

CAPÍTULO IV. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN LINEAL. MEDIDA INDIRECTA

4.1 Comparativa

4.1.1 Comparadores ópticos

El equipo de medición óptica más utilizado en diversas industrias es el comparador óptico (figura 4.1); también se le conoce como proyector de perfiles, porque es un excelente medio para medir piezas pequeñas a través de la visualización de su imagen ampliificada sobre una pantalla traslúcida.



Figura 4.1 Vista de un comparador óptico

Los comparadores ópticos pueden ser clasificados, por el tipo de iluminación que emplean, en horizontales, vertical ascendente y vertical descendente. Esta clasificación esta basada en la iluminación de contorno, pero además de ésta, se tiene iluminación de superficies.

Con la iluminación de contorno es posible hacer mediciones y con la de superficie pueden hacerse observaciones de las condiciones de la superficie y mediciones. Ambos tipos de iluminación pueden utilizarse simultáneamente y, por lo general, se cuenta con un control que permite aumentar la intensidad de la iluminación de superficie por arriba de lo normal, para usarse con superficies poco reflejantes, aunque se recomienda usarla solo cuando sea necesario para no reducir el tiempo de vida útil de la lámpara.

Medición

Sobre la platina se coloca la pieza que vaya a medirse y ésta se aleja o acerca al lente de proyección girando la manivela para enfocar hasta que se logre obtener una imagen claramente definida de la parte que se desea medir u observar sobre la pantalla.

Para facilitar el posicionamiento adecuado de piezas, las platinas cuentan con ranuras en las que pueden introducirse dispositivos de sujeción o posicionamiento de piezas.

Antes de realizar cualquier medición, es conveniente verificar que la pantalla puede girar continuamente en cualquier dirección y haya sido fijada en la posición de referencia.

Sobre la pantalla hay dos líneas perpendiculares entre sí, que después de verificar la posición de cero una queda en posición horizontal y otra en vertical. Estas líneas servirán de referencia para efectuar mediciones. Una vez enfocada la imagen se alinea

algún lado de la pieza con alguna de las líneas citadas, auxiliándose del desplazamiento que es posible lograr en dos direcciones mutuamente perpendiculares de la platina.

Uso de plantillas

En la medición de ciertos perfiles, puede usarse plantillas transparentes, las cuales se colocan sobre la pantalla y reduce la labor de medición a una simple comparación.

Lentes de proyección

El lente de proyección del comparador debe seleccionarse con base en los tamaños de la pieza y de pantalla; mayor tamaño de pieza o mayor amplificación requerirá una pantalla mayor. Los valores comunes de amplificación son 5, 10, 20, 50 y 100x. Además de los lentes de amplificación fija, existen lentes zoom que permiten una variación continua de la amplificación y el bloque de ésta en los valores antes mencionados.

Los diámetros comunes de pantallas con 250, 300 y 350 mm, pero existen mayores.

Microprocesador

En la medición de formas complejas puede usarse un microprocesador capaz de procesar datos en dos dimensiones que cuente con funciones para mediciones básicas y

de alineamiento y que ofrezca la posibilidad de programar rutinas de inspección para las piezas deseadas, reduciendo así el tiempo necesario para ello. Los microprocesadores también cuentan con una impresora, por lo que proporcionan registros impresos de las mediciones realizadas.

Instrucciones de seguridad y conservación

Es necesario engrasar periódicamente las partes móviles tales como apoyos de la mesa micrométrica, mecanismo de elevación, etc. teniendo cuidado de no manchar lentes y espejos.

Limpiar de polvo y suciedad con especial cuidado, procurando no rayar las superficies de lentes y espejos.

Hay una serie de elementos que se envejecen con el uso y será necesario por tanto reemplazarlas periódicamente: fusible, lámpara de iluminación del contorno, lámpara de iluminación de la superficie, cristal de la mesa de apoyo, etc.

Preparación para el uso

El proyector de perfiles debe estar ubicado en una habitación libre de vibraciones, polvo y humedad.

Las vibraciones no tienen efecto directo sobre la proyección de la imagen pero pueden degradar la precisión de medida durante su tiempo de utilización.

El polvo y la suciedad afectan adversamente las partes ópticas tales como lentes y espejos y partes móviles como la mesa micrométrica.

La luz directa de la iluminación de la habitación o luz del sol oscurecerán la pantalla impidiendo una lectura correcta, por lo que se recomienda que la iluminación de la sala sea la menor posible, con el fin de que no tengamos reflexión exterior (de la luz sobre la pantalla) y los contrastes sean buenos.

4.1.2 Máquinas de medición de redondez (figura 4.2)

Las máquinas de medición de redondez tienen un mecanismo giratorio para medir los cambios de radio en la dirección periférica de la pieza inspeccionada o para medir los cambios de radio en las direcciones específicas o axial, de acuerdo con el tipo de contacto del detector.

La siguiente máquina cuenta con una mesa de ajuste digital que permite realizar el centrado y el alineado de la pieza de una manera rápida y sencilla.

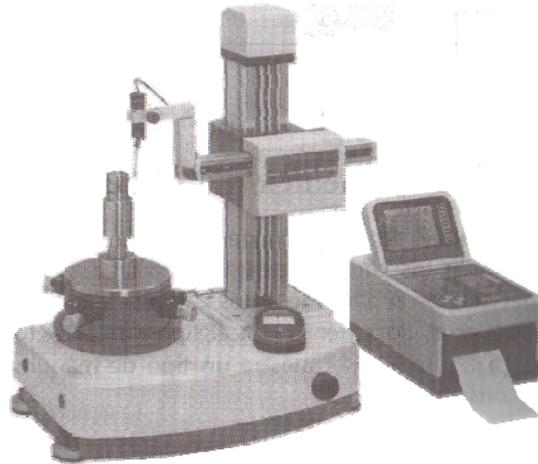


Figura 4.2 Vista de una máquina de medición de redondez

También cuenta con una pantalla (figura 4.3) que va presentando información que facilita la operación y sobre la que se pueden ver los resultados de la medición, mismos que pueden ser impresos.

La operación se realiza fácilmente sobre un teclado.

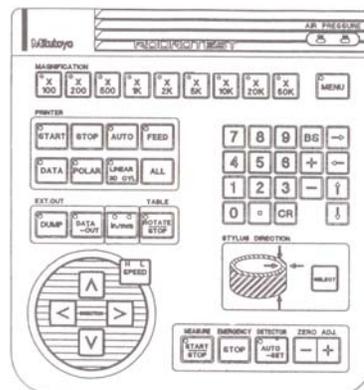


Figura 4.3 Pantalla del comparador óptico

Medición de redondez

Para lograr mediciones confiables es necesario centrar y nivelar la pieza a medir sobre la mesa giratoria.

Si una pieza cilíndrica no está correctamente centrada sobre la mesa giratoria, los valores resultantes de la medición pueden variar significativamente y puede excederse por mucho el rango de medición.

La medición puede realizarse para interiores o exteriores, colocando el palpador en la posición conveniente.

Una máquina de medición de redondez empieza a girar al iniciar la medición y va mostrando en tiempo real el perfil medido sobre la pantalla y cuando la medición ha sido completada, los valores medidos de las coordenadas con mostrados.

Los resultados de la medición, el perfil circular y el perfil lineal pueden ser obtenidos. De igual manera pueden obtenerse ampliaciones e impresiones de los resultados obtenidos.

4.2 Trigonometría

4.2.1 Máquina de medición por coordenadas

Ventajas de las CMM

Las CMM tienen las siguientes ventajas sobre los métodos convencionales de medición en una mesa para verificación.

1. Eficiencia de medición muy mejorada

a. El método convencional con mesas para verificación requiere de mucho tiempo para la colocación de la pieza de trabajo. La CMM, con ayuda de su computadora, puede hacer el trabajo casi instantáneamente.

b. Todas las caras de la pieza de trabajo, a excepción de la base, pueden ser medidas.

c. El método convencional requiere que las mediciones se tomen en varios puntos con un microscopio u otro dispositivo, mientras se efectúa una alineación fina de la mesa, y se leen sus desplazamientos. Después se tienen que efectuar cálculos para determinar las coordenadas de un punto. La CMM puede determinar las coordenadas de un punto por la simple operación del palpador.

d. En el sistema CMM no se necesita efectuar cálculos trigonométricos; éstos se efectúan por la simple operación del palpador.

e. Para inspecciones tipo pasa-no pasa, el método convencional primero necesita tomar las mediciones para conocer las dimensiones de la pieza de trabajo; después, esas dimensiones tienen que compararse con los

valores del diseño y las tolerancias. La CMM puede efectuar esas inspecciones directa y rápidamente con el uso de un programa de tolerancias.

2. Las CMM pueden efectuar mediciones que eran muy difíciles de hacer. Por ejemplo: fácilmente se determina una distancia desde un punto imaginario, distancias espaciales entre dos puntos relacionados sobre una pieza de trabajo, contorno y dimensiones dentro de un agujero, etc. Esta capacidad también permite una exacta y eficiente digitalización de los valores de las coordenadas de contornos de modelos sólidos que allana el camino para unir el CAD, CAM y sistemas de programación automático.

3. Minimiza los errores humanos, puesto que no requiere de la habilidad de inspectores con experiencia. Además, las CMM CNC eliminan la variación en las mediciones, que resultan de diferentes operadores con niveles de experiencia y técnicas diferentes.

4. Minimiza la fatiga del operador.

a) Generalmente la operación de la CMM requiere mucho menos trabajo del operador que el requerido por los métodos convencionales.

b) Las mediciones y los cálculos se muestran de forma automática, eliminando la tensión ocasionada por tener que tomar las mediciones y hacer cálculos manualmente.

c) La nivelación y la alineación del eje, que tiene que efectuarse repetidamente cuando se mide por el método convencional sobre una mesa de verificación, no tiene que efectuarse

d) Las mediciones estables son fácilmente obtenidas sin una operación complicada del palpador.

5. Eliminación de accesorios de fijación, dispositivos y patrones de referencia. Esto reduce el costo y el tiempo de inspección cuando se desarrollan o se fabrican productos nuevos.

6. La variación en las mediciones causada por el uso de diferentes instrumentos es minimizada y se produce una mayor confiabilidad.

7. Manejo automático de los datos. El sistema de la CMM es capaz no solo de obtener los resultados de las tolerancias, sino también de los análisis estadísticos de los datos, dibujar gráficas en un graficador X-Y y generar reporte de inspección. Estas capacidades simplifican de manera considerable el manejo de los datos, y las rutinas de control de calidad, además ofrecen una rápida retroalimentación de los datos hacia la línea de producción.

8. Ventajas de la medición automática usando CMM CNC

a) la confiabilidad de las mediciones es mejorada bastante usando un sistema CNC de la CMM, ya que las direcciones de recorrido, la velocidad de contacto y los puntos de la entrada de datos pueden ser constantemente controlados para mediciones repetidas.

b) La medición de un número de piezas de trabajo con idénticas características puede ser gradualmente simplificada usando un programa, eliminando así la necesidad de repetir los procedimientos para cada pieza de trabajo.

c) Las operaciones que no necesitan atención liberan al operador para otras actividades.

9. Mejoramiento de la imagen por la calidad.

Economía de las CMM

Vamos a ver el proceso de control de calidad enfocándolo en la reducción del tiempo de inspección a evaluar la viabilidad de la CMM

1. Reduce el tiempo de medición
2. Ahorro de costos de la CMM

Existen otras ventajas económicas, por ejemplo, el aumento de la eficiencia de la medición no solamente reduce costos de inspección, sino también aumenta la velocidad de los límites de producción. Los tiempos perdidos en la línea de producción, causados por retardos en la inspección, pueden ser minimizados. Las mediciones confiables y exactas van a mejorar la calidad, lo cual, a su vez, incrementará las ventas y la satisfacción de los clientes.

Funciones y características de las cmm

Clasificación por estructura

Diferentes estructuras de CMM están disponibles para satisfacer diferentes requerimientos de maniobrabilidad, intervalo de medición y exactitud. Las características de cada tipo se describen a continuación.

Tipo de puente movable (figura 4.4)

1. **Estructura.** El eje Z se mueve en dirección vertical. El carro que guía el eje se desplaza en la dirección del eje X, a lo largo de la viga horizontal que es perpendicular al eje Z y que soporta en ambos extremos por dos columnas. La viga y la columna forman un “puente” que se mueve en la dirección del eje Y a lo largo de dos guías, que están en un plano horizontal y perpendicular en los ejes X y Z.

2. **Características.** Como la viga es sostenida en sus dos extremos, su flexión es mínima, lo cual ofrece mayor exactitud que el tipo voladizo (cantilever). Moviendo el puente a uno de los extremos de la CMM se hace un espacio muy amplio, que facilita mucho la carga/descarga de las piezas de trabajo.

Sin embargo, el peso del puente tiene una inercia grande, lo que vuelve un poco difícil mover el palpador manualmente. Otra desventaja es que cuando se usa CMM con un intervalo de medición grande en la dirección longitudinal, el operador debe pararse a un lado de la máquina durante la medición y las columnas le restan maniobrabilidad.

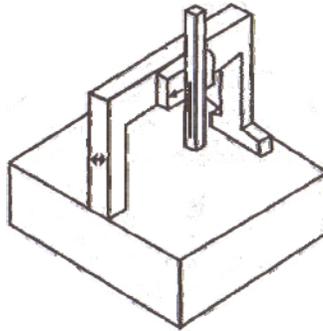


Figura 4.4

Tipo puente-mesa (figura 4.5)

1. **Estructura.** En eje Z se mueve en dirección vertical. El carro que guía el eje se desplaza en la dirección del eje X, a lo largo de la viga que es perpendicular al eje Z. la viga se mueve en la dirección del eje Y a lo largo de dos guías que están en un plano horizontal. Las guías se colocan sobre las bases en el extremo superior de dos columnas que están fijas a la base de la máquina.

2. **Características.** En este tipo la viga es sostenida en ambos extremos, de tal manera que la flexión de la misma es mínima, así se proporciona una exactitud mayor que la del tipo voladizo; como solo la viga es movida en la dirección longitudinal (eje Y) con una inercia menor que la del puente completo, la operación manual es más fácil que la del tipo puente móvil.

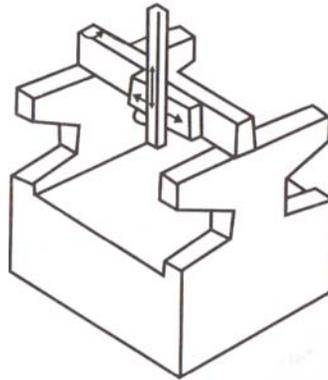


Figura 4.5

Tipo puente-piso (figura 4.6)

1. **Estructura.** Esta estructura es la misma que la del tipo puente móvil, con excepción de que está directamente en el piso con un asentamiento firme, lo cual proporciona una rigidez mucho mayor que el puente sobre columnas. Esta estructura emplea una CMM relativamente grande.

2. **Características.** Este tipo generalmente tiene un intervalo de medición grande y el operador trabaja en el espacio dentro de la estructura del puente. Como los miembros móviles son pesados, cada eje es movido por un motor. En algunos tipos extra-anchos un mando dual se usa con el objetivo de prevenir un movimiento irregular o brusco de la viga, que pueda afectar la exactitud de la medición. Sin embargo, la cimentación sufre cambios con el tiempo. Las columnas soporte deben ser inspeccionadas periódicamente para saber si están movidas y ajustarlas de ser necesario.

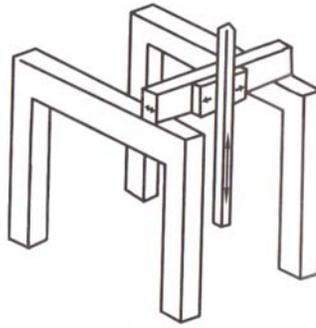


Figura 4.6

Tipo puente fijo (Figura 4.7)

1. **Características.** El eje Z se mueve en la dirección vertical. El carro que guía el eje se desplaza en la dirección del eje X, a lo largo de la viga horizontal que es perpendicular al eje Z y se apoya en ambos extremos por dos columnas. Éstas se encuentran fijas en la base de la máquina. La mesa de medición se mueve en la dirección del eje Y, a lo largo de una guía que está en el plano horizontal y es perpendicular a los ejes X y Z.

2. **Características.** El tipo de puente fijo no tiene movimiento en el puente o en su viga. Esto permite que la viga sea diseñada para una rigidez máxima que proporcione una alta exactitud. Por esta razón, las CMM de alta exactitud emplean la estructura de puente fijo. Cada eje es movido por un motor para asegurar exactitud en el desplazamiento, y también porque la operación manual es difícil, ya que tanto el palpador como la pieza de trabajo deben moverse para la medición.

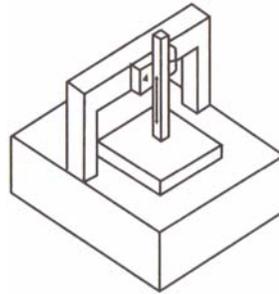


Figura 4.7

Tipo puente en forma de L (Figura 4.8)

1. **Estructura.** Este diseño es una variación del tipo puente deslizante para minimizar la inercia cuando se mueve el puente en la dirección longitudinal (eje Y).

2. **Características.** Comparado con el tipo de puente móvil, la inercia de los miembros en movimiento es menor, por lo que resulta una operación más fácil. Como cada miembro móvil es más ligero en su peso, es menor rígido y menos fuerte. Debe tenerse suficiente cuidado para mantener su exactitud, al comprobar periódicamente el deterioro de su exactitud y su deformación estructural.

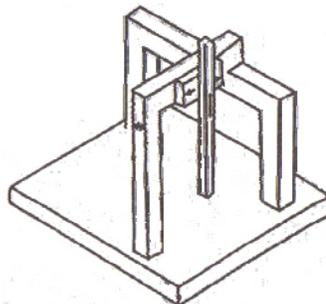


Figura 4.8

Tipo voladizo (cantilever) con eje Y móvil (Figura 4.9)

1. **Estructura.** El eje Z se mueve en la dirección vertical. El carro que guía en él se desplaza en la dirección del eje Y, a lo largo de la viga horizontal en voladizo, que es perpendicular al eje Z. La viga se mueve en la dirección del eje X a lo largo de una guía que está en un plano horizontal y perpendicular a los ejes X y Z.

2. **Características.** Como tres de las dos de la CMM están abiertos, se facilita cargar/descargar piezas de trabajo. También ofrece la ventaja de poder medir una pieza de trabajo que sobresalga de los extremos de la mesa de medición. Sin embargo, usando una grúa para cargar y descargar una pieza de trabajo, se corre el peligro de golpear la saliente de la viga. La operación es fácil por el frente y por los lados, pero muy difícil por la parte posterior. Como la viga se sostiene únicamente por un lado, se flexiona más que los tipos que están sostenidos por sus extremos. El mantenimiento de la exactitud es también difícil por estas razones.

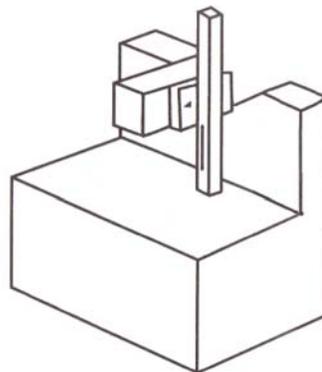


Figura 4.9

Tipo columna de movimiento simple (figura 4.10)

1. **Estructura.** El eje Z se mueve en la dirección vertical. La columna entera se incorpora a la guía del eje Y a lo largo de una guía que está en un plano horizontal y perpendicular al eje Z. la mesa de medición se mueve en la dirección del eje X a lo largo de una guía que está en un plano horizontal y es perpendicular a los ejes Y y Z.

2. **Características.** Como la mesa de medición, la columna y otras partes son muy rígidas con una deformación mínima. Este diseño se emplea en tipos de gran exactitud. En suma, una alta exactitud geométrica es asegurada, porque cada escala lineal está colocada cerca del eje para satisfacer el principio de abbe. Este tipo de CMM usa un mando por motor, porque la operación manual es difícil, ya que ambos, el palpador y la pieza de trabajo, tienen que ser desplazados para la medición.

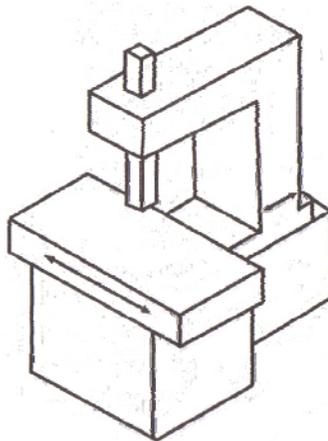


Figura 4.10

Tipo columna con mesa XY (figura 4.11)

1. **Estructura.** El eje Z se mueve en dirección vertical, la columna que tiene incorporada la guía del eje Z esta fijada a la base de la máquina; la mesa de medición se mueve en dos direcciones ortogonales (X y Y) en un plano horizontal.

2. **Características.** Este diseño es empleado principalmente en CMM de tamaño pequeño. La operación manual se dificulta, ya que tanto la mesa como el palpador con el eje Z, tienen que ser desplazados para la medición.

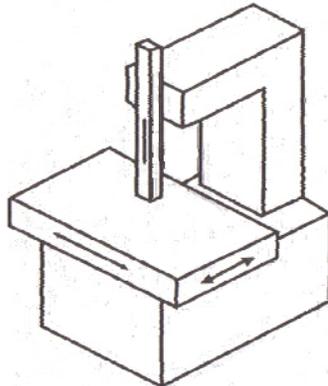


Figura 4.11

Tipo brazo horizontal mesa movable (figura 4.12)

1. **Estructura.** El carro que soporta el brazo horizontal se mueve en la dirección vertical (eje Y) a lo largo de la columna vertical. El palpador está colocado horizontalmente al brazo, la columna se mueve en la dirección del eje X, a lo largo de una guía que está en un plano horizontal y perpendicular al eje

Y. la mesa de medición se mueve en al perpendicular a los ejes X y Y. este tipo normalmente tienen una mesa giratoria como equipo estándar.

2. **Características.** Este es un diseño mejorado del tipo de brazo horizontal que sufre una flexión de su brazo cuando avanza y retrocede en la dirección del eje Z. la carga y descarga de las piezas de trabajo es fácil por el diseño de abertura completa. Como se usa un mecanismo para mover la mesa, este tipo no es adecuado para piezas de mucho peso. Cada eje está movido por un motor, porque la operación es difícil.

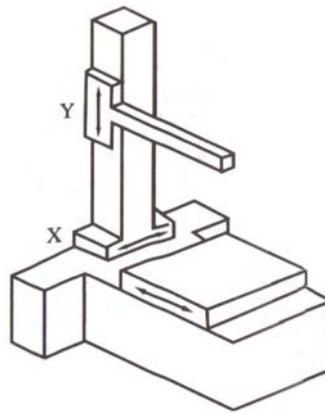


Figura 4.12

Tipo brazo horizontal mesa fija (figura 4.13)

1. **Estructura.** El carro que soporta el eje horizontal se mueve en la dirección vertical (eje Y) a lo largo de la columna vertical. El palpador está colocado horizontalmente al brazo. La columna se mueve en la dirección del eje Z, a lo largo de una guía que se coloca en el eje X de la mesa deslizante y es

perpendicular a los ejes X y Y. la mesa deslizante se mueve perpendicularmente al eje Y.

2. **Características.** Como la columna se mueve en la dirección del eje Y sin usar el recorrido de la mesa, un objeto pesado puede medirse sin mayor esfuerzo. Sin embargo, la fabricación y el mantenimiento no son fáciles.

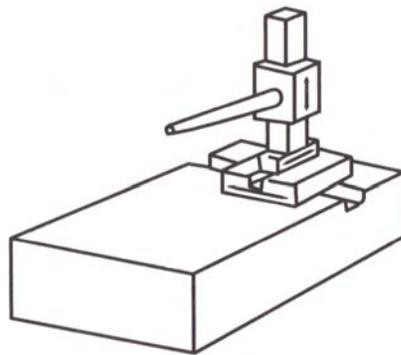


Figura 4.13

Tipo brazo horizontal (figura 4.14)

1. **Estructura.** El brazo del eje Z se mueven en la dirección horizontal. El carro que guía el brazo se desplaza en la dirección del eje X, a lo largo de una guía que está en un plano horizontal y perpendicular a los ejes Y y Z.

2. **Características.** Esta tipo de CMM es menos costoso que los dos tipos antes mencionados, porque los miembros que se mueven son más compactos y de diseño más simple. Una de las ventajas de este tipo es su tamaño pequeño, en relación con el tamaño grande de las piezas que puede medir. Por otro lado, el

tipo de brazo horizontal no es adecuado para las mediciones que requieran una gran exactitud, debido a la flexión del brazo cuando avanza y retrocede.

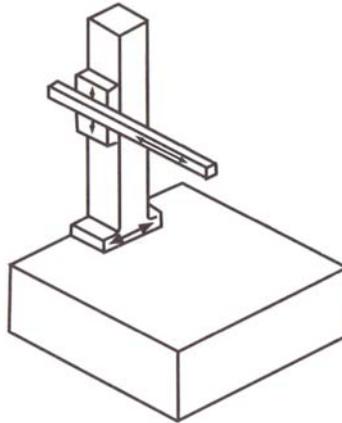


Figura 4.14

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales afectan las dimensiones de la CMM en términos de exactitud, eficiencia en la medición y mantenimiento. Se recomienda cuidar las siguientes recomendaciones:

1. *Temperatura.* Las CMM son generalmente ensambladas y ajustadas para un funcionamiento estimado en un cuarto donde la temperatura es mantenida constante a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 1^{\circ}\text{C}$, antes de su embarque. Si las condiciones de la temperatura no son controladas satisfactoriamente, se vuelve difícil el asegurar la exactitud de las mediciones y la repetibilidad especificada para la CMM.

2. *Humedad relativa.* Una humedad alta puede oxidar superficies maquinadas importantes, ocasionando el deterioro de la exactitud de la medición y el buen funcionamiento de la CMM. La humedad relativa debe ser mantenida entre 55% y 65 %.

3. *Vibración.* Como los miembros de desplazamiento de la CMM están diseñados para moverse con una fuerza muy pequeña, las vibraciones transmitidas del piso van a causar fluctuaciones en la medición. Mida las vibraciones del piso con un medidor de vibraciones y compruebe las mediciones contra las siguientes tolerancias:

- Para frecuencias menores de 10 Hz, la vibración debe ser menor que 2 μm (p-p) en amplitud.
- Para frecuencia entre 10 Hz y 50 Hz, la vibración debe ser menor de 0.004 gal en aceleración.

4. *Polvo.* El polvo puede causar daño a los componentes de las CMM de gran exactitud, tales como las guías axiales, la computadora o los discos flexibles usados en el sistema de procesamiento de datos.

5. *Gas corrosivo.* Pueden existir gases corrosivos. Estos gases pueden corroer partes críticas de una CMM y afectar la exactitud de la medición, por lo que se recomienda aislar la CMM del aire exterior y que las entradas del aire acondicionado estén localizadas en un área libre de gases corrosivos.

6. *fuerza de energía.* Siempre use una fuente de energía con los valores especificados, tanto en el voltaje como en el amperaje. Ponga a tierra la CMM con una resistencia de 100 Ω o menos y evite que estén unidas a su fuente de energía otras máquinas. Use un regulador de voltaje recomendado por el fabricante de la CMM para evitar el mal funcionamiento de la computadora.

7. *Campos eléctricos y magnéticos.* No instale los periféricos de la CMM cerca de dispositivos que generen un campo eléctrico o magnético fuertes, los cuales pueden dañar los datos o los programas que son grabados en los discos flexibles.

8. *Luz directa del sol y salida de aire.* No instale la CMM donde pueda estar sujeta a la luz del sol o cerca de una salida de aire acondicionado, con la finalidad de prevenir cambios de temperatura localizados en la CMM. Esto puede ocasionar también que se forme condensación en al computadora debido a las diferencias de temperatura entre en disco flexible y el drive del disco.

4.3 Relativa

4.3.1 Niveles (figura 4.15)

Los niveles de burbuja son los instrumentos más comúnmente usados para inspeccionar la posición horizontal de superficies y evaluar la dirección y magnitud de desviaciones menores de esa condición nominal.



Figura 4.15

La sensibilidad depende de la curvatura del tubo de vidrio. Los niveles económicos tienen un tubo flexionado. Los de mejor sensibilidad tienen tubos rectos cuyo interior ha sido esmerilado al radio deseado.

La escala sobre el tubo principal debe, preferentemente, estar graduada en intervalos iguales de aproximadamente 2 mm.

Aunque los niveles vienen ajustados, después de un tiempo de uso tal vez se requiera ajustarlos, por lo que debe buscarse que al girar el nivel 180° la posición de la burbuja no cambie.