

01127
4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
CALIBRACIÓN DE BLOQUES PATRÓN EN
UN COMPARADOR MARCA TESA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A :

JUAN MAURICIO ANGELES
CERVANTES

DIRECTOR DE TESIS
Ing. SERGIO PADILLA OLVERA



CIUDAD UNIVERSITARIA

MARZO, 2003

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

Agradecimientos.

A mi familia por todo el apoyo otorgado para llegar hasta aquí.

A Sergio por su comprensión, apoyo y paciencia.

Al CCADET por el facilitar sus instalaciones para la realización de este trabajo.

ÍNDICE TEMÁTICO

Índice	1
Introducción	3
Objetivo.	3
Definición del problema.	3
Descripción del problema a resolver.	4
Relevancia.	4
Relación con otras áreas.	5
Método.	5
1.- Conceptos Básicos.	7
1.1 La razón de medir.	7
1.2 Unidad y Patrón de longitud	8
1.2.1 Concepto de Longitud de Onda para la definición del metro.	11
1.2.2 Definición actual basada en un valor fijo de la velocidad de la luz.	13
1.3 ¿Qué es una medida de precisión?.	14
1.4 Definiciones.	14
1.5 Tipos de errores.	16
1.6 Causas de errores de medición y su corrección	17
1.6.1 Efecto de la temperatura	17
1.6.2 Deformación	18
1.6.2.1 Deformación por compresión.	18
1.6.2.2 Contacto con superficie curvada.	19
1.6.2.3 Deformación elástica por su propio peso.	20
1.6.3 Error de paralaje.	21
1.6.4 Error instrumental.	22
1.6.5 Media aritmética.	22
1.7 Patrones de medición.	22
1.8 Instrumentos de Medición Dimensional.	23
1.9 Instrumentos de medición dimensional de alta exactitud.	24
1.10 Transductores de posición utilizados en Metrología dimensional.	25
2.- Bloques Patrón.	27
2.1 Patrón de longitud.	27
2.2 Historia del Bloque Patrón.	27
2.3 Normas	28
2.4 Requerimientos para los Bloques Patrón.	29
2.4.1 Dimensión seccional transversal.	30
2.4.2 Forma y tamaño.	31
2.4.3 Exactitud de los Bloques Patrón.	32
2.4.3.1 Exactitud.	32
2.4.3.2 Tolerancia de Perpendicularidad.	33
2.4.3.3 Tolerancia de Planicidad.	33
2.4.3.4 Tolerancia de Paralelismo.	34

2.4.4	Estabilización de los Bloques Patrón.	34
2.4.5	Dureza.	35
2.4.6	Acabado de las caras de medición (Facultad de adherencia).	35
2.4.7	Coefficiente de expansión térmica.	36
2.5	Incertidumbres de medición en Bloques Patrón	36
2.6	Material del Bloque Patrón	37
2.7	Usos y grados de los Bloques Patrón.	38
2.8	Mantenimiento e Inspección Periódica.	39
2.9	Calibraciones y aseguramiento de la calidad.	39
2.10	Requisitos de un informe de calibración.	40
3.-	Sistemas de Calibración existentes.	41
3.1	Comparador TESA (CT).	41
3.1.1	Características técnicas del CT.	42
3.1.2	Sistema de calibración de Bloques Patrón con el CT	44
3.2	Alternativas	47
4.-	Propuesta de solución.	49
4.1	Restricciones.	49
4.1.1	Variaciones de Temperatura.	49
4.1.2	Corrientes de aire	50
4.2	Sistema de posición.	51
4.2.1	Características del sistema.	52
4.2.2	Propuestas de solución.	53
4.3	Sistema de control	57
4.3.1	Microcontrolador	57
4.3.2	Sensores de posición y etapa de potencia.	59
5.-	Diseño del Sistema de posición.	60
5.1	Diseño del sistema.	60
5.2	Análisis cinemático del sistema motriz.	61
5.3	Sistema electrónico de potencia.	71
5.4	Señales de Control.	72
5.5	Software.	76
5.6	Integración de los elementos.	78
6.-	Resultados y conclusiones.	81
6.1	Resultados.	81
6.2	Conclusiones.	82
6.3	Trabajo a futuro.	83
Bibliografía.		84

Introducción

1.1 Objetivo

Desarrollar un sistema mecatrónico que permita realizar de forma automática los movimientos mecánicos necesarios para la calibración de Bloques Patrón en un comparador mecánico marca TESA, para que dicho proceso sea más rápido y eficaz.

1.2 Definición del problema

Entorno actual

En el Laboratorio de Metrología del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM, la atención a la calibración de Bloques Patrón forma parte de un grupo de servicios que son solicitados constantemente por la industria como parte de sus sistemas de aseguramiento de la calidad.

En el Laboratorio se cuenta con un comparador mecánico marca TESA (CT), con el cual se realiza la calibración de Bloques Patrón; sin embargo, este proceso se realiza de forma manual, en la cual el personal de laboratorio es quien realiza todos los movimientos necesarios para colocar los Bloques en los puntos de medición, los cuales están determinados por una plantilla incorporada al CT, que a la vez tiene restringido su movimiento por una pequeño balero axial.

Con intención de desarrollar procesos de medición automáticos, se busca implementar un sistema capaz de realizar las mediciones por sí sólo, de tal forma que el usuario se limite a colocar los Bloques sobre el CT, a supervisar el buen funcionamiento del proceso y a retirar los Bloques una vez que aquel ha finalizado, y con ello ahorrar tiempo y disminuir el valor de incertidumbre asociada al proceso de medición.

1.3 Descripción del problema a resolver

La calibración dimensional de Bloques Patrón, se convierte en un proceso fino de observación y comparación (contra un patrón dimensional de mayor exactitud), en donde se deben controlar minuciosamente las variables que influyen en la formación de incertidumbre. Algunas de las variables que podemos mencionar son las siguientes:

- 1) Variaciones de temperatura durante la calibración.
- 2) Diferencia de temperatura entre el instrumento de referencia y el instrumento a calibrar.
- 3) Incertidumbres debidas al CT (exactitud, cuantificación, defectos de geometría del sistema mecánico).
- 4) Alineaciones mecánicas al comparar contra patrones (debidas al sistema de posición).
- 5) Deposición de partículas pequeñas de polvo sobre la superficie de medición del Bloque Patrón.
- 6) Defectos mecánicos de la superficie de medición (superficie rayada, no plana, superficies no paralelas).

La fuente de incertidumbre 4), ya está incluida en la estimación de la incertidumbre del punto 3).

En este sentido y debido a la problemática expuesta, es necesario contar con dispositivos mecánicos que aseguren buen alineamiento y estabilidad durante la medición.

Por lo tanto el problema a resolver consiste en implementar un dispositivo mecánico, que mediante una interfaz electrónica y de programación, permita controlar los actuadores para que el sistema pueda recolectar los datos necesarios en el proceso de calibración.

1.4 Relevancia

El instrumento en conjunto ofrece un enorme ahorro de tiempo-hombre y costo de operación, pues con el instrumento calibrado, éste puede realizar mediciones consecutivas de Bloques en forma confiable durante prácticamente todo el periodo de vigencia de su calibración (generalmente de 1 año). El sistema ofrece la ventaja principal de que la incertidumbre por variaciones de temperatura disminuirá

considerablemente, ya que elimina la presencia de las manos del personal dentro de la cabina que contiene al instrumento (CT) y por lo tanto elimina una fuente de calor manteniendo en forma más estable y controlada la temperatura a la que se ejecutan las operaciones de calibración.

1.5 Relación con otras áreas

Existe una gran relación con las áreas de metrología dimensional, electrónica digital, microcontroladores, control digital, sistemas de calidad.

1.6 Método

El sistema para la calibración de Bloques Patrón se muestra en la figura 1.



Figura 1. Sistema para la calibración de Bloques Patrón.

La figura 1 ejemplifica el siguiente proceso: mediante las instrucciones de un microcontrolador, a través de una interfaz, se inicia el proceso de calibración, aquel controla los motores para el posicionamiento automático de los Bloques Patrón en los puntos de medición, una vez que los Bloques están en un punto de medición, el CT inicia la toma de lecturas. Cuando se termina de hacer la medición, el CT manda una señal al microcontrolador para que éste mueva los Bloques al siguiente punto de medición, y así consecutivamente hasta tomar las lecturas necesarias para un posterior análisis estadístico.

HECHO CON
PLACA DE ORIGEN

Las tarea fundamental del dispositivo mecánico es la siguiente:

- Colocar los Bloques (Bloque Patrón y Bloque a Calibrar), en los puntos de medición.

Los componentes del sistema son:

- Un comparador mecánico marca TESA.
- Sistema mecánico de posición.
- Cubierta de acrílico de 0.8 x 0.5 x 0.6 m.
- Un sistema electrónico basado en el microcontrolador MC68HC11F1.
- Dos motores de DC.
- Interfaz entre sensores optoelectrónicos y circuito de potencia (motores) con el microcontrolador.

Algunas de las características deseables en el instrumento son:

- Hacer automático el procedimiento de calibración de Bloques Patrón de 0,5mm hasta 100mm.
- Permite reducir la incertidumbre en la medición, por reducción de las variaciones de temperatura principalmente.
- Tener un dispositivo mecánico sencillo de instalar y con un mínimo de mantenimiento.

Capítulo 1

Conceptos Básicos

En este capítulo se da una breve descripción de la metrología dimensional, se abordan sus conceptos básicos y su instrumentación, así como una breve historia de la metrología dimensional. Los conceptos que se presentan, sirven para comprender y solucionar los problemas de diseño e implementación, así como la importancia del desarrollo de instrumentos para la calibración.

1.1 La razón de medir.

Se puede afirmar que el adelanto en las civilizaciones ha sido independiente de su capacidad de medir, y que la necesidad de medir ha abarcado siempre todos los ámbitos del quehacer humano. También se puede afirmar que nuestra especie, es la única en el planeta que ha desarrollado está inquietud que, a lo largo del tiempo se ha transformado poco a poco, cambiando de lo subjetivo a lo objetivo y estableciendo progresivamente conceptos de medición cada vez más generales.

El ser humano todo lo mide; aprecia la belleza de una puesta de sol, la compara con la del día anterior y comparar no es otra cosa que medir. En un intento de universalizar el concepto, Protágoras, el famoso sofista helénico contemporáneo de Pericles, lo plasmó en su conocida frase " El hombre es la medida de todas las cosas "¹, frase que expresa el aspecto subjetivo del medir. Sin embargo, y desde mucho antes, ya se medía objetivamente en los ámbitos del tiempo: reloj de sol y calendario; la longitud: las distancias, largos, anchos y alturas; de masas y volumen: las pesas y medidas, por mencionar solamente los más usuales de carácter físico.

En épocas antiguas, los países tenían sus propias medidas de longitud y los valores de las medidas locales no se podían comparar con las de otros países. Cuando la tecnología comenzó a desarrollarse

¹ Curso Básico: Módulo IV. Metrología Dimensional, pag 10.

y el comercio entre los países floreció, se hizo necesario unificar el sistema de medidas y unidades.

Tuvieron que pasar casi dos mil años para que comenzara, principalmente con Galileo, la era de las mediciones realizadas, en forma objetiva, científicamente. Había nacido la Metrología Dimensional.

1.2 Unidad y Patrón de longitud.

El desarrollo de patrones de medida de longitud, volumen, peso y tiempo tiene sus inicios desde la antigüedad. Por ejemplo, alrededor del año 6000 A.C. fue creada la "yarda megalítica" y en 3000 A.C. existió un patrón unificado de medidas de longitud, volumen, masa y tiempo. Posteriormente el patrón de medida consistió en un cubo hueco uno de cuyos lados tenía la longitud, aproximada, de un pie humano, aquel pudo haber sido llenado con agua para tener el patrón de volumen y masa y para el tiempo se requirió de un flujo de agua del cubo, usado como patrón de tiempo (reloj de agua). En la edad media muchas de las unidades de longitud fueron basadas en la medida del cuerpo humano (pie, pulgada, ana¹,...) frecuentemente tomadas del monarca del distrito correspondiente. Consecuentemente varios pueblos tenían su propia ana, y más de 40 diferentes anas con longitud dentro del intervalo de 40,38 cm hasta 79,9 cm existieron sólo en Alemania, por ejemplo.

La historia del SI con unidad básica de longitud, el metro, comenzó en la época de la revolución francesa. La gran variedad de la unidad de longitud fue un gran obstáculo para el comercio. En lugar de seleccionar una de las ya existentes, fue creada una nueva para promover que todos los estados estaban en igual de condiciones. La nueva unidad fue llamada "metre (metro)" derivada de la antigua palabra griega "μετρον (metron)" la cual se puede traducir como "medida".

La idea básica fue derivar al metro de una constante natural. Con el tiempo esta última llegó a ser la circunferencia de la tierra, tomada como una constante, y el metro fue definido como la diezmillonésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre. Para este propósito, la

¹ Ana (inglés: ell), medida de longitud hoy rara vez usada; en Inglaterra tenía 114.3 cm y en Escocia 93.98 cm.

medida de una sección del meridiano fue llevada a cabo de Dunkirk vía París a Barcelona. Figura 1.1. Esta medida fue a la sazón referida al ángulo "a" del correspondiente segmento del meridiano por la medida de la correspondiente elevación de diferentes estrellas. El metro determinado por este procedimiento fue cuidadosamente transferido a la longitud de una barra, el "metre des archives".

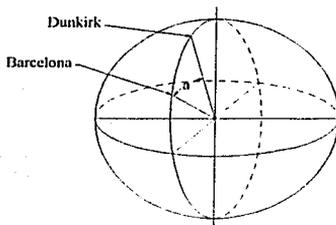


Figura 1.1 Medida de la distancia entre Dunkirk y Barcelona.

En 1796 se depositó en los "Archivos" de París, el primer metro patrón de platino cuya sección transversal era de 25.3 mm x 4 mm. Sobre esta barra patrón se grabó la leyenda "Metre des Archives" (metro de archivo, en francés). Pieza de carácter histórico que se guarda en el Conservatorio de Artes y Oficios de aquella ciudad. Sin embargo, es hasta 1837, que se establece en Francia el Sistema Métrico Decimal como obligatorio. México lo adopta a partir del primero de enero de 1857.

En 1875, se llevó a cabo una Conferencia Internacional sobre Longitud, en París. En mayo de 1875, diecisiete naciones firmaron el Tratado Internacional del Sistema Métrico, por medio del cual, se fundó el "Bureau International de Poids et Mesures" (BIPM). En 1876 empezaron a fabricar el prototipo del metro y a reproducirlo para las naciones que firmaron el tratado.

Se hicieron 32 barras, ideadas por Tresca, las cuales se componían de 90% de platino y 10% de iridio. Estas barras eran de 1020 mm de largo y con forma de X en su sección transversal. Las caras de más de 8 mm en la vecindad de los bordes se pulieron y se le grabaron líneas de graduación de 6 a 8 μm de ancho, luego la distancia total entre líneas se completó hasta llegar al metro. La temperatura siempre se mantuvo lo más cerca posible a 20°C. Figura 1.2. Estas barras representaban la definición del metro y su realización.

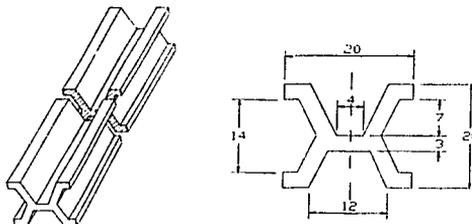


Figura 1.2 Prototipo del metro.

Para la comparación, se utilizan métodos interferométricos ideados primero por Michelson y después por Fabry y Perot, y ya marcados se envían estos patrones de medida a los distintos países que los solicitan. A México se le asignó el prototipo No. 25, el 25 de septiembre de 1889, quedando en aquel entonces en la Secretaría de Fomento y actualmente, bajo la custodia de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía.

En 1889, Japón ratificó el tratado internacional del sistema métrico y recibió el prototipo No. 22, el cual ha sido el prototipo japonés, y es guardado en el "National Research Laboratory of Metrology" (el Laboratorio Nacional de Investigaciones Metrológicas de Japón).

Entre los 32 prototipos fabricados, se determinó que el prototipo No. 6 era el que más se acercaba al "Metro de Archivo" y fue designado como el Prototipo Internacional del metro en la Primera Conferencia Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) celebrada en 1889. Este prototipo se guardó en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). En esta convención se adoptó la definición del metro al mismo tiempo que la única definición del kilogramo. De las cuales la definición del kilogramo sigue vigente, la definición del metro ha sido cambiada dos veces, en 1960 y en 1983.

En 1900 se establece el sistema Metro-Kilogramo-Segundo y su empleo se generaliza especialmente en el ámbito científico y tecnológico. Poco después se incluye el Ampere como la unidad de corriente eléctrica y, después de varios intentos de unificación, se llega en 1960 al Sistema Internacional de Unidades "SI" propuesto por el BIPM en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), que establece siete unidades fundamentales que son:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El Metro	El Kilogramo	El Segundo	El Mol
El Ampere	El Kelvin	La Candela	

1.2.1 Concepto de la Longitud de Onda para la definición del metro.

Debido a que las líneas de graduación no eran lo suficientemente delgadas, la longitud esculpida en el metro tenía una inexactitud, la cual era de cerca de $0,2 \mu\text{m}$. La longitud podía cambiar al paso del tiempo, pues dependía de varios parámetros (temperatura, presión, gravedad,...), el patrón podía no ser reproducido sin perder en exactitud. Además, el prototipo podía ser destruido en conflictos armados, como la 1ª Guerra Mundial.

Por eso, se hizo un esfuerzo para encontrar un valor invariable basado en fenómenos naturales el cual pudiera ser usado como nueva norma de medida en reemplazo del prototipo del metro. Para este propósito, la longitud de onda de una luz monocromática era lo más universal y seguro; se llevaron a cabo experimentos con la longitud de onda de la luz roja Cd (cadmio) en nueve lugares del mundo, incluyendo Japón. Finalmente, en la séptima Conferencia Internacional de Pesas y Medidas, efectuada en 1927, se definió el metro como sigue:

Longitud de onda de la luz roja "Cd" $\lambda_{\text{CdR}} = 0,643\ 846\ 96 \mu\text{m}$

$$1 \text{ metro} = 1\ 553\ 164,13 \text{ CdR}$$

Bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura $= 15 \text{ }^\circ\text{C}$ (termómetro de hidrógeno).
- Presión atmosférica $= 760 \text{ mm de Hg}$
- Ambiente $= \text{aire seco conteniendo } 0,03\% \text{ de CO}_2$
- Aceleración gravitacional $= 980,665 \text{ cm/s}^2 = g$

En metrología moderna, es deseable introducir definiciones, primeramente, que estén basadas en constantes naturales, y en segundo lugar, que estas puedan ser realizables en cualquier lugar sin incremento de incertidumbre. Para lo cual la constante puede ser proporcionada, por ejemplo, por la energía diferente entre dos estados proporcionados por un átomo, ión o molécula (similar a la definición del segundo) o por el valor de la velocidad de la luz.

Durante el periodo de la 2ª Guerra Mundial, se hizo un gran progreso en la física atómica y se efectuaron extensos trabajos de investigación acerca de la radiación de isótopos con el mismo número atómico, los cuales emitían radiaciones monocromáticas que eran más adecuadas que aquellas de los elementos naturales. En la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas efectuada en 1957, se propuso que la longitud del metro estuviera basada en alguna de estas radiaciones.

Entre 1960 y 1963 el metro fue definido por la longitud de onda de la transición entre el estado $2p_{10}$ y el estado $5d_5$ del isótopo de ^{86}Kr ($\lambda_{\text{vac}} = 650,780\,210\,3\text{ nm}$). La definición en sí misma no contó con recomendaciones o instrucciones de cómo la longitud de onda podía ser realizada. Así cualquier método o aparato (lámpara espectral, absorción de celda, cámara atómica) podía ser usado para generar la radiación patrón. La definición, por lo tanto, fue adaptada después de una realización precisa para la longitud de onda de ^{86}Kr por una lámpara patrón (una lámpara espectral especialmente diseñada). Comparado con el metro prototipo, la realización del metro por medio de la longitud de onda del ^{86}Kr ofreció una incertidumbre relativa diez veces menor. En 1960 esta realización presentó el estado del arte en la realización del metro al presentar la mínima incertidumbre obtenida hasta ese momento con la mejor longitud interferométrica medida en todos los tiempos. Con la obtención de este bajo nivel de incertidumbre la CIPM recomendó la correspondiente puesta en práctica del uso de la lámpara patrón. Ulteriormente las radiaciones de diferentes transiciones del ^{86}Kr en otras lámparas espectrales (^{114}Cd , ^{98}Hg) fueron también recomendados como patrones secundarios.

Así el metro fue definido como:

Metro *1 650 763,73 veces la longitud de onda en el vacío de la luz emitida por la transición entre Kr^{86} $2P_{10}$ y $5D_5$. (Kr^{86} produce luz naranja).*

La propuesta fue aprobada por la 11ª Conferencia Internacional de Pesos y Medidas.

De acuerdo con esta definición, un metro se puede reproducir con una exactitud de cerca de 10^{-8} m, lo cual es 0,01 μm .

1.2.2 Definición actual basada en un valor fijo de la velocidad de la luz.

En 1960, la definición por la longitud de onda casi coincide con el desarrollo de los primeros Láser. Estos fueron pronto considerados como una fuente excelente de luz para una potencial referencia de longitud de onda para reemplazar la definición existente. Sin embargo, dependiendo del tipo de láser, su frecuencia podía variar dentro de un intervalo de pocos cientos de megahertz para láseres de gas y de algunas decenas de terahertz para láseres secos y diodos láser. Consecuentemente, sus frecuencias necesitaban ser estabilizadas para que sirvieran como referencia en metrología dimensional de precisión. Mientras tanto, con el rápido desarrollo de la espectroscopía láser de precisión, láseres estabilizados y síntesis de frecuencia óptica, una gran variedad de láseres, con frecuencias estabilizadas, han sido desarrollados aportando un potencial para obtener incertidumbres por debajo de 10^{-10} m, mucho más que la capacidad de la lámpara de Kr. Por lo tanto se pensó nuevamente en cambiar la definición del metro.

Básicamente, dos cosas fueron discutidas, seleccionar una longitud de onda de un láser estabilizado o conectar la definición del metro con la del segundo. El SI basa las unidades de tiempo y frecuencia en un valor fijo de la velocidad de la luz "c". El primer caso fue similar a la definición anterior, con excepción de que la longitud de onda seleccionada podía ser realizada por un láser estabilizado. Con el rápido desarrollo del láser estabilizado y la mejora y refinamiento de la espectroscopía láser, y la óptica cuántica, fue una difícil decisión para la transición con el potencial de servir como patrón primario por un largo tiempo.

En astronomía, las medidas de longitud están usualmente relacionadas con la distancia recorrida por la luz en un cierto tiempo, y posteriormente estas son convertidas a metros usando el valor de la velocidad de la luz. Consecuentemente, las tablas de conversión necesitaban ser modificadas siempre que un nuevo valor de la luz fuera aceptado. Por esta razón los astrónomos estaban interesados en adoptar un valor fijo (definido) de la velocidad de la luz. Coincidentemente, una medida precisa de la velocidad de la luz $c = \lambda \cdot \nu$, había sido realizada para, simultáneamente, determinar la longitud de onda " λ " y la frecuencia " ν " de una radiación de láser infrarrojo. La incertidumbre en esta medición fue ordinariamente determinada por la incertidumbre del Kr patrón y una mejora en la incertidumbre en el valor de "c" no pudo ser anticipado. Esto fue una razón para proponer este valor de "c" para la nueva definición del metro.

La definición actual fue establecida en 1983 por la 17ª "Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM)" como:

Metro *La longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299\,792\,458$ de un segundo*^{III}.

Esta definición puede considerarse por su carácter como espacial y temporalmente universal.

La nueva definición está íntimamente ligada a la definición del segundo. Esto da un valor fijo y exacto a la velocidad de la luz de $c=299\,792\,458$ m/s con una incertidumbre de cero, poniendo énfasis en la importancia de "c" como una constante fundamental en física y cumpliendo los requerimientos de la astronomía.

1.3 ¿Qué es una medida de precisión?

De acuerdo con la definición de JIS (Japanese Industrial Standard Association), la medida de precisión es la que se efectúa con gran exactitud.

Mediciones de longitud, masa, tiempo, temperatura, etc., son normales en nuestra vida diaria y son indispensables para nosotros. Medición se define de la siguiente manera:

Cuando se efectúa una medición de una variable, primero se toma una porción determinada de tal variable (a la cual se le asigna un nombre) y después se halla cuántas veces nuestra variable está dentro del valor fijo determinado. La porción determinada se llama UNIDAD e indica un valor constante en condiciones ambientales específicas. Ordinariamente, se usan tres unidades básicas: longitud, masa y tiempo.

1.4 Definiciones.

El término *Metrología* se utiliza para designar al campo de conocimiento de las mediciones y en el caso particular de la *Metrología Dimensional*, al de las mediciones dimensionales basadas

^{III} "Physics behind the definition of the meter". J.Helmcke y F. Riehle.

científicamente distinguiéndolas de las prácticas desarrolladas empíricamente.

A continuación se definirán los términos utilizados en el campo de la metrología dimensional, así como los aspectos relacionados con las mediciones. Estos términos están relacionados con los parámetros que debe incluir cualquier instrumento de medición.

Magnitud: Es el atributo de un fenómeno o de un cuerpo susceptible de ser diferenciado cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Magnitud a medir: magnitud sujeta a una medición^{IV}.

Medición: Conjunto de operaciones experimentales que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Instrumento: Dispositivo para determinar el valor o la magnitud de una variable.

Escala: Conjunto ordenado de marcas en el dispositivo indicador del instrumento de medición. Las marcas de la escala pueden ser cifras u otros signos, y la numeración puede ser abstracta o corresponder a las unidades de medida utilizadas.

Sensibilidad de un instrumento: Para un valor dado de la magnitud medida, se expresa como el cociente entre el incremento de la variable observada por el incremento correspondiente de la magnitud medida:

$$k = \frac{dI}{dG}$$

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

Exactitud: Es la desviación de la lectura respecto a una entrada conocida (valor real), a esta desviación se le conoce como *error*.

Precisión: Es la capacidad de un instrumento para reproducir cierta lectura con una exactitud dada, es decir, es la medida de la repetibilidad de un instrumento.

^{IV} Organización Internacional de Metrología Legal. "Vocabulario de metrología legal. Términos fundamentales". Versión autorizada del Sistema Interamericano de Metrología.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores obtenidos.

Resolución: Es el cambio mínimo del valor medido al cual el instrumento responde.

Trazabilidad: Interrelación entre patrones de referencia, patrones de trabajo e instrumentos comunes de medición de diferentes órdenes de precisión, que sirven para medir una magnitud determinada según la sucesión y la precisión de las operaciones de disseminación de la unidad de medida de esa magnitud.

1.5 Tipos de errores.

Los errores que se cometen durante el proceso de medición son un gran problema, por lo que se hace necesario conocerlos para poder mejorar la exactitud de la medición; existen diversos tipos de errores, algunos se producen por el mal manejo del instrumento de medición, o por la variación de las condiciones ambientales en el recinto donde se realiza la medición, lo que repercute en una variación de la longitud tanto del instrumento como del objeto a medir.

La definición de error que se tiene es la siguiente:

Error: Desviación del resultado de medición con respecto al valor real de la variable medida.

Error (absoluto) de medición: Resultado de una medición menos el valor (convencionalmente) verdadero de la variable medida.

A continuación se mencionan los errores que se pueden cometer durante el proceso de medición:

Errores sistemáticos: Son aquellos asociados en primer término con imperfecciones que afectan al instrumento de medición, al método de medición y al objeto medido, y en segundo término con efectos ambientales y debidos a la persona que manipula el instrumento, los cuales pueden ser generalmente controlables, o al menos, medibles. Tienen magnitud y signo (+ ó -) definidos. Estos errores son detectables y se eliminan aplicando las correcciones.

Si el error sistemático no se corrige, la medición resulta incorrecta y en otras condiciones extraña.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Errores aleatorios: Asociados primeramente a variaciones que afectan al instrumento de medición (fricción, desgaste, etc.), el objeto medido, el ambiente y con el elemento humano, y son considerados como resultado de errores en la lectura de escalas, errores en el registro de lecturas, preparación inadecuada del espécimen, etc.

Tales errores no son predecibles y por lo tanto no totalmente eliminados, por lo que su probable magnitud y frecuencia relativa son evaluadas estadísticamente para establecer la incertidumbre probable del proceso de medición.

1.6 Causas de errores de medición y su corrección.

1.6.1 Efecto de la temperatura.

La pieza que se está trabajando se expande y se contrae cuando la temperatura cambia. Por eso, debe ser determinada una Temperatura Estándar y desde 1932 se usa el valor de 20°C como la temperatura estándar en los países industrializados.

Sin embargo, es muy difícil mantener la temperatura constante de la pieza de trabajo, la de la pieza patrón y la de los instrumentos de medición a 20°C. Por ejemplo, aún si se trata de un cuarto con temperatura controlada, en el cual la temperatura se mantiene bastante estable a 20°C, la medición de la pieza sería uniforme en la posición horizontal mas no sucede así al medir la pieza en la dirección vertical. En algunos casos la diferencia es tanto como 1°C/m en el sentido vertical. Por lo anterior la temperatura de la pieza de trabajo debe ser medida con exactitud y el valor debe ser corregido de acuerdo al coeficiente de expansión térmica.

Si la temperatura cambia, la longitud L de la pieza varía de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\delta L = L \cdot \alpha \cdot \delta T$$

- L Longitud original de la pieza.
- α Coeficiente de expansión térmica del material.
- δT Variación de la temperatura.

El coeficiente de expansión térmica para un Bloque de calibración se especifica por JIS de la siguiente manera:

$$\alpha = (11,5 \pm 1,0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando una pieza de prueba se coloca en un cuarto donde la temperatura está controlada a 20°C, la variación de la temperatura de dicha pieza causa un problema. Cuan mayor sea la diferencia de temperatura y la capacidad calórica de la pieza de prueba, tanto mayor será el tiempo que le tomará alcanzar la temperatura del cuarto.

1.6.2 Deformación.

El segundo factor más influyente (después de la temperatura) como causa de error es la deformación. La deformación puede ser causada por:

1. Fuerza ejercida por el instrumento de medición en la pieza de prueba.
2. Posición en que se sostiene la pieza de prueba.
3. Posición en que se sostiene el instrumento de medición.

1.6.2.1 Deformación por compresión.

Cuando una fuerza (dentro de los límites de elasticidad) se aplica a la pieza de prueba que va a ser medida, ésta se deforma. La deformación δL se da de la manera siguiente, según la Ley de Hooke. Figura 1.3.

$$\delta L = \frac{F L}{E A} \quad \text{en mm}$$

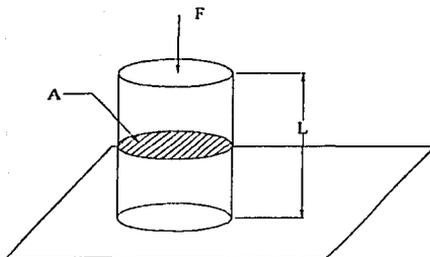


Figura 1.3 Deformación por compresión

- E* Módulo de Young en Kg/mm² (2 x 10⁴ Kg/mm²).
A Área del corte transversal en mm².
F Fuerza de medición en Kgf.
L Longitud de la pieza de prueba.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.6.2.2 Contacto con superficie curvada.

Cuando la cara de medición tiene un radio de curvatura y la fuerza de medición aplicada está dentro de los límites de elasticidad, ocurre una deformación elástica en la superficie de contacto. Si la fuerza es mayor que el límite, entonces ocurre una deformación plástica. Figura 1.4.

Debido a la deformación, la pieza de prueba y el instrumento de medición hacen contacto en las caras y se produce el error "e" de acuerdo con lo siguiente:

Fórmula de Hertz:

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

e Deformación por contacto (mm).

F Fuerza de contacto (N).

R Radio de la esfera (mm).

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

E_1, E_2 Módulos de elasticidad longitudinal de los cuerpos en contacto (N/mm)

La corrección por "e" se suma algebraicamente a la longitud nominal del Bloque Patrón para obtener la desviación real de longitud al centro del Bloque Patrón.

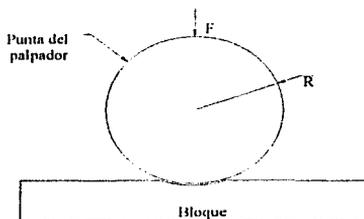


Figura 1.4 Deformación por contacto entre dos cuerpos.

En la tabla 1.1 se muestran los coeficientes de dilatación lineal, módulos de elasticidad y de Poisson para algunos de los materiales más empleados en la fabricación de Bloques Patrón.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Material	α ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹	E (N/mm ²)	ν
Acero	10,5-12,5 $\times 10^{-6}$	2,10 $\times 10^4$	0,29
Carburo de cromo	8,3-8,6 $\times 10^{-6}$	33,9 $\times 10^4$	0,28
Carburo de tungsteno	5,5-6,0 $\times 10^{-6}$	52,4-72,4 $\times 10^4$	0,2-0,28

Tabla 1.1 Coeficientes de materiales.

1.6.2.3 Deformación elástica por su propio peso.

Un instrumento de medición tal como un Bloque Patrón debe de colocarse de tal modo que los dos extremos queden paralelos el uno con el otro. Si un Bloque Patrón es sostenido en posición horizontal, se dobla por su propio peso como se expresa:

$$\Delta L = 0,00000115 \frac{L^3 W^2}{E^2 I^2}$$

- ΔL Deformación del Bloque Patrón.
- L Longitud nominal del Bloque Patrón.
- W Masa por unidad de longitud.
- E Módulo de elasticidad (Young).
- I Momento de inercia alrededor del eje horizontal.

Puntos Airy

Para evitar esta deformación se recomienda colocar el Bloque Patrón sobre los puntos "Airy", los cuales están dados por la fórmula siguiente:

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

- L Longitud nominal del Bloque Patrón.
- d Distancia entre los puntos de apoyo.
- N Número de apoyos.

Con dos puntos de apoyo, $d = 0,5774L$, es decir, la distancia entre cada uno de los extremos y el punto de apoyo debe ser 0,2113L. Figura 1.5.

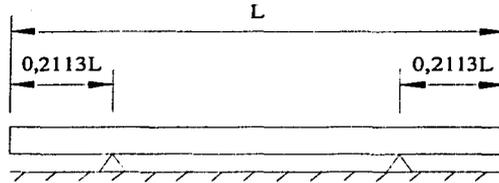


Figura 1.5 Soporte de los puntos Airy.

1.6.3 Error de paralaje.

En los calibradores de vernier y en los micrómetros comunes, se encuentra un espacio entre dos superficies graduadas. Esto hace surgir un error, el cual depende del ángulo en el cual el observador mira. Figura 1.6.

Esto significa que cuando existe un espacio entre dos líneas de graduación de diferentes superficies, el inspector debe mirarlas en el sentido perpendicular a las superficies con un sólo ojo. Con el fin de evitar el error de paralaje, se han fabricado instrumentos de medición que tienen líneas de graduación en el mismo plano. En un experimento efectuado para hallar el efecto de la condición de paralaje, cincuenta mujeres usaron calibradores vernier al mismo tiempo, y se halló que la dispersión era de 0,04 mm.

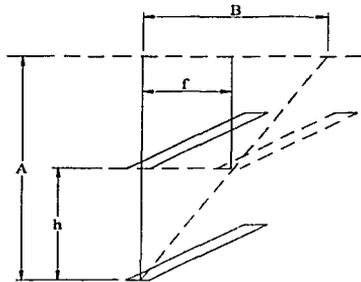


Figura 1.6 Error de paralaje

- A Distancia entre el eje (ojo del observador) y la superficie graduada inferior.
 B Distancia entre posiciones de los ojos.
 h Distancia entre dos superficies graduadas.
 f Error causado por paralaje. $f = (B/A) h$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.6.4 Error Instrumental.

Este error se obtiene al restar el valor real del valor indicado por el instrumento. Para efectuar las mediciones exactas, deben ser examinadas las características del instrumento de medición y los valores medidos deben ser corregidos teniendo en cuenta dichas características. Aún, se debe ejercer cuidado al medir por comparación, ya que la barra estándar no está libre de errores ella misma.

1.6.5 Media aritmética.

Para obtener un buen resultado de medición, con lo cual se reduce el error a un valor mínimo, se necesita realizar un gran número de mediciones.

En teoría, con un número infinito de lecturas se obtendría el mejor resultado, en la práctica esto no se puede hacer, por lo que se recurre a realizar un número finito de lecturas.

Quando se tiene un número de lecturas de medición de la misma variable, la mejor aproximación del valor de dicha variable se obtiene mediante el uso de la *media aritmética*.

La media aritmética se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}$$

\bar{X}	Media aritmética.
$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$	Lecturas tomadas.
n	Número de lecturas.

1.7 Patrones de medición.

Patrón: Medida materializada, instrumento o sistema de medición destinados a definir, conservar o reproducir la unidad de medida de una magnitud (o un múltiplo o submúltiplo de esta unidad) para transmitirla por comparación a otros instrumentos de medición.

Existen diversos tipos de patrones, los cuales son los siguientes:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Patrones internacionales: Se definen por acuerdos internacionales, y representan ciertas unidades de medida con la mayor exactitud que permite la tecnología de manufactura.

Patrones primarios (básicos): Son patrones que reflejan con la mayor exactitud, que se ha logrado, el valor considerado como verdadero de una variable. Se encuentran en los laboratorios primarios que cada país del mundo tiene. En el caso de México el laboratorio primario es el Centro Nacional de Metrología (CENAM).

Los patrones primarios no están disponibles para utilizarse fuera de las instalaciones del laboratorio primario. Una de las principales funciones de este tipo de patrones es la calibración de patrones secundarios.

Patrones secundarios: Son patrones de referencia que se usan en los laboratorios secundarios, como el Laboratorio de Metrología del CCADET de la UNAM.

Los patrones secundarios por lo general, se envían periódicamente a los laboratorios primarios para su calibración respecto de los patrones primarios.

Patrones de trabajo: Son los instrumentos de medición que comúnmente se usan para realizar mediciones dimensionales de cualquier tipo, por ejemplo: el calibrador vernier, el micrómetro, reglas graduadas, etc.

1.8 Instrumentos de medición dimensional.

Los instrumentos de medición dimensional ayudan para determinar las dimensiones de alguna pieza o geometría en las cuales se tenga algún interés en conocer.

Reglas graduadas.

Estas herramientas sirven como referencia cuando se transfieren dimensiones longitudinales o para mediciones directas con el borde de la regla en contacto con el objeto a ser medido. La sección transversal de esta regla es, generalmente, con una relación de espesor a ancho de 1:5.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La grabación de la escala en reglas de acero de exactitud controlada, se logra con máquinas de graduación especiales para grabar con tolerancias establecidas en las barras patrón del fabricante. Las barras patrón deberán estar contrastadas con los patrones de referencia del Organismo Nacional de Calibración.

La mayoría de los modelos de las reglas graduadas tipo industrial tienen más de una escala. Comúnmente ambos bordes de una cara o de ambas caras tienen escalas.

Generalmente la división mínima de una escala es de $1/32$ ó $1/64$ de pulgada para los sistemas fraccionales, y de $1/10$ ó $1/50$ y en casos excepcionales en $1/100$ para los sistemas decimales.

1.9 Instrumentos de medición dimensional de alta exactitud.

Este tipo de instrumentos permiten medir piezas cuyas propiedades geométricas pueden ser simples o complejas.

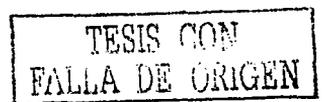
La confiabilidad en cuanto a medición en estos instrumentos es muy grande porque los errores que se presentan al realizar las mediciones, se pueden minimizar mediante programación, ya que estas máquinas generalmente están interconectadas a un sistema electrónico que captura las mediciones hechas.

Máquinas de medir en un eje.

Básicamente son máquinas que se utilizan en la calibración de reglas graduadas, aunque también sirven para medir piezas de formas geométricas simples. Mediante la programación en la interfaz que se utilice, se pueden reducir en mucho los errores en las mediciones. En la mayoría de estas máquinas, la medición se realiza por comparación, ya sea directamente o por medio de un ocular de microscopio.

Máquinas de medir en tres ejes.

Las máquinas de medición en tres ejes o máquinas de medición por coordenadas (MMC), recogen información dimensional detallada de la pieza a medir, desplazando un palpador a lo largo de las superficies de la pieza de trabajo. La mayoría de las MMC adquieren los datos utilizando un palpador de gatillo que hace contacto en diversos puntos de la superficie de la pieza de trabajo.



Esta técnica de medida de puntos individuales puede recolectar datos, por lo general, a velocidades máximas de 50 ó 60 puntos por minuto, velocidades considerablemente mayores que las obtenidas con instrumentos manuales de medición.

Lo que hace valiosa la metrología de coordenadas, como una herramienta de control de procesos, es que puede ser usada para medir, con relativa exactitud, objetos en un amplio rango de tamaños y configuraciones geométricas, y discernir la relación entre diferentes rasgos de una pieza de trabajo. Esta flexibilidad, y la velocidad de operación de la medición por coordenadas comparada con las técnicas de superficies planas y de galgas fijas, significa que los resultados de la medición pueden ser utilizados para refinar de una manera económica aplicaciones de procesos de manufactura, además de analizar las tendencias del proceso.

1.10 Transductores de posición utilizados en metrología dimensional.

Un transductor es, simplemente, un dispositivo que proporciona una salida utilizable en respuesta a una magnitud física, propiedad o condición específica que se desea medir.

El transductor de posición permite determinar la longitud recorrida por un móvil.

Sólo se describirá el transductor utilizado para el trabajo presentado.

Codificador lineal óptico.

Este tipo de codificadores genera una salida digital, sin necesidad de usar un convertidor analógico- digital.

El método de funcionamiento es el siguiente: se hace incidir un haz de luz sobre un sensor, con la finalidad de interrumpir dicho haz, se hace pasar entre la fuente de luz y el sensor que recibe el haz de luz una sección que esté marcada por segmentos transparentes y opacos. Figura 1.7.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando el haz de luz incide directamente sobre el sensor, obtenemos una salida lógica, un "1", si por el contrario el sensor no recibe luz, obstruido por un segmento opaco, se obtiene una salida lógica "0".

Los codificadores ópticos utilizan diodos emisores de luz (LED) y los segmentos opacos/transparentes se aplican con técnicas sofisticadas de bombardeo al vacío del material opaco sobre cristales transparentes. Figura 1.7.

Dentro de los codificadores ópticos se encuentran los codificadores incrementales, que producen pulsos igualmente espaciados en cada sector, los pulsos son acumulados por un contador y el conteo es la indicación del desplazamiento. El punto de origen puede fijarse o programarse en el dispositivo de lectura. Figura 1.7.

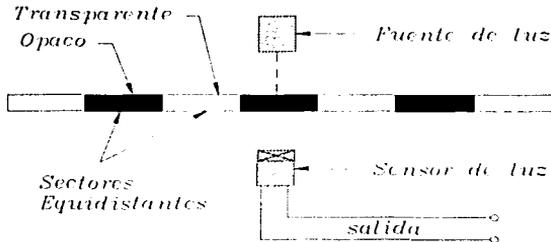


Figura 1.7 Codificador óptico incremental (lineal).

Capítulo 2

Bloques Patrón

En el presente capítulo se explica qué son los Bloques Patrón, en lo sucesivo llamados simplemente Bloques. Los requisitos que deben de cumplir, para qué sirven, dónde se ocupan y cuál es el papel que desempeñan en la industria.

2.1 Patrón de longitud.

Existen tres tipos de patrones para longitud: Patrón Óptico, Patrón Lineal y Patrón Final, que son representados por ondas de luz, longitud entre líneas y longitud entre dos superficies opuestas respectivamente.

Cuando una longitud debe medirse, se necesita un patrón lineal con graduaciones. Para la medición de precisión en la actualidad, se usa la medición comparativa. Las Barras Patrón y los Bloques Patrón, que son usados como los patrones para mediciones comparativas, son los patrones con caras de medición y la longitud, entre las caras de las superficies opuestas, es usada como norma patrón. Hay muchos tipos de patrones entre extremos con varias formas. Entre ellos, el Bloque Patrón es el más preciso y fácil de manejar.

2.2 Historia del Bloque Patrón.

Al principio del siglo XVIII, el estudiante sueco Christopher Polhem, hizo una barra con diferentes espesores en su superficie, para introducir una nueva tecnología en la industria del hierro.

Hjalmer Ellstrom, mecánico principal de una fabrica de armas suecas, fabricó bloques de medición de acero con superficies paralelas, para inspeccionar los rifles en 1890, pero tenían un problema, era necesario contar con una gran cantidad de bloques para satisfacer todos los requerimientos de medición.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Carl Edwar Johansson, trabajó con Ellstrom, y concibió la idea de construir un juego de calibres maestros que pudieran cambiarse para todos los tamaños dentro de un intervalo, y para ello utilizó combinaciones aritméticas. Esto lo llevó a cabo y completó un juego de Bloques Patrón que permitía 200 000 combinaciones de tamaño con pasos de 0,001 mm, de 2 mm a 202 mm, en 1896. Sin embargo, fue más lejos aún, ya que reconocía que para que su juego de Bloques tuviera valor internacional, debería por lo tanto, calibrarlo con respecto al patrón internacional. Hecho que logró un poco más tarde. Como resultado de su esfuerzo, surgieron patrones finales, réplica de los patrones internacionales disponibles para todos los laboratorios del mundo. Además, fue Johansson quien propuso 20°C como la temperatura de referencia para las mediciones.

En 1918, el mayor William E. Hoke del National Bureau of Standards (USA), inventó un Bloque Patrón largo que contiene un agujero, cuyo propósito es disminuir la masa del Bloque y evitar con ello la deformación del Bloque por su propio peso y permitir la fijación entre ellos o con la superficie de referencia mediante tornillos en su interior.

2.3 Normas.

Existen diversas normas, muy parecidas entre ellas. Algunas son las siguientes:

- Norma ISO 3650-1978
- Norma DIN 861, enero de 1980, tiene correspondencia con la norma anterior.
- Norma Francesa E 11-010
- Norma JIS (Japanese Industrial Standard Association).

En ellas se explican cuáles son los requerimientos de los Bloques, el procedimiento de calibración, así como la forma de presentar los resultados de la calibración. La descripción de los Bloques que se explica a continuación, se basa en todas ellas. Aunque en realidad existe correspondencia entre ellas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 Requerimientos para los Bloques Patrón.

Los Bloques de calibración (también llamados bloques patrón, bloques de caras paralelas, galgas plano-paralelepípedas, bloques de precisión, calas o bloques de Johansson), son los medios por los cuales se da forma física a los patrones de medición de longitud.

En la norma ISO se define al Bloque Patrón como:

"Un bloque de sección rectangular, hecho de material durable y con un par de superficies de medición planas y mutuamente paralelas". Figura 2.1.

Son fabricados en acero, carburos, acero cromado, cerámicas, y en su manufactura se emplea el método Johansson que produce superficies planas, con un grado de acabado sumamente fino que tiene el aspecto de plata bruñida (la cual se aproxima más al plano perfecto que cualquier otra superficie metálica creada por el hombre). Además, se les aplican tratamientos térmicos con lo que se minimizan sus cambios dimensionales y les confiere alta dureza.

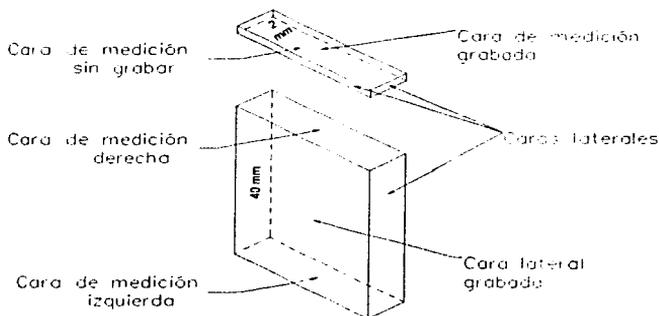


Figura 2.1 Bloque Patrón.

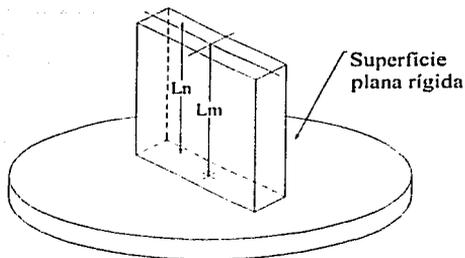
Longitud de un Bloque Patrón:

"La longitud de un Bloque Patrón a cualquier punto de la cara de medición es la distancia perpendicular entre este punto y una superficie plana rígida del mismo material, a la cual se encuentra adherida una cara de medición del Bloque". Figura 2.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Longitud central de un Bloque Patrón:

"Lo mismo que la anterior, sólo que ahora se mide al punto central de la cara de medición del Bloque". Figura 2.2.



L_m Longitud central del Bloque
 L_n Longitud del Bloque.

Figura 2.2 Longitud de un Bloque Patrón.

Los Bloques Patrón requieren lo siguiente:

- Dimensiones correctas.
- Planicidad en la superficie de las caras.
- Caras paralelas.
- Superficies de las caras muy lisas.
- Sin cambios sustanciales en su duración.
- Duros y muy resistentes al desgaste (antiabrasivo).
- Coeficiente de expansión térmica igual a la del acero.
- Con capacidad superior anti-enmohecimiento.
- La dimensión deseada debe ser obtenida con el menor número de Bloques.

2.4.1 Dimensión seccional transversal.

Las dimensiones para los Bloques se muestran en la tabla 2.1. En ella se observa las longitudes de las caras de medición para diferente longitud nominal de Bloque. Figura 2.1:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

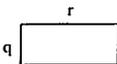
Sección de corte.	Longitud nominal x (mm).	Dimensiones y tolerancias (mm).	
		r	q
	$x \leq 10,1$	30 ⁰ -0,3	9 ^{-0,05}
	$10,1 < x \leq 1000$	35 ⁰ -0,3	-0,2

Tabla 2.1 Dimensiones de la cara de medición.

2.4.2 Forma y tamaño

Los términos son definidos por JIS como se describen a continuación:

La dimensión de un Bloque Patrón (en un punto que excluya el borde por 1 mm), es la distancia normal "L"; entre la porción superior del Bloque y la superficie de una placa metálica (que contenga un acabado y material similar al del Bloque mismo) en la cual el Bloque ha sido adherido. Figura 2.3(a).

La dimensión central de un Bloque Patrón es la distancia normal "Lc", entre la parte superior de un Bloque en su centro y una superficie metálica. Figura 2.3(b).

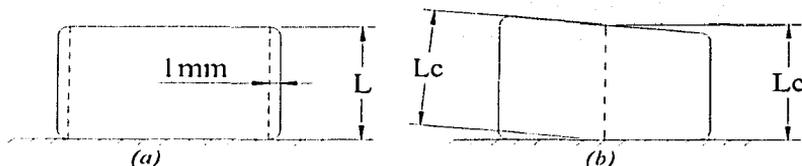


Figura 2.3 Dimensión del Bloque Patrón (a) y dimensión en el centro de un Bloque Patrón (b).

Entre las dimensiones de un Bloque Patrón, aquellas de valor máximo y valor mínimo son: Dimensión Máxima y Dimensión Mínima respectivamente (L1 y L2). Figura 2.4.

Paralelismo de un Bloque Patrón: La diferencia entre las dimensiones máximas y mínimas.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

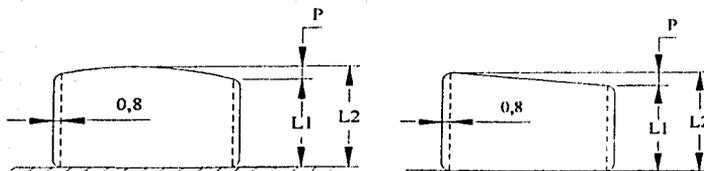


Figura 2.4 Dimensiones Máx. y Mín. de un Bloque Patrón.

2.4.3 Exactitud de los Bloques Patrón.

2.4.3.1 Exactitud.

Las especificaciones están establecidas completamente de acuerdo a las normas JIS, DIN, ISO, según se muestra en la tabla 2.2. Esta tabla muestra las tolerancias para la longitud nominal y la variación permisible en longitud del Bloque, para los diferentes grados de exactitud.

Intervalo de longitud nominal X (mm).	Tolerancias y variaciones permisibles, μm .							
	Grado 00		Grado 0		Grado 1		Grado 2	
	Tolerancias de longitud nominal en cualquier punto	Variación permisible en longitud	Tolerancias de longitud nominal en cualquier punto	Variación permisible en longitud	Tolerancias de longitud nominal en cualquier punto	Variación permisible en longitud	Tolerancias de longitud nominal en cualquier punto	Variación permisible en longitud
10 X 10	±0,06	0,05	±0,12	0,10	±0,20	0,16	±0,45	0,30
10 X 25	±0,07	0,05	±0,14	0,10	±0,30	0,16	±0,60	0,30
25 X 50	±0,10	0,06	±0,20	0,10	±0,40	0,18	±0,80	0,30
50 X 75	±0,12	0,06	±0,25	0,12	±0,50	0,18	±1,00	0,35
75 X 100	±0,14	0,07	±0,30	0,12	±0,60	0,20	±1,20	0,35
100 X 150	±0,20	0,08	±0,40	0,14	±0,80	0,20	±1,60	0,40
150 X 200	±0,25	0,09	±0,50	0,16	±1,00	0,25	±2,00	0,40
200 X 250	±0,30	0,10	±0,60	0,16	±1,20	0,25	±2,40	0,45
250 X 300	±0,35	0,10	±0,70	0,18	±1,40	0,25	±2,80	0,50
300 X 400	±0,45	0,12	±0,90	0,20	±1,80	0,30	±3,60	0,50
400 X 500	±0,50	0,14	±1,10	0,25	±2,20	0,35	±4,40	0,60
500 X 600	±0,60	0,16	±1,30	0,25	±2,60	0,40	±5,00	0,70
600 X 700	±0,70	0,18	±1,50	0,30	±3,00	0,45	±6,00	0,70
700 X 800	±0,80	0,20	±1,70	0,30	±3,40	0,50	±6,50	0,80
800 X 900	±0,90	0,20	±1,90	0,35	±3,80	0,50	±7,50	0,90
900 X 1000	±1,00	0,25	±2,00	0,40	±4,20	0,60	±8,00	1,00

Tabla 2.2 Tolerancias y variaciones para los Bloques Patrón.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4.3.2 Tolerancia de Perpendicularidad.

La tolerancia de perpendicularidad de las caras laterales con respecto a las caras de medición, no debe ser mayor a los valores indicados en la tabla 2.3. En la figura 2.5 se muestra cuál es el error de perpendicularidad de un Bloque.

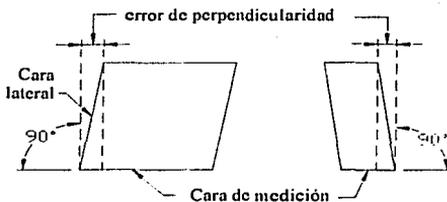


Figura 2.5 Perpendicularidad de los Bloques Patrón.

Longitud nominal.	Desviación (mm).
$10 \leq x \leq 25$	0,05
$25 < x \leq 60$	0,07
$60 < x \leq 150$	0,10
$150 < x \leq 400$	0,14
$400 < x \leq 1000$	0,18

Tabla 2.3 Error de perpendicularidad.

2.4.3.3 Tolerancia de Planicidad.

El error de planicidad (ISO) de las caras laterales no debe ser mayor a los siguientes valores, según el tamaño del Bloque:

- 0,08 mm Bloques con longitud nominal < 100 mm.
 - $80+0,08L$ (μm) Bloques con longitud nominal > 100 mm.
- L: longitud nominal en mm.

La tolerancia de planicidad para las caras de medición no debe ser mayor a los valores mostrados en la tabla 2.4, para la clase de grado de exactitud considerado:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Longitud nominal x (mm).	Máximo. error de planicidad admitido (μm).			
	Grados.			
	00	0	1	2 y 3
$x < 150$	0,05	0,10	0,15	0,25
$150 < x \leq 500$	0,10	0,15	0,18	0,25
$500 < x \leq 1000$	0,15	0,18	0,20	0,25

Tabla 2.4 Error permisible de planicidad para caras de medición.

2.4.3.4 Tolerancia de Paralelismo.

La desviación de paralelismo (ISO) de las caras laterales no debe ser mayor a los siguientes valores, según el tamaño del Bloque:

- 0,04 mm Bloques con longitud nominal < 100 mm.
 - $40+0,04L$ (μm) Bloques con longitud nominal > 100 mm.
- L longitud nominal en mm.

2.4.4 Estabilización de los Bloques Patrón.

Uno de los requerimientos muy importantes de los Bloques, es que el tamaño no cambie.

Cuando el acero es templado, la austenita es cambiada a martensita. A su vez, lo más alto que sea la temperatura del tratamiento térmico, menor cantidad de austenita es cambiada a martensita.

La austenita residual permanece. Si ésta es tratada térmicamente después o durante un periodo largo de tiempo, se expande.

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para llegar rápidamente al añejamiento mencionado, el material es tratado a 150°C. Por lo tanto, su dureza no se degrada y el añejamiento toma lugar rápidamente.

En el pasado, más de diez ciclos se efectuaban en el tratamiento térmico. Un ciclo consistía en 150°C por una hora y 100°C por una hora. Hoy en día, un proceso debajo de cero (enfriamiento a -80°C) se ha encontrado que es más efectivo, tres ciclos de procesamiento abajo de cero y calentamiento son efectuados. Ahora la combinación de procesar debajo de cero y calentamiento que es mucho más efectivo, ha sido adoptada para efectuar mejor y más rápidamente el añejamiento del material. Un ciclo consiste en dos horas de procesamiento debajo de cero y otras dos de tratamiento térmico.

Grado	Tolerancia por variaciones ($\mu\text{m}/\text{año}$)
00 y 0	$\pm 0,02 + 0,0005L_0$
1 y 2	$\pm 0,05 + 0,001L_0$

L_0 representa la longitud nominal en mm.

Tabla 2.5 Estabilidad dimensional.

2.4.5 Dureza.

Los Bloques requieren una característica antiabrasiva. De ahí que el material deba ser tan duro como sea posible para que el Bloque no sea rayado por otros materiales. Una dureza mayor a 800 HV (Vickers) está especificada en la norma JIS.

Esta es una característica que no se mide en el Laboratorio de Metrología del CCADET.

2.4.6 Acabado de las caras de medición.

Las caras de medición de los Bloques son tratadas térmicamente (templadas), rectificadas y pulidas para darles su planicidad. Esto es necesario para su adhesión. En las normas JIS el acabado de la superficie debe ser:

- 0,06 μm Rmáx Para Bloques grado 00 y grado 0.
- 0,08 μm Rmáx Para Bloques grado 1 y grado 2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Facultad de Adherencia.

Es la propiedad de los Bloques de adherirse entre sí o a superficies de igual acabado y calidad superficial debido a fuerzas moleculares.

2.4.7 Coeficiente de expansión térmica.

En el coeficiente de expansión térmica de un Bloque, que es la referencia absoluta para la medición comparativa, debe ser lo más cercano a $11,5 \times 10^6$ que es coeficiente del acero, porque el acero es el elemento más ampliamente usado en la industria metal-mecánica. La norma ISO 3650 especifica que el coeficiente debe ser igual a: $(11,5 \pm 1,0) \times 10^6$ para un intervalo de temperatura de 10 a 30°C.

2.5 Incertidumbre de medición en Bloques Patrón.

Las incertidumbres de medición están causadas principalmente por: efectos de temperatura, problemas mecánicos asociados al CT (no al sistema de posición del Bloque en un punto de medición), y a la incertidumbre determinada por el laboratorio de calibración sobre el Bloque Patrón de referencia.

Los valores de incertidumbre para cada una de las causas de ésta se muestran en la tabla 2.6.

Fuentes de incertidumbre	Incertidumbre
Desviaciones de temperatura $< 0,1^\circ\text{C}$ con relación a la temperatura de referencia (20°C) y para máxima desviación entre coeficientes de dilatación lineal del Bloque Patrón y el Bloque Patrón mesurando menor a $0,1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.	$\pm 0,1 \times 10^{-6} L$
Incertidumbre debida a la diferencia máxima de temperatura de $0,1^\circ\text{C}$ entre los dos Bloques para un coeficiente de expansión medio de $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.	$\pm 1,15 \times 10^{-6} L$
Incertidumbre debida al CT (exactitud, cuantificación, defectos de geometría del sistema mecánico, todas con el mismo valor).	$(\pm 20, \pm 20, \pm 20) \times 10^{-6}$
Incertidumbre debida a la posible diferencia entre los módulos de elasticidad para un esfuerzo de 0,75N	$\pm 20 \times 10^{-6}$
Incertidumbre determinada por el Laboratorio de calibración sobre el Bloque Patrón de referencia	$\pm (15 + 0,16 L) \times 10^{-6}$

L Longitud nominal del Bloque Patrón, en mm.

Tabla 2.6. Causa de incertidumbre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La incertidumbre total se obtiene de acuerdo a:

$$U = (S_i^2 + \sum u_i^2)^{1/2}$$

S_i Incertidumbre tipo A = $\pm 20 \times 10^{-6}$ mm.

u_i Incertidumbres de tabla 2.6.

Al realizar las operaciones algebraicas, se obtiene:

$$U = \pm (0,05 + 0,8 L) \mu m$$

L Longitud nominal del Bloque Patrón, en m.

En esta última ecuación se muestran dos términos: el primero tiene relación directa con el CT e incertidumbres tipo A, el segundo término esta asociado directamente con los efectos de la temperatura. Esto quiere decir que para un Bloque de 100 mm, la incertidumbre asociada a la temperatura representa aproximadamente el 61%.

En estas fuentes no se establece alguna fuente de incertidumbre asociada específicamente a la posición del Bloque con respecto a los puntos de medición, debido a que su efecto ya lo incluyen una o más de ellas.

2.6 Material del Bloque Patrón.

El material de los Bloques debe satisfacer los requerimientos mencionados anteriormente y debe ser apropiado para ser maquinado y pulido. La tabla 2.7 contiene una lista de materiales que son generalmente usados para la elaboración de Bloques.

Los símbolos CC y TC son anexados para aleaciones extraduras tales como carburo de cromo y carburo de tungsteno.

Tipo	Acero al Alto Carbono	Acero al Alto Carbono Bajo Cromo	Acero al Alto Carbono Alto Cromo
Templado	Superior	Mediana	Malo
Deformación por tratamiento térmico	Grande	Mediana	Poco
Anti-abrasivo		Mediana	
Anti-corrosivo	Mala	Mediana	Superior
Maquinabilidad	Buena	Mediana	Mala
COSTO	Bajo	Medio	Alto

Tabla 2.7 Materiales para Bloques Patrón.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Clases y tipos de material:

Clase I	Acero.
Clase II	Cara de los bloques, acero.
Tipo 1	Cromo plateado.
Clase III	Carburo.
Tipo 1	Carburo de cromo.
Tipo 2	Carburo de tungsteno.

2.7 Usos y grados de los Bloques Patrón.

Los Bloques son clasificados en términos de exactitud, según lista de la tabla 2.8.

Clasificación	Usos	Grados
Bloques de referencia.	Inspección de la calibración de los Bloques patrón. Investigación académica.	00
Bloques de calibración	Inspección de Bloques patrón para taller. Inspección de Bloques Patrón de inspección. Calibración de instrumentos de medición.	0 0
Bloques de inspección.	Inspección de instrumentos de medición. Inspección de calibres. Inspección de partes de máquinas y herramientas.	1 0 2
Bloques de taller.	Producción de calibres. Ajuste de exactitud de instrumentos de medición. Montaje de herramientas de corte.	2

Tabla 2.8 Usos y Grados de Bloques Patrón.

Algunos usos más de los Bloques son:

- Inspección de la exactitud del paso (pitch). Puesta a cero de varios tipos de micrómetros.
- Calibración de calibradores vernier, micrómetros, maestros de alturas y de longitud, indicadores, máquinas de medición de un eje y máquinas de medición por coordenadas, etc.
- Puesta a cero del microindicador e instrumentos usados para medir diámetros interiores y exteriores.
- Referencia para el avance del paso de la platina del comparador óptico o del microscopio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.8 Mantenimiento e Inspección Periódica.

Para mantener en buenas condiciones a los Bloques, es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- No sacar repentinamente al Bloque fuera del cuarto donde la humedad y temperatura son controladas, de tal manera que el agua se pueda condensar en sus caras de medición. Asegurarse de colocarlo en el cuarto de preparación alrededor de dos horas.
- Si el Bloque se guarda en un cuarto donde exista temperatura y humedad altas, puede ocurrir enmohecimiento y el añejamiento también puede ser afectado.

Aún que el bloque no sea usado, su tamaño puede cambiar por el añejamiento. Debe ser inspeccionado una vez al año.

2.9 Calibraciones y aseguramiento de la calidad.

La Organización Internacional de Metrología Legal, define calibración de la siguiente manera:

Calibración: Conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar valores de los errores de un instrumento de medición (y en caso necesario, otras características metroológicas). Es decir, es la comparación de un instrumento contra un patrón cuya magnitud es conocida.

La calibración es solamente uno de los elementos que forman las responsabilidades que tiene un laboratorio con relación a sus equipos; jamás debe ser considerada por sí misma como suficiente para asegurar adecuadamente la precisión de las mediciones.

La calibración no es un elemento aislado de otros factores relacionados con el equipo, tales como su selección, instalación, mantenimiento y verificación.

Los procedimientos de calibración implican una comparación del instrumento con:

- Un patrón primario.
- Un patrón secundario con una mayor exactitud que la del instrumento a calibrar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El aseguramiento de la calidad del proceso de calibración depende tanto de los patrones utilizados, como de la capacidad del personal, que maneja el o los equipos del laboratorio; el equipo, que cuente con la certificación; y los procedimientos empleados.

2.10 Requisitos de un informe de calibración.

Sea cual sea el medio por el que una empresa realiza procesos de calibración, todo informe de calibración en concordancia a la Norma ISO 17025 especificará toda la información requerida por el cliente, y además, necesaria para la interpretación de los resultados de la calibración:

- El reporte de calibración expresará de forma clara, sin ambigüedades, objetivamente y en concordancia con cualquier instrucción especificada en la prueba o método de calibración los resultados de la calibración.
- Identificación del equipo a calibrar. Incluyendo todas las características del instrumento.
- Especificación de las condiciones ambientales en el momento y lugar de la calibración.
- Persona que realiza la operación, con objeto de poder determinar si está o no capacitado.
- Patrón empleado con declaración expresa de su trazabilidad e incertidumbre.
- Número de lecturas e interacciones dependiendo del equipo y cubriendo todo el intervalo de uso habitual.
- Incertidumbre encontrada.
- Resultados de la operación. Es conveniente adjuntar los cálculos o mencionar el procedimiento o guía seguidos para su obtención.

Un informe de calibración SÓLO ES VÁLIDO PARA EL LUGAR Y EL MOMENTO DE LA CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO, por lo que el informe no garantiza el funcionamiento adecuado del instrumento posterior al momento de la calibración. Para más detalles referirse a la norma ISO 17025.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

Sistemas de Calibración existentes

En este capítulo se describen algunos de los sistemas existentes en el mercado para la calibración de Bloques, por comparación. A estos sistemas se les conoce como Comparadores Mecánicos, por la forma en como se realiza la medición del Bloque.

3.1 Comparador TESA.

El Comparador TESA (CT), es un dispositivo para la calibración e inspección de Bloques con sección transversal rectangular y con longitud de 0,5 a 100 mm. El Bloque a calibrar es medido y comparado con un Bloque Patrón de referencia cuya desviación en la longitud central es perfectamente conocida. Figura 3.1.

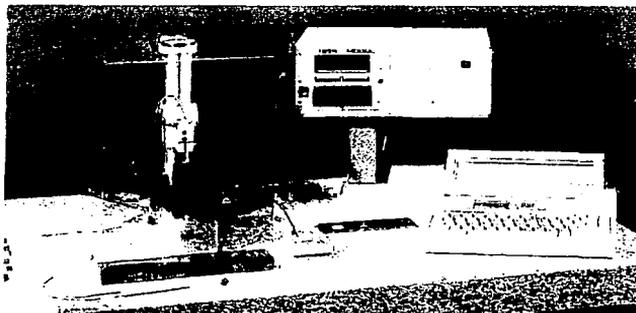


Figura 3.1 Unidad del Comparador TESA.

Las mediciones con muy bajo valor de incertidumbre son garantizadas por la configuración de dos palpadores alineados uno en sentido opuesto del otro más el diseño del sistema de medición.

El fabricante de Bloques puede usar el CT para determinar las dimensiones de acabado de los Bloques Patrón y determinar al grado al cual ellos pertenecen. El usuario de Bloques puede utilizar al CT para

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

las revisiones periódicas de instrumentos de medición. También en laboratorios técnicos se le usa para fines similares. Para los laboratorios de calibración se le usa para la inspección y calibración de Bloques.

3.1.1 Características técnicas del CT.

Intervalo de aplicación: Para Bloques con longitud nominal de 0,5 a 100 mm (0,02 a 4 pulg.) y 9 x 30 ó 9 x 35 mm de sección transversal. Tabla 2.1.

Método de medición: Medición por comparación entre la longitud del Bloque de referencia y la longitud del Bloque a calibrar.

Configuración de la medición: Dos palpadores que suman las medidas de cada uno $+A+B$, con contacto mecánico sobre la cara de medición del Bloque. Figura 3.2.

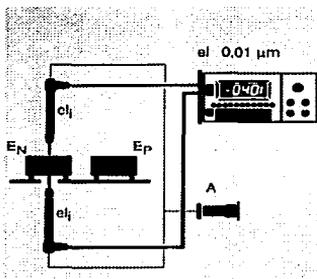


Figura 3.2 Configuración de los palpadores del CT.

- e_l Palpadores
- E_n Bloque a calibrar.
- E_p Bloque de referencia.

Puntos de medición: En el Bloque de referencia, en el centro de la cara de medición; en el Bloque a calibrar, en el centro de la cara de medición y en las cuatro esquinas de ésta a una distancia de 1,5 mm de las caras laterales.

Mesa de medición: Está fabricada en acero sólido y está definida por el plano de tangencia entre cinco cilindros de carburo de tungsteno. Figura 3.3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 3.3 Mesa de medición del CT.

Transductores: Palpadores axiales inductivos, con retracción neumática de la punta de medición sin efectos laterales de fuerza sobre las guías de las puntas de medición. Figura 3.4.

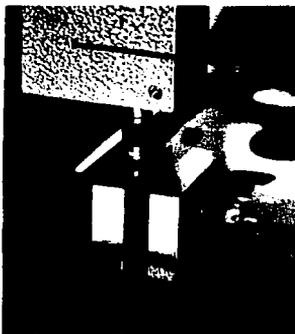


Figura 3.3 Palpadores del CT.

En la imagen sólo se observa el palpador superior, el palpador inferior se encuentra exactamente debajo de la cara inferior de medición del Bloque.

Insertos de medición: caras de medición esféricas de carburo de tungsteno. $R = 20\text{mm}$. Se encuentran en la punta del palpador. Figura 3.4.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Carrera de la punta de medición: $\pm 150 \mu\text{m}$.

Peso: aprox. 22 Kg

Fuerza de medición: Para el palpador superior aprox. 1N, para el palpador inferior aprox. 0,63 N.

Despliegue del valor de medición: El intervalo de medida usado es de $\pm 20 \mu\text{m}$ con una división mínima de $0,01 \mu\text{m}$.

La repetibilidad de los valores medidos (sin influencias externas de temperatura): $\pm 2 s = \pm 0,025 \mu\text{m}$.

Incertidumbre de medición: $u = \pm(0,05 + 0,8 L) \mu\text{m}$.

L longitud nominal en m.

3.1.2 Sistema de calibración de Bloques Patrón con el CT.

Se describe cómo es la calibración de Bloques mediante la unidad medición del CT en la forma en cómo se encuentra sin implementar el desarrollo del presente trabajo.

Se mencionan las partes que integran a la unidad de medición del CT y se muestran en el diagrama de la figura 3.5.

1. Parte mecánica de la unidad de medición del CT, la cual está compuesta por:

1 Soporte con una guía dentada y una rueda manual para colocar al brazo de medición en la posición deseada. El brazo de medición contiene al palpador superior y cuenta con un ajuste fino para desplazamientos pequeños.

1 mesa de medición especial hecha de acero sólido endurecido con cinco rodillos de carburo de tungsteno formando una superficie de rodamiento muy fina y extremadamente resistente al desgaste. Contiene el montaje ajustable para el palpador inferior.

1 Dispositivo de posicionamiento para los Bloques con plantillas intercambiables para Bloques de $9 \times 30 \text{ mm}$ y para Bloques de $9 \times 35 \text{ mm}$. Figura 4.1. Sirve para posicionar a los Bloques en los puntos de medición predeterminados. Dos guías para prevenir la caída del Bloque.

Para colocar al Bloque en el punto de medición, la platina cuenta con un pequeño balero axial de 3,5 mm de diámetro, el cual está dentro de la geometría que determina los puntos de medición. Figura 4.1 y 4.2. Cuando el balero toca esos puntos, se asegura que el palpador también está en posición. Por lo anterior la geometría tiene en cada punto de medición un diámetro igual al del balero.

1 Sistema para el registro de los valores medidos con dos palpadores inductivos especiales y dispositivos para retraerlos.

1 Escudo de protección contra el calor de 250 x 380 mm.

1 par de tenazas para el manejo de los Bloques.

1 cubierta para polvo.

2. Succionador neumático para el seguro y fácil manejo de los Bloques con longitud nominal hasta de 10 mm. Está conectado a la bomba de vacío.
3. Bomba de vacío eléctrica con pedal (operación manual) para retraer los palpadores del CT.
4. Consola electrónica de medición de longitud TESAMODUL, la cual consiste de:
 - 1 fuente de poder y una pantalla.
 - 1 unidad de medición.
5. Tarjeta electrónica para salida digital con el protocolo "RS-232" I/O, para transferencia serial de datos.

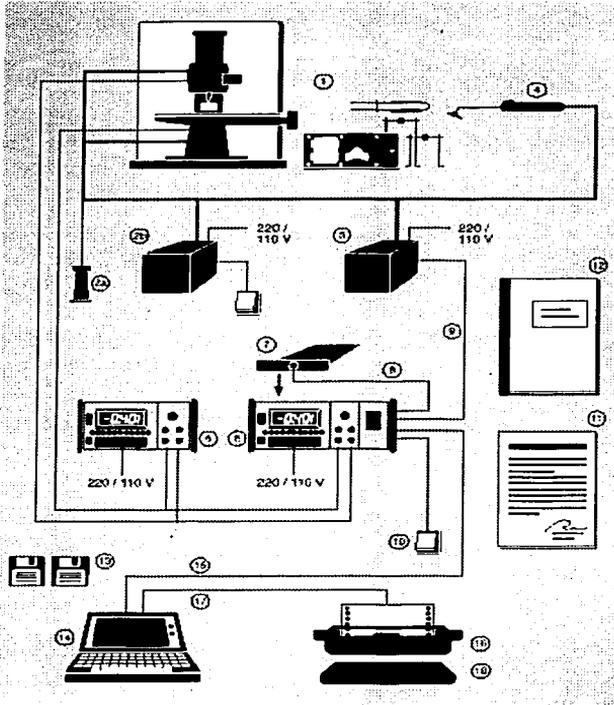


Figura 3.5 Esquema de la unidad del CT.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 Alternativas.

Existe en el mercado otro comparador mecánico, el cual es de la marca alemana Mahr. Figura 3.6.

La base de la unidad de este comparador consiste de un cuerpo rígido de fundición de hierro con una gufa vertical. La columna vertical presenta tornillo sin fin para el ajuste burdo del brazo de medición mediante una manivela. El brazo de medición contiene al palpador superior. El ajuste fino del palpador superior se logra mediante un sistema elástico, tipo paralelogramo, integrado al brazo de medición. Figura 3.7.

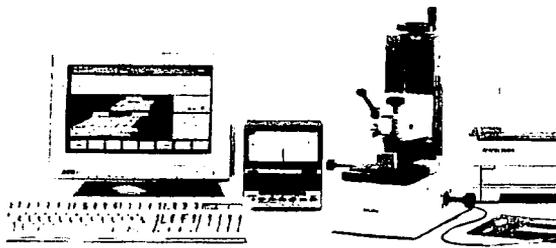
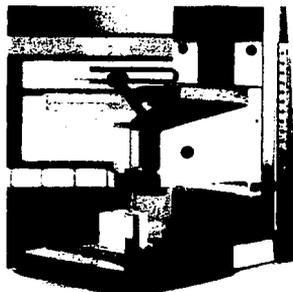


Figura 3.6 Comparador Mahr.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.7 Parte mecánica del comparador Mahr.

Las características técnicas de este comparador son:

1. Puede calibrar Bloques de sección transversal de 9 x 30 mm y de 9 x 35 mm.
2. La longitud máxima de los Bloques es de 170 mm.
3. Software para la calibración de Bloques.
4. Interfase RS232.
5. Control remoto para todas las funciones.
6. Dispositivos de fijación para Bloque largos que, además, previenen la caída hacia los lados en el momento de colocar al Bloque en el punto de medición.

Las opciones para el procedimiento de medición son:

1. La secuencia de los puntos de medición se puede elegir libremente.
2. Se puede elegir el número de veces que se desea medir en los puntos de medición.
3. Se determina la desviación para la longitud central l_m del Bloque. Figura 2.2.
4. Se determina la desviación superior f_o e inferior f_u de la longitud central l_m .
5. Se determina la desviación f_n de la longitud nominal para cualquier punto.

De todo lo anterior se observa que este comparador es más completo que el CT que se tiene en el Laboratorio de Metrología.

La idea que se tiene es lograr un sistema que al implementarse en el CT se mejore el proceso de calibración, de tal forma que el proceso sea tan eficiente como el que se ofrece en otros sistemas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4

Propuesta de Solución

En este capítulo se explica cuáles son las restricciones principales en el proceso de calibración de Bloques, así como la propuesta de solución al problema planteado, y algunas de las propuestas desechadas.

4.1 Restricciones.

Para que el proceso de calibración se realice de acuerdo a la norma que rige la calibración de Bloques, se requiere tener ciertas condiciones ambientales en el lugar en donde se realiza la calibración, por ello existen restricciones que se necesitan tener bajo control para disminuir significativamente la incertidumbre asociada a las mediciones. Dentro de estas restricciones, se tienen principalmente dos:

- *Variaciones de Temperatura.*
- *Corrientes de Aire.*

4.1.1 Variaciones de temperatura.

Todo proceso de calibración dimensional se realiza por norma a 20°C, por lo que ésta no puede variar más de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ por cada 20 minutos de operación para Bloques largos (> 20 mm).

En el proceso manual, el personal de laboratorio al colocar el par de Bloques sobre la platina de medición, y al estar realizando las mediciones, tiene que introducir las manos dentro de la estación de medición, que contiene al CT, por unos orificios de 15 cm de diámetro. Al meter las manos dentro de la estación provoca con ello un aumento de temperatura dentro del ambiente, pues la diferencia de temperatura entre las manos y el aire circundante es de 17°C aproximadamente.

Ésta es una de las principales causas de incertidumbre en el proceso de calibración, por lo que sus cambios afectan directamente a los Bloques, principalmente a los de acero, cuyo índice de dilatación lineal es de: $(11,5 \pm 1,0) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Lo anterior indica que para un Bloque de 100 mm de longitud nominal, el más grande que se puede calibrar en el CT; que se compare con una temperatura de 21,0°C en el ambiente donde se realiza la calibración, su longitud real será de 100,00115 mm, 1,15 μm mayor que la longitud nominal. Teniendo en cuenta que la división mínima que puede registrar el CT es de 0,01 μm , se podrá observar que el error cometido es de primer orden en cuanto a su intervención como fuente de incertidumbre de medición. Otro factor importante en cuanto a las variaciones de temperatura, es la diferencia de temperaturas entre los Bloques instalados en el CT, es decir, el Bloque de referencia y el Bloque a calibrar, ya que si no se cuida que tal diferencia sea menor que 0,1°C, la incertidumbre global se incrementa notablemente. (Ver capítulo 2: Coeficiente de expansión térmica).

4.1.2 Corrientes de aire

La razón por la cual éstas no deben de existir en el momento de la toma de mediciones, es porque generan el movimiento de partículas (pelusas, partículas de polvo, etc.) que se encuentran dispersas en el ambiente dentro de la estación de medición.

Estas corrientes de aire pueden ocasionar que en el momento en que el palpador superior de CT toque la superficie del Bloque, se quede prensada una partícula entre ellos, ocasionando lecturas incorrectas, además de que sea necesario retirar el Bloque de la platina de medición para limpiarlo e iniciar el proceso nuevamente, desechando las lecturas anteriores al incidente. Aún cuando es mucho menor la probabilidad de que suceda lo mismo entre la cara inferior del Bloque y el palpador inferior, es necesario tener presente la posibilidad de ocurrencia del fenómeno, porque ocasiona los mismos problemas.

En ocasiones el personal de laboratorio, al momento de realizar una calibración, no detecta que en la superficie del Bloque está depositada una partícula, por lo pequeña que ésta es, y por consecuencia no se da cuenta si quedó prensada entre el palpador y la superficie del Bloque. La manera en que el personal de laboratorio aprecia lo anterior, es por la diferencia en las lecturas de medición respecto a lecturas "normales" (anteriores o posteriores), esta diferencia comúnmente es mucho mayor a 0,02 μm . De esta forma es que se detecta que en la superficie del Bloque existe alguna partícula que ocasiona lecturas incorrectas, por lo que es muy importante que las corrientes de aire se eliminen lo mejor posible.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 Sistema de Posición.

El objetivo de este sistema es lograr los movimientos necesarios para colocar los Bloques en los diferentes puntos de medición, y debe de permitir dos situaciones indispensables en respuesta a las restricciones mencionadas.

- La estación de medición debe permanecer cerrada durante el proceso de calibración de los Bloques Patrón.
- El operario sólo debe tener las manos dentro de la estación de medición el tiempo mínimo indispensable para la colocación y retiro de los Bloques Patrón sobre la platina de medición.

Para solucionar el problema, se requiere una forma de controlar dos coordenadas en un plano (X, Y), teniendo el control de dichas coordenadas se coloca al Bloque en el punto de medición, este último está determinado por la plantilla incorporada al CT, y su distribución es inalterable. Figura 4.1.

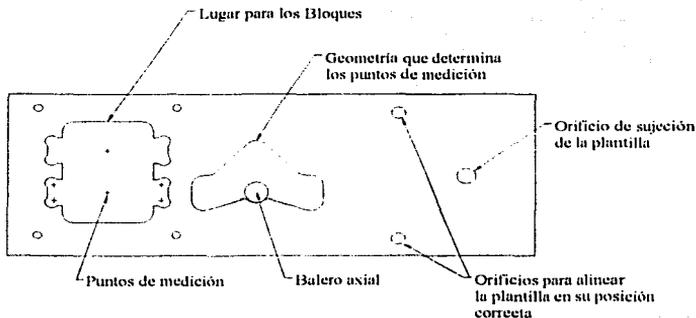


Figura 4.1 Plantilla de medición.

La toma de lecturas con el CT tiene una secuencia en los puntos de medición, es decir, del punto 1 al punto 6 en orden ascendente. Esta secuencia se indica en la figura 4.2.

El balero sirve para asegurar que si se está en un punto de medición. Cuando aquel toca a la plantilla en uno de los puntos mencionados, figura 4.2, entonces el palpador está en un punto de medición.

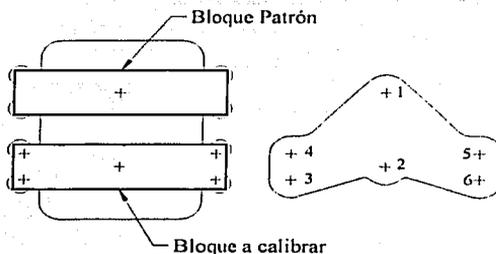


Figura 4.2 Secuencia de toma de lecturas

4.2.1 Características del sistema.

Las características que debe cumplir el sistema mecánico propuesto para la solución del problema son:

1. Debe ser preciso, en cuanto a la posición de los puntos de medición.
2. Tener perfectamente definido su área de trabajo. La carrera de cada uno de los ejes NO debe de pasar de los límites de su área de trabajo, aún cuando los actuadores funcionen ininterrumpidamente. Figura 4.3.
3. Su tamaño no debe ser demasiado grande. Resultaría estorbo dentro de la estación de medición.

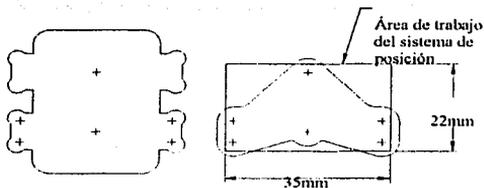


Figura 4.3 Área de trabajo del sistema de posición.

Es muy importante que el sistema sea preciso al momento de colocar el Bloque en el punto de medición. Por el procedimiento de calibración que se sigue, se mide al Bloque en el mismo punto un

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

mínimo de tres veces, por lo que la posición del punto donde se está midiendo debe de caer dentro de una circunferencia de 150 μm de radio centrada en el punto de medición (esto es recomendación del fabricante del CT, y no está especificado en alguna norma donde diga que se debe de cumplir), pues de lo contrario se puede perder repetibilidad en las mediciones.

La característica número 2, responde a lo siguiente: Para manipular los Bloques, se requiere ser en extremo cuidadoso, por lo que un golpe o un rayón en la superficie de medición, lleva consigo una degradación de grado de calidad en el Bloque. Por lo que un posible choque de la plantilla de medición con los límites de la platina del CT, ocasionaría que los Bloques se volcaran, resultando dañados con las consecuencias mencionadas.

4.2.2 Propuestas de solución.

Teniendo en cuenta las características y las restricciones mencionadas en líneas anteriores, se pensó en varias posibles soluciones, las cuales se explican brevemente.

La primera de ellas es un sistema cuyos actuadores y su unidad de control es totalmente neumático, sin embargo, no fue aceptada por las siguientes razones:

- El costo del sistema neumático (> \$12 000 sólo los actuadores y las válvulas).
- Demasiado grande y estorboso, aún fuera de la estación de medición.
- Era muy complicado, por la cantidad de mangueras de conexión, entre los componentes del sistema.
- Se requería de la adaptación de una instalación neumática adicional en el laboratorio, aumentado más el costo del sistema.

Se pensó en un sistema similar, pero ahora en éste su unidad de control es mediante electrónica, sin embargo, al igual que el anterior no fue aceptado por su ALTO COSTO (> \$10 000).

Otra solución considerada es una mesa de dos coordenadas, para la cual el sistema de transmisión para cada coordenada es a través de un tornillo sinfin. Para esta mesa la fuerza motriz es proporcionada por dos motores eléctricos de corriente directa continua (CDC), sin embargo, este sistema implicaba un riesgo:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Un posible choque de la plantilla con los límites de la platina, si los actuadores permanecían funcionando indefinidamente, y un consecuente daño a los Bloques.

La solución aceptada para el problema es una mesa de dos coordenadas, cuya fuerza motriz está proporcionada por dos motores eléctricos de corriente directa continua (CDC). La diferencia con el sistema anterior, es que la transmisión es a través de un sistema parecido al sistema biela-manivela, en el cual también se tiene una biela y un tambor que arrastra a aquella. Figura 4.4.

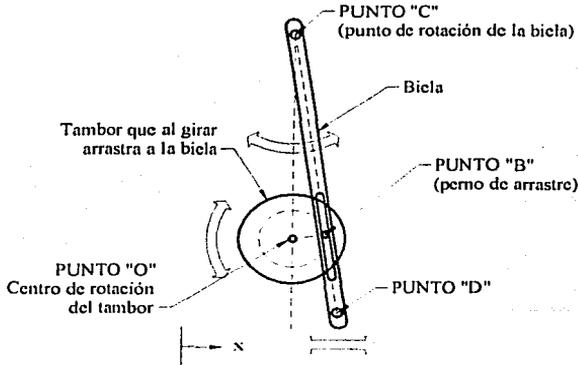


Figura 4.4 Sistema de posición aceptado.

Este sistema está compuesto básicamente por dos partes: una biela y un tambor. Mediante este sistema se convierte el movimiento de rotación del motor, el cual es transmitido directamente sobre el tambor, en movimiento lineal; con lo anterior se obtiene un movimiento de vaivén en el punto D.

La biela tiene su punto de rotación en el punto C, el tambor tiene un movimiento de rotación y mediante el perno (punto B), arrastra a la biela, provocando que el punto D tenga un movimiento de vaivén en el eje X. El punto D siempre está dentro de una distancia definida en el eje X, nunca sale de esos límites. Figura 4.4.

Esta forma de movimiento resulta muy conveniente, pues cumple con la característica del sistema de tener bien definida su área de trabajo. No importa que el motor permanezca trabajando

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

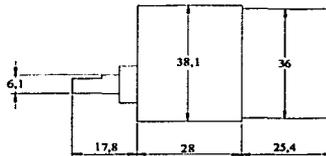
indefinidamente, la plantilla de medición nunca tocará los límites de la platina del CT, y por lo tanto, nunca habrá una colisión que dañe a los Bloques que estén en proceso de calibración.

Para este mecanismo propuesto, la temperatura generada por los actuadores no implica problema, pues los motores elegidos no se calientan demasiado cuando están trabajando, aún por periodos largos de tiempo.

Los motores elegidos tienen acoplada una caja de engranes que reduce considerablemente la velocidad del eje, Las características del motor elegido se observan en la tabla 4.1. Las dimensiones del motor se observan en la figura 4.5.

Voltaje (V)	Intervalo de voltaje de operación	Sin carga		Par (kg/cm)	Razón de reducción	Peso (kg)
		Corriente (mA)	Velocidad (rpm)			
12	4,5 - 12	50	4,5	13	1000:1	0,136

Tabla 4.1. Características técnicas del motor de CDC.



Dimensiones en mm.

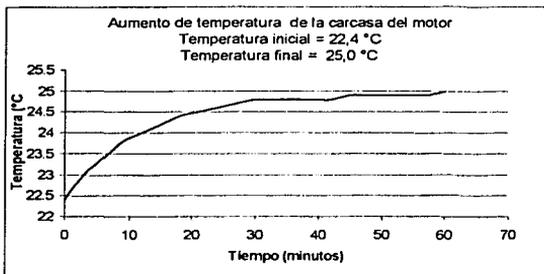
Figura 4.5. Motor de corriente directa continuo usado para el mecanismo propuesto.

Como se puede observar el motor es relativamente pequeño, por lo que éste resultó muy adecuado para la aplicación requerida.

Para garantizar que la cantidad de calor generado por los motores dentro de la estación, donde se encuentra el CT, no influye demasiado en la incertidumbre de las mediciones tomadas, se probó a cada uno de ellos a la mitad de su capacidad de carga -la estimada para el mecanismo propuesto- durante 1 hora, tiempo estimado como máximo representativo en el proceso de calibración. Gráfica 4.1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para esta prueba se tomó la lectura de la temperatura de la carcasa del motor en intervalos de 3 minutos durante una hora a trabajo continuo. Las lecturas de temperatura se realizaron con un termómetro de mercurio con división mínima de $0,1^{\circ}\text{C}$. Se obtuvieron los siguientes resultados:



Gráfica 4.1 Temperatura de la carcasa del motor vs. tiempo.

La gráfica muestra un aumento de temperatura en la carcasa del motor de $2,6^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de una hora a trabajo continuo. Como se puede observar, el motor aumenta gradualmente su temperatura en los primeros 30 minutos, después de los cuales prácticamente su temperatura es constante.

La cantidad de calor generado por una variación de temperatura de $2,6^{\circ}\text{C}$ en la carcasa del motor, en un tiempo de una hora, es una cantidad mínima, por lo que se puede suponer, con cierto grado de confiabilidad, que la incertidumbre asociada a la temperatura de las manos del usuario (36°C aprox.) disminuirá considerablemente, puesto que éstas ya no estarán dentro de la estación de medición en el momento que el CT realice la calibración de Bloques.

Con lo anterior se espera que la transferencia de calor de los motores hacia el ambiente dentro de la estación de medición, no modifique sensiblemente la temperatura de ésta. Con esto se pretende cumplir con una de las restricciones, relacionadas con la temperatura, impuestas al sistema. Sin embargo, sólo con pruebas del sistema en funcionamiento se podrá determinar si realmente afecta o no esta diferencia de temperatura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3 Sistema de Control.

4.3.1 Microcontrolador.

La forma de control propuesta para este sistema es por medio de un microprocesador.

Un microprocesador es un conjunto de dispositivos y circuitos digitales que pueden realizar una secuencia de operaciones, a la cual se le llama programa, con un mínimo de intervención humana, el programa se ejecuta sobre datos que recibe, de los cuales se obtienen resultados.

Las características principales de un microprocesador son: su programabilidad y su universalidad, que hacen de él un dispositivo tan versátil y poderoso que puede utilizarse como elemento inteligente en aplicaciones que van desde una computadora personal, hasta un rastreador de satélites, o un sistema de control de cualquier aparato electrónico.

La programabilidad se refiere a la capacidad que tiene un microprocesador para que su función sea definida en un programa, éste consta de una serie de instrucciones ejecutadas secuencialmente por el microprocesador, y que puede implicar operaciones lógicas y aritméticas.

Si un mismo circuito integrado contiene además de las unidades básicas otras como memoria, puertos de salida y entrada, a este circuito ya no se le considera estrictamente un microprocesador, porque las unidades que contiene le da las capacidades de una microcomputadora. Por esta razón a estos dispositivos se les llama "Microcomputadora en una sola pastilla" o "Microcontrolador".

Para los fines que se requieren en este trabajo, se utilizará un Microcontrolador (μC).

El trabajo que tiene que realizar el μC es:

1. Controlar los motores de CDC para que éstos coloquen a los Bloques en los puntos de medición, en la secuencia correcta hasta completar un ciclo (1, 2, 3, ..., 6). Figura 4.2.
2. Comunicarse con el CT, para comunicarle cuando puede tomar las lecturas de medición, y a la vez el CT le avisa cuando puede mover los Bloques, sin riesgo de colisión con los palpadores.

estos deben de estar retraídos (no tener contacto con la cara de medición del Bloque).

3. Realizar las mediciones en el número de ciclos que se desee.

El μC tiene que mantener una comunicación con el CT para indicarle el momento en que los Bloques están en el punto de medición, y que pueda realizar la medición, así como el CT debe de comunicarle al microcontrolador que ha terminado de realizar la medición, y que puede mover los Bloques al siguiente punto de medición. Esto garantiza que no existirá una colisión de Bloques en movimiento con los palpadores del CT.

El μC que se usa es un MC68HC11F1 de Motorola. La tarjeta del μC se muestra en la figura 4.6. Éste tiene las siguientes características, en cuanto a memoria interna se refiere:

- EEPROM 512 B.
- RAM 1 KB.

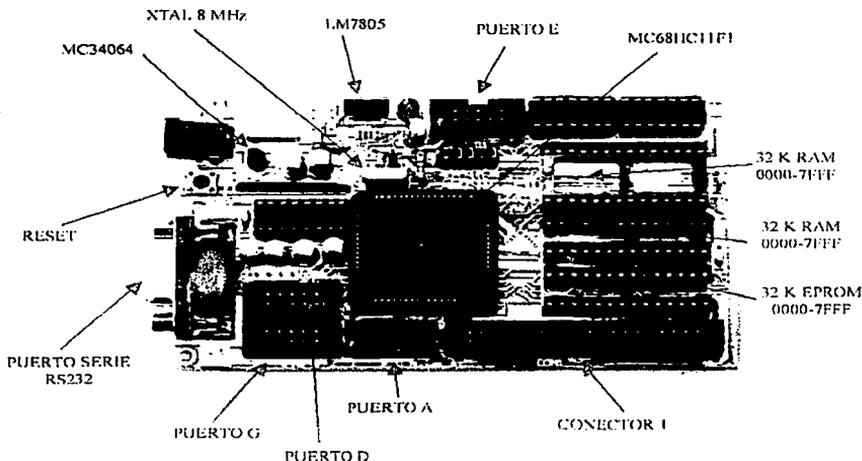


Figura 4.6 Tarjeta del microcontrolador.

4.3.2 Sensores de posición y etapa de potencia.

Para saber la posición en la cual se encuentra el sistema de posicionamiento, dentro del área de trabajo, se utilizan sensores optoelectrónicos.

Mediante este tipo de sensores se determina la posición de referencia del sistema, para lo cual se requiere dos de ellos: uno para el eje X, y uno para el eje Y.

Se requiere de dos sensores más para determinar el punto de medición. Para esto se emplea un codificador incremental lineal, figura 1.7, con el cual se cuenta el número de pulsos necesarios para trasladarse de una posición a otra.

La etapa de potencia para los motores está determinada por medio de un circuito integrado: L293D, con el cual se puede tener el control de motores corriente continua (CD) en las siguientes configuraciones:

- 1) Control de 4 motores de CDC¹, en una dirección de rotación.
- 2) Control de 2 motores de CDC, en dos direcciones de rotación.
- 3) Control de 1 motor de corriente continua a pasos.

Para este trabajo se utiliza la configuración 2, puesto que es lo que se necesita, figura 5.7. Con lo anterior se obtiene que esta etapa se limita al circuito mencionado y a un inversor, por lo cual es muy sencilla de implementar, pues lo que se requiere es el control de 2 motores de CDC en ambas direcciones.

Para las señales restantes, sólo se requiere de botones de pulso, para la señal de inicio; y un botón enclavado para la señal del tamaño del Bloque a calibrar. Figura 5.8.

¹ CDC Corriente Directa Continua.

Capítulo 5

Diseño del Sistema de Posición

Se describe como es el diseño del sistema propuesto para la solución del problema planteado. La descripción incluye la parte mecánica, electrónica y de programación del μC .

5.1 Diseño del Sistema.

La parte mecánica de sistema de posición (SP), es básicamente una mesa de dos coordenadas, con la cual se coloca el Bloque en el punto de medición.

Para la realización de esta mesa, se debe de tener en cuenta cuál es el recorrido máximo en cada eje (X e Y), así como la velocidad con que se desplaza el Bloque de un punto de medición a otro, puesto que uno de los objetivos es que el proceso de calibración no sea demasiado lento, sin llegar al extremo de poner en riesgo cualquiera de los elementos involucrados en el proceso de calibración.

Otro punto importante es la aceleración producida en el momento que se desplaza el Bloque al siguiente punto de medición, esta aceleración es especialmente importante cuando se está realizando la calibración del mayor Bloque, el cual es de 100 mm de longitud. Para este caso se debe tener un valor de aceleración máximo con el cual se tenga la seguridad que no se provoca la volcadura del Bloque al desplazarlo de un punto a otro, pues de lo contrario se causarían daños a dicho Bloque, con la consecuente degradación de grado de calidad del mismo.

La importancia del valor de la aceleración radica en que para el proceso manual, en Bloques mayores de 30 mm, se sujetan, mediante apoyos, a la plantilla de medición precisamente para que estos no se vuelquen. Sin embargo, con el esquema planteado se busca que los Bloques ya no se sujeten, con lo cual se ahorra tiempo y se evita más la manipulación de los Bloques por parte del personal del laboratorio.

La determinación de la velocidad y aceleración se determina por medio de un análisis cinemático del mecanismo propuesto. Figura 5.1.

En la figura 5.2 se puede observar el esquema geométrico del mecanismo, a partir del cual se realiza un análisis cinemático.

5.2 Análisis cinemático del sistema motriz.

Mediante este mecanismo se logran realizar todos los movimientos necesarios para realizar la calibración de los Bloques.

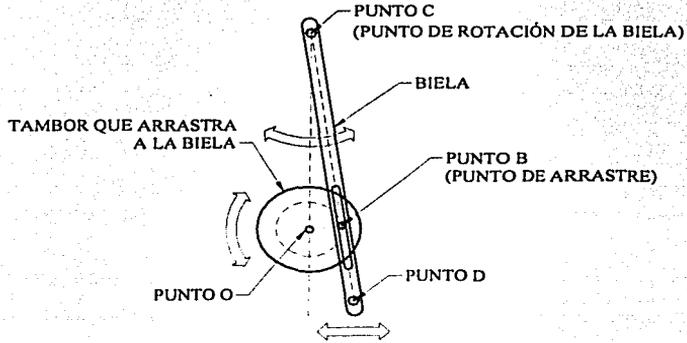


Figura 5.1 Esquema del mecanismo.

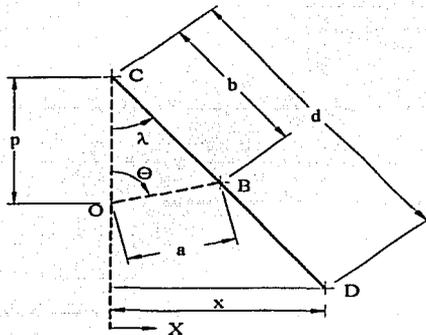


Figura 5.2 Esquema geométrico del mecanismo.

Se realiza un análisis cinemático del mecanismo, donde se obtiene la posición, velocidad, aceleración en función del tiempo, así como la relación que existe entre ellas. Este análisis permite determinar las dimensiones adecuadas para el mecanismo de tal forma que se tenga la seguridad que éste funcionará de manera adecuada, así como la aceleración máxima permitida para no volcar los Bloques.

De la figura 5.2 se tiene lo siguiente:

Por la ley de senos.

$$\frac{b}{\text{sen}\theta} = \frac{a}{\text{sen}\lambda} \Rightarrow \text{sen}\lambda = \frac{a \text{sen}\theta}{b} \quad \dots(1)$$

Por la ley de cosenos.

$$b^2 = p^2 + a^2 - 2pa \cos\theta \Rightarrow b = \sqrt{p^2 + a^2 - 2pa \cos\theta} \quad \dots(2)$$

(2) en (1)

$$\Rightarrow \text{sen}\lambda = \frac{a \text{sen}\theta}{\sqrt{p^2 + a^2 - 2pa \cos\theta}} \quad \dots(3)$$

Por otra parte.

$$\text{sen}\lambda = \frac{x}{d} \quad \dots(4)$$

Realizando la igualdad entre (3) y (4), se tiene:

$$\Rightarrow \frac{x}{d} = \frac{a \text{sen}\theta}{\sqrt{p^2 + a^2 - 2pa \cos\theta}}$$

$$x = \frac{d a \text{sen}\theta}{\sqrt{p^2 + a^2 - 2pa \cos\theta}} \quad \dots(5)$$

La ecuación (5) determina la distancia x, perpendicular al eje CO hasta el punto "D".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La velocidad del punto "D" en la dirección X, se obtiene mediante la función derivada de la ecuación (5) con respecto del tiempo. La única variable es la que representa al ángulo θ . Por lo que se tiene:

$$V_D = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d a \operatorname{sen} \theta}{\sqrt{p^2 + a^2 - 2 p a \cos \theta}} \right)$$

Si consideramos:

$$M = d a \operatorname{sen} \theta \quad \dots(7)$$

$$N = (p^2 + a^2 - 2 p a \cos \theta)^{1/2} \quad \dots(8)$$

$$\Rightarrow V_D = \frac{d}{dt} \left(\frac{M}{N} \right) = \frac{N \frac{dM}{dt} - M \frac{dN}{dt}}{N^2} \quad \dots(9)$$

Realizando la operación por términos.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt} (d a \operatorname{sen} \theta) = d a \theta' \cos \theta \quad \text{substituyendo (7)}$$

$$\therefore \frac{dM}{dt} = d a \theta' \cos \theta \quad \dots(10)$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{d}{dt} \left[(p^2 + a^2 - 2 p a \cos \theta)^{1/2} \right] \quad \text{substituyendo (8)}$$

$$= \frac{1}{2} (p^2 + a^2 - 2 p a \cos \theta)^{-1/2} (2 p a \theta' \operatorname{sen} \theta) = \frac{p a \theta' \operatorname{sen} \theta}{(p^2 + a^2 - 2 p a \cos \theta)^{1/2}}$$

Nuevamente substituyendo la ecuación (8)

$$\therefore \frac{dN}{dt} = \frac{p a \theta' \operatorname{sen} \theta}{N} \quad \dots(11)$$

Ecuaciones (10) y (11) en la ecuación (9)

$$\Rightarrow V_D = \frac{N d a \theta' \cos \theta - (d a \operatorname{sen} \theta) \left(\frac{p a \theta' \operatorname{sen} \theta}{N} \right)}{N^2}$$

$$V_D = \frac{N^2 da\theta' \cos\theta - (da \operatorname{sen}\theta)(pa\theta' \operatorname{sen}\theta)}{N^2 N}$$

$$\therefore V_D = \frac{(N^2 da\theta' \cos\theta) - (d pa^2 \theta' \operatorname{sen}^2\theta)}{N^3} \quad \dots(12)$$

N Se obtiene de (8), si se observa (2), se tiene que $N=b$
 θ' Es la velocidad angular ω de la línea OB.

La ecuación (12) determina la velocidad del punto "D" sobre el eje X.

Para obtener la aceleración del punto "D", sólo es necesario derivar la ecuación que determina la velocidad, ecuación (12).

$$Z_D = \frac{dV_D}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{N^2 da\theta' \cos\theta - d pa^2 \theta' \operatorname{sen}^2\theta}{N^3} \right) \quad \dots(13)$$

Si se tiene que:

$$Q = da\theta' \cos\theta \quad \dots(14)$$

$$R = d pa^2 \theta' \operatorname{sen}^2\theta \quad \dots(15)$$

Substituyendo (14) y (15) en (13), se tiene:

$$\Rightarrow Z_D = \frac{d}{dt} \left(\frac{N^2 Q - R}{N^3} \right) = \frac{N^3 \frac{d}{dt} (N^2 Q - R) - (N^2 Q - R) \frac{d}{dt} (N^3)}{N^6}$$

$$\Rightarrow Z_D = \frac{N^3 \frac{d}{dt} (N^2 Q) - N^3 \frac{d}{dt} (R) - (N^2 Q - R) \frac{d}{dt} (N^3)}{N^6} \quad \dots(16)$$

Realizando la operación por partes:

$$\frac{d}{dt} (N^2 Q) = N^2 \frac{d}{dt} (Q) + Q \frac{d}{dt} (N^2) \quad \text{substituyendo (8) y (14)}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} (N^2 Q) = N^2 \frac{d}{dt} (da\theta' \cos\theta) + (da\theta' \cos\theta) \frac{d}{dt} (p^2 + a^2 - 2 pa \cos\theta)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\frac{d}{dt}(N^2 Q) = N^2 da(\theta'' \cos \theta - \theta'^2 \operatorname{sen} \theta) + (da \theta' \cos \theta)(2pa \theta' \operatorname{sen} \theta)$$

$$\therefore \frac{d}{dt}(N^2 Q) = N^2 da \theta'' \cos \theta - N^2 da \theta'^2 \operatorname{sen} \theta + 2d pa^2 \theta'^2 \cos \theta \operatorname{sen} \theta \quad \dots(17)$$

Por otra parte:

$$\frac{d}{dt}(R) = \frac{d}{dt}(d pa^2 \theta' \operatorname{sen}^2 \theta) \quad \text{substituyendo (15)}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{d}{dt}(R) &= d pa^2 \frac{d}{dt}(\theta' \operatorname{sen}^2 \theta) = d pa^2 \left(\operatorname{sen}^2 \theta \frac{d}{dt}(\theta') + \theta' \frac{d}{dt}(\operatorname{sen}^2 \theta) \right) \\ &= d pa^2 \left[(\operatorname{sen}^2 \theta)(\theta'') + (\theta') (2 \operatorname{sen} \theta \cos \theta)(\theta') \right] \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{d}{dt}(R) = d pa^2 \theta'' \operatorname{sen}^2 \theta + 2d pa^2 \theta'^2 \operatorname{sen} \theta \cos \theta \quad \dots(18)$$

Por último:

$$\frac{d}{dt} N^3 = \frac{d}{dt} (p^2 + a^2 - 2pa \cos \theta)^{3/2} \quad \text{substituyendo (8)}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} N^3 = \frac{3}{2} (p^2 + a^2 - 2pa \cos \theta)^{1/2} \frac{d}{dt} (p^2 + a^2 - 2pa \cos \theta)$$

Substituyendo (8)

$$\therefore \frac{d}{dt} N^3 = \frac{3}{2} N (2pa \theta' \operatorname{sen} \theta) \quad \dots(19)$$

De un término de (16) y con (19):

$$(N^2 Q - R) \frac{d}{dt} N^3 = [N^2 da \theta'' \cos \theta - d pa^2 \theta'^2 \operatorname{sen}^2 \theta] \frac{3}{2} N (2pa \theta' \operatorname{sen} \theta)$$

$$\therefore (N^2 Q - R) \frac{d}{dt} N^3 = 3 N^3 d pa^2 \theta'^2 \cos \theta \operatorname{sen} \theta - 3 N d p^2 a^3 \theta'^2 \operatorname{sen}^3 \theta \quad \dots(20)$$

Substituyendo (17), (18), (20) en (16), se obtiene lo siguiente:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$Z_D = \frac{\left[\begin{array}{l} N^3 (N^2 d a \theta'' \cos \theta - N^2 d a \theta'^2 \sin \theta + 2 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta) \\ - N^3 (d p a^2 \theta'' \sin^2 \theta + 2 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta) \\ - (3 N^3 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta - 3 N d p^2 a^3 \theta'^2 \sin^3 \theta) \end{array} \right]}{N^6}$$

$$Z_D = \frac{\left[\begin{array}{l} (N^5 d a \theta'' \cos \theta - N^5 d a \theta'^2 \sin \theta + 2 N^3 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta) \\ (- N^3 d p a^2 \theta'' \sin^2 \theta - 2 N^3 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta) \\ (- 3 N^3 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta + 3 N d p^2 a^3 \theta'^2 \sin^3 \theta) \end{array} \right]}{N^6}$$

$$Z_D = \frac{\left[\begin{array}{l} N^5 d a \theta'' \cos \theta - N^5 d a \theta'^2 \sin \theta \\ - N^3 d p a^2 \theta'' \sin^2 \theta \\ - 3 N^3 d p a^2 \theta'^2 \cos \theta \sin \theta + 3 N d p^2 a^3 \theta'^2 \sin^3 \theta \end{array} \right]}{N^6}$$

$$\therefore Z_D = \frac{\left[\begin{array}{l} \theta'' (N^4 d a \cos \theta - N^2 d p a^2 \sin^2 \theta) + \\ + \theta'^2 (3 d p^2 a^3 \sin^3 \theta - 3 N^2 d p a^2 \cos \theta \sin \theta - N^4 d a \sin \theta) \end{array} \right]}{N^6} \dots (21)$$

Z_D → Aceleración del punto "D".

θ' → Velocidad angular de la línea OB.

θ'' → Aceleración angular de la línea OB.

N → Se obtiene de (8), si se observa (2), se tiene $N=b$.

Con esta última ecuación se puede determinar la aceleración del punto "D" a través del eje X. Figura 5.2.

Por lo tanto con las ecuaciones (5), (12) y (21), se conoce la cinemática del punto D en la dirección X, y mediante estas se puede obtener los valores de las dimensiones del mecanismo de tal forma que cumpla con las características del sistema, ver Cap 4.

Para obtener los valores de las dimensiones del mecanismo – líneas CD, OB, CO, figura 5.2, se experimentó con varias combinaciones, con la finalidad de satisfacer las siguientes condiciones:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 1) El tiempo de recorrido entre las distancias máximas, de cada uno de los ejes, no debe ser mayor a 5 segundos, teniendo como base que en la calibración manual este tiempo es del orden de 3 segundos.
- 2) El tamaño resultante de las piezas, debe ser tal que éstas se pudieran construir sin mucho problema, y que no interfieran con el funcionamiento adecuado del CT al momento de realizar mediciones
- 3) La aceleración en el punto D no debe ser mayor a la que se requiere para volcar al Bloque, para el caso más crítico: el Bloque de 100 mm.

Para obtener la aceleración máxima con la cual el Bloque no se vuelca durante el desplazamiento de un punto de medición a otro, se determina por el análisis que a continuación se muestra:

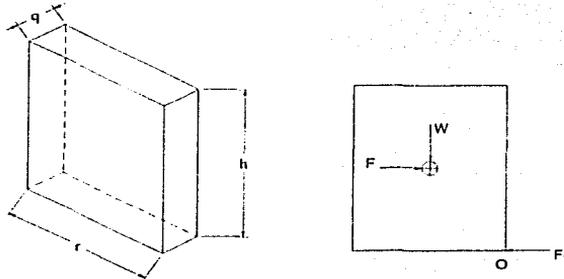


Figura 5.3 Suma de momentos en el punto O.

Para que el Bloque no se vuelque, se debe cumplir lo siguiente:

$$\sum M_o = 0$$

$$W \frac{r}{2} - F \frac{h}{2} = 0 \Rightarrow W \frac{r}{2} = F \frac{h}{2} \Rightarrow W r = F h$$

Para evitar que siquiera el Bloque se despegue de su base:

$$W r > F h$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\Rightarrow F_x < mg \frac{r}{h} \quad F_y < mg \frac{q}{h} \quad \dots(22)$$

Donde: $F_x = ma_x \quad F_y = ma_y$

$$\therefore a_x < g \frac{r}{h} \quad a_y < g \frac{q}{h} \quad \dots(23)$$

- F_x Fuerza aplicada en la dirección x.
- F_y Fuerza aplicada en la dirección y.
- a_x Aceleración del punto D en la dirección x.
- a_y Aceleración del punto D en la dirección y.
- m Masa del Bloque
- g Constante de aceleración de la gravedad = 9780 mm/s²

Con base en las premisas anteriores se obtuvieron las siguientes dimensiones para el mecanismo propuesto. Figura 5.4:

En la tabla 5.1 se muestran las dimensiones para las piezas. El mecanismo es el mismo para mover ambos ejes, sólo que las dimensiones son diferentes de acuerdo al tamaño de la sección transversal del Bloque. Se considera el mayor tamaño posible de Bloque que se puede calibrar en el CT, esto es, 9 x 35 mm de sección transversal. Ver tabla 2.1.

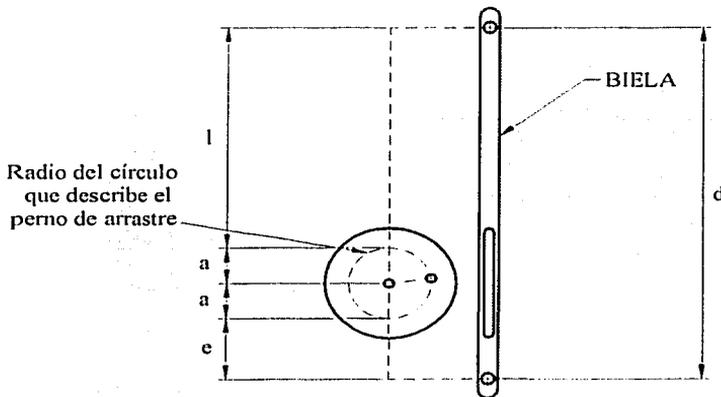


Figura 5.4 Dimensiones del mecanismo.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

VARIABLES GEOMÉTRICAS	EJE X	EJE Y
p	41,2 mm	46,4 mm
a	10,2 mm.	6,4 mm.
$l = p - a$	31,0 mm.	40,0 mm.
c	12,0 mm.	11,0 mm.
d	63,4 mm.	63,8 mm.

Tabla 5.1 Dimensiones de las variables geométricas.

El tiempo de desplazamiento resultante de las dimensiones mostradas, para cada uno de los ejes, está relacionado de forma importante al número de RPM que ofrece el motor, por lo que se obtuvo un tiempo que cumple con las condiciones de diseño, mencionadas en páginas anteriores. Tabla 5.2.

En la figura 5.5 se muestra como queda construido el SP (eje X), cuyo esquema es la figura 5.1 y 5.2. En ella se muestra el motor, la biela y el tambor.

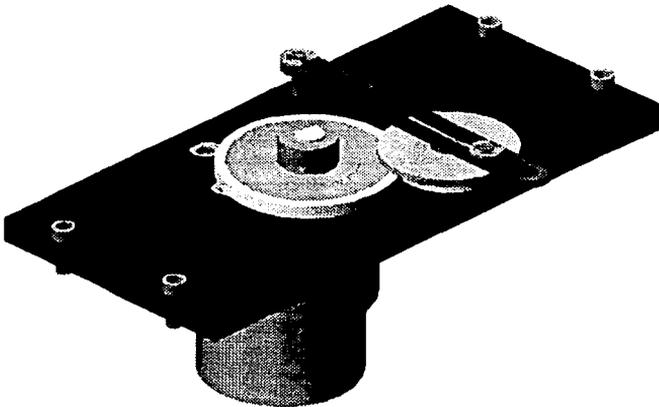


Figura 5.5. SP para el eje X

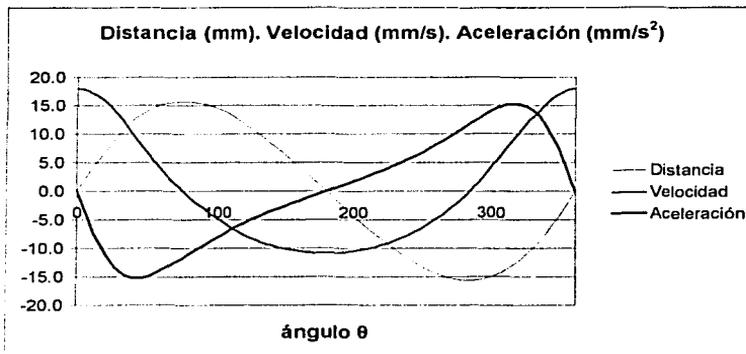
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Eje	Puntos de la plantilla de medición que delimitan la distancia máxima.	Distancia máx.	RPM del eje OB.	Tiempo de recorrido.
X	5 - 6	31,4 mm.	8,25	4,2 s.
Y	1 -4	17,6 mm.	8,25	4,0 s.

Tabla 5.2 Tiempo de recorrido de la distancia máxima.

De los resultados mostrados en la tabla 5.2, se determina que la velocidad angular del perno del tambor (punto B, figura 5.2) debe de ser cercana a 9 rpm, o menos. Para los resultados mostrados la velocidad angular del tambor es de 8,25 rpm.

Las gráficas del comportamiento cinemático del punto D, para las dimensiones del mecanismo en el eje X, son:



Gráficas del comportamiento cinemático del sistema.

Como se puede observar el comportamiento sigue una función senoidal debido a la forma en como está configurado el mecanismo. Esto da la ventaja que variables cinemáticas, con respecto al ángulo de rotación del tambor (ángulo θ), no experimentan cambios muy bruscos, por lo que el movimiento de los Bloques es "suave".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La aceleración máxima que se obtiene con estas dimensiones del mecanismo, de las ecuaciones (5), (12) y (21), es:

$$a_x = 15,3 \text{ mm/s}^2 \quad a_y = 7,15 \text{ mm/s}^2.$$

De la ecuación (23), los valores de aceleración máxima y las dimensiones de un Bloque de 100 mm, se obtiene:

$$a_x = 15,3 < g \frac{r}{h} \Rightarrow 15,3 < 9780 \frac{35}{100}$$

$$a_y = 7,15 < g \frac{q}{h} \Rightarrow 7,15 < 9780 \frac{9}{100}$$

El valor de aceleración que se obtiene es menor al que se requiere para volcar el Bloque durante el desplazamiento del mismo, por lo que se tiene la seguridad de que el Bloque no se volcará.

5.3 Sistema Electrónico de Potencia.

Esta parte del diseño, se concreta en administrar la energía necesaria a los actuadores del sistema, motores de CDC, para que estos funcionen de manera adecuada.

Esta tarea se facilita mucho con la implementación de un circuito integrado, al cual sólo se le dan las señales necesarias para poner en operación al motor elegido y en el sentido de giro deseado.

El circuito empleado es el L293D, con el cual se puede tener el control de encendido/apagado y de la dirección de rotación de dos motores de CDC. Su patigrama se muestra en la figura 5.6.

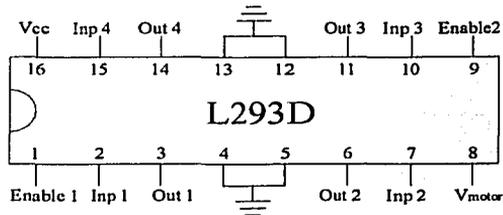
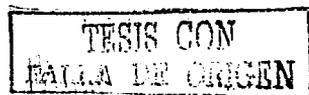


Figura 5.6 Patigrama del L293D.



La configuración para conectar dos motores de CDC en este circuito integrado es:

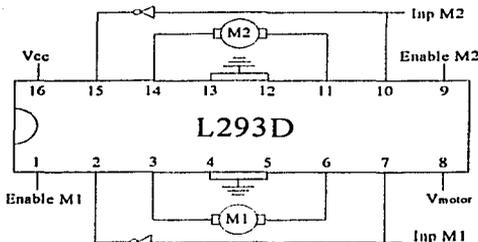


Figura 5.7 Configuración para usar con un motor de CDC.

Para la implementación de la etapa de potencia, sólo fue necesario adicionar un inversor (circuito integrado). Las señales necesarias para accionar los motores son dos (para cada uno de los motores): La de activación (Enable), "enciende o apaga" al motor, y la entrada (Inp), cuyo valor lógico (0 ó 1) determina cuál es la dirección de rotación en la cual se accionará el motor.

Para este caso el voltaje del motor (V_{motor}) es de 12 v, puesto que es el voltaje de los motores utilizados.

5.4 Señales de Control.

Mediante las señales de control, el μC recibe información de sensores y de otros dispositivos, y con base en ella puede determinar que paso sigue dentro del programa que controla a las señales de entrada y de salida del μC . Figura 5.8 y 5.9.

Las señales que recibe el μC son las siguientes:

1. Señal del contador.
2. Señales de la posición de referencia.
3. Señal de inicio de programa y de inicio de medición.
4. Señal que indica el tamaño del bloque a calibrar.
5. Señal que proviene del CT para indicar si los palpadores están retraídos o no.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La señal del contador se recibe de los pulsos que manda un sensor optoelectrónico, que pasa por un codificador incremental lineal, figura 1.7, esto da una serie de pulsos que el contador del μC cuenta hasta que se llega a una cierta cantidad de pulsos, que es la que se requiere para llegar de un punto de medición a otro. Los pulsos que recibe el contador del μC son de un sólo eje a la vez, pues el μC mueve a los ejes de uno en uno. Por lo anterior es que en el esquema electrónico se implementaron compuertas lógicas para determinar que eje está en movimiento y entonces deja pasar la señal del codificador del eje en movimiento. La señal del eje que no está en movimiento queda bloqueada.

La señal 2 se recibe por dos sensores optoelectrónicos (uno para cada eje) e indica la posición de referencia que tiene el sistema de posición. Esta posición se encuentra en la parte inferior izquierda del área de trabajo del sistema. Figura 4.3.

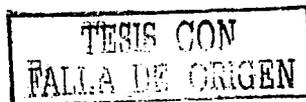
La señal de inicio de programa y de inicio de medición es la misma, y se da por medio de un botón pulsador.

La señal que indica al μC el tamaño de los Bloques que se está calibrando, se da por medio de un botón enclavado. Esta señal según el valor lógico (0 ó 1) que mande al μC , éste interpreta como Bloque pequeño (9 x 30 mm) o Bloque grande (9 x 35 mm).

La señal que proviene del CT para indicar si los palpadores están retraídos o no, pasa a través de un optoacoplador¹. Esta señal es para seguridad de los Bloques y del CT, pues si los motores se accionan, desplazando a los Bloques, cuando los palpadores están en contacto con la cara de medición de aquellos, se corre el riesgo de que se dañe tanto a la cara de medición del Bloque como al palpador. Si la señal indica que los palpadores no están retraídos, entonces el μC manda una señal al CT para retraerlos y no puede mover a los motores hasta que los palpadores estén alejados de la cara de medición del Bloque.

Todas estas señales entran al μC a través del puerto E, a excepción de la señal del contador la cual entra a través del puerto A. En la Figura 5.8, se describe la etapa electrónica con la cual el μC recibe las señales de entrada. Estas etapas son muy sencillas, pues sólo

¹ Optoacoplador: Circuito integrado que aísla una señal eléctrica de forma optoelectrónica. Se utiliza para proteger de posibles cortos circuitos o descargas eléctricas a dispositivos electrónicos delicados.



se requiere de fotosensores, resistencias, botones, compuertas lógicas AND y OR, inversores y LEDs.

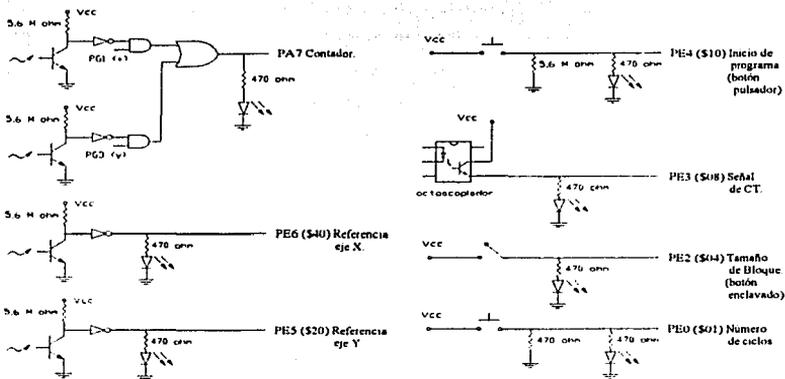


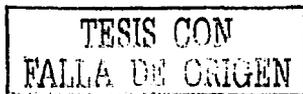
Figura 5.8 Señales de entrada del MC.

- PE# Número de pin del puerto E del μ C.
- PA7 Pin 7 del puerto A del μ C.
- PG señal que proviene del puerto G del μ C

Las señales de salida del μ C a los actuadores y al CT son las siguientes, figura 5.9:

1. Activación del motor que mueve al eje X.
2. Dirección de rotación del motor del eje X.
3. Activación del motor que mueve al eje Y.
4. Dirección de rotación del motor del eje Y.
5. Señal que indica al CT que el Bloque está en posición y que puede tomar la lectura.
6. Señal al CT para que éste retraiga sus palpadores.
7. Señal a un despliegue de 7 segmentos.

Señal de activación del motor del eje X, es la señal que energiza o desenergiza al motor del eje X. La tercera señal es la misma, sólo que ahora para el motor del eje Y.



La señal de dirección de rotación del motor, hace que el motor gire en un sentido o en sentido contrario. Existe una señal de estas para cada motor (eje X y eje Y).

Cuando el Bloque está en el punto de medición, el μC manda una señal al CT para que éste tome la medida sobre el Bloque. Cuando aquel acaba con la medición, manda la señal al μC de que acabó con la medición.

El MC revisa el estado de los palpadores (si están retraídos o no), en el caso de que no estén retraídos, el μC manda una señal al CT para que éste retraiga sus palpadores.

La señal que manda el μC a través del despliegue de 7 segmentos, es para saber que parte de la secuencia del programa se está ejecutando: Con este despliegue, el personal de laboratorio sabe en que momento el μC va a terminar de tomar lecturas. Es sólo una visualización del estado del programa.

Las señales de salida del μC son a través del puerto G que pasan a través de optoacopladores, y del puerto A para la señal del despliegue de 7 segmentos.

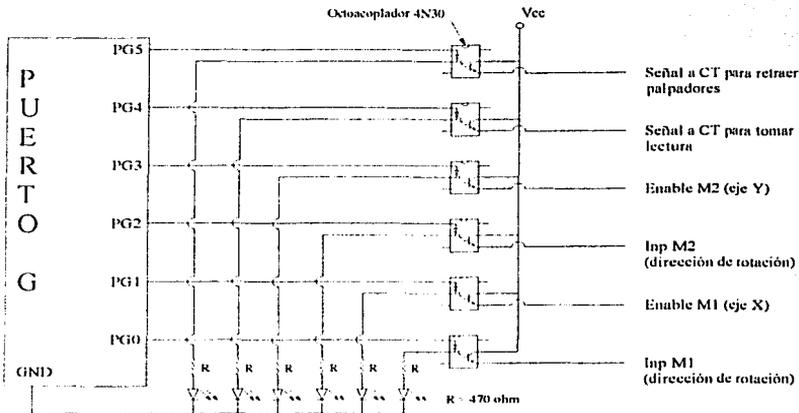


Figura 5.9(a) Señales de salida del μC por el puerto G.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

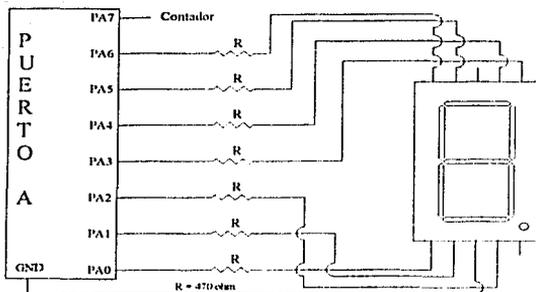


Figura 5.9(b) Señales de salida del μC por el puerto A.

El despliegue de 7 segmentos es de cátodo común.

Los indicadores que se observan a través del despliegue de 7 segmentos son:

- L Inicio de programa.
- E Espera de inicio de ciclo de medición.
- C Pide cuántos ciclos de medición se desea.
- 1,2,...,7 Número de ciclos de medición (máximo 7).

5.5 Software.

El μC se programó con lenguaje ensamblador, por lo que el software utilizado es un ensamblador para el μC de la familia de HC11. Este ensamblador es el editor AISM11.

Para realizar el trabajo que se requiere, el programa se basa en el Diagrama de flujo que se muestra en la figura 5.10, en él se observa lo que tiene que realizar el μC , así como la información (señales de entrada) que requiere para realizar la tarea satisfactoriamente.

Debido a los requerimientos de calibración es necesario que se tome la medición en el mismo punto un mínimo de 3 veces, lo que se considera suficiente para realizar el análisis estadístico necesario para obtener los resultados de la calibración. Sin embargo, este número puede ser mayor, por lo que en el programa se contempla la posibilidad de cambiar el número de ocasiones en que se medirá el mismo punto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La descripción del diagrama es:

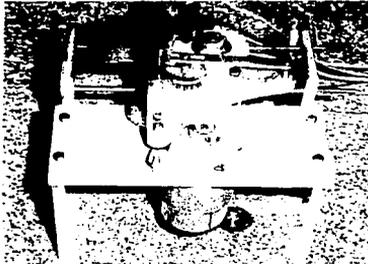
1. Al iniciar el sistema se requiere de una señal de inicio.
2. Se verifica que los palpadores del CT estén retraídos, es decir, que las puntas de los palpadores no estén en contacto con las caras de los Bloques.
3. Se lleva al SP al punto de referencia.
4. Se ingresa el número de ciclos de medición^{II} que se requieren, así como el tamaño del Bloque a calibrar (de 9 x 30 ó 9 x 35 mm).
5. Se da una señal (espera) para comenzar con la toma de lecturas.
6. El SP se coloca en el punto de medición e indica al CT que puede tomar las lecturas.
7. Se verifica si los palpadores están retraídos, y por lo tanto, si se pueden activar o no los actuadores.
8. Al terminar el número de ciclos de medición deseados, el sistema de posicionamiento se coloca en la posición de referencia.
9. Al finalizar, el sistema está en espera de una nueva calibración o listo para apagarse.

5.6 Integración de los elementos.

La integración de todos los elementos da como resultado un sistema mecatrónico, el cual realiza la tarea de controlar los movimientos necesarios para la calibración de Bloques. Esta integración involucra a los componentes mecánicos, electrónicos (etapa de potencia, señales de control, tarjeta del μC) y a la programación del μC .

En la figura 5.11, se muestra el mecanismo que permite colocar a los Bloques en los puntos de medición (SP). Se puede observar dos vistas, donde se aprecia que el mecanismo analizado en páginas anteriores, es el mismo para ambos ejes (X e Y), sólo que con dimensiones diferentes.

^{II} Ciclo de medición: es la medición en todos los puntos; del 1 al 6. Figura 4.2.



Eje X



Eje Y

Figura 5.11. Parte mecánica del sistema.

En la figura 5.12, se muestra la parte electrónica: La tarjeta del μC , la etapa de potencia, y la etapa de recepción y salida de señales por parte del μC (proto-board).

En la figura 5.13, se observa solamente la etapa de recepción de señales por parte de todos los sensores de posición, y las señales de salida para la etapa de potencia y la comunicación con el CT.

En la etapa de potencia se observan los optoacopladores, para aislar al μC de cualquier problema que se pudiera presentar en la etapa de potencia.



Figura 5.12. Etapa de potencia y de control del μC .

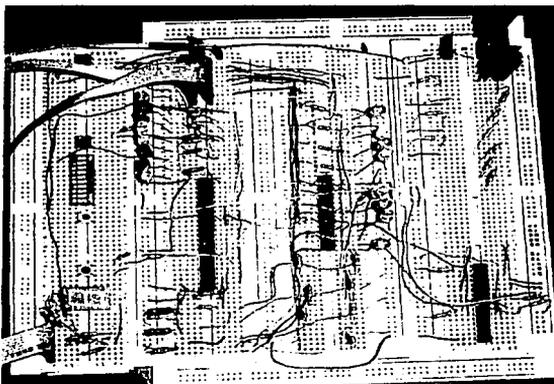


Figura 5.13. Etapa de recepción y salida de señales.

En la figura 5.14, se observa el sistema mecánico acoplado al CT, dentro de la estación de medición, tal como se emplea en el proceso de calibración.

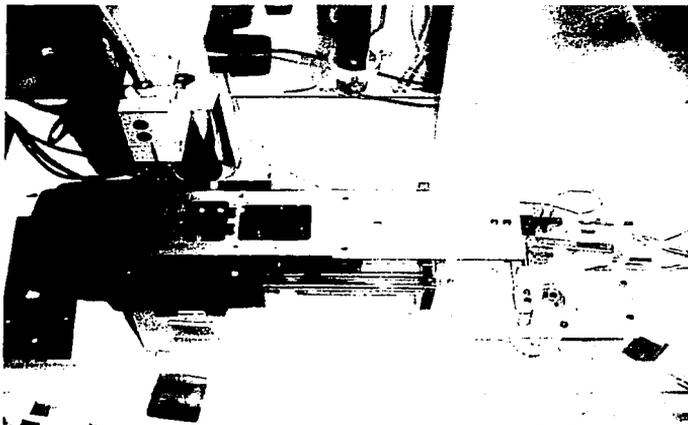


Figura 5.14 Acoplamiento de CT con el SP.

Capítulo 6

Conclusiones

Se muestran enseguida los resultados obtenidos en este trabajo.

6.1 Resultados.

Se obtuvieron varios, los cuales se listan a continuación:

- Se creó un dispositivo mecánico capaz de realizar un movimiento en dos coordenadas.
- La programación del μC permite realizar los movimientos requeridos en el dispositivo mecánico, a través de los actuadores, y la parte electrónica mediante la cual el μC recibe las señales de los sensores y manda las señales hacia los actuadores, y funciona adecuadamente.
- El costo del sistema es, aproximadamente, la décima parte del costo de un sistema neumático.
- La manufactura de la parte mecánica, incluye el maquinado de algunas piezas (plantilla, base del motor del eje Y) mediante control numérico, esto responde a la geometría complicada y a las pequeñas tolerancias ($< 0,05$ mm), para el caso de la plantilla, que se requieren. El material usado es, esencialmente, aluminio.
- La mayoría de las piezas se puede reproducir fácilmente mediante manufactura por máquinas-herramientas manuales. Para el caso de la plantilla de medición, se requiere control numérico. Los engranes usados son las únicas piezas no fáciles de conseguir, por lo que si se quiere reproducir el mecanismo, es necesario asegurarse de conseguir primero los engranes, si no iguales, si que mantengan la relación de velocidad requerida. La parte electrónica no tiene problema alguno de adquisición de piezas.

- El sistema satisfizo el requerimiento de temperatura. El valor de ésta se mantiene en un valor menor comparado con la temperatura del proceso manual.

Un error de diseño son las guías con las cuales el mecanismo se desplaza sobre los ejes (X e Y). Estas guías no fueron las adecuadas, pues no son perfectamente rectas, además de que ofrecen demasiada fricción al movimiento. Sin embargo, se pueden mejorar logrando un mejor acabado en la superficie de ellas y una mayor rectitud.

6.2 Conclusiones.

Se logró un sistema capaz de realizar en forma automática y autónoma los movimientos necesarios para el proceso de calibración de Bloques en un comparador marca TESA. En este sistema el personal de laboratorio solamente coloca los Bloques en la plantilla, cierra la estación de medición y el sistema comienza trabajar de forma autónoma.

Se puede decir que el sistema completo (parte mecánica, electrónica y programación) funciona adecuadamente. Sin embargo, no cumple con la recomendación del fabricante del CT de tener como tolerancia para el punto de medición una circunferencia de radio 150 μm , pero como se observó en el cálculo de las incertidumbres, este problema no es causa representativa de la incertidumbre resultado de la medición. Para obtener esa precisión en el punto de medición, en la parte mecánica se puede mejorar, especialmente en las guías de los carros, de cada eje, pues como ya se mencionó, éstas no tienen una rectitud adecuada. Además se puede lograr, mediante una nueva relación de engranes, que los desplazamientos sean más rápidos, y por ende el tiempo que se requiere para la calibración de los Bloques, sea menor.

La relevancia de este trabajo radica en el hecho de que se comienza con la automatización del proceso de calibración de Bloques Patrón en un comparador mecánico marca TESA, con las ventajas que ya se explicaron en páginas anteriores, como la disminución de la incertidumbre en las mediciones provocadas principalmente por variaciones de temperatura.

Una automatización completa de este proceso implica tener una buena interfaz entre el personal de laboratorio y el sistema, a través de una PC, y que los tiempos de medición sean lo más pequeños posibles. Logrando esto el sistema es muy eficiente en cuanto a tiempo y disminución de incertidumbres, y como consecuencia de ello una mejor calibración de Bloques Patrón.

6.3 Trabajo a futuro.

Una forma de mejorar el desempeño de la parte mecánica es utilizar actuadores neumáticos (como una de las propuestas iniciales para este trabajo), sin embargo, su costo es muy elevado. Aunque también se pueden seguir utilizando actuadores eléctricos, y con ello se reduciría el costo del sistema significativamente.

La comunicación entre el sistema y el usuario, sólo se compone de un despliegue de 7 segmentos, por lo cual esta comunicación es muy rudimentaria, y se tendría que trabajar más en ella.

En este ámbito se considera que la interfaz entre el usuario y el equipo puede mejorarse en mucho. Esto se lograría con un programa en una PC, para que sea más amigable con el usuario, mediante el cual se le comunique al μC cuántos ciclos de medición se requieren, en qué puntos se desea tomar mediciones, la secuencia de los puntos de medición.

Además, se puede lograr mediante este programa que las lecturas de medición que entrega el CT pasen directamente a una base de datos y en la cual, posteriormente, se realice el análisis estadístico necesarios para la obtención de resultados del proceso de calibración.

Bibliografía.

"Interfaz electrónica para una máquina usada en la calibración de reglas y escalas de alta exactitud".

Amaya Méndez Ricardo.

Tesis de licenciatura, octubre 2000.

"Medición de desplazamiento y ángulo con alta resolución utilizando el DSP TMS320C50".

Guzmán Mosqueda José Ramón.

Tesis de licenciatura, septiembre 2000.

"Reference Manual of Mini-Scale and Mate System Encoders (ACURITE)".

"Curso especial: Módulo IV, Metrología Geométrica".

De la Herrán José, Nava Sandoval Rigoberto, Padilla Olvera Sergio, Ruiz Botello Gerardo, Sánchez Vizcaino José.

Centro de Instrumentos, UNAM, 1988.

"Curso Básico de Metrología Dimensional".

Nava Sandoval Rigoberto, Padilla Olvera Sergio, Ruiz Botello Gerardo.

Centro de Instrumentos UNAM, 1995.

"Fundamentos sobre medición de precisión: Manual No 8402 E".

Instituto de Metrología Mitutoyo

"Bloques Patrón: Manual No 7012 E".

Instituto de Metrología Mitutoyo

"Cales Étalons: Norme Française NF E 11-010".

"Federal specification GGG-G-15C: Gage Blocks and accesories".

"Norma DIN 861, enero 1980".

Publicada por el Cinvestav, IPN.

"International Standard: ISO 3650, Gage Blocks".

Primera edición 1978-07-15.

"Microprocessors and microcomputers: hardware and software"

Ronald J. Tocci, Frank J. Ambrosio, Lester P. Laskowski.

Editorial Prentice Hall.

Cuarta edición, 1997

"Métodos Experimentales para Ingenieros".

Hollman Jack P.

Edit. McGraw-Hill

Segunda edición en español

"Mecánica vectorial para ingenieros: Estática".

Fernidand P. Beer, E. Russel Johnston Jr.

Editorial Mc. Graw Hill.

Sexta edición, 1997 Vol I.

"Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica".

Fernidand P. Beer, E. Russel Johnston Jr.

Editorial Mc. Graw Hill.

Sexta edición, 1998 Vol II.

"Fundamentos de mecanismos y máquinas para ingenieros".

Calero Pérez, Roque.

Editorial Mc. Graw Hill.

España, 1999