

## 2. GENERALIDADES SOBRE MMCs

### 2.1 Definición de Máquina de Medir por Coordenadas

La posición de un punto en el espacio está definido, en coordenadas cartesianas, por los valores relativos de los tres ejes X, Y y Z con respecto a un sistema de referencia. Usando series de puntos, es posible construir el elemento geométrico que pase por ellos o que se aproxime al máximo. Una máquina de medir tridimensional es capaz de definir unívocamente y con extrema precisión la posición de estos puntos en un espacio tridimensional, y de calcular los parámetros significativos de las figuras geométricas sobre las que han sido tomados estos puntos. Una máquina de medida por coordenadas es pues un instrumento de medida absoluta de precisión capaz de determinar la dimensión, forma, posición y "actitud" (perpendicularidad, planitud, etc.) de un objeto midiendo la posición de distintos puntos de su propia superficie.

### 2.2 Aplicaciones de las MMCs

Las máquinas de medir por coordenadas (MMC) se utilizan para las siguientes aplicaciones:

- Control de la correspondencia entre un objeto físico con sus especificaciones teóricas (expresadas en un dibujo o en un modelo matemático) en términos de dimensiones, forma, posición y actitud.
- Definición de características geométricas dimensionales (dimensiones, forma, posición y actitud) de un objeto, por ejemplo un molde cuyas características teóricas son desconocidas.

### 2.3 Tecnologías empleadas

- Mecánica de precisión

Una unidad de operación por control numérico, o manual, que sea capaz de posicionar el elemento sensor en cualquier punto de su volumen de trabajo útil.

- Control numérico y computación

Controles numéricos multiaxiales (de 3 a 10 ejes), junto a una arquitectura distribuida para el control de la dinámica de las máquinas y de la necesaria elaboración de los puntos de medida.

- Programas aplicativos

Programas orientados a soluciones de aplicaciones específicas, tales como engranajes, palas de turbina, etc.

- Sensorialidad

Dispositivos que escanean las coordenadas de los puntos que yacen en la superficie de la pieza a medir, con o sin contacto con la misma.

## **2.4 Estructura mecánica**

Por lo general se denomina "máquina" a la estructura mecánica, si bien, en realidad, la máquina es la combinación de los cuatro elementos citados anteriormente. Los parámetros que caracterizan la estructura mecánica de una MMC son los siguientes:

### **2.4.1 Dimensiones**

Longitud de los ejes, por lo general cartesianos, que determinan el volumen útil de Trabajo (VUT) de la estructura mecánica. Las dimensiones pueden variar desde 1 dm<sup>3</sup> hasta varias decenas de m<sup>3</sup>. Es fácil apreciar cómo las dimensiones de la estructura mecánica pueden influenciar fuertemente las demás características de la MMC: por ejemplo, el comportamiento frente a variaciones de la temperatura ambiente y, en particular, los de los Gradientes Térmicos Espaciales.

### **2.4.2 Arquitectura**

La arquitectura de las estructuras mecánicas de las máquinas de medir está ya consolidada. La arquitectura lo es en relación a las dimensiones de la estructura mecánica y, en general, es posible afirmar que un tipo determinado de arquitectura tiende a encontrar el mejor compromiso entre: a) dinámica del sistema; b) su precisión; c) facilidad de acceso a la pieza a medir. Las arquitecturas actualmente disponibles son: a) puente; b) Gantry; c) brazo horizontal. (Ver Figura 2.1)

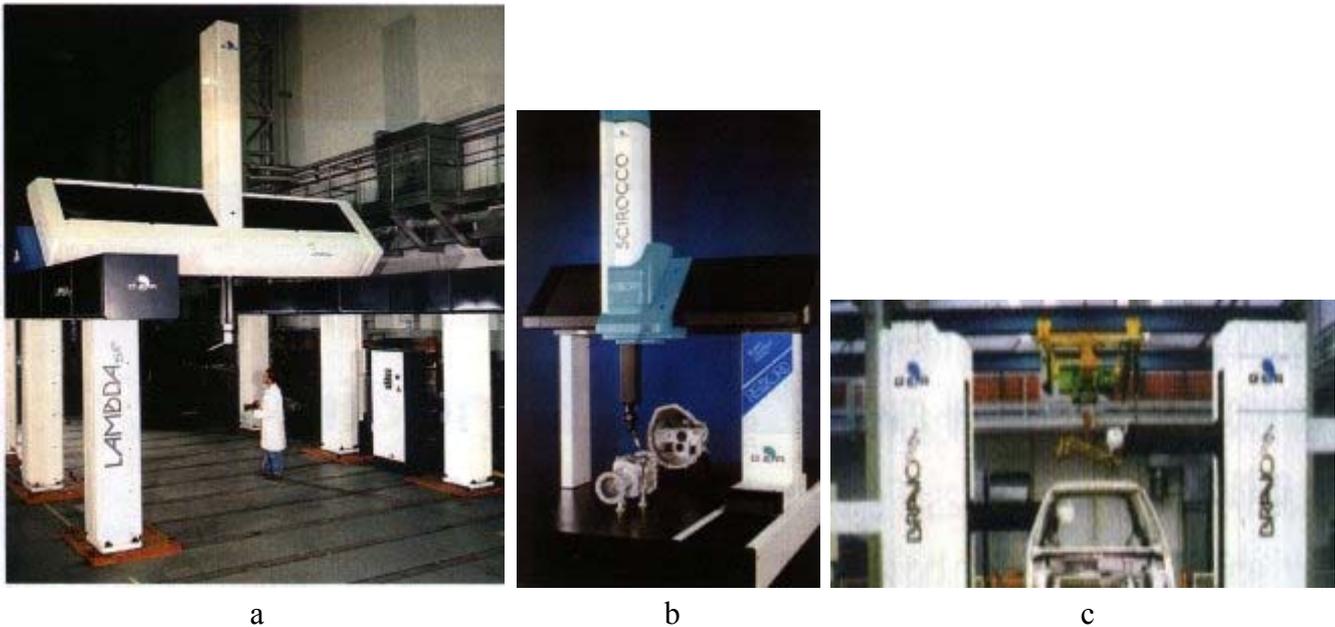


Figura 2.1.- (a) Arquitectura en puente. El volumen útil de trabajo oscila entre 0,3 y 8 m<sup>3</sup>; (b) Arquitectura Gantry. El volumen útil de trabajo oscila entre 6 y 100 m<sup>3</sup>; (c) Arquitectura en brazo horizontal. El volumen útil de trabajo oscila entre 0,3 y 100 m<sup>3</sup>.

Recientemente ha aparecido otra configuración, destinada a pequeñas aplicaciones en operación manual: la arquitectura Scara, conocida en el mundo de la robótica. Los volúmenes útiles de trabajo de cada una de estas configuraciones se muestran en la Tabla 2.1:

Arquitectura	VUT mínimo (m <sup>3</sup> )	VUT máximo (m <sup>3</sup> )
Puente	0.3	8
Gantry	6	100
Brazo horizontal	0.3	100

Tabla 2.1.- Margen de volúmenes útiles de trabajo según arquitectura

La arquitectura en brazo horizontal se emplea tanto en estructuras relativamente pequeñas como en la medida de piezas prismáticas de precisión y de grandes carrocerías.

### 2.4.3 Materiales

Históricamente, las MMC han sido instaladas en recintos de metrología controlados térmicamente. Pero el impresionante desarrollo de la automatización de procesos ha generado la necesidad de realizar las mediciones en la misma ubicación en la que se producen las piezas. Precisamente allí donde las condiciones ambientales y, en particular, los gradientes térmicos espaciales y temporales pueden influir negativamente en la fiabilidad de los resultados.

#### 2.4.4 Precisión

Al referirnos a máquinas de medir por coordenadas, la primera idea que aparece es precisamente la precisión. Pero antes es preciso especificar la unidad en que se expresará. En realidad, el término precisión es inexacto: los valores que declaran los fabricantes indican precisamente lo contrario. Traduzcamos literalmente el término alemán (Meunsichereit) y establezcamos que el parámetro significativo que juzga la precisión de una MMC es la incertidumbre de medición.

#### 2.4.5 La incertidumbre de medición

La incertidumbre de medición (IM) es el error máximo que puede cometer una MMC durante la medición de una longitud conocida y de la manera establecida por un estándar internacional. Los estándares ampliamente reconocidos en la actualidad para la certificación de la IM de una MMC son:

- La VDI, para Europa y sus áreas de influencia
- La B89, para los Estados Unidos y sus áreas de influencia
- La JIS, para algunas áreas de Asia

Recientemente ha sido aprobado un estándar ISO que, por el momento, no está siendo muy empleado debido principalmente al mucho tiempo que requieren los ensayos que establece. La IM es el parámetro más significativo, pues contiene todos los posibles componentes de error:

- Errores geométricos de la estructura mecánica
- Errores de los sensores
- Etc.

Al encontrarnos en suelo europeo, emplearemos la norma VDI. La IM puede ser expresada a tres niveles distintos:

- U1, cuando se refiere a uno sólo de los ejes de la máquina (X, Y o Z)
- U2, cuando se refiere a dos de los ejes de la máquina (XY, YZ o ZX)
- U3, cuando se refiere a los tres ejes.

Por lo general, la IM se expresa en términos de +/-, obtenida según la siguiente fórmula:

$$a + b L/1.000 \quad [2.1]$$

donde:

- $a$  ( $\mu\text{m}$ ) es la constante de error declarada por el fabricante para una MMC determinada
- $b$  ( $\mu\text{m}$ ) es la variable de error en función de la longitud del bloque patrón, declarada por el fabricante para una MMC determinada
- $L$  (mm) es la longitud del bloque patrón

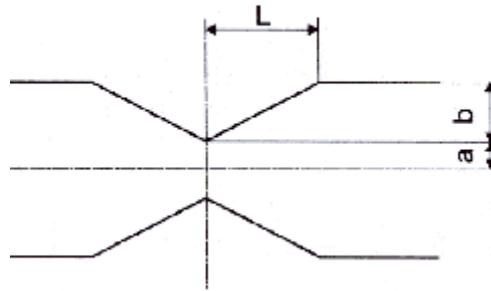


Figura 2.2.- Incertidumbre de medición.

Como ha sido indicado, la incertidumbre de medida está estrechamente relacionada con las condiciones térmicas del entorno. Por tanto, el fabricante está obligado a especificar bajo qué condiciones de operación ha obtenido la IM declarada, por ejemplo de la siguiente manera:

- Temperatura ambiente en el lugar de la instalación:  $+20^{\circ}\text{C}$
- Gradiente térmico espacial:  $1^{\circ}\text{C/m}$
- Tiempo máximo de gradiente térmico:  $0.5^{\circ}\text{C/h}$  y  $2^{\circ}\text{C/24h}$

Resumiendo: la incertidumbre volumétrica de medida (IVM),  $U_3$ , corresponde a la diferencia entre la longitud del bloque patrón, orientado en el espacio, y su correspondiente valor medido por la MMC. Con el fin de verificar lo descrito hasta aquí, debe medirse un conjunto de tres bloques patrón en distintas zonas del volumen y/o orientaciones de la MMC. La longitud de estos tres bloques patrón debe corresponder, aproximadamente, a  $1/3$ ,  $2/3$  y  $3/4$  del recorrido útil del eje más largo de la MMC (hasta un máximo de 1.000 mm). Por razones prácticas, el conjunto de bloques patrón se alinean en el centro del volumen de medida de la máquina, aproximadamente con cada una de las diagonales.

Las medidas de longitud se realizan midiendo una vez cada superficie empleando un bloque patrón. Se mide tres veces cada bloque patrón. Uno de los ensayos consiste en las nueve medidas tomadas sobre una serie de tres muestras en una posición y orientación determinadas. Para cada una de las tres muestras medidas, la incertidumbre de medida de la longitud  $U_3$  es el valor absoluto de la mayor distancia

que existe entre el valor de calibración del bloque patrón y el valor medido por la MMC. En cada ensayo se obtienen tres valores  $U_3$ . Éstos dependen de la longitud, y su valor no puede superar la fórmula  $U_3 = a + bL/1.000$ , donde "a" y "b" son constantes indicadas por el fabricante. Este proceso se detalla más a fondo en el ANEXO II: normas relacionadas, donde se compara con otros procesos normalizados de medición de incertidumbre.

#### **2.4.6 Dinámica**

Entendemos por dinámica las características de aceleración y velocidad de posicionamiento de una MMC. Por supuesto, no sólo están relacionadas con la estructura mecánica sino también, de manera fundamental, con el control asociado. Sin embargo, las prestaciones dinámicas se ven observando la estructura mecánica durante su operación. La velocidad y la aceleración son importantes en relación con la Frecuencia de Muestreo que la MMC puede alcanzar: cuanto mayores sean estos valores, mayor será el número de piezas que podrán ser medidas por unidad de tiempo.

#### **2.4.7 Aceleración**

Es el parámetro más importante cuando se considera la productividad de una MMC. Mediante estructuras con un óptima relación masa / rigidez y un control adecuado se han alcanzado aceleraciones de hasta  $3 \text{ m/s}^2$ . También hay que subrayar que la aceleración es el parámetro más importante de cara a la reducción de los tiempos de ciclo de medición.

### **2.5 Atención a la vibración sísmica**

La incertidumbre de cada MMC depende en gran medida de las condiciones ambientales. En consecuencia, los fabricantes de MMC suelen especificar el margen de temperatura, variación de temperatura por hora, variación de temperatura por día y variación de la temperatura por metro dentro de los cuales cada MMC alcanza sus especificaciones. Hay que tener en cuenta estas variables a la hora de seleccionar la MMC apropiada.

Además, hay que tener en cuenta también el nivel de vibración del suelo con el fin de optimizar el rendimiento de la MMC. La mayoría de MMC indican la vibración máxima que pueden soportar para cumplir las especificaciones. También se pueden comprar sistemas de amortiguación de vibración activa y pasiva para instalar la máquina en ambientes severos sin que eso afecte a las expectativas de rendimiento.

Es importante realizar un estudio completo de la vibración sísmica que pueda haber en el sitio donde se instalará la máquina si se cree que la vibración puede ser un problema. Todos los fabricantes de MMC ofrecen programas para rutinas de medición básicas. Algunos también ofrecen programas para piezas con superficies más complejas tales como lo engranajes sin fin, turbinas o compresores de tornillo, por indicar sólo algunos. Hay que asegurarse de que entiende la complejidad de la rutina de medición que necesita para inspeccionar sus piezas y elegir el software que realizará las tareas de medición que necesita.

## **2.6 Rendimiento de la máquina**

Los requisitos del rendimiento también se deben tener en cuenta. Cuantas más piezas pueda inspeccionar una MMC por día, menor será el coste de inspección por pieza. La aceleración y el número de puntos a tomar por minuto son los factores que determinan el rendimiento global. El rendimiento también se puede aumentar con la configuración de fijaciones especiales.

## **2.7 Sistema para la adquisición de puntos: SAP**

En los procesos de control de calidad se manifiesta constantemente la necesidad de sistemas de evaluación más acertada de las características geométricas individuales o de subconjuntos de los productos industriales. Entre la diversidad de medios implicados en encontrar solución al problema mencionado, la MMC (Máquina de Medir por Coordenadas) es el medio más complejo y eficaz.

En 1973 Zeiss creó la máquina UMM500, equipada con un palpador universal, un ordenador y un control numérico (CN). En esta composición se encuentran por primera vez los dos elementos fundamentales que definen una máquina de medición tridimensional moderna: el palpador universal y el ordenador. El palpador universal es un captador de posición que, mediante contacto, permite localizar puntos sobre cualquier tipo de superficie. Si bien en sus inicios la adquisición de puntos se realizaba únicamente por palpado, en la actualidad existen diversas soluciones para conseguir el mismo propósito. Denominaremos en lo que sigue sistema para la adquisición de puntos (SAP) al subconjunto de la máquina que se relaciona con la muestra a medir para localizar puntos sobre las superficies de interés. El punto se considera como elemento geométrico fundamental, sin dimensión, sin propiedades físicas, como un “ladrillo” de todas las demás construcciones que realizará el software para identificar, localizar o relacionar entre sí las características geométricas de la muestra sometida a análisis. La localización correcta de puntos sobre las superficies es un factor importante en la reducción del error sistemático de las MMC.

A lo largo de su breve historia la MMC ha empleado distintos sistemas de adquisición de puntos. Según la forma de relacionarse con la muestra se pueden dividir en dos grupos: SAP por contacto, llamados también palpadores, o SAP sin contacto como se puede ver en la Figura 2.3. La MMC se puede ubicar para acceder a cualquier punto dentro de su campo de trabajo en forma de paralelepípedo. Continuadamente y en cada uno de los ejes de la máquina se leen las coordenadas (X,Y,Z), pero se validan sólo aquellos valores que corresponden a la posición en la cual el SAP está en una relación de incidencia con la superficie de interés. Este estado lo señala el usuario si se trata de palpadores pasivos, o un sensor integrado si es un SAP activo. Si el sistema es activo se puede leer la posición en movimiento, sin pérdida de precisión, mientras que en un sistema pasivo la lectura es necesariamente estática.

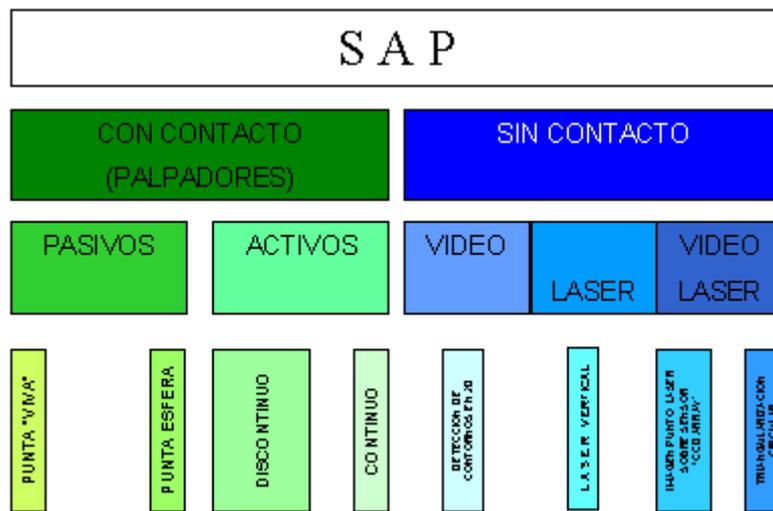


Figura 2.3.- Clasificación general de SAP

### 2.7.1 SAP por contacto

Se propone analizar la situación representada en la Figura 2. En su desplazamiento a lo largo del eje X el palpador se aproxima a la cara plana de una pieza, orientada de forma perpendicular al eje. Como eventos en el tiempo, primero tiene lugar el contacto de la pieza con el palpador y, después, y como resultado de ese contacto, en los SAP activos cambia el estado el sensor acoplado al palpador.

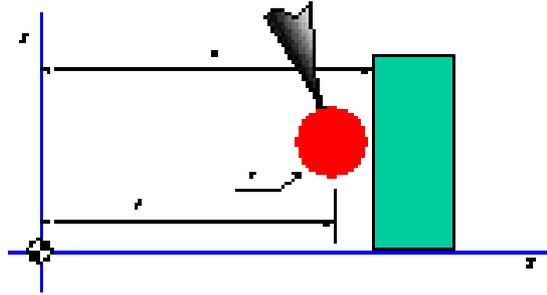


Figura 2.4.- Palpando a lo largo del eje X

Evaluar la abcisa A, como distancia a lo largo del eje X respecto al origen, supone la aplicación de la siguiente fórmula:

$$A = P - V_a \cdot Dt + k \cdot r \quad [2.2]$$

donde:

- P es la posición leída en el regla del eje X
- $V_a$  es la velocidad de aproximación
- Dt es el tiempo entre el momento del contacto del palpador con la pieza y el disparo del sensor.
- k es el coeficiente del sentido de aproximación ( $k=1$  si se desplaza en X+;  $k=-1$  si se desplaza en X-)
- r es el radio de la punta del palpador.

En un palpador pasivo la lectura es estática ( $V_a = 0$ ) y, por este motivo la expresión [2.2] queda como:

$$A = P + k \cdot r \quad [2.3]$$

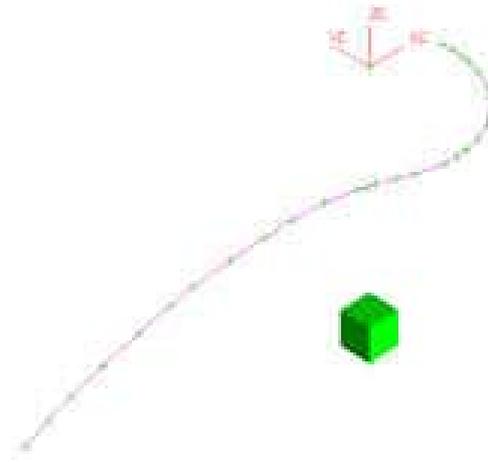
Si además se utiliza un palpador de punta viva ( $r = 0$ ), entonces la expresión anterior queda como:  $A = P$

#### ❖ **SAP pasivo de punta viva**

Este tipo de SAP se utilizó en las primeras MMC, que no eran otra cosa que lectores de coordenadas de un puntero. El único aspecto positivo de este tipo de palpador es su capacidad para localizar puntos reales sobre las superficies exploradas, debido al valor 0 del radio de su punta “viva” (vease Figura 2.5).



a



b

Figura 2.5.- (a) Palpador de punta viva en una aplicación de digitalizado; (b) Curva 3D interpolada por puntos digitalizados con punta “viva”

El uso exclusivamente manual lo hace poco productivo. Hay posibilidad de error derivado de la alteración de la punta o de la superficie explorada. Para la calibración de la punta se requiere un calibre cúbico, con orientación paralela a los ejes de la máquina (vease Figura 2.5 b). El origen del sistema de coordenadas esta basado en puntos palpados sobre el calibre. La orientación de la punta tiene que permitir el acceso a 3 caras adyacentes del calibre cúbico.

#### ❖ **SAP activo de sensor digital**

Su estructura corresponde al esquema siguiente (vease Figura 2.6): una punta esférica de rubí entra en contacto con el objeto a explorar. Esta punta, solidaria a un vástago metálico, se puede acoplar, si es necesario, mediante un alargó o, si no, directamente (enroscada) al sensor binario, capaz de ofrecer un cambio de estado de una señal eléctrica.

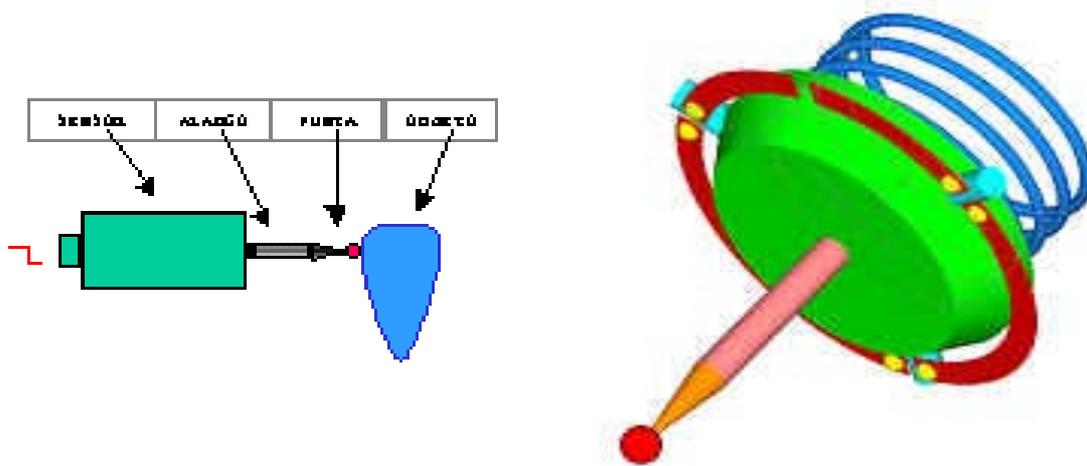


Figura 2.6.- Esquema del principio básico de un sensor de contacto

La fuerza graduable de un muelle obliga a los tres cilindros metálicos, orientados a  $120^\circ$  alrededor del eje del sistema, a que se mantengan tangentes a los tres pares de esferas, formando así un circuito eléctrico serie - paralelo cerrado (Figura 2.7). Cuando la punta entra en contacto con la superficie a explorar se abre uno de los 6 contactos eléctricos y la señal de salida cambia.

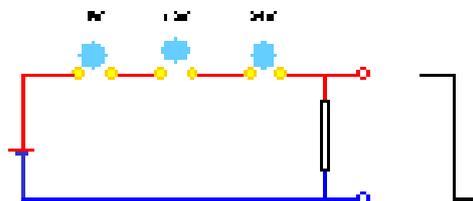


Figura 2.7.- Circuito serie - paralelo cerrado



Figura 2.8.- Palpador activo con sensor digital

Es esta señal la que manda la lectura de los tres reglas de la MMC y también activa los sistemas de freno para detener el movimiento de aproximación. Hablamos en este caso de un palpador dinámico, capaz de realizar adquisición de datos en movimiento. El programa gestiona las tres coordenadas del centro de la esfera en el momento del contacto con el objeto a medir. Este tipo de SAP es eficaz en medición de piezas cuya mayoría de sus características de interés están orientadas a lo largo de un eje, como en la Figura 2.8.

#### ❖ **SAP con puntas en estrella**

Cuando es preciso medir y localizar características con distintas orientaciones en 3D se puede utilizar una punta en estrella. Un sensor único se activa por el contacto con la pieza de cualquiera de las 5 puntas de rubí. Todas ellas tienen que estar habilitadas para medir mediante un proceso previo de calibración y calificación. En esta fase el programa evalúa para cada punta su radio dinámico y, para las puntas secundarias, evalúa las componentes axiales del vector de posición respecto a la punta principal. El valor numérico de estos vectores, con el signo que deriva de sus orientaciones, es utilizado por el programa para compensar la posición leída en los ejes.

Para calibrar y cualificar se utiliza un calibre esférico de incertidumbre certificada, de rango superior al conjunto de la MMC. Durante el proceso de medición el usuario debe indicar al programa con cuál de las cinco puntas va a tocar, y prevenir la colisión de los demás elementos de la punta en estrella.

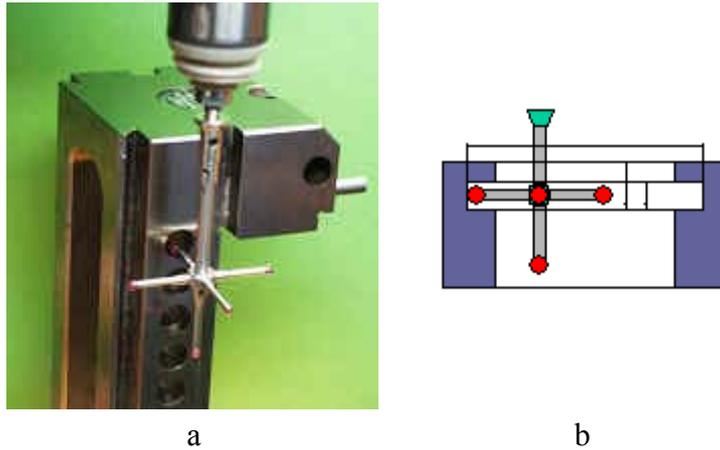


Figura 2.9.- (a) Aplicación con puntas en estrella; (b) Punta en estrella para ranuras

En aplicaciones para medir ranuras - como en la Figura 2.9 - este tipo de punta es insustituible. Se pueden utilizar otras combinaciones de puntas conectadas a un mismo sensor en aplicaciones para medir engranajes.

#### ❖ **SAP multiposición manual**

Si se desea evitar las interferencias con la muestra y realizar exploraciones desde posiciones distintas y a bajo coste se puede disponer de SAP con múltiples orientaciones de la punta (Figura 2.10). Con dos giros en planos perpendiculares y contando con muy buena repetibilidad se puede calibrar y cualificar una multitud de posiciones discretas. En caso necesario, el operario cambia de posición el palpador de manera manual e informa al programa de medición cuál es la nueva posición en uso. Estas tareas ralentizan el trabajo y precisan asistencia continua en ejecución de programas de medición de CN, que requieren el uso de distintas posiciones.

#### ❖ **SAP multiposición motorizado**

Similar al anterior, incluye en su estructura motores para los giros necesarios en el cambio de posición de la punta (Figura 2.11). Sus movimientos se pueden programar para la ejecución en CN. Dispone de protección contra la colisión.



Figura 2.10.- SAP multiposición manual



Figura 2.11.- Facilidades de acceso con SAP multiposición motorizado

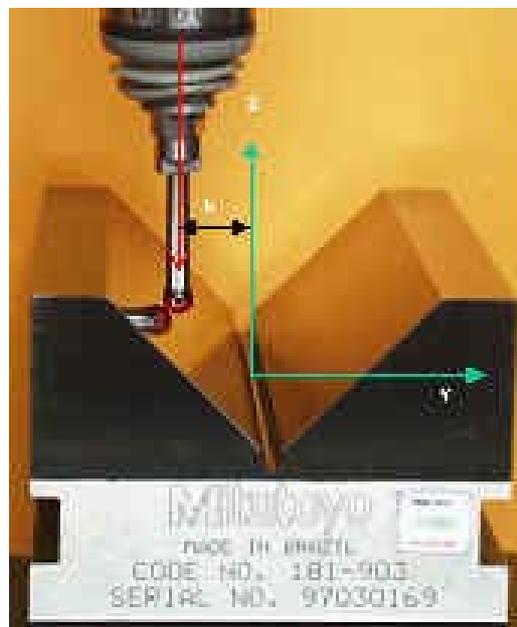


Figura 2.12.- Riesgo en la compensación de R

En su estructura se pueden intercalar, además de alargadores de punta (AP), unos brazos alargadores que facilitan el acceso a zonas incómodas. La calibración y la calificación de puntas se ejecutan con programas de CN. Se pueden escoger posiciones preferentes entre las más de 670 posiciones disponibles. Para la medición compleja de

piezas repetitivas, que supone el uso de varias puntas de medición, se puede optar por un sistema de cambio automático de puntas, que permite la automatización completa del proceso de medición.

◆ Observación:

Al explorar puntos individuales utilizando SAP digitales, con la compensación de radio activada se comete un error geométrico sistemático si la aproximación hacia el punto deseado no se realiza a lo largo de la normal a la superficie en este punto. En la Figura 2.12 se sitúa el SAP en  $Y = -k$ .

Al bajar en manual a lo largo del eje Z es imposible tocar con el punto “polo SUR” de la esfera de rubí, dado que otro punto se interpone en el camino. Al valor resultante de la Z se le tiene que restar un valor corrector f:

$$f = R \cdot \left[ \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2(2 \cdot a)} - 1 \right]$$

donde R es el radio de la punta y a es el ángulo entre la dirección de la exploración y la normal a la superficie en el punto de incidencia teórico. Se constata que el error f disminuye si se utilizan esferas pequeñas, o se anula cuando se explora a lo largo de la normal local a la superficie, cumpliendo  $a = 0$ .

### 2.7.2 SAP de contacto continuo

La característica particular de estos SAP es la posibilidad de realizar la exploración en movimiento continuo con el palpador esférico, tangente a la superficie como se puede observar en la Figura 2.13. Una controladora dedicada, con la ayuda del programa, genera las dos componentes de una fuerza que mantiene el sensor en un plano de exploración con desviaciones limitadas a un umbral preestablecido respecto a la posición neutra. En tiempo real se realiza la lectura de las coordenadas X,Y,Z en los regles de la máquina. A estos valores se aplican las correcciones con valor y signo igual a las pequeñas desviaciones de la esfera de exploración respecto a su posición neutra (con desviaciones nulas).

En el interior de este SAP las pequeñas desviaciones como las marcadas con DX y DZ se convierten en señal analógica mediante un sensor inductivo. Para facilidad de procesamiento, esta señal se convierte en formato digital. El programa realiza las correcciones de posición y genera un fichero nube de puntos situados todos en una superficie offset de la zona de interés, separada a una distancia equivalente al valor del radio de la punta del palpador implicado en el proceso de digitalizado. Estos puntos se pueden utilizar un sistema CAD para construir curvas y, mediante éstas, definir por

zonas unos tramos de superficies para conseguir la versión informática del modelo explorado.

El monitor fotografiado en la Figura 2.14 presenta la información de 6 canales de entrada de datos. A la izquierda de la imagen se observan las coordenadas leídas en los tres regles de la máquina y, al lado a la derecha, las desviaciones recogidas en el SAP de contacto continuo.

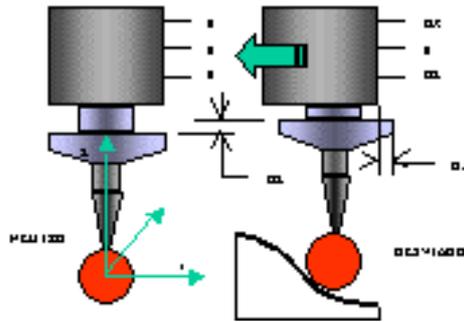


Figura 2.13.- Esquema de SAP de contacto continuo

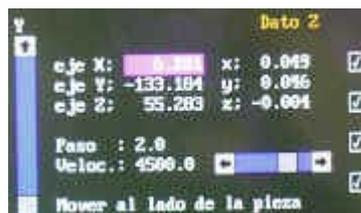


Figura 2.14.- Salida de información del SAP de contacto continuo



Figura 2.15.- Digitalizado con SAP de contacto continuo

La ayuda de los SAP de contacto continuo es muy eficaz en los procesos de reingeniería de productos, que tiene como propósito conseguir rápidamente un modelo informático de superficies complejas, creadas por modelistas o estilistas. Basados en estos modelos se pueden elaborar en poco tiempo los programas de control numérico para el proceso de mecanizado de la figura del molde, destinado a producir grandes series de productos.

### 2.7.3 SAP sin contacto

Los progresos realizados en el desarrollo de los sistemas de visión por ordenador y en el uso de los sistemas de láser industrial permiten explorar superficies 3D sin necesidad de palpar. En estos casos sobre la zona de interés incide el eje óptico del sistema o un haz láser.

#### **2.7.4 Tendencias**

El desarrollo de los SAP proseguirá para dar mejores soluciones a la problemática compleja de la medición y digitalización.

En actualidad no existe un sistema bueno para todas las situaciones, y los diversos sistemas coexisten y se complementan. De los sistemas sin contacto se esperan mejoras en cuanto a la dependencia del brillo y el acabado superficial. Los sistemas por contacto se mantienen líderes en cuanto a la incertidumbre y repetibilidad. De los sistemas con láser se espera la capacidad de orientarse en 5 ejes en posición perpendicular a la superficie incidente.

Para digitalización rápida de modelos se están experimentando sistemas de adquisición de imágenes grabadas en una cámara vídeo con libertad de movimiento y orientación alrededor del modelo. La posición y la orientación de la cámara están relacionadas mediante un radiolocator con un punto fijo que sirve de origen. Patrones de sombra en forma de mallas se proyectan sobre la zona de interés. El programa actúa después de la adquisición, solapando imágenes en base a los patrones proyectados y reconstruyendo las formas 3D en base a las posiciones y las orientaciones, registradas en sincronismo con las imágenes grabadas. De este modo el proceso de adquisición de datos se puede reducir a segundos. Se prevé su aplicabilidad en la inspección de formas en tiempo real en líneas de fabricación, con capacidad de reconocimiento de la desviación de la forma prevista y exclusión de la muestra defectuosa.