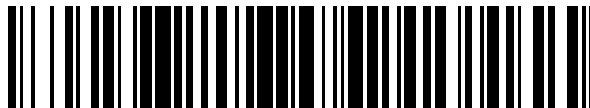


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 677 883**

51 Int. Cl.:

**G01B 5/008** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.12.2013 PCT/US2013/073492**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.06.2014 WO14089395**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2013 E 13861392 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2929287**

54 Título: **Metrología de alta velocidad con máquinas numéricamente controladas**

30 Prioridad:

**08.12.2012 US 201213708972**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**07.08.2018**

73 Titular/es:

**GRALE TECHNOLOGIES (100.0%)  
1019 Ohio Works Dr.  
Youngstown, Ohio 44510, US**

72 Inventor/es:

**GARVEY, MICHAEL;  
OSTERLOH, JAMES D. y  
PERSI, FRED**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

ES 2 677 883 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**Metrología de alta velocidad con máquinas numéricamente controladas****Descripción**

## 5 CAMPO

10 **[0001]** La presente divulgación se refiere a la sincronización, registro y postprocesamiento de lecturas de instrumentos de metrología con la posición y orientación de equipos de producción de precisión tales como: molinos y tornos controlados numéricamente por ordenador (CNC), rectificadoras, máquinas de pulir, robots, equipo de fabricación aditiva (una lista parcial de equipos de producción de precisión). Más en particular, como ejemplo, la descripción describe la sincronización de instrumentos de metrología dimensional sin contacto con equipos de producción de precisión con el fin de caracterizar la forma y las características de una pieza de trabajo mientras que se carga en el espacio de trabajo de equipos de producción de precisión.

## 15 ANTECEDENTES

20 **[0002]** Una máquina controlada numéricamente por ordenador (CNC) es capaz de fabricar una pieza de trabajo o producto a dentro de 2 micrómetros ( $10^{-4}$  pulgadas) de especificaciones de diseño bajo condiciones casi ideales. Algunos equipos de producción de precisión pueden lograr tolerancias dimensionales aún más estrictas. Sin embargo, es difícil producir herramientas mecánicas CNC que sean capaces de mediciones de alta fidelidad de dicha pieza de trabajo con una precisión absoluta del orden de micrómetros ( $10^{-4}$  pulgadas). Además, el mecanizado y la medición se realizan generalmente en operaciones separadas con equipos especializados dedicados a cada operación.

25 **[0003]** Las máquinas modernas CNC suelen utilizar un dibujo o modelo digital desde el que se crea un perfil para el producto e/o instrucciones. Las instrucciones o el perfil se utilizan para controlar el funcionamiento de la máquina CNC. Un programador u operador puede participar para diseñar un proceso de fabricación a partir del dibujo o modelo. Un programa de control numérico se crea manual o automáticamente a través de un dispositivo de programación automatizado. Un operador ingresa o selecciona un programa de control numérico apropiado y establece manualmente un material de inicio para la pieza de trabajo en la máquina CNC. Alternativamente, el material de partida se coloca automáticamente en el mismo.

30 **[0004]** Posteriormente, la máquina CNC crea un producto siguiendo el conjunto de instrucciones. La máquina CNC corta, tritura, taladra y da forma a una pieza de trabajo a partir del material de partida.

35 **[0005]** Antes de comenzar el procesamiento o fabricación, la configuración requiere muchos pasos, incluyendo el establecimiento de un sistema de coordenadas de pieza de trabajo antes del mecanizado y el establecimiento de la condición máxima del material de tal manera que el primer paso de mecanizado para cada característica elimina el material mínimo (y asegura que cada herramienta no choca en la pieza de trabajo). Tal configuración puede ser tediosa y consumir mucho tiempo para piezas geoméricamente complejas grandes, como piezas fundidas y soldaduras.

40 **[0006]** Además, justo después de que el producto o pieza de trabajo es creada, no se sabe si la pieza de trabajo en particular coincide en todos los aspectos con el dibujo o el modelo digital. Convencionalmente, una forma de determinar las dimensiones, forma y tamaño de una pieza de trabajo terminada es utilizar una sonda táctil y tener una máquina de medición de coordenadas (MMC) o una máquina CNC que utilice la sonda táctil para contactar y pausar (detener todos los movimientos de la máquina) en puntos discretos de cada característica de pieza de trabajo de interés.

45 **[0007]** El método de medición de tecnología de sondas de contacto común implica rutinariamente cuatro fases distintas para cada punto discreto. Durante la primera fase, la sonda se maniobra a lo largo de un camino seguro hacia un punto en el espacio que se encuentra a lo largo de un vector normal desde la característica de superficie de interés. La segunda fase implica maniobrar la sonda a lo largo del vector normal hasta que la sonda detecta el contacto (el mecanismo de detección de contacto interno al cuerpo de la sonda puede ser un conjunto de contactos, medidor(es) de tensión u ópticamente). Después de detectar el contacto, el movimiento de la máquina se detiene; esta pausa en una posición única permite la captura precisa de todas las variables espaciales de la máquina y la sonda. A continuación, se aplica un desplazamiento a estas variables espaciales para compensar el diámetro de la punta de la sonda y el vector de aproximación, calculando así un punto discreto en el espacio correspondiente a la característica de interés. Las coordenadas de este punto se almacenan en la memoria. La cuarta fase generalmente implica un retroceso a lo largo del vector normal original a un punto seguro para comenzar la primera fase de la siguiente medición del punto de la sonda.

50 **[0008]** Tal procedimiento está lleno de inconvenientes. Por ejemplo, tomar tales medidas sobre la superficie de la mayoría de las formas y piezas de trabajo lleva mucho tiempo. Además, la aguja del lápiz táctil al final de la sonda táctil limita inherentemente el tamaño mínimo de característica que es capaz de la realimentación táctil, ciertamente comparado con otros medios de medición (por ejemplo, sensores láser, sensores ópticos). Solo un número limitado

de mediciones es posible realísticamente con mediciones táctiles discretas según lo determinado por el presupuesto de tiempo para la inspección y el tiempo promedio entre las operaciones de palpación táctil. Cuando la práctica común de la verificación de piezas se lleva a cabo en un instrumento dedicado, como una MMC, separado del equipo de producción, como un centro de fresado CNC, el sistema de coordenadas de la pieza debe establecerse en cada operación. La variabilidad involucrada con el establecimiento del sistema de coordenadas de la pieza varias veces en máquinas múltiples crea una fuente de error siempre y cuando el mismo componente requiera una revisión en el equipo de producción. Cuando se requiere volver a trabajar, los requisitos de precisión de la configuración posterior en el equipo de producción aumentan significativamente y pueden requerir aún más cuidado y tiempo para lograr el sistema de coordenadas de piezas y la condición máxima del material. La solicitud de patente estadounidense US20100153058 describe una combinación de un dispositivo de metrología, una máquina CNC y un codificador entre ellos. El sensor de metrología entrega datos de pieza de trabajo para un ciclo de movimiento de un brazo operativo de la máquina CNC. Los datos de metrología están sincronizados con las posiciones del brazo operativo. Las solicitudes de patente europea EP 1288754 divulgan un sensor de metrología que entrega datos para un ciclo de movimiento de un brazo de robot (herramienta CNC) y asociar los datos de metrología con los datos de posición de la herramienta CNC.

**[0009]** Algunos científicos e ingenieros han intentado medios táctiles continuos y no táctiles de la realización de mediciones de piezas de trabajo en el equipo de producción. Como se mencionó anteriormente, el estado de la técnica común para la medición en equipos de producción implica reunir puntos discretos, requiriendo cada punto del orden de un segundo, en muchos casos tanto como dos segundos por punto.

**[0010]** La industria ha deseado durante mucho tiempo herramientas de medición casi continuas con tasas de miles de puntos por segundo que no requieren que el equipo de producción se bloquee físicamente en cada punto. Sin embargo, la sincronización de tales medidas con las posiciones y movimientos de los equipos de producción de precisión, como una máquina CNC, ha sido problemática. La mayoría de los instrumentos de metrología procesan su señal de entrada y, por lo tanto, imponen un ligero retraso temporal al informar sus mediciones. El retraso temporal del instrumento de metrología puede ser del orden de 400 microsegundos. Este retraso de tiempo del instrumento no es un problema cuando el instrumento se utiliza para tomar puntos discretos con el método descrito anteriormente. Sin embargo, la demora es un problema al intentar caracterizar una pieza de trabajo con una exploración continua que no se detiene momentáneamente en el espacio para registrar sus lecturas.

**[0011]** La FIG. 1 muestra un esquema bidimensional de una máquina CNC de acuerdo con un uso convencional. Con referencia a la FIG. 1, una fresadora 100 incluye un cabezal 102 desde el cual la fresadora 100 controla un husillo 106 y un brazo de funcionamiento 108. Unido al brazo de funcionamiento 108 hay un cabezal de herramienta 110 y una sonda de contacto 112. El brazo de funcionamiento 108 pone en contacto con una pieza de trabajo 116 el extremo 114 de la sonda de contacto 112. La fresadora 100 conoce la ubicación del extremo 114 de la sonda de contacto y registra un conjunto de valores de posición cuando la sonda de contacto 112 detecta una resistencia mecánica. La pieza de trabajo 116 se sujeta o se fija de otro modo en un lecho móvil 118. Las posiciones de las diversas partes de la fresadora 100 (por ejemplo, el brazo de funcionamiento 108, el lecho 118) se controlan y registran. El lecho 118 descansa sobre un marco rígido 120, y la columna 122 aloja varios componentes mecánicos, eléctricos y basados en computadora. La fresadora 100 puede ser, por ejemplo, una máquina CNC de cinco ejes donde los ejes incluyen: un eje x, un eje y, un eje z a través del cual se puede hacer funcionar el brazo 108 y el cabezal de herramienta 110; y dos ejes de rotación (por ejemplo, eje a, y eje b) a lo largo de los cuales la pieza de trabajo 116 se puede girar o mover. Comúnmente, la sonda de contacto 112 se retira durante las operaciones de corte y se instala directamente en el husillo 106 durante las operaciones de medición sin requerir el brazo de funcionamiento 108.

**[0012]** Tal como se conoce en la técnica, y con referencia a la FIG. 1, las medidas relacionadas con la posición del extremo 114 de la sonda táctil 112 se toman mientras que el equipo de producción está en pausa y la sonda de contacto se acopla con la pieza de trabajo. Para formas complejas, es excesivamente lento obtener un conjunto de mediciones suficientemente preciso a partir de las cuales construir un modelo de la pieza de trabajo 116 particular en la fresadora 100. Si bien esta práctica es adecuada para establecer sistemas de coordenadas de piezas de trabajo, es deficiente en la caracterización del estado del material máximo de soldaduras complejas y fundiciones, o verificación de las características de la pieza de trabajo. Debido a la escasa caracterización de la condición máxima del material, las instrucciones de operación comienzan en el espacio libre y se aproximan a la pieza de trabajo de una manera aparentemente tímida o cautelosa para evitar un choque en la pieza de trabajo 116. Una vez que el proceso de mecanización está completo, la sonda se puede usar para reunir algunos puntos asociados con cada característica clave antes de retirar esta pieza de trabajo 116 y cargar la siguiente. Por lo tanto, los usos convencionales incluyen el control puntual de algunos tamaños de clave o ubicaciones de una pieza de trabajo 116 antes de colocar un nuevo bloque de partida o de inicio en la fresadora 100. Algunos ingenieros y operadores han intentado crear un continuo o casi continuo (cientos o miles de puntos por segundo) sistema de medición basado en la máquina de producción reemplazando la sonda táctil 112 con sensores electrónicos (no mostrados). Sin embargo, siguen existiendo deficiencias sustanciales de mover repetidamente el brazo de operación 108 a una nueva ubicación y tomar una sola medición con el sensor (no mostrado), y hacer una sola grabación de la posición del sensor relacionada con la pieza de trabajo 116 y luego sincronizar estas dos medidas de manera que en el dominio físico estén mecánicamente alineadas con al menos la precisión y repetibilidad de posición declarada del fabricante

del equipo de producción.

## RESUMEN

5 **[0013]** La invención proporciona un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 y un aparato según la reivindicación 10.

10 **[0014]** Las realizaciones y técnicas descritas en este documento incluyen sistemas, aparatos y métodos mejorados para llevar a cabo la configuración y verificación automatizadas del fresado y otros tipos de equipos de producción de precisión tales como máquinas de control numérico por computadora (CNC). En general, las mediciones de un dispositivo de metrología se convierten a un formato legible por máquina CNC (p. ej., codificador de cuadratura incremental, codificador sinusoidal, formatos de codificador absolutos). La herramienta mecánica registra estos valores de forma sincrónica con todos los ejes de la herramienta mecánica. Luego, estos valores se escriben en un archivo, se procesan posteriormente y se comparan con un modelo CAD. Las correcciones pueden realizarse al proporcionar un desplazamiento espacial de los datos de metrología grabados para compensar el retraso temporal inherente del instrumento de metrología o la aplicación de compensaciones de herramienta de máquina entre el dato del equipo de producción y la ubicación del instrumento de metrología durante el escaneo. Los datos se pueden almacenar para cada pieza serializada y se pueden usar para las comparaciones del ciclo de producción y del ciclo de vida.

20 **[0015]** En un ejemplo de implementación particular, las mediciones primas de salidas del dispositivo de medición de distancia, y estas mediciones se convierten rápidamente (imponiendo otro retraso temporal) en uno de varios formatos que son consistentes o compatibles con un formato de datos de una máquina CNC. Las mediciones de distancia basadas en láser y las mediciones de ubicación y orientación de máquinas CNC se registran de forma sincrónica. A medida que el dispositivo de medición láser se desplaza por la superficie de la pieza de trabajo, el resultado es un conjunto de datos de medición sustancialmente completo para una pieza de trabajo. Las mediciones de metrología tienen un vector de desplazamiento espacial directamente proporcional al retardo temporal del instrumento de metrología (más el retardo temporal del convertidor de señal) y la velocidad de escaneo y dirección de la máquina CNC en el momento preciso de la grabación sincronizada. Este retraso espacial se calcula y corrige durante el procesamiento posterior de los datos de metrología recodificados. Se puede construir una representación real de una pieza de trabajo y compararla con un modelo, perfil o diseño para la pieza de trabajo particular. Esta técnica puede extenderse trivialmente a cualquier tipo de sensor de medición de alta velocidad que genere valores escalares.

35 **[0016]** Se requiere post-procesamiento adicional cuando el instrumento de metrología da salida a los datos no escalares tal como los datos dos o tres dimensionales a partir de un instrumento de ultrasonido o los datos de múltiples parámetros de un analizador de aleación XRF. Se utiliza una señal de indexación escalar modulada para sincronizar estos instrumentos de metrología más complejos con los movimientos de los equipos de producción de precisión. La señal escalar separada es creada y grabada simultáneamente por el equipo de producción y un registrador de datos separado. El registrador de datos separado registra los valores escalares modulados y los datos de metrología multidimensionales. Tras el procesamiento posterior, se considera el retraso temporal como se discutió anteriormente para los instrumentos escalares unidimensionales. A continuación, la base de datos de datos de metrología indexados y multidimensionales se ensambla con los datos espaciales desplazados de la máquina de producción utilizando los valores de índice registrados para ubicar con precisión cada lectura de metrología multidimensional.

50 **[0017]** Cabe destacar que en la realización preferida de la invención-los datos espaciales de la máquina de producción se desplazan (se interpolan) en lugar de los datos de metrología. Dado que la máquina de producción tiene inercia, solo puede moverse de un punto a otro de una manera incrementalmente suave. Este movimiento suave y, por lo tanto, los datos espaciales suaves (sin discontinuidades) proporcionan la base para la interpolación del sonido entre los puntos. Si, por otro lado, los datos de metrología se interpolan para ajustarse exactamente a los datos espaciales de la máquina de producción, se necesitaría interpolar entre un conjunto de puntos de datos que pueden tener discontinuidades agudas y por lo tanto no satisfacen las suposiciones básicas requeridas para la interpolación. Tales discontinuidades en los datos dimensionales ocurren en los bordes de las características, tales como bolsillos, orificios, esquinas de la pieza de trabajo, etc. Las discontinuidades en los datos de sonido se asocian con inclusiones, espacios vacíos e interfaces de funciones en la cara opuesta de la pieza de trabajo. Las discontinuidades en los datos de corriente parásita ocurren en las grietas de la superficie y otros cambios superficiales y cercanos a la superficie en la impedancia eléctrica local. Discontinuidades en los datos XRF pueden ocurrir en los límites de la soldadura, áreas de agotamiento/aumento de la aleación asociadas con el tratamiento térmico, la soldadura o la corrosión en el servicio, como el ataque intergranular.

65 **[0018]** Un resultado consiste en activar o acelerar la configuración automatizada, que puede incluir el establecimiento de un sistema de coordenadas de pieza de trabajo y su condición de material máximo detallada antes de inicializar la operación de producción. Otro resultado es una verificación de alta precisión de una pieza de trabajo después o entre los pasos de producción. Las mediciones se proporcionan a la máquina antes de romper la configuración. Dichas mediciones permiten el control de bucle cerrado del equipo de producción de precisión sin

romper la configuración y restablecer el sistema de coordenadas de la pieza. Dicha verificación in situ permite un control de calidad dimensional serializado sustancialmente completo de cada pieza de trabajo. Las tolerancias de producción están garantizadas y mejoradas continuamente. Las piezas de trabajo se producen y verifican para que coincidan con las dimensiones del conjunto de diseño dentro de tolerancias estrechas. La combinación múltiple de componentes se puede realizar en base a datos de control de calidad serializados que producen conjuntos con tolerancias de apilamiento más ajustadas. La deriva de la máquina puede caracterizarse y corregirse durante los ciclos de producción diaria, semanal y mensual.

Otro resultado más consiste en permitir la caracterización tridimensional de la superficie, la superficie inferior y el cuerpo entero de una pieza de trabajo que utiliza el equipo de producción para articular los instrumentos asociados sobre la superficie de la pieza de trabajo. El conjunto derivado de datos de metrología orientados espacialmente se puede usar para calificar una pieza de trabajo para trabajo de producción posterior, o, en última instancia, para calificar o rechazarla para el servicio de campo. Cuando una pieza serializada regresa del servicio de campo y se considera su reparación y reutilización, el conjunto de datos de metrología serializados original se puede comparar con un conjunto de datos post-servicio derivados para medir de forma precisa el desgaste, la corrosión y la distorsión de una pieza de trabajo, cambio en la composición de la aleación, crecimiento de fallas superficiales y subsuperficiales como grietas, vacíos e inclusiones.

**[0019]** Durante el funcionamiento de una máquina CNC, los ajustes automatizados se pueden hacer, y el control dimensional de bucle cerrado está habilitado. Consecuentemente, se proporciona retroalimentación a la máquina CNC en función de la forma de la pieza de trabajo mecanizada real sin romper la configuración y requiriendo el restablecimiento del sistema de coordenadas de pieza. Las técnicas anteriores se han limitado a proporcionar retroalimentación basada únicamente en un pequeño número de mediciones relacionadas con la ubicación y los desplazamientos de la herramienta mecánica.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0020]** Si bien las reivindicaciones adjuntas establecieron las distintas prestaciones de la presente invención con particularidad, la invención, junto con sus objetos y ventajas, se apreciarán más fácilmente a partir de la siguiente descripción detallada, tomada en conjunción con los dibujos adjuntos. De principio a fin, los números semejantes se refieren a partes similares con el primer dígito de cada numeral que generalmente se refiere a la figura que primero ilustra la parte en particular.

FIG. 1 muestra un esquema bidimensional de una máquina CNC de acuerdo con un uso convencional.

FIG. 2 muestra un esquema bidimensional de una máquina CNC de acuerdo con una implementación de la invención.

FIG. 3 muestra un diagrama de flujo de una visión general de las mediciones de distancia de coordinación con una máquina CNC de acuerdo con una implementación de la invención.

FIG. 4 muestra una tabla que ilustra un esquema de cálculo a modo de ejemplo y un conjunto ejemplar de valores de un sensor de distancia de acuerdo con una implementación de la invención.

FIG. 5 muestra una tabla de un resultado de un ejemplo de cálculo y registro de valores de una máquina y valores convertidos de acuerdo con una implementación de la invención que utiliza un algoritmo opcional de paso bajo.

FIG. 6 ilustra pasos para implementar una realización de la invención.

FIG. 7 muestra una representación de un canal con rebaba formado en un material (pieza de trabajo) por una máquina de fresado.

FIG. 8 muestra un conjunto ejemplar de posiciones a partir de las cuales se toman medidas del material (pieza de trabajo) mostrado en la FIG. 7 de acuerdo con una implementación de la invención.

FIG. 9 muestra una vista en primer plano de una parte del canal con rebabas mostrado en la FIG. 7 y FIG. 8.

FIG. 10 muestra un gráfico de un conjunto de mediciones con respecto a una sección transversal del canal rebajado mostrado en las FIGS. 7-9 de acuerdo con una implementación de la invención.

FIG. 11 muestra un gráfico de dos conjuntos de medidas de una porción del canal con rebabas mostrado en la FIG. 7.

FIG. 12 muestra un dispositivo de hardware ejemplar que se puede usar para implementar uno o más de los componentes o dispositivos descritos en este documento.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA

**[0021]** Información general. Los equipos de producción de precisión y las máquinas de medición se han utilizado durante muchos años para fabricar piezas de trabajo bidimensionales y tridimensionales a partir de piezas en bruto o bloques de una materia prima. El material se elimina poco a poco hasta que queda la pieza de trabajo final. Las fresadoras vienen en una variedad de tamaños. Las máquinas de fresado pueden mover un husillo, brazo o herramienta con relación a la pieza de trabajo, o pueden mover la pieza de trabajo con relación al eje, brazo o herramienta. A menudo, la herramienta de fresado es una fresa de corte giratorio, que corta los lados y la punta de la herramienta. Mientras que algunas fresadoras son operadas manualmente, la mayoría de las fresadoras modernizadas están controladas por computadora. Tal control a menudo se conoce como controlado numéricamente por computadora (CNC). Si bien aquí se puede hacer referencia a una máquina CNC, dicha máquina referenciada

no se limita a las máquinas fresadoras, sino que se refiere en general a todos los equipos de producción de precisión.

5 **[0022]** Una pieza de trabajo a menudo se crea a partir de un modelo o diseño digital. Un operador, programador o programa de computadora automatizado convierte el diseño digital en una serie de comandos para controlar la fresadora. La máquina CNC controla con precisión el movimiento de la pieza de trabajo y la herramienta. A menudo, las máquinas CNC de precisión miden su posición dentro de 0,00001 pulgadas (0,25 µm) mientras que se monitorea la trayectoria real de la herramienta en comparación con la trayectoria programada.

10 **[0023]** Una vez que la pieza de trabajo se ha completado, es útil medir la pieza de trabajo para ver cómo la pieza de trabajo real coincide con el diseño asistido por ordenador digital o la pieza de trabajo.

15 **[0024]** Anteriormente, las mediciones de control de calidad y de retroalimentación se tomaron una tras otra por una sonda de medición como se describe en relación con la FIG. 1, o incluso más comúnmente se eliminaron del equipo de producción sin ninguna inspección antes de la configuración de corte. Antes de lanzar una pieza de trabajo terminada 116, la fresadora 100 puede cambiar herramientas seleccionando una sonda de contacto 112. La sonda de contacto se usaría entonces para tocar una ubicación discreta en la pieza de trabajo 116. El contacto podría repetirse como se desee antes de cambiar herramientas. Se podría hacer una comparación entre una medición real de la pieza de trabajo 116 y una predicción correspondiente del diseño de la pieza de trabajo. Si la medición (por ejemplo, distancia) está desactivada en una cantidad excesiva, entonces se podría hacer un ajuste. La pieza de trabajo podría fresarse más o podría rechazarse si las medidas de la pieza no están dentro de las tolerancias. Mientras que algunos maquinistas han intentado reemplazar la sonda táctil 112 con un dispositivo de medición de alta velocidad, el uso de la misma técnica anterior (hacer mediciones de uno en uno) no es adecuado porque la mayoría de las operaciones de fabricación no pueden tomar más que unas pocas mediciones antes de que otra pieza de trabajo 116 debe ser iniciada y creada de modo que pueda fabricarse un número suficiente de piezas de trabajo dentro de una cantidad de tiempo dada.

20 **[0025]** Detector. La presente invención emplea una técnica diferente para capturar medidas de una pieza de trabajo 116. La FIG. 2 muestra un esquema bidimensional de una máquina CNC 200 de acuerdo con una implementación de la invención. Con referencia a la FIG. 2, una máquina CNC 200 incluye un cabezal 102 desde el cual la máquina CNC 200 controla un husillo 106 y/o un brazo de operación 108. La referencia en esta descripción se hace a un brazo de operación 108, pero puede aplicarse igualmente al husillo 106 o una herramienta o dispositivo de medición unido al husillo 106. Unido al brazo de operación 108 hay un dispositivo electrónico de medición 202. El dispositivo de medición electrónica 202 emite una señal 204 (por ejemplo, láser, señal de ultrasonido) y mide una señal de retorno 206. La posición del dispositivo 202 de medición electrónica se ajusta y coordina con una posición y/u orientación conocidas del brazo 108 de operación. En consecuencia, la máquina 200 de CNC puede rastrear la ubicación o posición del brazo 108 de operación y por lo tanto, la ubicación o posición del dispositivo de medición electrónica 202 como el brazo de funcionamiento 108 se mueve alrededor de la pieza de trabajo 116. En una implementación, la máquina de CNC 200 registra mediante un componente de computadora 212 valores asociados con el brazo operativo 108. Sin embargo, la máquina CNC 200 no sincroniza ni espera directamente una única medición desde el dispositivo de medición electrónica 202 en cada uno de un conjunto de ubicaciones discretas alrededor de la pieza de trabajo 116. En cambio, el dispositivo de medición electrónica 202 registra, envía o registra y envía mediciones a un convertidor o codificador 208 cuando el brazo de funcionamiento 108 se mueve alrededor de la pieza de trabajo 116. El dispositivo electrónico 202 puede estar conectado por un cable 222 al codificador 208, o puede comunicarse inalámbricamente con el codificador 208. Alternativamente, el codificador 208 puede incorporarse en el dispositivo de medición electrónica 202, el componente de ordenador 212, o una combinación del codificador 208 y el componente de ordenador 212. Mientras que la máquina de CNC 200 opera, el codificador 208 envía datos (por ejemplo, valores, números, distancias, posiciones, medidas, señal de índice modulada) derivados del dispositivo de medición electrónica 202 a través de un cable 210 o transmisión inalámbrica al mismo u otro componente de ordenador 212 de la máquina CNC 200.

30 **[0026]** El codificador 208 acepta mediciones desde el dispositivo de medición electrónica 202 de uno en uno. En realizaciones alternativas, el codificador 208 acepta medidas en lotes desde el dispositivo de medición electrónica 202. Las mediciones pueden ser en bruto o convertidas por el dispositivo de medición electrónica 202. Con referencia a la FIG. 2, el sensor o dispositivo 202 de medición electrónica genera valores, preferiblemente a una velocidad sustancial (por ejemplo, del orden de cientos, miles o más veces por segundo). Estas lecturas de sensor pueden tener cualquier formato, pero generalmente están en un formato binario, dependiendo del dispositivo de medición particular. Como se explica con más detalle en este documento, el codificador 208 recibe o detecta las lecturas o mediciones del sensor. En una implementación preferida, el codificador 208 convierte los valores de medición en valores incrementales seguidos de una ráfaga de valores de cuadratura incremental u otro formato que sea consistente o compatible con el formato de datos del equipo de producción de precisión que se está utilizando (tal como una máquina CNC) y consistentes con valores posicionales del brazo de operación 108 o husillo 106 de cualquier máquina CNC 200 particular.

65 **[0027]** El codificador 208 convierte los valores de medición uno tras otro. La máquina CNC 200 está programada para registrar las coordenadas del brazo operativo 108 junto con el valor síncrono del registro de datos utilizado para

integrar las ráfagas de valores incrementales del codificador desde el codificador 208.

**[0028]** En resumen, en la aplicación de ejemplo mostrada en la FIG. 2, un dispositivo de medición de alta velocidad genera una señal que se procesa en un formato que es legible nativamente por un componente de ordenador 212 de la máquina CNC 200. La máquina CNC 200 genera y rastrea coordenadas, y con la ayuda de la electrónica el dispositivo de medición 202 y el codificador 208, pueden registrar una serie sustancial de mediciones de metrología. Con las mediciones de metrología, un programa informático asociado a la máquina CNC 200 puede generar una representación tridimensional de la pieza de trabajo actual 116. La máquina CNC 200 puede ser cualquier equipo de producción de precisión, tal como una máquina CNC, una máquina de fresado, una máquina de medición y similares.

**[0029]** En la descripción, un dispositivo de medición de distancia láser ha sido descrito como un instrumento de metrología ejemplar. Instrumentos de metrología se pueden sincronizar de la misma manera con el fin de mapear las características superficiales, cercanas y superficiales asociadas de la pieza de trabajo a su modelo tridimensional mientras dicha pieza de trabajo se encuentra en el espacio de trabajo del equipo de producción de precisión. Ejemplos de otros instrumentos de metrología incluyen instrumentos dimensionales de contacto (LVDT, etc.), detectores de fallas superficiales como corrientes de Foucault, inspección de cuerpo entero como ultrasonidos y analizadores de aleación como los analizadores de fluorescencia de rayos X (XRF).

**[0030]** Ejemplo. El siguiente es un ejemplo específico de los componentes usados de acuerdo con una implementación funcional de la invención. Con referencia a la FIG. 2, la máquina CNC 200 es una máquina vertical Milltronics (Milltronics CNC Machines, Waconia, Minnesota, EE.UU.), y el modelo particular es un centro de mecanizado VM-20. Un dispositivo de medición electrónica 202 es un sensor de desplazamiento láser CMOS de la serie LK-G5000 (Keyence, Elmwood Park, Nueva Jersey, EE.UU.).

**[0031]** El dispositivo de medición electrónica 202 está conectado al codificador 208 a través de un conector de expansión de 40 patillas a través de un cable de cinta de 40 conductores. Los valores del dispositivo de medición electrónica 202 se leen aproximadamente a 50.000 veces por segundo. Otras velocidades de detección son posibles. La secuencia de valores del dispositivo de medición electrónica 202 se convierte en una secuencia de valores delta (medición de corriente menos medición previa); la secuencia de valores delta se convierte en ráfagas de señales de salida en cuadratura con una frecuencia de pulso de aproximadamente 1,2 MHz. La señal de salida de cuadratura es compatible con o en un formato aceptable para la máquina CNC 200. Se debe tener en cuenta que el cálculo y uso de una secuencia de valores delta es un paso opcional utilizado junto con un equipo de producción de precisión a base de codificador incremental o sinusoidal. El cálculo de una secuencia de valores delta no es necesario para equipos de producción de precisión basados en codificadores absolutos. La frecuencia del pulso de 1,2 MHz se determinó empíricamente y se adaptó a una velocidad que era compatible con la velocidad que la máquina CNC (controlador CNC) puede leer, detectar o aceptar sin perder o perder pulsos/incrementos.

**[0032]** Un codificador 208 es una serie TS-7800 de placa única de microcontrolador basado en ARM que incluye una matriz de puerta programable de campo personalizable (FPGA) (Technologic Systems Inc., Fountain Hills, Arizona, EE.UU.). El codificador 208 monitoriza una señal estroboscópica desde el dispositivo 202 de medición de distancia para determinar cuándo son válidos los valores en el pasador 20 (designado como el bit menos significativo) a través del pasador 40 (el bit más significativo) del cable plano de 40 conductores. El número binario representado en los pasadores 20-40 se captura solo cuando la señal estroboscópica es alta (válida). Cuando la señal estroboscópica es baja, no se captura ningún valor. Esta verificación de validez preliminar elimina la posibilidad de que se procesen y graben datos falsos mientras que los voltajes en el cable plano de 40 conductores están en transición.

**[0033]** Se aplicó un algoritmo de filtro de paso bajo opcional a los datos del dispositivo de medición electrónica 202. Un beneficio del filtro de paso bajo consiste en limitar un delta de la señal a un número igual o menor que el de impulsos incrementales que pueden comunicarse entre el codificador 208 y la máquina CNC antes de que se cree la siguiente señal estroboscópica del dispositivo electrónico de medición. Para este ejemplo, el filtro de paso bajo limita la magnitud del delta (medición de corriente menos la medición previa) a aproximadamente  $\pm 20$  micras (20 incrementos de codificador en esta implementación de ejemplo) para cada ciclo de salida del dispositivo de medición electrónica 202. En implementación alternativa, otro beneficio del filtro de paso bajo consiste en evitar los efectos no deseados del ruido de la señal. Sin el filtro de paso bajo, un único evento de ruido puede afectar el valor del acumulador de metrología en la máquina CNC durante varios ciclos. Si el evento de ruido provoca un cálculo delta de una magnitud mayor que la que se puede comunicar entre el codificador 208 y el CNC en un ciclo de datos (50.000 Hz de velocidad de datos tiene un ciclo de datos de 20 microsegundos) y la siguiente lectura de datos puede perderse mientras que termina el explosión de pulsos incrementales. Además, tardará el mismo tiempo (medido a aproximadamente 833 nanosegundos por pulso) para restaurar el registro de metrología interno del CNC al valor nominal.

**[0034]** El codificador 208 (convertidor de señal) compara cada valor de desplazamiento absoluto con el último valor absoluto al restar un valor anterior de un nuevo valor, creando de ese modo un valor delta. Este valor delta se envía como una ráfaga de incrementos en un bus de cuatro bits de ancho, como en un cable blindado multi-hilo siguiendo un estándar industrial para codificadores incrementales de cuadratura. Este estándar de la industria tiene en cuenta

tanto la magnitud como la dirección (ya sea un delta positivo o negativo). Por lo tanto, el convertidor de señal se traduce en valores de medición absolutos sustancialmente en tiempo real a valores incrementales de cuadratura. La máquina CNC 200 recibe la señal de cuadratura incremental desde el codificador 208, y la máquina CNC 200 incrementa un registro acumulador asociado en su memoria. En un intervalo temporal controlado con precisión, la máquina CNC registra sincrónicamente el registro del acumulador de señal de metrología asociado con los valores asociados con los ejes de la herramienta mecánica (por ejemplo, eje x, eje y y eje z).

**[0035]** En el componente de la computadora 212 (del centro de mecanizado Milltronics VM-20), ejes de la herramienta mecánica y el valor de desplazamiento láser se registran de forma sincrónica a aproximadamente 2.048 veces por segundo. El número binario emitido del dispositivo de medición electrónica es un valor de desplazamiento absoluto de la medición. Debido a que el sensor está conectado a la máquina CNC (de coordenadas) 200, las coordenadas (es decir, ubicación muy precisa) del sensor están disponibles para la máquina CNC 200. Muchas máquinas CNC funcionan con 5 o más ejes, y de acuerdo con la invención, los valores codificados son recibidos y registrados por el CNC como si se tratara de otro eje de máquina.

**[0036]** Muchas máquinas CNC comprueban o rastrean la posición, velocidad y aceleración a intervalos temporales fijos a lo largo de la ejecución de su trayectoria de herramienta programada. La fresadora CNC de Milltronics comprueba su posición, vector de velocidad, vector de aceleración, señales de comando del amplificador del motor de accionamiento de eje 2.048 veces por segundo. Llamaremos a este ciclo el circuito de control cinético. Estos valores se comparan con la ruta de la herramienta deseada y se aplican las correcciones apropiadas. Durante un movimiento de máquina a lo largo de una trayectoria de herramienta, este bucle de control cinético es la función principal del controlador de la máquina de producción de precisión, que utiliza con frecuencia una cantidad sustancial de su potencia de cálculo. Si la metodología de registro de metrología empleó un sistema de interrupciones para adquirir las ubicaciones de la máquina, la función primaria de la máquina de producción de precisión durante un movimiento de la máquina a lo largo de la trayectoria de la herramienta puede alterarse, tal vez hasta el punto de comprometer la trayectoria de la herramienta. La invención no utiliza un sistema de interrupciones u otras formas secundarias para adquirir ubicaciones de máquina, sino que utiliza el circuito de control de la máquina de control de la máquina.

**[0037]** Durante las pruebas de fábrica de nuevos centros de mecanizado el bucle de control cinético se aumenta con una rutina de registro de control cinético. La rutina de registro de control cinético proporciona a los técnicos de fábrica datos detallados que muestran la respuesta física de la máquina a varios cambios en la ruta de la herramienta. El personal de la fábrica utiliza estos datos como base para ajustar las ganancias del amplificador del motor del eje de transmisión para obtener un rendimiento óptimo de la máquina. Durante el ajuste de fábrica del Milltronics VM-20, todos los valores mencionados de posición, velocidad, aceleración y retroalimentación se registran a una velocidad de 2.048 veces por segundo. El registro de datos de control cinético es como un elemento del bucle de control cinético, no como un bucle de programa secundario o rutina de interrupción. Esta información se almacena temporalmente en la placa de procesamiento principal hasta que se completa el movimiento de prueba. El almacenamiento a bordo se utiliza para minimizar el tiempo requerido para que el controlador realice la función de almacenamiento de manera que la máquina no se mueva a lo largo de la trayectoria de la herramienta.

**[0038]** La rutina de registro de datos de control cinético se utilizó y se optimizó para esta invención. Si todas las señales de velocidad, aceleración y control se registran junto con un canal de datos de metrología, la rutina de registro VM-20 está limitada a aproximadamente 35.000 puntos (aproximadamente 17 segundos de tiempo de exploración a 2.048 muestras por segundo). Para hacer espacio adicional para más datos de metrología, la rutina estándar de registro de control cinético se modificó para no registrar la velocidad del eje, la aceleración o las señales de control amplificadas. Al limitar los datos registrados a solo las posiciones del eje y los datos de metrología, un volumen de almacenamiento de aproximadamente 250.000 puntos (aproximadamente dos minutos de tiempo de exploración a 2.048 muestras por segundo) se habilitó en el Milltronics VM-20. Esto se puede aumentar aún más al expandir la memoria incorporada o al utilizar un controlador que puede comunicarse con un dispositivo de memoria externo en tiempo real durante un movimiento programado. El tiempo de registro se puede aumentar aún más registrando cada segundo, tercer, cuarto, etc. ciclo a través del ciclo de control cinético de la máquina (múltiplos enteros del ciclo de ciclo de control cinético de la máquina).

**[0039]** En una implementación, debido a las limitaciones del (de los) componente(s) de ordenador, se encontró que el registro estaba limitado a aproximadamente 250.000 puntos por un archivo de ordenador. Sin embargo, la técnica es mucho más general. Uno puede considerar un lote de valores como los que se encuentran en un solo archivo como una "nube de puntos". Tal nube de puntos puede escribirse en una computadora externa (no mostrada en la FIG. 2) mediante transferencia de archivos, un algoritmo de conector u otra programación. Una vez que se registran los valores, se realizan uno o más pasos de post-procesamiento. En uno de esos ejemplos, se realiza un cambio de tiempo o una corrección de medición para ajustar y acomodar un retraso en la medición del instrumento de metrología. En otro ejemplo, los desfases de herramientas o las correcciones posicionales se realizan para compensar las desviaciones medidas de las características en comparación con un modelo CAD. Dichos correctores de herramienta o correcciones positivas pueden realizarse de forma manual o programática. Cuando todas las mediciones se corrijan de nuevo a las coordenadas de la máquina, se puede realizar un estudio de precisión del equipo de producción de precisión versus la ubicación de la pieza de trabajo dentro del volumen de trabajo.



**[0040]** Una vez que se recogen, se centran y se almacenan los datos de la máquina CNC 200 y el dispositivo de medición electrónica 202, puede ocurrir un procesamiento adicional posterior. Por ejemplo, una nube de puntos posprocesados se puede comparar con un modelo CAD en un programa de software gráfico. Por ejemplo, se compara una comparación de datos utilizando el software PolyWorks® (InnovMetric Software Inc., Québec, Canadá) o el software CAPP NC (Applied Automation Technologies Inc., Rochester Hills, Michigan, EE.UU.). Se puede comparar cualquier pieza de trabajo 116. Por ejemplo, cada una de una serie de piezas de trabajo puede compararse con otras y compararse con un modelo CAD (y un conjunto de instrucciones CNC) de la pieza de trabajo. Tal comparación permite una comparación dimensional del ciclo de vida que puede detectar desgaste de herramientas, distorsiones y similares.

**[0041]** Metodología. FIG. 3 muestra un diagrama de flujo 300 de una descripción general de la coordinación de las mediciones de distancia con una máquina CNC de acuerdo con una implementación de la invención. Con referencia a la FIG. 3, el método incluye generar medidas con un dispositivo o sensor de medición de distancia 302. Tal generación implica la conversión de una forma de energía en otra, y puede implicar la conversión de una señal electrónica analógica en una señal digital. A continuación, el método incluye detectar lecturas del sensor, o una porción del mismo, mediante un convertidor o codificador 304. A continuación, el codificador convierte o codifica las lecturas de sensor 306. En una implementación, la codificación transforma las lecturas del sensor o parte del mismo en delta o valores incrementales consistentes o compatibles con un formato aceptable para una máquina CNC. A continuación, la máquina CNC detecta o acepta valores codificados 308. A continuación, la máquina CNC registra los valores relacionados con uno o más ejes y los valores codificados apropiados y/o corregidos 310. Además, compensaciones o correcciones a los valores codificados se pueden aplicar 312. Opcionalmente, los valores registrados pueden ser visualizados o comparados contra un modelo para la pieza de trabajo en la máquina CNC 314.

**[0042]** De acuerdo con una implementación preferida, se utiliza un codificador de cuadratura incremental. Un codificador incremental proporciona una salida de impulsos que tiene una magnitud comprendida y una dirección comunicada (positiva o negativa) según lo dictado por una convención de secuencia de impulsos. Para proporcionar información de posición útil, la posición del codificador debe estar referenciada al dispositivo de medición al que está conectada, generalmente usando un pulso de índice. Una característica distintiva de un codificador incremental es que informa un cambio incremental en la posición, no una posición absoluta. La invención no está limitada al uso de codificadores incrementales en cuadratura. El formato de datos creado por el codificador de la invención está dictado por el formato de datos del equipo de producción de precisión que se va a intercalar. El formato de datos creado por el codificador de la invención puede ser una cuadratura incremental, una posición sinusoidal, absoluta o cualquier otro formato utilizado por un controlador de máquina de producción de precisión particular.

**[0043]** Cuadratura. Muchas máquinas CNC utilizan codificadores rotativos y/o lineales en asociación con los ejes del motor de sus partes móviles para rastrear la posición del brazo 108 o del husillo 106 a lo largo de sus diversos ejes de movimiento. Los motores son controlados y reciben instrucciones por parte de una computadora y software asociados. Los motores facilitan codificadores incrementales giratorios o de "cuadratura" al realizar un seguimiento de los valores binarios asociados con dos (o más) señales que están desfasadas entre sí cuando giran los ejes del motor. Un ejemplo de señales es un conjunto de dos ondas cuadradas que están desfasadas entre sí a 90 grados; estas dos señales a menudo están etiquetadas A y B. En máquinas CNC, los "codificadores" proporcionan un recuento de incrementos de desplazamiento lineal o rotación de los motores, y el desplazamiento lineal correspondiente a lo largo de ejes respectivos a lo largo del cual se mueve el brazo 108 o el husillo 106. Usando el recuento o los valores de las señales, es posible determinar en qué dirección se mueve el brazo 108 de funcionamiento. Por ejemplo, dependiendo de la dirección de rotación, se obtiene 00, 01, 11, 10 o 00, 10, 11, 00 que corresponde a "0, 1, 3, 2" o "0, 2, 3, 1." Desde el inicio de las posiciones iniciales absolutas, las lecturas de cuadratura permiten que una máquina CNC (y una computadora) naveguen con precisión en un espacio de trabajo tridimensional mientras que usan corrientes eléctricas para operar motores que giran y provocan el movimiento a lo largo de las pistas.

**[0044]** La invención combina mediciones convertidos desde un dispositivo de metrología con las mediciones de los codificadores de eje de la máquina CNC para mapear rasgos y características de la pieza de trabajo dentro del espacio de obra de los equipos de producción de precisión. La máquina CNC tiene un medio para caracterizar de forma independiente una pieza de trabajo.

**[0045]** La FIG. 4 muestra una tabla 400 que ilustra un cálculo de ejemplo o esquema de codificación seguido por un codificador como se describe en el presente documento. Con referencia a la FIG. 4, una tabla 400 incluye una primera columna 401 que representa una línea de tiempo, una segunda columna 402 que muestra un valor ejemplar de la base 10 correspondiente a las mediciones de un sensor de distancia de acuerdo con una implementación de la invención. Mientras que el primer valor de línea de tiempo es 0,000000 milisegundos es un valor arbitrario, el número de dígitos de la línea de tiempo 401 es ejemplar. La línea de tiempo 401 no se usa en la codificación, pero muestra las relaciones temporales entre los elementos funcionales de la invención. La tabla 400 también incluye una tercera columna 403 de valores binarios de 21 bits que corresponde a los valores mostrados en la segunda columna 402. Para el dispositivo de medición Keyence LK-G5000, la salida es una serie de valores medidos en la forma de un número binario (complemento de dos) de 21 bits. La tabla 400 incluye una cuarta columna 404 de valores delta

(medición de corriente menos medición previa) calculada internamente al codificador de la invención. La tabla 400 incluye una quinta columna 405 de valores de cuadratura codificados destinados a una máquina CNC. El codificador de la invención transforma una secuencia de valores medidos mostrados en la columna 403 en una secuencia de valores delta representados por valores de base diez mostrados en la columna 404 y finalmente en ráfagas de valores de cuadratura codificados mostrados en la columna 405. El equipo de producción de precisión recibe los valores de cuadratura del codificador y actualiza su registro interno como se muestra en la sexta columna 406 de la tabla 400. El equipo de producción de precisión registra sincronizadamente todas sus posiciones de eje simultáneamente junto con el registro de metrología interno.

**[0046]** La codificación de acuerdo con una implementación ejemplar de la invención se describe ahora en referencia a los valores de las cinco filas 410, 412, 414, 416 y 418. La medición desde el instrumento de metrología en un punto en el tiempo, 0,000000 milisegundos, se detecta como +13,497 mm como se muestra en la segunda columna 402. La señal real detectada es binaria correspondiente al valor de 21 bits (0 0000 0011 0100 1011 1001) que se muestra en la tercera columna 403. Suponga (por el bien de esta ilustración) que el estado de cuadratura actual es (0101) como se muestra en la quinta columna 405.

**[0047]** Pasando a la segunda fila 412, una medida del instrumento de metrología en un siguiente punto en el tiempo, 0,020000 milisegundos, se detecta como +13,499 mm como se muestra en la segunda columna 402. La señal real detectada es binaria correspondiente al valor de 21 bits (0 0000 0011 0100 1011 1011) se muestra en la tercera columna 403. El codificador convierte este número en un valor delta relativo al valor anterior: ( $\text{delta} = +13,499 - +13,497 = +0,002$ ). El codificador crea entonces un estallido de dos pulsos de cuadratura en la dirección positiva (el incremento entendido es 0,001): primer pulso como (0110), segundo pulso como (1010), secuencia que se muestra en la cuarta columna 404. El período entre estos dos pulsos están limitados por el sistema que se utiliza y se estableció en 833 nanosegundos para el equipo descrito (velocidad de datos de ráfaga en cuadratura de 1,2 MHz mencionada anteriormente). El estado de cuadratura de (1010) se mantiene constante entre 0,020833 y 0,040000 milisegundos (entre puntos en el tiempo). Al recibir el equipo de producción de precisión cada impulso, la dirección se entiende por convención y el registro interno asignado al instrumento de metrología se actualiza como se muestra en la columna 406.

**[0048]** Pasando a la tercera fila 414, una lectura del instrumento de metrología en un siguiente punto en el tiempo, 0,040000 milisegundos (20 micro-segundos después de la fila 412 de lectura, correspondiente a una velocidad de datos de 50.000 Hz mencionada anteriormente), se detecta como +13,502 mm como se muestra en la segunda columna 402. La señal real detectada es binaria correspondiente al valor de 21 bits (0 0000 0011 0100 1011 1110) se muestra en la tercera columna 403. El codificador calcula el nuevo delta: ( $\text{delta} = +13,502 - +13,499 = +0,003$ ) que se muestra en la columna 404. A continuación, el codificador crea una ráfaga de tres impulsos de cuadratura en la dirección positiva a partir del estado de retención de (1010): primer pulso como (1001), segundo pulso como (0101), tercer pulso como (0110): la secuencia que se muestra en la quinta columna 405. Estos valores se transfieren a (detectado y procesado por) la Máquina CNC 200 en una columna de registro de datos 406, que se incrementa con cada impulso descrito.

**[0049]** Pasando a la cuarta fila 416, una lectura del instrumento de metrología en un siguiente punto en el tiempo, 0,060000 milisegundos, se detecta como +13,515 mm como se muestra en la segunda columna 402. La señal real detectada es binaria correspondiente al valor de 21 bit (0 0000 0011 0100 1100 1011) mostrado en la tercera columna 403. El codificador calcula el nuevo delta: ( $\text{delta} = +13,515 - +13,502 = +0,013$ ) que se muestra en la columna 404. El codificador crea una ráfaga de trece impulsos en cuadratura en la dirección positiva, secuencia mostrada en la quinta columna 405. Estos valores se transfieren (detectan y procesan) a la máquina CNC 200 en una columna de registro de datos 406, que se incrementa por cada pulso descrito. El intervalo de tiempo requerido para comunicar el delta de magnitud 0,013 se puede ver en la columna 401 y es 0,0100000 milisegundos (la mitad del período de medición del instrumento de metrología 0,020000 milisegundos). También se debe mencionar aquí que los impulsos del codificador en cuadratura se crean en puntos en el tiempo ligeramente retrasados de los mostrados como dictados por el tiempo para calcular los valores delta. Por lo tanto, se puede ver que, para este ejemplo, un límite de delta de filtro de paso bajo debería ser del orden de 0,020 si es importante leer y comunicar sustancialmente cada lectura de instrumento de metrología y evitar los efectos perjudiciales de eventos singulares de ruido ya sea inherente a la pieza de trabajo, instrumento de metrología, canal de comunicación u otras fuentes de grandes discontinuidades en los datos recibidos.

**[0050]** Pasando a la quinta fila 418, una lectura desde el dispositivo de metrología en un siguiente punto en el tiempo, 0,080000 milisegundos, se detecta como +13,511 mm como se muestra en la segunda columna 402. La señal real detectada es binaria correspondiente al valor de 21 bits (0 0000 0011 0100 1100 0111) mostrado en la tercera columna 403. El codificador calcula el nuevo delta: ( $\text{delta} = +13,511 - +13,515 = -0,004$ ) que se muestra en la columna 404. El codificador crea una ráfaga de cuatro impulsos de cuadratura en la dirección negativa, secuencia que se muestra en la quinta columna 405. Estos valores se transfieren (detectan y procesan) a la máquina CNC 200 en una columna de Registro de máquina de coordenadas 406-que se incrementa por cada pulso descrito. Este último ejemplo se usa para ilustrar un delta negativo (declinación).

**[0051]** La FIG. 5 muestra una tabla 500 que ilustra un cálculo ejemplar o esquema de filtrado que maximiza la tasa

de respuesta del sistema a una señal de metrología que cambia rápidamente mientras se asegura que cada señal de datos secuencial generada a una velocidad de 50.000 Hz se lee e influye en la señal codificada por salida. Ocasionalmente, se encontrará una alta tasa de señal de metrología de cambio. El límite de paso bajo se impone solo si la tasa de cambio, cuantificada como el valor delta calculado en la columna 503, crea un delta que tarda más tiempo en comunicarse con el codificador incremental que el disponible entre las señales de metrología. (en el ejemplo anterior, la tasa de señal de metrología es de 50.000 Hz, los intervalos de datos son de 0,020 milisegundos). La primera columna 501 representa la línea de tiempo del sistema similar a la columna 401 mostrada en la Fig. 4. La columna 502 muestra valores medidos secuenciales, a veces modificados por el algoritmo de paso bajo. La columna 503 muestra el delta calculado similar a la columna 404 en la FIG. 4. La columna 504 muestra el delta limitado de paso bajo cuando el límite se establece en 20. La columna 505 muestra la lectura de corriente impuesta en paso bajo cuando el límite de paso bajo es establecido en 20. La columna 506 muestra el valor del registro de máquina de coordenadas asignado para rastrear el valor de medición de la metrología. La fila 510 muestra un estado de partida hipotético. La fila 512 muestra un estado hipotético posterior con un valor medido de 33 incrementos mayor que el valor anterior. En la fila 510 se muestra la progresión de la máquina de estados primero calculando el delta real en 33, luego limitando el delta al punto de ajuste de paso bajo (20), y luego imponiendo una lectura de corriente de paso bajo solo 20 veces mayor que la lectura anterior, y finalmente incrementando la salida por un incremento como se muestra en la columna 506. Las 19 filas subsiguientes muestran la progresión de la línea de tiempo y el Valor de Metrología del Registro de la Máquina de Coordenadas, ya que se incrementa 19 veces más. Cabe señalar que el registro interno asignado para rastrear la lectura anterior se ha establecido en 20 veces más que la lectura anterior. La fila 514 muestra una lectura de metrología posterior ligeramente menor que la lectura verdadera anterior, pero mayor que la lectura previa impuesta de paso bajo. La lectura anterior de paso bajo se usa para calcular el delta de 8, la lectura de corriente impuesta paso bajo no cambia desde el valor medido actual, y la salida se incrementa una vez. Las 7 filas siguientes muestran el progreso de la línea de tiempo y el Valor de Metrología del Registro de la Máquina de Coordenadas, ya que se incrementa 7 veces más.

**[0052]** Obsérvese que la implementación de un algoritmo de filtro de paso bajo es un método de manejar rápidamente valores de señal cambiantes. Otros enfoques son posibles.

**[0053]** La FIG. 6 ilustra los pasos para implementar una realización de la invención para caracterizar (por ejemplo, forma, superficie, superficie cercana, características de superficie inferior) usando la invención para comunicar y sincronizar datos de metrología genéricos con equipos de control de calidad de precisión tales como máquinas de medición coordinadas (MMC) Con referencia a la FIG. 6, un primer paso puede incluir establecer una comunicación electrónica entre un instrumento de metrología y el convertidor de señal 602. Otra etapa incluye establecer la comunicación entre el convertidor de señal y una MMC 604. Otra etapa incluye colocar una pieza en bruto o no trabajada en la MMC 606. Posteriormente, se inicia la coordinación entre la MMC y el sensor de metrología 608. Los valores o mediciones son generadas por la MMC y el sensor de metrología 610. Las mediciones se registran o persisten desde el sensor de metrología y la MMC 612. Las mediciones están sincronizadas entre sí 614. Como ejemplo, las mediciones se sincronizan en el tiempo una con relación a la otra. En un paso opcional, se puede generar un modelo o representación gráfica o trama a partir de los valores o medidas 616. Los valores incluyen una serie de valores de metrología generados a partir del instrumento de metrología y una serie de valores de posición de la máquina de coordenadas. Opcionalmente, la representación gráfica o los valores se pueden comparar con un modelo de dibujo asistido por computadora (CAD) u otro modelo a partir del cual se generó la pieza de trabajo como máquina de coordenadas 618. Son posibles variaciones en esta serie de pasos.

**[0054]** Ejemplo. FIG. 7 muestra una representación de un canal real 704 formado en un material 702 (pieza de trabajo) por una máquina de fresado (tal como la mostrada en la FIG. 2). Una rebaba o borde rebajado 706 se forma a lo largo del borde del canal 704.

**[0055]** La FIG. 8 muestra un conjunto ejemplar de posiciones a partir de las cuales se toman medidas del material (pieza de trabajo) mostrado en la FIG. 7 de acuerdo con una implementación de la invención. Con referencia a la FIG. 8, cada una de las posiciones 802 corresponde a una posición a lo largo de un eje x, un eje y y un eje z de una máquina CNC (no mostrada). El conjunto de posiciones 802 (y las correspondientes mediciones de distancia) siguen una trayectoria tomada por un brazo de operación y una máquina de medición de distancia por láser (no mostrada) cuando la máquina de medición de distancia pasa sobre la pieza de trabajo. Solo para ilustración, el camino mostrado en la FIG. 8 se muestra como una ruta de patrón de búsqueda como se indica mediante las flechas de dirección. Sin embargo, cualquier estilo o tipo de camino puede ser tomado por el brazo de operación y la máquina de medición de distancia. Además, aunque se muestra un cierto número de medidas 802, puede variar una cantidad real de mediciones 802. Las medidas 802 se muestran tomadas a intervalos espaciales algo regulares, sin embargo, tal no es una limitación de la invención. De hecho, es muy probable que las mediciones 802 se tomen a intervalos de tiempo muy regulares y debido a las aceleraciones distintas de cero del equipo de producción, los intervalos espaciales variarán en relación con la cinética de la máquina. La frecuencia de las mediciones puede variar de acuerdo con uno o más parámetros, incluida la cantidad de variación en la distancia detectada desde la medición hasta la medición, o de un área a otra (p. ej., superficie plana 702 frente al canal 704), etc. se muestran las medidas 802, se pueden tomar múltiples pasadas sobre la misma ruta para construir un conjunto de valores de medición de distancia para los mismos valores de coordenadas como los tomados para el eje x, el eje y y el eje z observados por

la máquina CNC. El resultado de capturar el conjunto de medidas de distancia y coordenadas es una "nube" de valores de distancia o, cuando se coordina con la ubicación y la información de posición de la máquina CNC, una "nube de puntos" que cubre áreas sustanciales de una pieza de trabajo.

5 **[0056]** En contraste con la densidad de valores de medición 802 capturado de acuerdo con la invención, los valores se muestra un segundo conjunto de medición 804. Los segundos valores de medición 804 representan aquellos valores capturados de acuerdo con la técnica previamente conocida en la que un brazo de trabajo se detendría en una ubicación, la máquina CNC activaría y capturaría una lectura de medición 804 (coordinada a posiciones conocidas a lo largo de los ejes x, y y z) y luego se mueven a otra ubicación y repiten el procedimiento. En el tiempo  
10 que se tardaría en capturar una o algunas mediciones individuales de acuerdo con las técnicas disponibles previamente, se pueden capturar miles y decenas de miles de mediciones de acuerdo con la invención.

**[0057]** La FIG. 9 muestra una vista esquemática de primer plano de una parte del canal con rebabas 704 y la pieza de trabajo 900 mostrada en la FIG. 7 y FIG. 8. Con referencia a la FIG. 9, hay al menos tres regiones 902, 904 y 906  
15 que son evidentes, al menos una que no es evidente a simple vista cuando se mira la pieza de trabajo mostrada en la FIG. 7. La superficie superior 702 y la región superior 902 están separadas del canal 704 y el área del canal 904 por un borde con rebabas 706 y por una región de transición 906. El borde con rebabas 706 es evidente en la FIG. 7, la región de transición desigual 906 no lo es. La producción de piezas de trabajo y la inspección de sondas táctiles conocidas en la técnica actual generalmente no permiten una inspección y caracterización minuciosa de detalles finos cerca y alrededor de las transiciones de una característica a otra. Sin embargo, esta información de alta  
20 fidelidad muy granular puede usarse para predecir tensiones locales, características de ajuste muy críticas, etc. Por lo tanto, existe un gran valor industrial potencial asociado con la alta fidelidad automatizada de la inspección que puede caracterizar las zonas de transición entre las características y mapear estas caracterizaciones al modelo de la pieza de trabajo. La invención permite tal inspección de alta fidelidad.

**[0058]** Una inspección ocasional de la pieza de trabajo 900 podría indicar que el canal 704 está correctamente situado a una cierta profundidad 908 por debajo de la superficie superior 702 de esta pieza de trabajo 900. Un micrómetro de profundidad podría ser utilizado para caracterizar la profundidad del canal 704, y con gran dificultad la planitud del canal, y aún más dificultad caracteriza la zona de transición 906. De manera similar, una inspección con sonda táctil, ya sea en el equipo de producción o en una MMC, podría usarse para caracterizar la profundidad del canal 704 pero sería de utilidad limitada para caracterizar la zona de transición 906 dentro de unas milésimas de pulgada del límite entre las zonas 704 y 702. Sin embargo, la invención facilita una inspección muy detallada de esta esquina interior, zona 906. Además, la invención facilita una caracterización del borde 706.  
25

**[0059]** La FIG. 10 muestra un gráfico de un conjunto de medidas 1000 con respecto a una sección transversal del canal con rebabas mostrado en las FIGS. 7-9 de acuerdo con una implementación de la invención. Con referencia a la FIG. 10, un conjunto de medidas 1002 traza la superficie de la pieza de trabajo como una función de la distancia de recorrido, como se detecta mediante un instrumento de medición de distancia. También se muestra un perfil real de la superficie superior 702 y la superficie inferior (canal) 704. Como puede verse, las mediciones 1002 reflejan con precisión las dimensiones y la forma de la superficie superior 702, el canal con rebabas 704, la región de transición y el borde con rebabas (no etiquetado en la figura 10). Sin embargo, como se observa en la práctica, las mediciones 1002 pueden desplazarse con relación a la ubicación real de estas características. El desplazamiento que se muestra en la figura 10 se observa al escanear de izquierda a derecha; el cambio es hacia la dirección del escaneo. De forma similar, en la práctica, las medidas 1002 se desplazan hacia la izquierda cuando se exploran de derecha a izquierda. Cuando la velocidad de exploración de derecha a izquierda coincide con la velocidad de exploración de izquierda a derecha, se observan cambios equilibrados. Al conocer la velocidad de escaneo localizada y el intervalo de tiempo preciso entre los puntos de datos, se puede calcular un desplazamiento espacial preciso.  
35

**[0060]** Por ejemplo, cuando la velocidad de exploración es 3048 mm/min y la tasa de registro de datos es 2048 Hz, cálculos sencillos revelarán que la velocidad de exploración es de 50,8 mm/seg, el intervalo de tiempo entre eventos de registro es de 488,3 microsegundos, y el intervalo espacial entre los eventos de registro es de 24,8 micro-metros. Utilizamos Polyworks para analizar datos brutos de dos escaneos de la misma función, desde dos direcciones opuestas y midiendo el desfase espacial total entre las ubicaciones medidas crudas de características claramente definidas. Una de tales características claramente definidas es el borde de bolsillo asociado con la FIG. 10, dimensión 1004.  
40

**[0061]** Una medida total de desplazamiento espacial entre ubicaciones recodificadas de una característica bien definida en los datos de exploración en la práctica se midió en 40 micrómetros durante el escaneado en 3048 mm/min y el registro en 2048 Hz. La mitad de este desplazamiento se debe al retraso del instrumento de metrología temporal mientras que se escanea en una dirección, mientras que la otra mitad se debe al retraso temporal del instrumento de metrología mientras que se explora en la dirección opuesta. El resultado espacial de la demora temporal del instrumento de metrología mientras que se explora a 3,048 mm/min es de  $40/2 = 20$  micrometros. Al dividir este retraso espacial por el intervalo de registro espacial, se obtiene una relación de desplazamiento de  $[(20 \text{ lapsos espaciales micrométricos}) / (24,8 \text{ microscopios espaciales de exploración/eventos de registro}) = 0,806]$ . Por lo tanto, el retraso temporal del instrumento de metrología se puede explicar mediante la interpolación de todos los  
45  
50  
55  
60  
65

datos de coordenadas de la máquina en el espacio el 81% del vector establecido entre dos eventos de registro adyacentes mientras que se registra a 2.048 Hz.

5 **[0062]** Se encontró que en la práctica un algoritmo de desplazamiento espacial aplicado post-scan utilizando los resultados de interpolación lineal en un conjunto de datos a modo de ejemplo, pero otros tipos de interpolación o extrapolación (en su caso) son posibles. Para cada evento registrado consideramos las grabaciones de los ejes de la máquina de producción (espaciales) separadas del valor de la metrología registrada. El algoritmo de desplazamiento espacial asigna a cada lectura de metrología registrada hasta un punto en el espacio equivalente a la ubicación espacial del evento de registro anterior más (1 menos la relación de desplazamiento, para nuestro ejemplo  $1 - 0,81 = 0,19$ ) multiplicado por el vector de exploración instantánea. Por ejemplo: tres lecturas consecutivas de metrología (13,497, 13,499 y 13,502) se registraron en tres ubicaciones de la máquina [(0,000, 1,000, -12,000), (0,025, 1,000, -12,000), (0,050, 1,000, -12,000)]. La primera lectura de metrología se descartaría porque no hay datos adecuados para determinar el vector de aproximación de exploración instantánea. La segunda lectura de la metrología tiene datos adecuados para determinar el vector de escaneo instantáneo. El primer vector de escaneo instantáneo es [(0,025, 1,000, -12,000) - (0,000, 1,000, -12,000) = (0,025, 0,000, 0,000)]. La ubicación de cambio apropiada para la segunda lectura de metrología se calcula como [(1-0,81) \* (0,025, 0,000, 0,000) + (0,000, 1,000, -12,000) = (0,005, 1,000, -12,000)]. Por lo tanto, la lectura de metrología de 13,499 se asignaría a la ubicación espacial (0,005, 1,000, -12,000). El segundo vector de escaneo instantáneo se calcula como [(0,050, 1,000, -12,000) - (0,025, 1,000, -12,000) = (0,025, 0,000, 0,000)]. La ubicación de desplazamiento apropiada para la tercera lectura de metrología se calcula como [(1-0,81) \* (0,025, 0,000, 0,000) + (0,025, 1,000, -12,000) = (0,030, 1,000, -12,000)]. Por lo tanto, la lectura de metrología de 13,502 se asignaría a la ubicación espacial (0,030, 1,000, -12,000).

25 **[0063]** Independientemente de la velocidad de exploración o la dirección cuando se aplica este algoritmo de cambio, las características afiladas de un artefacto escaneada se muestran en la misma ubicación espacial.

30 **[0064]** Como se observa en la práctica y se ha explicado anteriormente, las mediciones de 1002 se pueden desplazar espacialmente (posición) con relación a las coordenadas de máquina CNC para obtener un conjunto de datos post-procesados que está de acuerdo sustancialmente con otro independientemente de la dirección o la velocidad de exploración. Se puede concluir que se necesita un desplazamiento espacial 1006 y es completamente predecible para que coincida con los valores de medición 1002 con los valores de coordenadas de posición de la máquina CNC. Un desplazamiento espacial puede incluir un cambio o desplazamiento en el tiempo o posición de uno o más de los valores del eje de coordenadas (por ejemplo, valores del eje x, eje y y eje z) asociados con el brazo o husillo de trabajo. Dicho desplazamiento posicional se puede obtener experimentalmente al configurar o conectar un instrumento de metrología al brazo o husillo de trabajo y al escanear bidireccionalmente sobre las discontinuidades bruscamente definidas de la pieza de trabajo.

40 **[0065]** En ocasiones, se puede observar un valor de medición de valor atípico 1008. Tales valores pueden o no ser filtrables o removibles a través de un filtro (por ejemplo, filtro de paso bajo) asociado con un convertidor (u otro dispositivo) descrito aquí.

45 **[0066]** En una implementación, aproximadamente 2048 valores de medición fueron capturados por segundo, y tres exploraciones independientes de la trayectoria idéntica programada fueron capturadas en rápida sucesión. Las velocidades de desplazamiento del dispositivo de medición fueron de aproximadamente 1.524 milímetros por minuto, 3.048 milímetros por minuto y 6.096 milímetros por minuto. Cada ruta de exploración incluía un movimiento de izquierda a derecha y de derecha a izquierda sobre la misma ruta programada. Cuando se revisaron los datos brutos compuestos, los detalles del borde mostraron los efectos de un retraso temporal fijo y varias velocidades de escaneo. Cuando los datos compuestos se procesaron posteriormente de acuerdo con el algoritmo de desplazamiento espacial descrito anteriormente, se estableció un conjunto de datos compuestos ejemplar similar al ilustrado en la FIG. 11. En los datos compuestos desplazados, todas las características agudas se mostraron en la misma ubicación y notablemente varias de las mediciones atípicas 1008 también se mostraron significativamente en la misma ubicación. Tras una inspección adicional de la pieza de trabajo bajo un microscopio de gran aumento, se confirmaron la región de transición del borde 906, la fresa 706 y la existencia de pequeñas partículas suspendidas sobre las superficies 702 y 704. Por lo tanto, el algoritmo de desplazamiento espacial y los medios para determinar el desplazamiento espacial total apropiado (teniendo en cuenta la velocidad y la dirección de exploración instantánea, y teniendo en cuenta el retardo temporal total del sistema: retardo temporal del instrumento de medición, retraso temporal del procesamiento del codificador, retraso en la transmisión del codificador al dispositivo de grabación y todas las demás demoras entre el cruce de una discontinuidad aguda de la pieza de trabajo y el registro de dicha discontinuidad) es una excepción.

60 **[0067]** La FIG. 11 muestra un gráfico de dos conjuntos de mediciones de una parte del canal con rebabas mostrado en la FIG. 7. Un primer conjunto de medidas 1002 se muestra primero en la FIG. 10. Con referencia a la FIG. 11, un primer conjunto de medidas de distancia 1002 y un segundo conjunto de medidas de distancia 1102 se trazan en función de la distancia de desplazamiento, o ubicación. Tal como se observa en la práctica, los dos conjuntos de medidas 1002, 1102 coinciden sustancialmente entre sí. Los dos conjuntos de medidas 1002, 1102 se derivan de que la máquina CNC pasa un dispositivo de medición sobre la misma trayectoria de una pieza de trabajo, tal como

sobre el canal con rebabas 704 de las FIGS. 7-9. La frecuencia espacial de captura de medición para el primer conjunto de mediciones 1002 es más alta que la frecuencia espacial de captura de medición para el segundo conjunto de mediciones 1102 (velocidad de exploración asociada con 1002 fue menor que la velocidad de exploración para el segundo conjunto 1102 mientras que la tasa de registro temporal permaneció constante). Por consiguiente, para un conjunto de 10 mediciones del primer conjunto de mediciones 1002, se necesita una primera distancia de recorrido de exploración 1104, y una distancia de recorrido de exploración más larga 1106 para un conjunto correspondiente de 10 mediciones del segundo conjunto de mediciones 1102. Como se puede ver en la FIG. 11, y como se observa en la práctica, las mediciones son repetibles y consistentes incluso cuando se toman a diferentes velocidades o velocidades de escaneo. Por lo tanto, la velocidad de exploración y/o el intervalo de registro temporal de las mediciones de captura pueden variarse sin menoscabo de la utilidad de la invención siempre que el retardo temporal del sistema se determine y compense de una manera significativamente similar al algoritmo de desplazamiento espacial descrito arriba.

**[0068]** En resumen, un escáner de láser proporciona un medio para un método de no contacto para medir la distancia a una superficie de una pieza de trabajo. Se capturan mediciones o muestras rápidas y continuas. La máquina de medición está montada en un brazo o husillo de trabajo de una máquina CNC. El resultado es una imagen tridimensional de nubes de puntos de una pieza de trabajo. El proceso es completamente automático o semiautomatizado. La resolución de los valores de distancia es óptica, no mecánica. La detección sin contacto elimina el daño al objetivo o al cabezal del sensor, lo que garantiza una larga vida útil y una operación de mediciones sin mantenimiento. Se pueden tomar medidas de una variedad de materiales, acabados o ángulos de incidencia. La detección puede basarse en la cantidad de luz recibida por el dispositivo de medición, o un cambio en la cantidad de luz reflejada. Por lo tanto, la detección es posible para piezas de trabajo hechas de vidrio, metales, plásticos, maderas y líquidos.

**[0069]** La distancia entre la pieza de trabajo y el dispositivo de medición pueden ser sustanciales de tal manera que un dispositivo de medición se puede usar de acuerdo con la invención en una variedad de entornos y en una variedad de máquinas. Para un sensor fotoeléctrico de tipo reflectante, una distancia de medición puede variar desde unos pocos milímetros o menos hasta unos 2,0 m (6,6 pies). Un dispositivo de medición tipo thrubeam tiene una distancia de detección de hasta aproximadamente 40,0 m (131,2 pies). Un dispositivo de medición de tipo retrorreflectante tiene una distancia de detección de hasta aproximadamente 50 m (164 pies).

**[0070]** Los sensores fotoeléctricos actualmente disponibles son capaces de una tasa de respuesta tan alta como aproximadamente 400 kHz. Con los sensores de corriente, la diferenciación de color es posible. Un sensor tiene la capacidad de detectar la luz de un objeto o pieza de trabajo en función de la reflectividad de su color, lo que permite la detección del color y la diferenciación del color.

**[0071]** Descripción de una compensación *priori lag*. Aquí se describen varios aspectos asociados con la adaptación de las señales de temporización para tener en cuenta las diferentes demoras de transmisión/procesamiento que pueden ocurrir. Por ejemplo, las mediciones del láser se pueden retrasar en una cantidad de tiempo relativamente pequeña, pero a pesar de todo, es notable la cantidad de tiempo en comparación con las mediciones del CNC. Para combinar las dos con una precisión razonable, existe un requisito para justificar el retraso. En la práctica, esto se puede lograr mediante la interpolación entre las mediciones del CNC. Por ejemplo, si las mediciones del CNC se adquieren a intervalos de 1 milisegundo (ms), entonces la máquina XYZ se lee a 0 ms, 1 ms, 2 ms, etc. Junto con cada medición, los datos del láser a través de una entrada codificadora adicional, por ejemplo, para el movimiento en el eje X pueden proporcionar:

X	Y	Z	Láser	
10	0	0	300	(tiempo t = 0 ms)
13	0	0	315	(t = 1 ms)
16	0	0	366	(t = 2 ms)

Sin embargo, en algunas situaciones, por ejemplo, las lecturas del láser se retrasan en 500  $\mu$ s. En tales situaciones, cuando el láser lee 315, la posición x real es  $(10+13)/2 = 11,5$ . Esta interpolación se realiza después de que el software de procesamiento recoge los datos.

**[0072]** También se describe aquí una solución más general en donde, en lugar de alimentar los valores de láser, se suministra una señal de temporización. Por lo tanto, en lugar de una secuencia de {X, Y, Z, Laser}, la secuencia es {X, Y, Z, marca de tiempo}. En este caso, la señal de temporización se envía a la máquina CNC a través de la entrada del codificador y el láser, y opcionalmente también a través del codificador. Cada máquina (CNC y sensor láser) registra su propia transmisión, y los datos se combinan, teniendo en cuenta las tasas de demora, nuevamente en el software de procesamiento. Dado que la misma señal de tiempo se utiliza para todos los sensores, los datos se ajustan a posteriori para el intervalo de tiempo.

**[0073]** Las señales de temporización pueden además/alternativamente ser ajustadas para tener en cuenta los

retardos antes de procesar los datos. En el caso anterior (para la solución más general), por ejemplo, si se utiliza una señal de temporización de 1 ms, la señal que va al láser se inicia en  $t = 0$ , pero la señal de temporización que va a la máquina CNC se retrasa por exactamente 500  $\mu$ s, comenzando en 0,500 ms. En el momento en que la señal del láser llega al CNC, las marcas de tiempo se alinean al menos sustancialmente, y no se necesita un ajuste de retardo posterior al procesamiento.

**[0074]** Las ventajas del enfoque a priori son múltiples, e incluyen software de procesamiento más simple y más general, mantenimiento más fácil, mejor almacenamiento de información de calibración, opciones para arquitectura de plug-and-play y también una mayor seguridad.

**[0075]** La FIG. 12 de los dibujos muestra un hardware ejemplar 1200 que se puede usar para implementar la presente invención. Con referencia a la FIG. 12, el hardware 1200 incluye típicamente al menos un procesador 1202 acoplado a una memoria 1204. El procesador 1202 puede representar uno o más procesadores (por ejemplo, microprocesadores), y la memoria 1204 puede representar dispositivos de acceso aleatorio (RAM) que comprenden un almacenamiento principal del hardware 1200, así como también cualquier nivel suplementario de memoria, por ejemplo, memorias caché, memorias no volátiles o de respaldo (por ejemplo, memorias flash o programables), memorias de solo lectura, etc. Además, se puede considerar que la memoria 1204 incluye el almacenamiento de memoria físicamente ubicado en otro lugar en el hardware 1200, por ejemplo, cualquier memoria caché en el procesador 1202, así como cualquier capacidad de almacenamiento utilizada como memoria virtual, por ejemplo, almacenada en un dispositivo de almacenamiento masivo 1210.

**[0076]** El hardware 1200 también recibe típicamente un número de entradas y salidas para comunicar información externamente. Para la interfaz con un usuario u operador, el hardware 1200 puede incluir uno o más dispositivos de entrada de usuario 1206 (por ejemplo, un teclado, un ratón, dispositivo de formación de imágenes, escáner, etc.) y uno o más dispositivos de salida 1208 (por ejemplo, un panel de pantalla de cristal líquido (LCD), una pizarra electrónica, una pantalla táctil, un dispositivo de reproducción de sonido (altavoz)).

**[0077]** Para almacenamiento adicional, el hardware 1200 puede también incluir uno o más dispositivos de almacenamiento masivo 1210, por ejemplo, un disquete u otro disco extraíble, una unidad de disco duro, un dispositivo de almacenamiento de acceso directo (DASD), una unidad óptica (por ejemplo, una unidad de disco compacto (CD), una unidad de disco versátil digital (DVD), unidad de bus de serie universal (USB), etc.) y/o una unidad de cinta, entre otros. Además, el hardware 1200 puede incluir una interfaz con una o más redes 1212 (p. ej., una red de área local (LAN), una red de área extensa (WAN), una red inalámbrica y/o Internet, entre otras) para permitir la comunicación de información con otras computadoras conectadas a las redes. Debería apreciarse que el hardware 1200 típicamente incluye interfaces analógicas y/o digitales adecuadas entre el procesador 1202 y cada uno de los componentes 1204, 1206, 1208 y 1212, como es bien conocido en la técnica.

**[0078]** El hardware 1200 funciona bajo el control de un sistema operativo 1214, y ejecuta varias aplicaciones de software de ordenador, componentes, programas, otros objetos, módulos, etc, para implementar las técnicas descritas anteriormente. Además, diversas aplicaciones, componentes, programas, objetos, etc., indicados colectivamente por referencia 1216 en la FIG. 12, también puede ejecutarse en uno o más procesadores en otra computadora acoplada al hardware 1200 a través de una red 1212, por ejemplo, en un entorno informático distribuido, mediante el cual el procesamiento requerido para implementar las funciones de un programa informático puede asignarse a varias computadoras a través de una red.

**[0079]** En general, las rutinas ejecutadas para implementar las realizaciones de la invención pueden implementarse como parte de un sistema operativo o una aplicación específica, componente, programa, objeto, módulo o secuencia de instrucciones a que se refiere como "programas de ordenador". Los programas informáticos generalmente comprenden una o más instrucciones configuradas varias veces en varios dispositivos de memoria y almacenamiento en una computadora, y que, cuando son leídos y ejecutados por uno o más procesadores en una computadora, hacen que la computadora realice operaciones necesarias para ejecutar elementos que implican los diversos aspectos de la invención. Además, aunque la invención se ha descrito en el contexto de computadoras y sistemas informáticos que funcionan a pleno rendimiento, los expertos en la técnica apreciarán que las diversas realizaciones de la invención pueden distribuirse como un producto de programa en una variedad de formas, y que la invención se aplica igualmente independientemente del tipo particular de medios legibles por computadora utilizados para afectar realmente la distribución. Los ejemplos de medios legibles por computadora incluyen, entre otros, medios de tipo grabable, como dispositivos de memoria volátiles y no volátiles, disquetes y otros discos extraíbles, unidades de disco duro, discos ópticos (p. ej., memoria de disco compacto de solo lectura). (CD-ROM), discos digitales versátiles (DVD), memoria flash, etc.), medios no transitorios, entre otros. Otro tipo de distribución puede implementarse como descargas de Internet.

**[0080]** Alternativas. Si bien la descripción anterior ha sido para una máquina CNC, las técnicas son aplicables a cualquier tipo de máquina cuando se combina con un dispositivo de medición. Mientras que un dispositivo de medición ha sido ilustrado o ejemplificado con un dispositivo de medición de distancia o desplazamiento por láser, otros tipos de dispositivos de medición pueden combinarse con una máquina. Por ejemplo, un detector o dispositivo 202 de medición electrónica puede ser cualquier sensor fotoeléctrico común comercial (COTS) que use un diodo

láser rojo o un diodo láser infrarrojo como su señal. Como otro ejemplo, un dispositivo de medición 202 puede medir corrientes de Foucault y así puede proporcionar datos para la visualización de ciertas calidades de un material o puede determinar la distancia que podría tener tal dispositivo de medición basado en láser. Las corrientes de Foucault son corrientes eléctricas inducidas dentro de un material conductor. Las corrientes de Foucault tienen inductancia e inducen campos magnéticos, que a su vez pueden causar efectos de reflexión, propulsión, arrastre y calentamiento. Las corrientes de Foucault y las medidas relacionadas se miden típicamente como un escalar y se pueden medir en un área circular de hasta 50 micrómetros (0,002 pulg.) de diámetro. En otro ejemplo, un dispositivo de medición es un sensor de ultrasonido. Las distancias y otras características pueden detectarse mediante el uso de un dispositivo de ultrasonido. Otros datos de tales dispositivos de medición pueden sincronizarse o coordinarse con mediciones basadas en la posición o entre sí de la misma manera o similar que se describe en este documento.

**[0081]** La descripción anterior también hace referencia a un codificador. El codificador podría ser cualquier tipo de dispositivo informático, componente informático, circuito, hardware, firmware, software y similares, y combinaciones de los mismos. La invención se puede implementar alternativamente en matrices de puertas programables de campo (FPGA) y similares. La invención abarca estas y todas las implementaciones de las técnicas descritas en este documento.

**[0082]** Los sistemas como se describen en este documento son capaces de registrar o registrar solo un punto por cada pocos puntos (por ejemplo, 10, 25) que mide y entrega un sensor de desplazamiento láser. Un ejemplo de velocidad de registro es 2.048 Hz, mientras que una tasa de medición ejemplar es 50.000 Hz. Otras tarifas son posibles. Es posible registrar cada medición individual del sensor de desplazamiento láser y ubicarla con precisión en una pieza de trabajo. La misma rutina que implica una señal de índice mejorada que actualmente se describe para ultrasonidos y corrientes parásitas se puede utilizar para registrar cada medición del sensor de desplazamiento láser.

**[0083]** Para facilitar la localización de cada medición, en una implementación, se supone que los incrementos de señal de índice fabricados a 204.800 Hz en un patrón de diente de sierra. El codificador crea la señal de índice y la envía a la máquina CNC. Cuando el codificador recibe una nueva medición del sensor de desplazamiento láser, el codificador registra la medición del sensor de desplazamiento láser y su valor actual de la señal de índice. El CNC registra el valor de la señal de índice y su eje a la velocidad de 2.048 Hz. Para cada evento de registro de máquina CNC, la señal de índice ha incrementado cien unidades. Este gran incremento de índice permite que el sistema localice cada medición del sensor de desplazamiento del láser dentro de 1/100 de la distancia recorrida entre los eventos del CNC. Es posible localizar cada medición del sensor de desplazamiento láser dentro de aproximadamente 0,5 micras cuando se escanea a 6 metros por minuto, 240 ipm.

**[0084]** Junto con los valores asociados con una cabeza de indexación motorizada (tal como el modelo PH-10mq disponible comercialmente de Renishaw (Hoffman Estates, Illinois, EE.UU.)), es posible registrar datos de escaneo de línea de la misma manera. Esto se hace capturando cada punto en cada ciclo de medición en el codificador junto con un valor de índice. La máquina CNC puede seguir y registrar la señal de índice como se discutió. El cabezal de indexación motorizado proporciona una orientación lo suficientemente precisa para ubicar cada punto a lo largo del ventilador de un escáner de línea. Nuevamente, todos los datos del escáner de línea pueden ser registrados por el codificador junto con una señal de índice, dando una referencia para localizar con precisión cada punto de medición desde un escáner de línea.

**[0085]** Conclusión. En la descripción anterior, para propósitos de explicación, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión de la invención. Sin embargo, será evidente para un experto en la técnica que la invención puede practicarse sin estos detalles específicos. En otros casos, las estructuras, dispositivos, sistemas y métodos se muestran solo en forma de diagrama de bloques para evitar oscurecer la invención.

**[0086]** Será evidente que las diversas modificaciones y cambios pueden hacerse a estas realizaciones sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas. En un área de tecnología como esta, donde el crecimiento es rápido y no se prevén fácilmente otros avances, las realizaciones descritas pueden ser fácilmente modificables en la disposición y el detalle, permitiendo avances tecnológicos sin apartarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.



**Reivindicaciones****1. Un sistema que comprende:**

5 un dispositivo de metrología (202) unido a un brazo de herramienta operativa (108) y configurado para medición, para un ciclo de movimiento del brazo de herramienta operativa (108) a lo largo de un recorrido programado, valores de metrología para una pieza de trabajo (116) asociada con una máquina de fabricación (100) que comprende el brazo de herramienta operativa (108);  
 10 un codificador (208) configurado para convertir los valores de la metrología en valores de metrología codificados que comprenden un formato compatible con la máquina de fabricación (100); y  
 un componente de ordenador (212) configurado para registrar los valores de metrología codificados en asociación con los valores de coordenadas generados por la máquina de fabricación (100) durante el ciclo de movimiento, donde los valores de coordenadas representan las posiciones u orientaciones respectivas del brazo de la herramienta operativa (108) con el tiempo para el ciclo de movimiento,  
 15 en donde el codificador (208) está configurado además para generar una señal de índice que se incrementa periódicamente en una primera frecuencia, en donde la primera frecuencia es más alta que una segunda frecuencia en la que se registran los valores de metrología codificados.

20 **2.** El sistema de la reivindicación 1, en el que los valores de metrología comprenden valores de distancia que representan una distancia a lo largo del tiempo entre el dispositivo de metrología (202) y la pieza de trabajo (116) cuando el brazo de la herramienta operativa (108) se mueve a lo largo de la trayectoria programada.

**3.** El sistema según la reivindicación 2, en el que el dispositivo de metrología (202) está configurado además para medir los valores de distancia a través de al menos uno de medición óptica, ultrasónico o una sonda de contacto.

25 **4.** El sistema según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de metrología (202) está configurado para variar una tasa de medición de los valores de metrología durante el ciclo de movimiento en base a una característica medida de la pieza de trabajo (116).

30 **5.** Sistema según la reivindicación 1, en el que el componente de ordenador (212) está configurado además para aplicar un desplazamiento a al menos uno de los valores de metrología codificados o los valores de coordenadas para sincronizar los valores de metrología codificados con los valores de coordenadas.

35 **6.** El sistema de la reivindicación 1, en el que al menos uno de los dispositivos de metrología (202) o el componente informático está configurado para filtrar los valores de metrología de acuerdo con un criterio de filtrado.

**7.** El sistema de la reivindicación 1, en el que el componente de ordenador (212) está configurado además para aplicar un valor de retardo temporal a los valores de coordenadas para facilitar la sincronización de los valores de coordenadas con los valores de metrología codificados.

40 **8.** El sistema de la reivindicación 1, en el que el componente de ordenador (212) está configurado además para registrar, en respuesta a la recepción de un valor de metrología codificado de los valores de metrología codificados, el valor de metrología codificado en asociación con un valor actual de la señal de índice.

45 **9.** El sistema según la reivindicación 8, en el que el componente de ordenador (212) está configurado además para registrar los valores de coordenadas en asociación con respectivos segundos valores de la señal de índice correspondientes a las horas en las que se generaron los valores de coordenadas.

50 **10.** Un aparato para visualizar una pieza de trabajo (116), que comprende:

una máquina de fabricación (100) que comprende un brazo de herramienta operativa (108), en donde la máquina de fabricación (100) está configurada para registrar valores de coordenadas que representan al menos una de las posiciones u orientaciones del brazo de herramienta operativa (108) a un intervalo sustancialmente regular cuando el brazo de herramienta de operación (108) atraviesa una trayectoria programada;  
 55 un componente de computadora (212) configurado para registrar los valores de metrología medidos para una pieza de trabajo (116) por un dispositivo de metrología (202) cuando el brazo de herramienta operativa (108) atraviesa la trayectoria programada; y  
 un codificador (208) configurado para trasladar los valores de la metrología a un formato compatible con la máquina de fabricación (100),  
 60 en donde el componente de ordenador (212) está configurado además para sincronizar los valores de coordenadas con los valores de metrología y para interpolar entre valores de coordenadas consecutivos basados en un retardo de tiempo determinado asociado con el dispositivo de metrología (202) para facilitar la sincronización de los valores de coordenadas con los valores de metrología.

65 **11.** El aparato de la reivindicación 10, en el que el componente de la computadora (212) está configurado además para registrar los valores de metrología en un intervalo que es más corto que el intervalo sustancialmente regular.

12. Aparato según la reivindicación 10, en el que el dispositivo de metrología (202) comprende un dispositivo de medición de distancia configurado para medir, como valores de metrología, valores de distancia que representan distancias entre el dispositivo de metrología (202) y la pieza de trabajo (116).

5

10

15

20

25

30

35

40

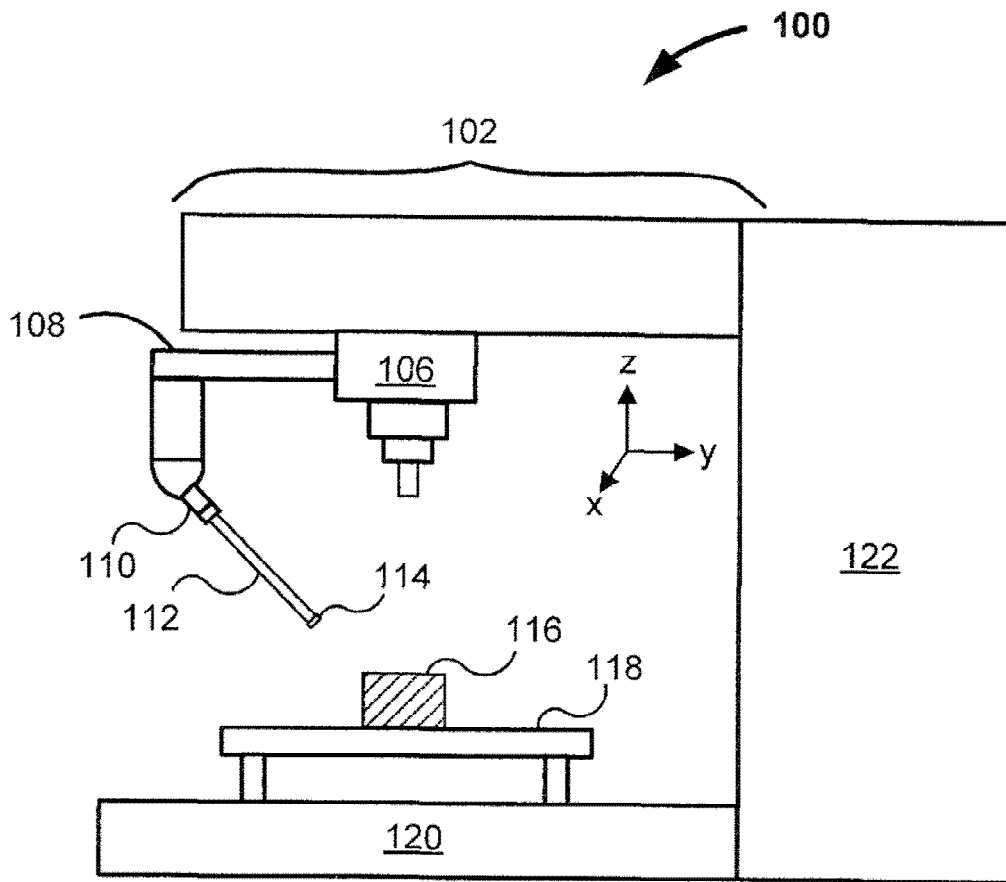
45

50

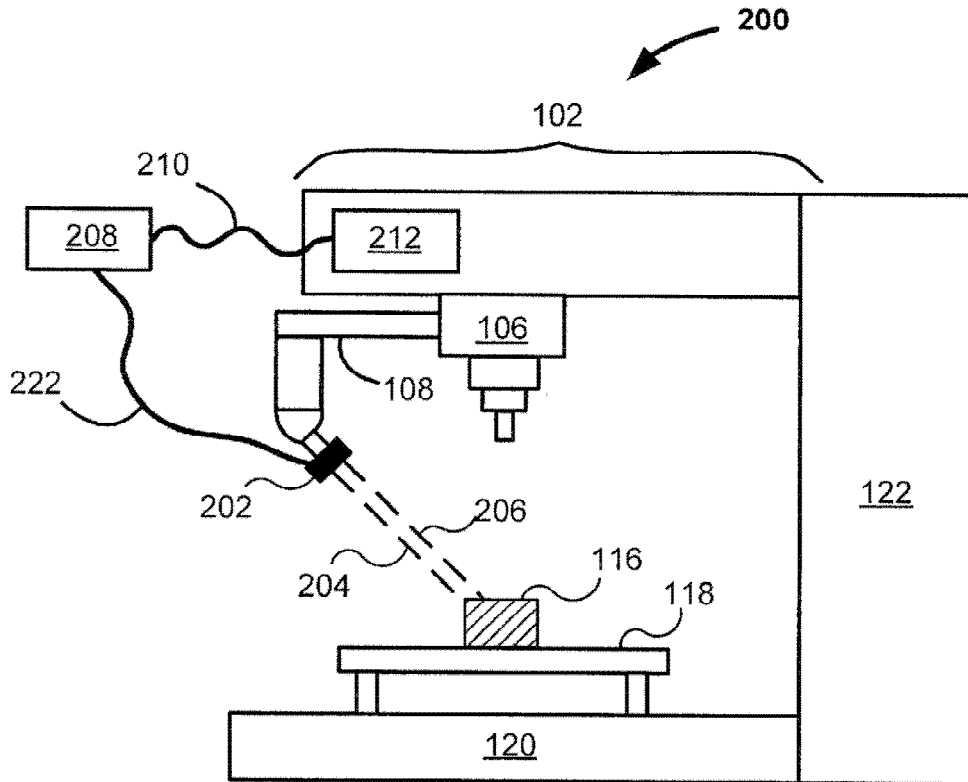
55

60

65



**FIG. 1**  
**ESTADO DE LA TÉCNICA**



**FIG. 2**

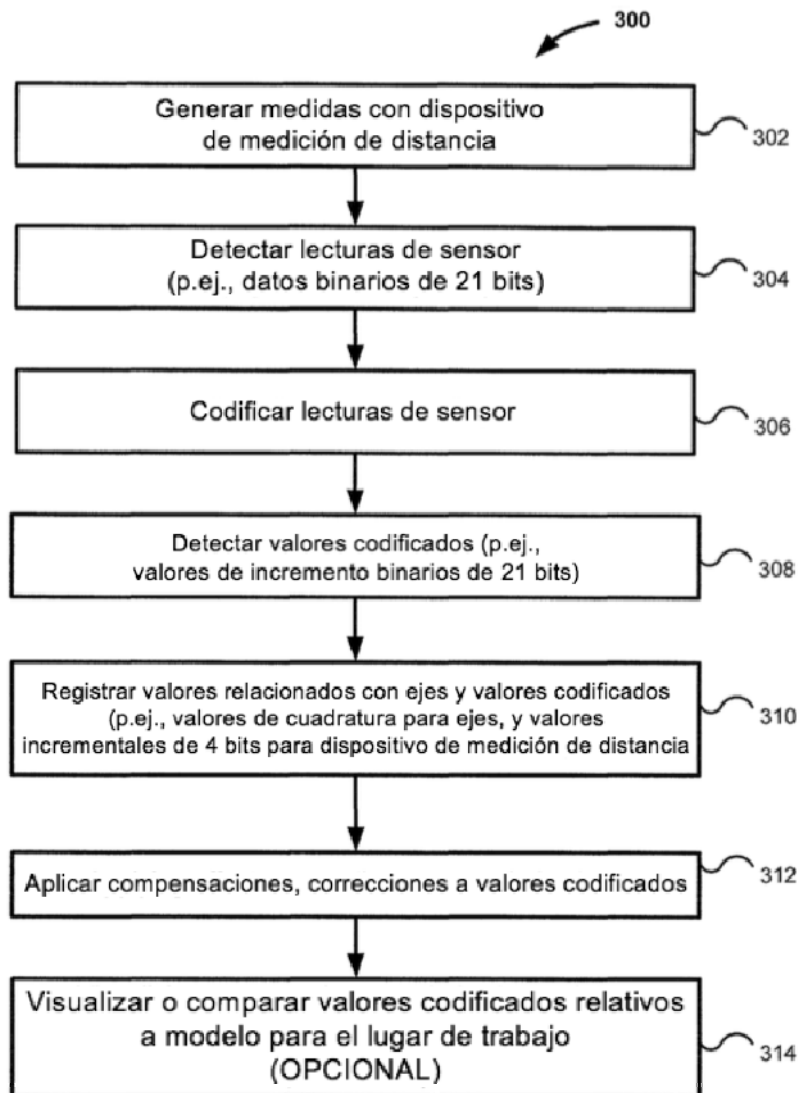


FIG. 3

400

Línea de tiempo (mil-seg)	Valor medido base-diez (mm)	Valor de 21 bits (binario de complemento de 2)	Delta calculado (Base diez)	Valor de codificador cuadratura	Valor de memoria de registro de máquina de coordenadas (Base diez)
401	402	403	404	405	406
0.000000	+13.497	0 0000 0011 0100 1011 1001	0	0101	13.497
Período de renovación de medida, codificador espera el siguiente reloj estroboscópico a intervalos de 0.020 milisegundos (tasa de medición de 50.0000 Hz)					
0.020000	+13.499	0 0000 0011 0100 1011 1011	2	0101	13.497
0.020633				0110	13.498
				1010	13.499
				1010	13.499
				1010	13.499
				1001	13.500
0.040000	+13.502	0 0000 0011 0100 1011 1110	3	1001	13.501
0.040633				0101	13.502
0.041667				0110	13.502
Nota: Período de registro de datos de máquina de coordenadas de ejemplo de referencia es una vez cada 0.486261 milisegundos (2.048 Hz)					
0.060000	+13.515	0 0000 0011 0100 1100 1011	13	1010	13.503
0.060633				1001	13.504
0.061667				0101	13.505
0.062500				0110	13.506
0.063333				1010	13.507
0.064167				1001	13.508
0.065000				0101	13.509
0.065833				0110	13.510
0.066667				1010	13.511
0.067500				1001	13.512
0.068333				0101	13.513
0.069167				0110	13.514
0.070000				1010	13.515
-				1010	13.515
-				1010	13.515
0.080000	+13.511	0 0000 0011 0100 1100 0111	-4	0110	13.514
0.080633				0101	13.513
0.081667				1001	13.512
0.082499				1010	13.511
"				1010	13.511
"				1010	13.511

FIG. 4

500

Línea de tiempo (miliseg) 501	Valor medido base-diez (mm) 502	Delta calculado (Base diez) 503	Delta limitado de paso bajo (base diez) 504	Valor de codificador cuadratura 505	Valor de metrología de registro de máquina de coordenadas (base diez) 506	
0	+13.497	0		+13.497	13.497	
Período de retención de medida, codificador espera el siguiente reloj estroboscópico a intervalos de 0.020 milisegundos (tasa de medición de 50.0000 Hz)						
0.020000	+13.530	33	20	+13.517	13.497	
0.020833	+13.517	que se impone por el algoritmo de filtro de paso bajo y sirve como el valor de corriente para el cálculo del siguiente delta				13.498
0.021667					13.499	
0.022500					13.500	
0.023333					13.501	
0.024167					13.502	
0.025000					13.503	
0.025833					13.504	
0.026667					13.505	
0.027500					13.506	
0.028333					13.507	
0.029167					13.508	
0.030000					13.509	
0.030833					13.510	
0.031667					13.511	
0.032500					13.512	
0.033333					13.513	
0.034167					13.514	
0.035000					13.515	
0.035833					13.516	
+					13.517	
0.040000	+13.525	8	8	+13.525	13.518	
0.040833					13.519	
0.041667					13.520	
0.042500					13.521	
0.043333					13.522	
0.044167					13.523	
0.045000					13.524	
0.045833					13.525	

510

512

514

FIG. 5

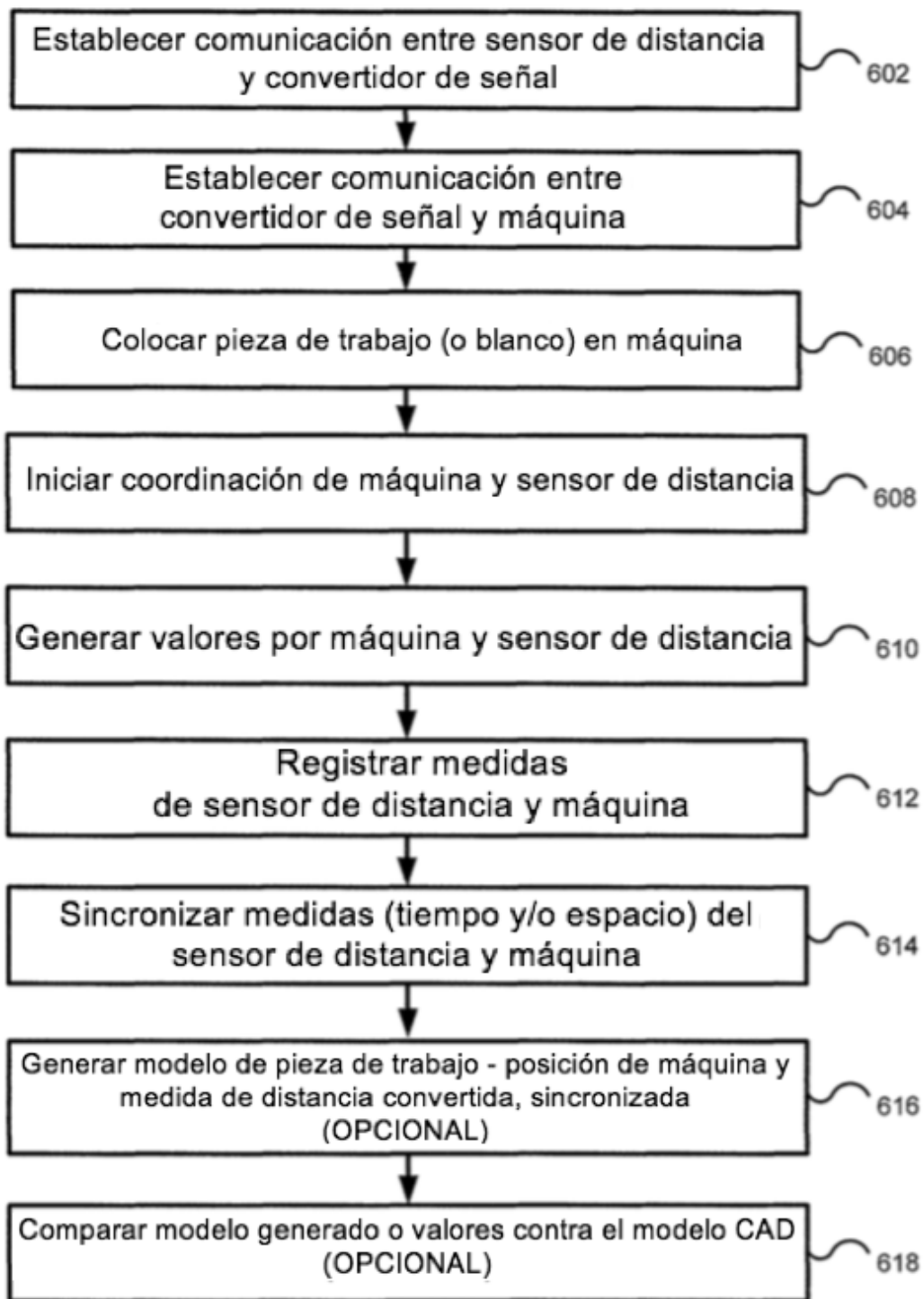
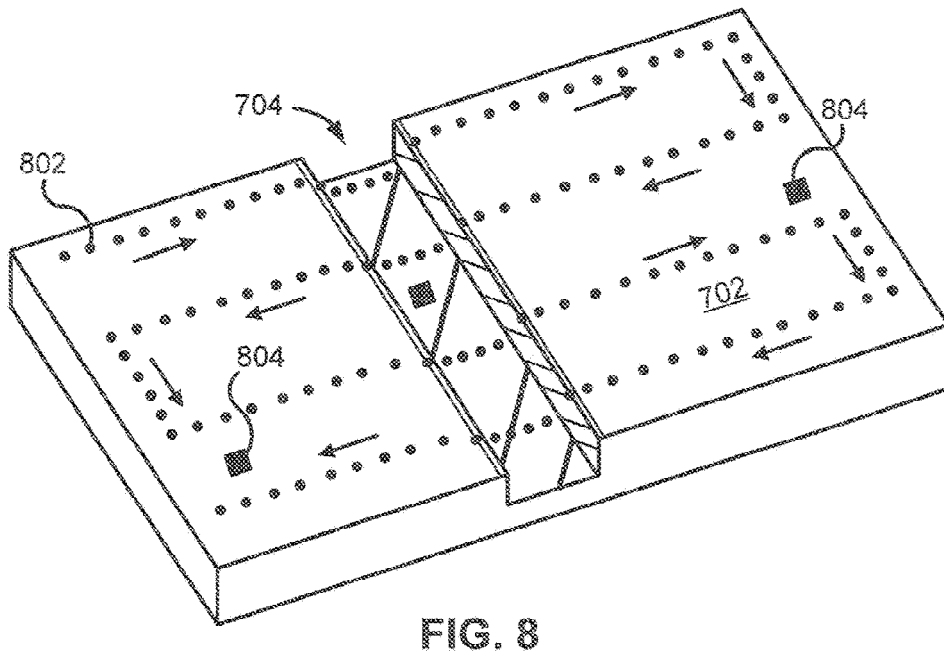
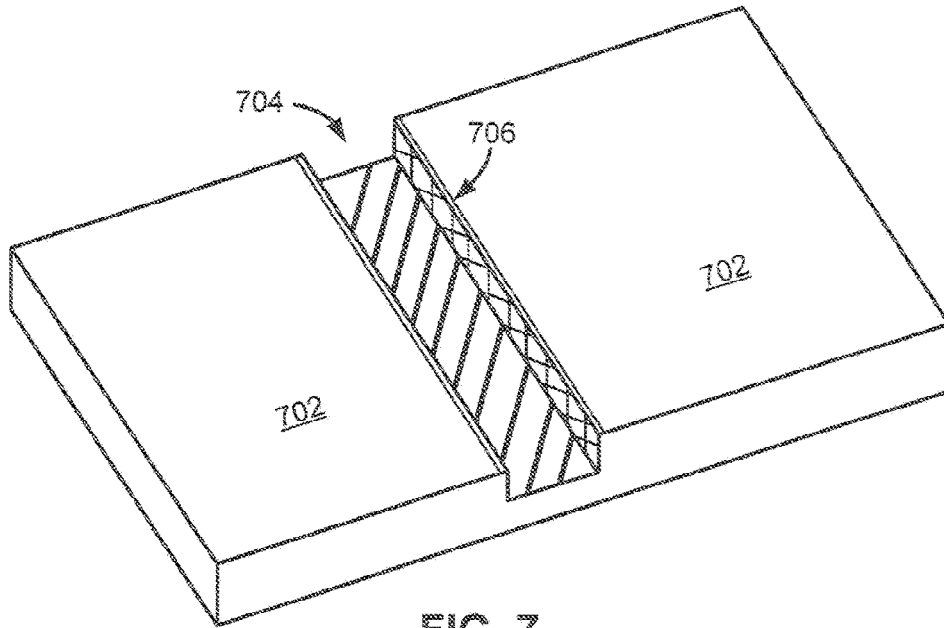


FIG. 6





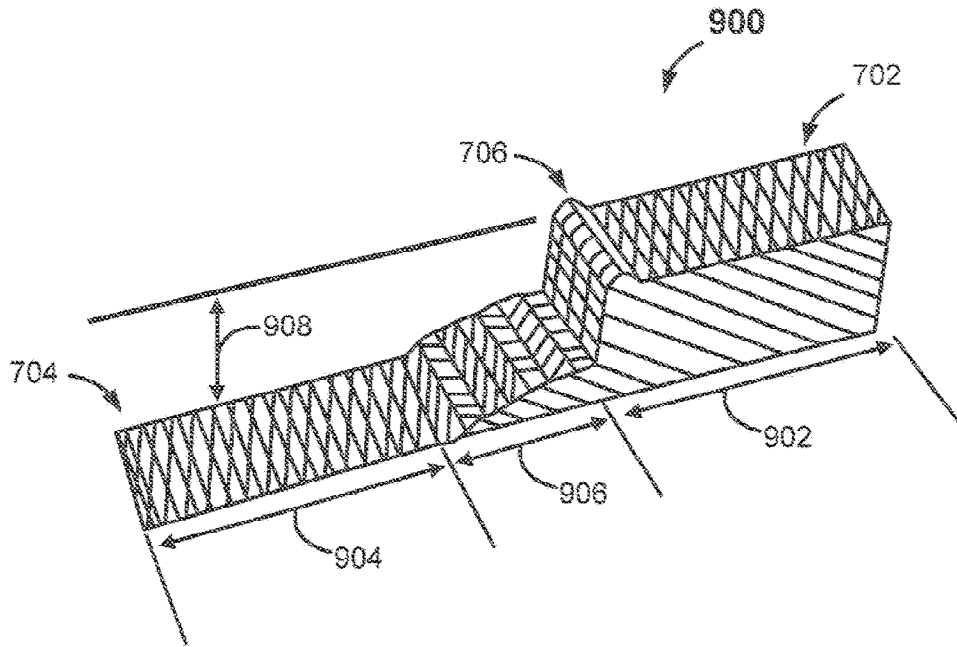


FIG. 9

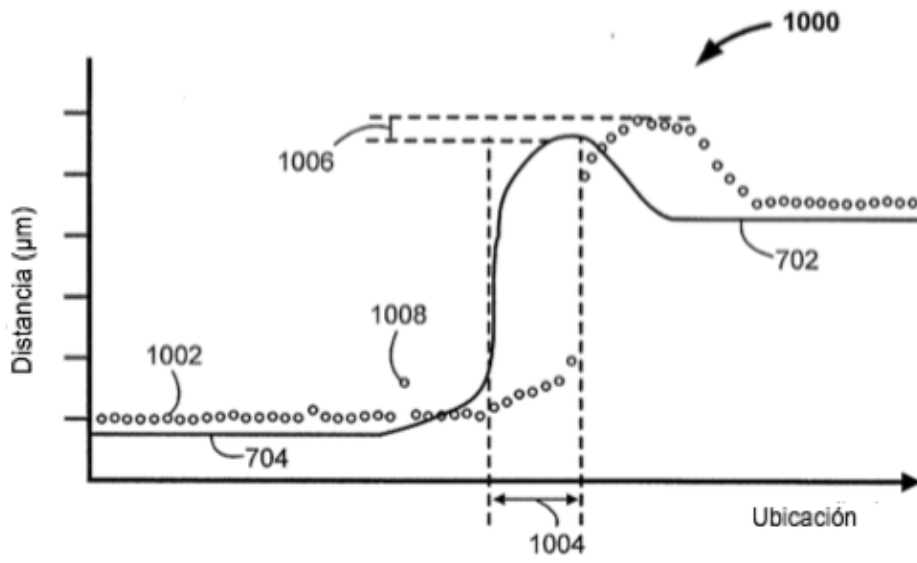


FIG. 10

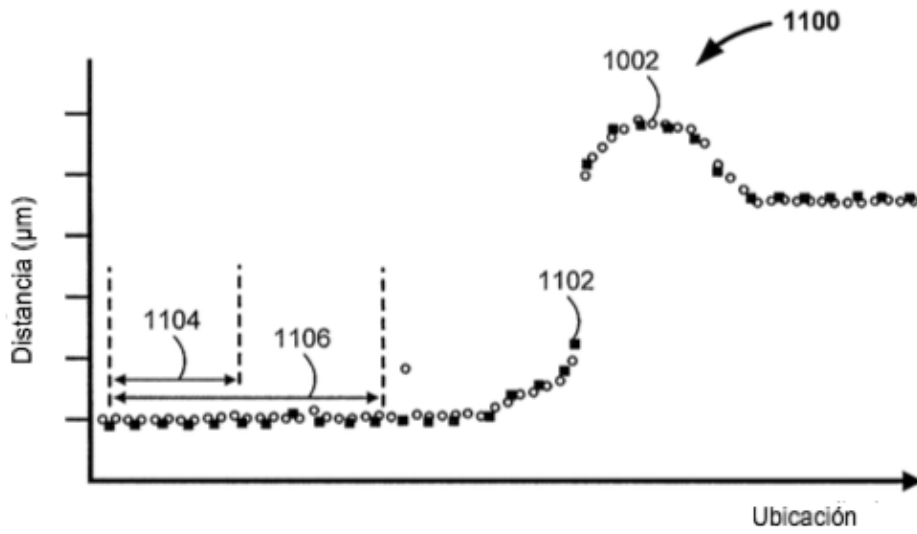


FIG. 11

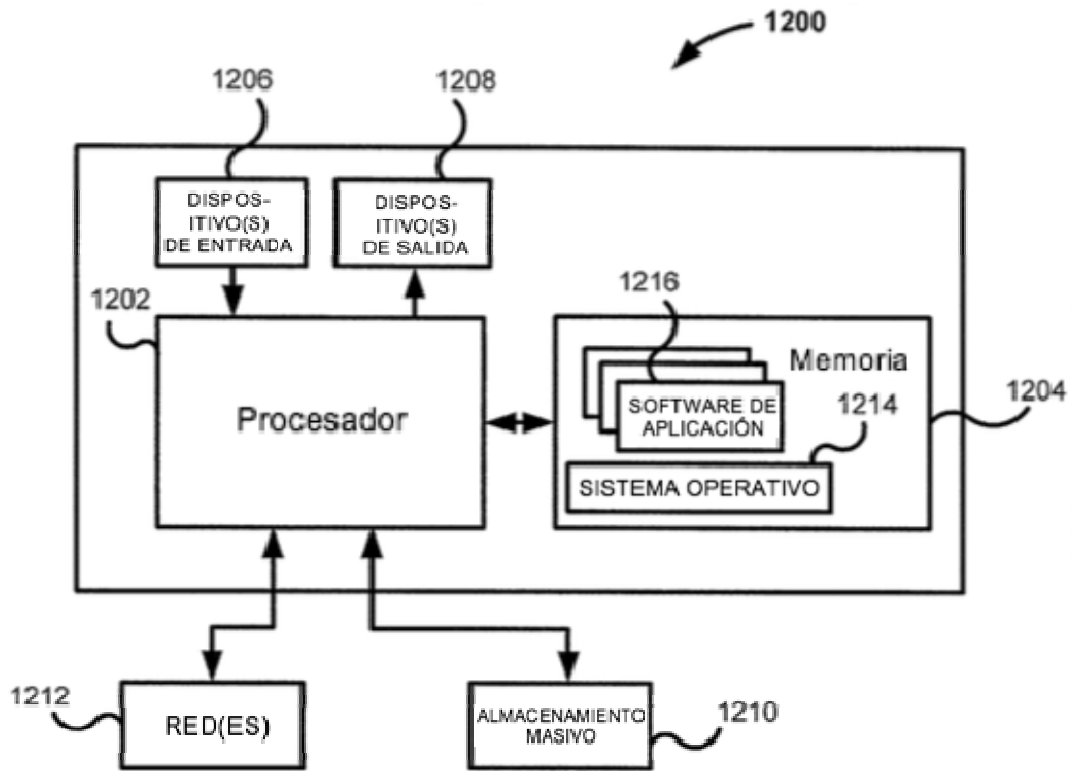


FIG. 12