, tienen el respaldo del citado organismo, lo que permite a los usuarios contar con la trazabilidad adecuada.

En lo concerniente al costo del Plan de Calibración, éste es variable, y está en función de las características e infraestructura de cada laboratorio, así como de los recursos humanos que en ellos laboran. En general, el Establecimiento de un Plan de Calibración es caro, pero rentable.

Los ventajas de implementar un Plan de Calibración son entre otras: asegurar la precisión de las mediciones, disminución de los errores sistemáticos, obtención de la trazabilidad interna y externa, mantenimiento adecuado de todos los patrones e instrumentos, etc.; lo que permite considerar como mínimos los costos que éste implica.

Por último, resultaría conveniente que las instituciones que realizan actividades metrologógicas obtengan a la menor brevedad la autorización por parte de la DGM para ofrecer sus servicios de medición a la entidad que así lo requiera, de tal manera que las industrias mexicanas no se vean en la necesidad de recurrir a servicios de calibración en el extranjero (en el caso de los casos) evitando así fuga de divisas tan necesarias en nuestros días, así como un ahorro sustancial en tiempo y dinero.

ANEX D

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Platos de Interferencia.	CLAVE: 543927
	MARCA/PAISEL: Division Opticas D-103-1.	No. DE SERIE: 546
	NIVEL DE PRECISION: 1	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A: 7, 8, 9	NO CALIBRAN: 1

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

- 1.1 Inspección visual para verificar aspecto (imperfecciones superficiales).
- 1.2 Comprobación de la planitud de una de las superficies mediante el empleo del interferómetro.
- 1.3 Ajustar la mesa del interferómetro hasta que la franja patrón más adecuada para observación y medición este visible en el campo de vista. La planitud de la superficie de prueba esta determinada por el valor de la curvatura de la franja sobre el valor del ancho entre franjas en forma fraccional.

2.- Verificar la planitud de la otra superficie.

- 2.1 Ajustar la mesa del interferómetro para que la imagen de la superficie coincida con la imagen de referencia. La curvatura y el ancho entre franjas, se miden de acuerdo al procedimiento esbozado en el punto 1.3.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	BOMBE: Planos de Referencia.	CLAVE: 543927
	MARCA/MODELO: Davidson Optonica. D-305-L	No. DE SERIE: 566
	NIVEL DE PRECISION: 1	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A: 7, 8, 9	LO CALIBRAN: 1

I N S T R U C C I O N E S

3.- Comprobación del paralelismo entre las dos superficies planas.

3.1 Verificar el ángulo de caña entre las superficies de cristal, empleando planos ópticos. El ancho entre franjas se determina siguiendo el procedimiento indicado en el punto 1.3.

4.- Calibración Periódica.

4.1 Realizar inspección visual, verificando el estado del vidrio, rayado y marcas. Comprobar los puntos 1.2, 2 y 3. Se considera aceptable un periodo de recalibración de 6 a 12 meses.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Bloques Patrón	CLAVE: 551455
	MARCA/MODELO: Starrett Rectangular.	No. DE SERIE: 62182-10
	NIVEL DE PRECISION: 2	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A: 25, 27, 29, 30, 33, 36 35, 36, 37, 38	LO CALIBRAN: 1, 2, 3

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción

1.1 Limpieza de los bloques

1.2 Inspección visual de los bloques a fin de detectar imperfecciones superficiales.

1.3 Verificar igualdad y estabilización de la temperatura.

1.4 Comprobar la longitud nominal del bloque mediante un comparador electrónico o con métodos interferométricos.

1.5 Verificar la planitud de la superficie de medida con un plano óptico.

1.6 Comprobar el paralelismo de la superficie de medida mediante un par de planos ópticos, con la ayuda de un bloque patrón de igual nominal al que va a ser verificado.

2.- Calibración Periódica.

2.1 La frecuencia de calibración dependerá de los factores siguientes:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	CLAVE: 551456
	MARCA/MODELO: NORTON Rectangular
	NIVEL DE PRECISION: 2
	FECHA: Septiembre 1947
CALIBRA A: 25, 27, 29, 30, 33, 34 35, 36, 37, 38	LO CALIBRAN: 1, 2, 3

I N S T R U C C I O N E S

- 2.1.a Grado de exactitud de los bloques.
- 2.1.b Grado de deterioro de los mismos.
- 2.2 Verificar los puntos 1.2, 1.4, 1.5 y 1.6.
- 2.3 Se considera aceptable un periodo de recalibración de 12 a 24 meses.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Ho. de Alambres, Cilindros y Rodillos	CLAVE: MI-022
	MARCA/MODELO: Cleveland EDP-76291 D	No. DE SERIE: 6628
	NIVEL DE PRECISION: 2	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	-LO CALIBRAN: 2, 3

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

1.1 Inspección visual para verificar: aspecto general, oxidación.

1.2 Determinar el método para el estudio de las deformaciones entre los elementos en contacto durante una medición, de entre los siguientes:

1.2.a Seleccionar el tipo de palpador a utilizar.

1.2.b Elegir un patrón de referencia para comparar el cilindro.

1.2.c Utilizar un sistema con una superficie plana y un palpador esférico

1.2.d Escoger un sistema de superficies planas.

1.2.e Minimizar el efecto del error de paralelismo al utilizar superficies planas, centrando y repitiendo esa posición.

1.2.f Factores que pueden introducir un error sistemático, no siempre despreciable: el uso de bloques patrón y la deformación del cilindro.

El procedimiento anterior es aplicable también a la calibración de escalas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Ins. de Medidas, C.I.M.	CLAVE: MF-012
	Dir. J. Nolasco	
	MARCA/MODELO: Cleveland EPP-76291 D	No. DE SERIE: 6628
	NIVEL DE PRECISION: 2	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 2, 3

I N S T R U C C I O N E S

1.3 Determinar los elementos que influyen en la deformación de una pieza en el punto de contacto durante una medición.

1.3.1 Fuerza de medida.

1.3.2 Area de contacto en un punto de medida.

1.3.3 Factor de proporcionalidad k que se divide en dos grupos básicos:

Geometría de contacto (esfera-esfera, esfera-cilindro, esfera-plano y plano-plano) y tipo de material en contacto.

1.4 Errores resultado del acabado superficial.

1.4.1 Cuando el palpador toca la superficie en valles y crestas alternativamente.

1.4.2 Debido al valor de la deformación local, creciendo de acuerdo a la rugosidad de la superficie.

1.5 Recomendaciones para la calibración.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCIÓN DE METROLOGÍA	NOMBRE: 600 de Alambres 6110	CLAVE: NI-022
	MARCA/MODELO: Cleveland ESP-76294 B	Nº. DE SERIE: 6528
	NIVEL DE PRECISIÓN: 2	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 2, 3
<p>I N S T R U C C I O N E S</p> <p>1.5.1 Eliminación de variables.</p> <p>1.5.2 Aplicación de un factor de corrección.</p> <p>2.- Calibración Periódica.</p> <p>2.1 Se verificarán los puntos 1.1, 1.2 y 1.3. Se considera aceptable un periodo de revisión cada 6 a 12 meses.</p>		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Máquina de Medición de Juntas	CLAVE: 401-101
	MARCA/MODELO: Heald y Swiflow Modelo 90	NO. DE SERIE: 67022-0003
	NIVEL DE PRECISION: 3	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 2

I N S T R U C C I O N E S

- 1.- Inspección visual, ajuste y verificación del estado general de la máquina.
 - 1.1 Ajuste básico de la máquina. Alinear primero el cabezal aproximadamente con una línea específica sobre la barra. Asegurar a la bancada el bloque de ajuste del cabezal.
 - 1.2 Alineamiento final del cabezal centrando la línea inscrita en el botón de la barra entre las dos líneas de la retícula del microscopio.
 - 1.3 Alineación inicial del cabezal.
 - 1.3.1 Identificar por números las partes usadas para poner a cero el cabezal.
 - 1.3.2 Ajustar el módulo de 25.4 mm girando la manivela en sentido horario.
 - 1.3.3 Ajustar el cero mecánico sobre el módulo girando la manivela 9 hasta que el módulo se extienda en toda su longitud.
 - 1.3.4 Alinear las líneas inscritas sobre la manivela y el cabezal. El eje

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCIÓN DE METROLOGÍA	NOMBRE: Instrumento de medición de longitud.	CLAVE: 551570
	MARCA/MODELO: POTT & EBERTNER H-305395	No. DE SERIE: G-2022-0003
	NIVEL DE PRECISIÓN: 1	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 2

I N S T R U C C I O N E S

Cabezal está parcialmente ajustado a cero y, sirve como referencia para el ajuste inicial a cero del contrapunto.

1.4 Alineación inicial del contrapunto.

1.4.1 Dejar un espacio de 6.35 mm entre los yunques del cabezal y el contrapunto.

1.4.2 Fijar el ajuste de presión del contrapunto en 606 gramos.

1.4.3 Mover el contrapunto y hacer contacto con el yunque del cabezal, observando el medidor del contrapunto. Mover el contrapunto hasta que el medidor indique "0" al centro de la escala.

1.5 Alineamiento final del cabezal y el contrapunto.

1.5.1 Referir el módulo del cabezal al "0" del medidor del contrapunto a partir de un patrón de precisión.

1.5.2 Girar la manivela de ajuste del cabezal en sentido antihorario, has-

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Máquina de Medición de Longitud	CLAVE: 561570
	MARCA/MODELO: Ford & Mottley C. 615395	No. DE SERIE: 0-2022-0003
	NIVEL DE PRECISION: 3	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 2

I N S T R U C C I O N E S

ta que en el espacio entre yunques quepa un bloque de calibración - de 2.5 mm.

- 1.5.3 Girar la manivela de ajuste en sentido horario hasta que ambos yunques hagan contacto con el bloque y el medidor del contrapunto indique dentro de la escala.
- 1.5.4 Asentar el bloque de calibración frotándolo contra los yunques.
- 1.5.5 Cuando el bloque está asentado, rotar lentamente la manivela de ajuste en sentido horario hasta que el medidor del contrapunto indique "0". El ajuste final al "0" del medidor se hará girando la manivela de ajuste en sentido horario.
- 1.5.6 Fijar en la consola digital la lectura por medio de los dígitos del "Preset" en 0002.5000 mm 6 000.10000" dependiendo del bloque de calibración utilizado.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Máquina de Medición de Funcional	CLAVE: 551 195
	MARCA/MODELO: Pratt & Whitney CMM 305	No. DE SERIE: G-2022-0003
	-NIVEL DE PRECISION: 3	-FECHA: Septiembre 1987
	-CALIBRA A:	-LO CALIBRAN: 2

I N S T R U C C I O N E S

1.5.7 Con el botón de "Preset/Reset" fijar el número en el despliegue digital. De esta manera el alineamiento del cabezal y el contrapunto se ha completado.

1.5.8 Revisar las condiciones de la máquina al final del alineamiento con siderando:

- a. Microscopio del cabezal alineado con el botón cero de la barra - patrón.
- b. La aguja del indicador del contrapunto señalando al "0" de la escala.
- c. Módulo del cabezal fuera del "0" del contrapunto.

2.- Calibración de la Máquina:

- 2.1 Equipo de calibración: Bloques patrón de 12, 7, 5, 4, 50, 8, 20, 2, 101, 6 mm.
- 2.2 Verificación de la aguja del indicador.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	MODELO: 1000	CLAVE: 806017
	MARCA/TIPO/DEL: Federal Ene 1956	No. DE SERIE: 810954
CENTRO DE INSTRUMENTOS	NIVEL DE PRECISION: 4	FECHA: Septiembre 1987
SECCION DE METROLOGIA	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 4

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

- 1.1 Inspección visual de la máquina y verificación de su funcionamiento.
- 1.2 Ajustar el contador a cero. Con tres bloques calibradores grado AA que difieren en tamaño 0.010" (0.25 mil) en los canales "A" y "B".
- 1.3 Verificar el funcionamiento de la graficadora polar. Con el control de cero de la cabeza calibradora "A" colocar el contador exactamente en cero, girar la mesa manualmente y activar el interruptor de graficar, la pluma debe trazar un círculo perfecto o a la mitad del rango de graduación de la carta.
- 1.4 Verificar la exactitud del husillo. Los principales métodos son:
 - 1.4.1 Exactitud radial. Esta es la desviación de lado a lado del eje rotacional del husillo del verdadero.
 - 1.4.2 Inclinación axial. El eje normalmente apunta arriba y hacia abajo del

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	MODEL: 1147	SERIE: 34017
	MARCA/RENTA: 1147	NO. DE SERIE: 34017
CENTRO DE INSTRUMENTOS	NIVEL DE PRECISION: 4	FECHA: Septiembre 1987
SECCION DE METROLOGIA	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 4

I N S T R U C C I O N E S

eje del husillo según su giro. Esta prueba se realiza empleando cualquiera de los procedimientos siguientes: Desviación axial con la bo la patrón y Desviación axial con un plano óptico.

1.4.3 Error de zonicidad. Es la desviación de la perpendicularidad del eje del husillo del verdadero según su giro.

2.- Calibración Periódica.

2.1 Verificar los puntos anteriores. Un período de revisión cada 12 meses se considera aceptable.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Mesa Circular Divisora.	CLAVE: 551572
	MARCA/MODELO: Fullam 36 Microdex	No. DE SERIE: 36227
	NIVEL DE PRECISION: 5	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 6, 16

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

1.1 Calibrar cabeza palpadora y graficadora.

1.1.1 Realizar calibración en cada una de las diferentes sensibilidades.

1.1.2 Seleccionada la sensibilidad, hacer una gráfica, recorrido todo el campo de la graficadora como sigue:

- a. Desplazar el palpador de la cabeza con el calibrador de comparadores, el equivalente a una división de la gráfica.
- b. Con el botón que dice calibración en la consola, colocar la pluma de la graficadora exactamente sobre la línea de la primera división de la gráfica.
- c. Dar incrementos con el calibrador de comparadores colocando la pluma sobre cada línea equivalente a una división de la gráfica, y reportar la lectura del calibrador.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Mesa Circular Divisora	CLAVE: 551572
	MARCA/MODELO: Topcon Microdex	Nº. DE SERIE: 30227
	NIVEL DE PRECISION: 5	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 6, 16

I N S T R U C C I O N E S

- d. Repetir c tantas veces como sea necesario, hasta llegar a la última línea en la gráfica, repitiendo en esta última línea el paso b realizado para la primera.
- e. Llevar a cabo los pasos c y d, en forma descendente.
- f. Construir la gráfica de calibración.

2.- Calibración de la Mesa Divisora.

2.1 Equipo empleado: Autocolimador Nikon Modelo 6D y Polígono Óptico de doce-
catas.

2.2 Con una excentricidad no mayor a 1 mm calibrar como sigue:

2.2.1 Ajustar la división de la mesa a 30°/división, es decir 12 divisiones para 360°.

2.2.2 Seleccionar la sensibilidad deseada para la graficadora y cerrar la gráfica. Esto se puede lograr con la ayuda de un engrane de 12 dien

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Mesa Circular Divisora	CLAVE: 531372
	MARCA/MODELO: Fellows 36 Microdex	No. DE SERIE: 36227
	NIVEL DE PRECISION: 5	FECHA: Septiembre, 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 6, 16

I N S T R U C C I O N E S

les, por ejemplo, o con el mismo polígono óptico.

2.2.3 Colocar el polígono con su eje perpendicular a la mesa y centrarlo razonablemente.

2.2.4 Seleccionar uno de los lados del polígono como posición 0°, ajustando el autocolimador apropiadamente.

2.2.5 Accionar la máquina, de manera que avance una división y después detenerla. Tomar la lectura con el autocolimador.

2.2.6 Repetir el procedimiento anterior hasta recorrer los 360°. Con las lecturas anteriores y la carta de calibración del polígono, construir la gráfica de calibración a partir de la tabulación de datos.

3.- Ajuste del Contrapunto y el Punto.

3.1 Colocar las piezas entre punto, cuidando los ajustes siguientes:

3.1.1 Error total del centrado o deriva del eje de trabajo $\leq 0.25 \mu\text{m}$ (0.0

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	.NOMBRE: Mesa Circular Divisora	.CLAVE: 551572
	MARCA/MODELO: Fellows 36 Microdex	No. DE SERIE: 36227
	.NIVEL DE PRECISION: 5	.FECHA: Septiembre 1987
	.CALIBRA A:	.LO CALIBRAN: 6, 16

I N S T R U C C I O N E S

00010").

3.1.2 Presión de la punta del palpador de 10-20 gramos.

3.1.3 Paralelismo del contrapunto $\leq 2.5\mu\text{m}$ (0.00010") en un viaje del soporte de 152 mm (6").

3.1.4 Alineamiento del contrapunto con respecto al punto $\leq 5\mu\text{m}$ (0.0002")- por cada 76 mm (3") de altura del contrapunto.

4.- Calibración Periódica.

4.1 Se verificarán los puntos anteriores, se considera aceptable un período de revisión cada 12 meses.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Mesa de trabajo.	CLAVE: 563915
	MARCA/MODELO: Rock of Ages.	No. DE SERIE: 2442-1
	NIVEL DE PRECISION: 5	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 16

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

1.1 Inspección visual para comprobar el estado general de la mesa.

1.2 Comprobar la planitud de la superficie de trabajo, empleando:

1.2.1 Indicadores tipo prueba de superficies planas.

1.2.2 Autocolimador.

1.2.3 Nivel electrónico o de burbuja.

1.2.4 Interferómetro laser.

1.2.5 Regla con comparador.

1.3 Comprobar la planitud y perpendicularidad de las caras laterales de la mesa.

1.4 Verificar el número de puntos de contacto en un cuadro de 25 mm de lado.

2.- Calibración Periódica.

2.1 Verificar los puntos anteriores. Como valores tentativos, se pueden indi -

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	.NOMBRE: Mesa de Granito.	.CLAVE: 563915
	.MARCA/MODELO: Rock of Ages.	No. DE SERIE: 2542-1
	.NIVEL DE PRECISION: 5	.FECHA: Septiembre 1987
	.CALIBRA A:	.LO CALIBRAN: 16

I N S T R U C C I O N E S

car periodos de calibración de cada 6 meses para mesas de Inspección, y -
de 12 meses para mesas de laboratorio.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Escuadras.	CLAVE:
	MARCA/MODELO: Challenge LAP	No. DE SERIE:
	NIVEL DE PRECISION: 0	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN:

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

- 1.1 Inspección visual para verificar aspecto (imperfecciones superficiales, - óxido, mescas, etc.).
- 1.2 Comprobar perpendicularidad en ángulos interiores y exteriores.
- 1.3 Verificar la perpendicularidad de las superficies laterales respecto a la superficie de la barra corta.
- 1.4 Comprobar planitud y rectitud de los cantos de medida.
- 1.5 Verificar el paralelismo de los cantos de medida.
- 1.6 Comprobar el paralelismo de las superficies laterales. Las escuadras se - calibran generalmente por comparación con una escuadra cilíndrica. La - exactitud de las escuadras es medida por la máxima desviación de perpendi - cularidad de la hoja de canto con respecto a la hoja de soporte.

2.- Calibración Periódica.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Escuadras.	CLAVE:
	MARCA/MODELO: Challenge IAP	No. DE SERIE:
	NIVEL DE PRECISION: 6	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN:

I N S T R U C C I O N E S

- 2.1 Se verificarán los puntos anteriores. Se considera aceptable un período -
de revisión de 6 a 9 meses.
- La precisión de las escuadras es construida y no determinada mediante a -
juste.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Micrómetro	CLAVE: 974557
	MARCA/MODELO: Mitutoyo P.M.	No. DE SERIE: 1,509304
	NIVEL DE PRECISION: 7	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 8, 11

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

1.1 Inspección visual considerando el estado general del equipo, la legibilidad del grabado así como su funcionamiento.

1.2 Verificar planitud y paralelismo con un plano óptico. El número de líneas de interferencia visibles bajo una luz monocromática, no deben exceder los valores siguientes:

1.2.1 Dos franjas para planitud; cuando se verifica una de las superficies de medición.

1.2.2 Seis franjas para planitud y paralelismo combinados, haciendo contacto simultáneo con ambas superficies de medición.

1.3 Controlar el recorrido total del husillo, introduciendo entre sus caras bloques de calibración de valor nominal conocido.

1.4 Con las desviaciones obtenidas construir la curva de errores, en la cual -

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: METRÓMETRO	CLASE: 10107
	MARCA/MODELO: METRÓMETRO 10107	No. DE SERIE: A. 485304
	NIVEL DE PRECISION: 7	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 8, 11
I N S T R U C C I O N E S		
<p>se identifican el error máximo y el mínimo. En las desviaciones máximas - se realizará una comprobación más rigurosa.</p>		
<p>1.5 En micrómetros cuya capacidad total se obtiene mediante la unión de cuerpos intermedios entre las bocas de medida, es necesario el control individual de la longitud de los cuerpos.</p>		
<p>1.6 Para recalibrar micrómetros de interiores y de profundidades utilizar anillos y barras patrón respectivamente, además de los procedimientos de ajuste para micrómetros de exteriores.</p>		
<p>2.- Calibración Periódica.</p>		
<p>2.1 Se realiza efectuando las operaciones anteriores, cuando estas son aplicables. Se aconseja recalibrar estos instrumentos cada 3 meses.</p>		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Calibrador Vernier.	CLAVE: 551536
	MARCA/MODELO: Hitotoyo 514163	No. DE SERIE: 505-647
	NIVEL DE PRECISION: 8	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 8

I N S T R U C C I O N E S

1.- Calibración de Recepción.

- 1.1 Verificar milímetro a milímetro por comparación contra un patrón los puntos de discriminación del instrumento.
- 1.2 Establecer curva de calibración, visualizando mediante gráficas los errores, se construyen cuatro curvas:
 - 1.2.1 Desviaciones típicas de un instrumento perfecto.
 - 1.2.2 Resultado de error de ajuste de cero.
 - 1.2.3 Error de desgaste provocado frecuentemente por el uso.
 - 1.2.4 Error por desgaste de la barra del instrumento o por un error en la escala del vernier.
- 1.3 Determinar las variables a calibrar: Escala principal, Escala vernier, la acción mecánica y condición de contacto de las puntas.
- 1.4 Verificación de las variables y búsqueda de los errores metroológicos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	NOMBRE: Calibrador Vernier	CLAVE: 551536
	MARCA/MODELO: Mitutoyo 514163	No. DE SERIE: 505-647
	NIVEL DE PRECISION: 8	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	NO CALIBRAN: 8

I N S T R U C C I O N E S

- 1.4.1 Variables en la escala principal; errores de manufactura, desgaste y abuso (linealidad).
- 1.4.2 En la escala vernier existen dos variables que son fuente de errores sistemáticos; el ajuste a cero (error común), y el correspondiente a algún problema con la propia escala vernier (error menos común).
- 1.5 Efectuar medida de calibración cerrando y contrando cuidadosamente el calibrador sobre una pila de bloques calibradores, repetir la operación hasta que las diferentes mediciones se corroboren unas a otras, para evitar errores.
- 1.6 Determinar si el instrumento aún sirve, verificando si las lecturas están fuera de tolerancia. Para ajustar el vernier mediante calibración, es suficiente un número determinado de lecturas para conocer las variables que

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CENTRO DE INSTRUMENTOS SECCION DE METROLOGIA	HOMBRE: Calibrador Vernier.	CLAVE: 551536
	MARCA/MODELO: Mitutoyo 513163	No. DE SERIE: 505-647
	NIVEL DE PRECISION: 8	FECHA: Septiembre 1987
	CALIBRA A:	LO CALIBRAN: 8

I N S T R U C C I O N E S

- se deben ajustar.
- 2.- Calibración Periódica.
- 2.1 Se realiza comprobando las operaciones indicadas en los puntos anteriores
- Se considera aceptable un periodo de calibración cada 12 meses.

BIBLIOGRAFIA

1. SERVICIO DE CONSULTA

Asociación Española para el Control de la Calidad. "Diccionario de Términos Técnicos Relativos a la Metrología". Madrid, España, 1978.

Asociación Española para el Control de la Calidad. "Monografía sobre Interferometría". Madrid, España, 1978.

Asociación Española para el Control de la Calidad. "Curso de Metrología Dimensional". Ed. E.T.S. Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1982.

Asociación Española para el Control de la Calidad. "Curso de Metrología Dimensional". Ed. E.T.S. Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1982.

Asociación Española para el Control de la Calidad. "Curso de Metrología Dimensional". Ed. E.T.S. Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1982.

Asociación Española para el Control de la Calidad. "Curso de Metrología Dimensional". Ed. E.T.S. Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1982.

Johnson, Ted. "Fundamentals of Dimensional Metrology". Deltek Publishers Inc., Third Edition, New York, N.Y., 1984.

Ortega de Vicente, Javier. "Curso de Metrología Dimensional". Ed. E.T.S. Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1982.

Ortega de Vicente, Javier. "Curso de Metrología Dimensional". Ed. E.T.S. Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1982.

- 10.-De la Herran Villegas J., Velasco Briseno C., Sandoval R., Ruiz Batello G., y Sánchez Vascotto J., "Curso Básico de Metrología Dimensional", Centro de Instrucción UANL, 1967.
- 11.-Dr. R.E. Abernethy et al., Pratt & Whitney Aircraft, Ltd. Inspection, Jr., ARD, Inc. "Measurement Uncertainty Handbook", Reproduced by National Technical Information Service, 1970.
- 12.-Forego Francis, J. Handbook of Dimensional Measurement, Industrial Press Inc., Second Edition; New York, 1962.
- 13.-Dr. Brinson, Daniel. "Essays of an Americanist", Federal Deposit Corporation, 1970.
- 14.-García, Heinrich. "Medición de Longitudes", Ed. Reverte, España, 1979.
- 15.-Instituto de Metrología Nitrova. Microscopios Calibradores de Precisión. Libro de Tercer Nivel 1969.
- 16.-J. E. Holm. "Experimental Methods for Engineers", McGraw-Hill Book Co., Inc., 1947, Eds. Ed. México 1977.
- 17.-H. Hume. Metrology with optical systems. Published by Philip and Watte LTD - London - England - 1968.
- 18.-Hennedy W. Clifford and Andrew E. Donald. "Inspection and Gauging", Industrial Press Fifth Edition; New York, N.Y., 1977.
- 19.-Lima, Walter. "Metrologia Dimensional "Sinopse", Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Brasil-1976.
- 20.-Moore Wayne, R. "Foundations of Mechanical Accuracy", The Moore Special Tool Company, First Edition, Bridgeport, Connecticut, 1970.
- 21.-Organisation Internationale de Metrologie Legale. Vocabulaire de Metrologie Legale. Termes Fondamentaux. Edition 1978.
- 22.-Society of Manufacturing Engineers. Tool and Manufacturing Engineer-Handbook. Dallas, Daniel B. Editor, Third Ed., 1974.
- 23.-Wernicke, H.J., Dutschke, W. Fertigungsmesstechnik. Handbuch für Industrie und Wissenschaft, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1964.

1. ANSI Z39.1-1970. American National Standard. Precision Large Gage Blocks for Length Measurement. Published by ASME.

2. ANSI B.86.3.1-1973. Temperature and Humidity Environment for Dimensional Measurements. Published by ANSI.

3. Aprobado por el Comité Mexicano de Normas-55. "Estandarización de Unidades Fundamentales y Generales de Metrología".

4. ANSI Designation: D-2825-71. Standards Recommended Practice for Calibration of Standard and Equipment.

5. DIN 181. 1961. Parallelism. Berlin. Informationszentrum. Deutsche Normen.

6. 33-66-150-1975. USA. Federal Specification. Gage Blocks and Accessories (Inch and Metric).

7. ISO 1002.1. Recommended Environments for Standard Laboratories. Published by ISO.

8. ISO-1974. Standard Reference Laboratory for Industrial Length Measurement.

9. ISO GUIDE 25-1974. General Requirements for the Technical Competence of Testing Laboratories.

10. ISO 3550. 1978-01-15. International Standard. First Edition. Gage Blocks.

ARTICULOS

1. Simpson, John. "Carta Metrologica No. 9: Los Fundamentos de la Metrologia". Ed. Sim 1964.

2. Davis S.L. John. A Gage Block Measurement Process Using Six-Sigma Length Interpretability. NIST. Washington, D. C. 1975.

3. Jones E. John and Tucker C. Measurement Assurance for Gage Blocks. U.S. Department of Commerce. NIST. Issued February 1978.

4. Bureau National de Metrologie. Expression des Incertitudes d'Etalonnage. BNM Reference INC-1. Paris le 10 Février 1977.

5. CEN. Standards (Rock). Sets News. Standards. Metrology. Inspection. July 1978.

- 6.-Carro de Vicente Portela, Javier. Estudio de la Precisión de una Regla de Senos de un sólo Eje. Carta Metroológica No. 5. Publicación del Sistema Interamericano de Metrología. Buenos Aires, Argentina 1982.
- 7.-Federal Products Inc. The Precision Measurement Facilities. Internal Report, May 1980.
- 8.-Federal Products Inc. The Precision Measurement Centers of Federal, Accuracy Starts Here. Methods of Measurement, Vol. 29-1, Winter 1982.
- 9.-Grupo Industrial. Sistema Internacional de Unidades S.I. México 1980.
- 10.-Künder, Walter. Un Comparador para Determinaciones Interferométricas de Patrones de Longitudes de Onda de Vidrio.
- 11.-Link Walter e Farias F., Pereira. Técnicas e Métodos de Medição de Esferas e Cilindros Padrão e Seu Uso na Indústria de Precisão. Divisão de Engenharia Mecânica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, IPT-100.
- 12.-Osley, F.R.G. Recommendations for the Design and Equipping of Engineering Metrology Laboratories. National Physical Laboratory, Report No. NPL-IR-4-Rev., 1972.
- 13.-Sánchez Pérez Angel María y Carro de Vicente Portela, Javier. La Determinación de Interferómetros de Medida. Novaescolina No.109/Marzo 1985.
- 14.-Slapson A. John. Los Fundamentos de la Metrología. NBS Center of Mechanical Engineering and Process Technology, Washington, D.C. 20834. Carta Metroológica No. 2/84.
- 15.-Torres F., Borges L. y Martínez A. Metrología Dimensional, Regulación y Mando Automático-XVIII-No. 141-Septiembre 1984.
- 16.-Tucker, J.C. Preparations for Gage Blocks Comparison Measurements. NBS, Washington, D.C. 1974.
- 17.-U.S. Department of Commerce. Metrology of Gage Blocks. NBS Circular 581. Issued April 1, 1987. Washington, D.C.
- 18.-U.S. Department of Commerce. The International System of Units (SI). NBS Special Publication 330. Washington, D. C. 1977.

19.-U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service. Contact Deformation in Gauge Block Comparison. National Engineering Lab. (NBS), Washington, D.C. 1978.

MANUALS

- 1.-432 Amplifiers. Instructions. Model EAS-1460. THRU EAF-447. Federal Products Corporation.
- 2.-Bulletin AK-74 Gaertner Optical Instrumentation. Toolless Microscope. Gaertner, Model 2001 4RS.
- 3.-Circular Geometry Gage. Instructions. Formden 0000.
- 4.-Digital Measuring Machine. Instruction Book. Pratt's United Machine Tool Division, Model U-304395.
- 5.-Digital Electronic Gage Amplifiers. Operating Information. Brown & Sharpe, Model 877-1028.
- 6.-E-Lyze Height Master. Operating Manual. Model 518. Nikon MF9. Co., LTD.
- 7.-Engineering Data for the Electronic Gage. Microcomputer Operating Information. Brown & Sharpe, Model 503-370-11.
- 8.-Instituto de Metrología Milutovo. Bloques Patrón. Manual No. 2012 E.
- 9.-Instituto de Metrología Milutovo. Calibradores de Carátula. Manual No. 3201 E.
- 10.-Instituto de Metrología Milutovo. Fundamentos sobre Medición de Precisión. Manual No. 3402 E.
- 11.-Interferometer. Operating & Maintenance Manual. Model S 300 1 & 305L. Davidson Optronics, Inc.
- 12.-Ponirague S., Francisco. Las Unidades S.I. Otros Símbolos. Manual Tec. Editec. 1985. Revisión. 0.7.
- 13.-Profile Projector. Instructions. Nikon. Model V-150.
- 14.-Surfalyzer System 4000. Operating Instructions. Federal Model 848-4400.
- 15.-The Fellows No. 36 Microdex. Parts List and Instruction Manual. Fellows Corporation. 1975.

OTHER PUBLICATIONS

1. Libro de Vicente Portela, Javier. El Plan de Calificación del Trabajo de Precisión de la Industria Laboral. Publicación Internacional de las Fuerzas Armadas Españolas. Publicación Internacional de la Organización Industrial METROPOLITANA de la Universidad de Zaragoza. E.U.S. Impresores Industriales. 1954.
2. Libro de Vicente Portela, Javier. Las Técnicas de Organización. Memorias I Congreso Internacional de Métodos Industriales METROPOLITANA de la Universidad de Zaragoza. E.U.S. Impresores Industriales. 1954.
3. Libro de Vicente Portela, Javier. El Plan de Calificación del Trabajo de Precisión de la Industria Laboral. Publicación Internacional de las Fuerzas Armadas Españolas. Publicación Internacional de la Organización Industrial METROPOLITANA de la Universidad de Zaragoza. E.U.S. Impresores Industriales. 1954.
4. Libro de Carvino, Luis. Metodología de la Ingeniería de Organización Mecánica. Memorias del I Congreso Internacional de Metodología Industrial METROPOLITANA de la Universidad de Zaragoza. E.U.S. Impresores Industriales. Zaragoza, España. 1954.
5. Libro de Carvino, Luis. Metodología de la Ingeniería de Organización Mecánica. Memorias del I Congreso Internacional de Metodología Industrial METROPOLITANA de la Universidad de Zaragoza. E.U.S. Impresores Industriales. Zaragoza, España. 1954.
6. "III Congreso de Neurología y Control de Carcinos." Publicación de la Universidad Nacional de México. México. 1954.
7. "División de Educación Técnica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Acapulco. Memorias del Primer Encuentro de "Ingenieros y Administradores". Ed. D.E.C. México. 1955.
8. "Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. IPT. Lista de Precos Pa Metrologia." Referência do "Gráfico" Outubro-Dezembro de 1954.
9. "Instituto MFG. Co. LTD. Gage R.R. Catalo No. 1-1955".
10. "Robert Webber Gage Division. Leach Gages. The U.S. Gage Co. Bulletin No. 149 W. March 1955.