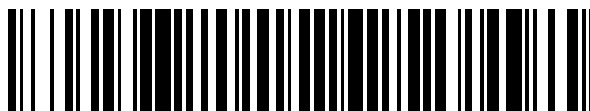


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 484**

51 Int. Cl.:

B24C 1/04 (2006.01)

B26F 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2002 E 10009291 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014 EP 2258516**

54 Título: **Método y sistema para el control de software automatizado de parámetros de orientación de chorro de agua**

30 Prioridad:

27.08.2001 US 940687

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2015

73 Titular/es:

**FLOW INTERNATIONAL CORPORATION (100.0%)
23500 - 64th Avenue South
Kent, WA 98032, US**

72 Inventor/es:

**ERICHSEN, GLENN A.;
ZHOU, JIANNAN;
SAHNEY, MIRA K.;
KNAUPP, MICHAEL;
BURNHAM, CHARLES D. y
HASHISH, MOHAMED**

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 528 484 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).

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para control de software automatizado de parámetros de orientación de chorro de agua

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un método y a un sistema para controlar automáticamente un chorro de fluido y, en particular, a métodos y sistemas para controlar automáticamente el avance, la conicidad y otros parámetros de orientación y de proceso de un chorro de agua a alta presión utilizando modelos predictivos.

Antecedentes

- 10 Los chorros de fluidos a alta presión, incluidos los chorros de agua abrasivos a alta presión, se utilizan para cortar una amplia variedad de materiales en muchas industrias diferentes. Los chorros de agua abrasivos han demostrado ser especialmente útiles en el corte de materiales difíciles, gruesos o aglomerados, tales como materiales de metal, de vidrio o cerámicos gruesos. En la actualidad están disponibles sistemas para generar chorros de agua abrasivos a alta presión, por ejemplo el sistema Paser 3 fabricado por Flow International Corporation, el cesionario de la presente invención. Un sistema de corte por chorro abrasivo de este tipo se muestra y se describe en la patente estadounidense n.º 5.643.058 de Flow. Debe entenderse que los términos “chorro de fluido a alta presión” y “chorro” utilizados a lo largo del presente documento incorporan todos los tipos de chorros de fluido a alta presión, incluyendo pero sin limitarse a, chorros de agua a alta presión y chorros de agua abrasivos a alta presión. En tales sistemas, el fluido a alta presión, normalmente agua, fluye a través de un orificio en un cabezal de corte para formar un chorro a alta presión, en el que las partículas abrasivas se combinan a medida que el chorro fluye a través de un tubo de mezclado. El chorro de agua abrasivo a alta presión se descarga desde el tubo de mezclado y se dirige hacia una pieza de trabajo para cortar la pieza de trabajo siguiendo una trayectoria designada.

- En el documento FR-A-2 699 852 se enseña un método de control del funcionamiento de un aparato de chorro de fluido en el que el control se basa en información almacenada antes del funcionamiento real del aparato y en relación con la naturaleza misma y el grosor del material que se va a cortar. Según la enseñanza del documento FR-A-2 699 852, el movimiento de traslación de la boquilla se controla según la información almacenada previamente.

- El documento FR-A-2 699 852 también da a conocer un sistema de control de chorro de fluido dinámico que controla un aparato de chorro de fluido para producir a partir de un material una pieza objetivo con una geometría que tiene una pluralidad de segmentos geométricos. El aparato tiene una boquilla que se orienta con respecto a una pluralidad de ejes basándose en información almacenada previamente en una unidad de memoria con el fin de cortar una pieza objetivo.

- Hay varios sistemas disponibles actualmente para mover un chorro de fluido a alta presión siguiendo una trayectoria designada. Tales sistemas se denominan comúnmente máquinas de tres ejes y de cinco ejes. Las máquinas de tres ejes convencionales montan el conjunto de cabezal de corte de tal manera que puede moverse a lo largo de un plano x-y y en perpendicular a lo largo de un eje z, concretamente hacia y desde la pieza de trabajo. De esta manera, el chorro de fluido a alta presión generado por el conjunto de cabezal de corte se mueve siguiendo la trayectoria designada en un plano x-y, y se eleva y se desciende con respecto a la pieza de trabajo, según pueda desearse. Las máquinas de cinco ejes convencionales funcionan de una manera similar pero proporcionan movimiento sobre dos ejes de rotación adicionales, normalmente sobre un eje horizontal y de un eje vertical de manera que consiguen, en combinación con los otros ejes, ciertos grados de inclinación y basculamiento.

- 40 La manipulación de un chorro sobre cinco ejes puede ser útil por una diversidad de razones, por ejemplo, para cortar una forma tridimensional. Tal manipulación también puede desearse para corregir las características de corte del chorro o las características del resultado del corte. Más en particular, según comprenderá un experto en la técnica, un corte producido por un chorro, por ejemplo un chorro de agua abrasivo, tiene características que difieren de los cortes producidos mediante procedimientos de mecanizado más tradicionales. Dos de las características de corte que pueden obtenerse a partir de la utilización de un chorro de fluido a alta presión se denominan “conicidad” y “retraso”. La figura 1 es una ilustración de ejemplo de conicidad. La conicidad se refiere al ángulo de un plano de la pared de corte con respecto a un plano vertical. La conicidad produce normalmente una pieza objetivo que tiene dimensiones diferentes en la superficie superior (en la que el chorro entra en la pieza de trabajo) que en la superficie inferior (en la que el chorro sale de la pieza de trabajo). La figura 2 es una ilustración de ejemplo de retraso. El retraso, también denominado arrastre, identifica los fenómenos en que el chorro de fluido a alta presión sale de la pieza de trabajo en un punto por detrás del punto de entrada del chorro en la pieza de trabajo, con respecto a la dirección de desplazamiento. Estas dos características de corte, concretamente conicidad y retraso, pueden o no ser aceptables, dado el producto final deseado. La conicidad y el retraso varían dependiendo de la velocidad del corte; así, una forma conocida de controlar una conicidad y/o un retraso excesivos consiste en ralentizar la velocidad de corte del sistema. En situaciones en las que es deseable reducir al mínimo o eliminar la conicidad y el retraso, se han utilizado sistemas convencionales de cinco ejes, principalmente a través de prueba y error manual, para aplicar

correcciones de ángulos de conicidad y de avance al chorro a medida que se mueve siguiendo la trayectoria de corte.

Sumario de la invención

En un breve resumen, los métodos y sistemas de la presente invención proporcionan el control automático de parámetros de orientación de un chorro de fluido para conseguir un mayor control sobre el contorno del corte producido y la pieza resultante. Estos métodos y sistemas pueden emplearse con diferentes tipos de aparatos de chorro, como los que controlan un cabezal de corte utilizando movimiento alrededor de un número diferente de ejes. Las realizaciones de ejemplo proporcionan un sistema dinámico de control de chorro de agua ("DWCS, *dynamic waterjet control system*") para controlar dinámicamente la orientación de un chorro con respecto al material que se está cortando en función de la velocidad y/u otros parámetros de proceso. Los parámetros de orientación incluyen, por ejemplo, la posición x-y del chorro a lo largo de la trayectoria de corte, así como tres parámetros de orientación tridimensional del chorro, tales como los valores de compensación de separación y los ángulos de conicidad y de avance del cabezal de corte. En una realización, el DWCS utiliza un conjunto de modelos predictivos para determinar automáticamente los parámetros de orientación apropiados para una geometría arbitraria como funciones de la velocidad. De esta manera, estos modelos hacen corresponder dinámicamente, para cada entidad geométrica, la velocidad del cabezal de corte con los ángulos de avance y conicidad apropiados en diferentes condiciones de proceso del cabezal de corte. Por ejemplo, cuando se está cortando una esquina, normalmente el cabezal de corte se ralentiza. En algunos casos, utilizando las técnicas de determinación de los ángulos de avance y conicidad automatizados de la presente invención, puede aminorarse la desaceleración, al tiempo que el cabezal de corte consigue un corte más preciso.

Se proporciona un método en un sistema informático para controlar un aparato de chorro para cortar siguiendo una trayectoria de corte designada de un material para producir una pieza objetivo que tiene una especificación geométrica, teniendo el aparato de chorro un cabezal de corte y una pluralidad de parámetros de proceso modificables; que comprende:

recuperar una representación de un modelo de datos predictivo que modela los efectos de valores de al menos una característica de orientación del cabezal de corte sobre un corte producido utilizando esos valores; determinar automática y dinámicamente una pluralidad de valores para la al menos una característica de orientación a partir de la representación del modelo de datos recuperada, según valores de los parámetros de proceso; y utilizar la pluralidad de valores determinados para la al menos una característica de orientación para controlar el aparato de chorro para cortar siguiendo la trayectoria designada para producir la pieza objetivo. Además, se proporciona un medio de memoria legible por ordenador en el que se implementa el método.

Se proporciona además un sistema de control del aparato de chorro de fluido para controlar un cabezal de corte de un aparato de chorro para cortar siguiendo una trayectoria de corte designada para producir una pieza objetivo, que comprende:

una memoria que contiene un modelo de datos predictivo de los efectos de valores de una característica de orientación del cabezal de corte sobre un corte producido utilizando esos valores; y una interfaz de control del cabezal de corte que recupera el modelo de datos predictivo de la memoria; determina automáticamente una pluralidad de valores para la característica de orientación a partir del modelo de datos recuperado según la trayectoria de corte designada; y utiliza la pluralidad de valores determinados para la característica de orientación para controlar el cabezal de corte del aparato de chorro para cortar siguiendo la trayectoria designada para producir la pieza objetivo.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una ilustración de ejemplo de conicidad.

La figura 2 es una ilustración de ejemplo de retraso.

La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra la utilización de un sistema dinámico de control de chorro de agua para producir una pieza objetivo.

La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de ejemplo de un sistema dinámico de control de chorro de agua.

La figura 5 es un diagrama de flujo de ejemplo de etapas ejecutadas mediante una realización de ejemplo de un sistema dinámico de control de chorro de agua para cortar una pieza objetivo.

La figura 6 es una captura de pantalla de ejemplo de la interfaz de usuario de un módulo CAD de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo.

La figura 7 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de introducción de una interfaz de usuario de un

módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo.

La figura 8 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de configuración de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo.

5 La figura 9 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de configuración avanzada de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo.

La figura 10 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de aplicar modelos de los diálogos de configuración de modelos.

La figura 11 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de seleccionar modelos de los diálogos de configuración de modelos.

10 La figura 12 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de editar esquina a medida de los diálogos de configuración de modelos.

La figura 13 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de avance y conicidad a medida de los diálogos de configuración de modelos.

15 La figura 14 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de realimentación y control de un controlador de chorro de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo.

La figura 15 es una captura de pantalla de ejemplo que muestra la posición x,y de la ubicación actual de la punta de la herramienta de chorro con respecto a la trayectoria.

20 La figura 16 es una captura de pantalla de ejemplo que muestra valores de compensación de separación del cabezal de corte.

La figura 17 es una captura de pantalla de ejemplo que muestra los valores de compensación de avance y conicidad del cabezal de corte.

La figura 18 es un diagrama de bloques de un sistema informático de propósito general para poner en práctica realizaciones del sistema dinámico de control de chorro de agua.

25 La figura 19 es un diseño de ejemplo de una pieza objetivo, que se utiliza para ilustrar el modo en el que el sistema dinámico de control de chorro de agua automatiza la determinación de los parámetros de orientación y de proceso de corte.

La figura 20 es un diagrama de flujo de ejemplo del proceso automatizado de determinación de parámetros de orientación de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo.

30 La figura 21 es un diagrama de flujo de ejemplo de las etapas ejecutadas por el sistema dinámico de control de chorro de agua para construir una estructura de datos del programa de movimiento.

La figura 22 es un diagrama de flujo de ejemplo de las etapas ejecutadas por el sistema dinámico de control de chorro de agua para iniciar el ciclo de corte.

Descripción detallada de la invención

35 Las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos y sistemas basados en ordenador y en red para controlar automáticamente los ángulos de avance y conicidad y otros parámetros de orientación de un chorro de agua para conseguir un control superior sobre el contorno del corte y la pieza resultante generados por el chorro de agua. Las realizaciones de ejemplo de la presente invención proporcionan un sistema dinámico de control de chorro de agua ("DWCS") para controlar dinámicamente la orientación de un chorro con respecto al material que se está cortando en función de la velocidad y/u otros parámetros de proceso. El DWCS controla automáticamente la posición en el eje x y el eje y (bidimensional) del chorro a lo largo de la trayectoria de corte, así como la orientación tridimensional del chorro, tal como la posición de separación y la inclinación y basculamiento del cabezal de corte cuando sea apropiado, utilizando un conjunto de modelos predictivos. Los modelos predictivos indican ajustes apropiados para estos parámetros de orientación para conseguir las características deseadas del contorno del corte y la pieza resultante. Las amplias capacidades de control del DWCS permiten a los operarios utilizar la maquinaria de chorro de agua de un modo automático sin intervención manual para controlar manualmente la orientación del chorro según el conocimiento anterior y la pericia del operario con respecto a la pieza de trabajo específica que se está cortando. La capacidad de automatización del DWCS apoya así un tiempo de producción reducido, así como un control preciso sobre el proceso de corte.

50 Aunque en el presente documento se comenta en relación con chorros de agua, y chorros de agua abrasivos en

particular, un experto en la técnica reconocerá que las técnicas de la presente invención pueden aplicarse a cualquier tipo de chorro de fluido, generado por alta presión o baja presión, se usen o no aditivos o abrasivos. Además, un experto en la técnica reconocerá que estas técnicas pueden modificarse para controlar los parámetros de orientación de chorro de eje x, eje y, separación, ángulo de inclinación y ángulo de avance como funciones de parámetros de proceso distintos de la velocidad, ya que se desarrollan e incorporan modelos predictivos diferentes.

La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra la utilización de un sistema dinámico de control de chorro de agua para producir una pieza objetivo. En funcionamiento típico, un operario 301 utiliza un programa o paquete de diseño asistido por ordenador ("CAD, *computer-aided design*") en una estación de trabajo informática 302, para especificar un diseño de una pieza 310 (por ejemplo, una pieza fabricada) que se cortará a partir del material 303 de la pieza de trabajo. La estación de trabajo informática 302 es adyacente a o está conectada de forma remota o directa con un aparato de corte de chorro de agua abrasivo 320 (AWJ, *abrasive water jet*), tal como el aparato de chorro de fluido a alta presión descrito y reivindicado en la solicitud de patente estadounidense presentada simultáneamente con n.º de serie 09/940.689, titulada "APARATO PARA GENERAR Y MANIPULAR UN CHORRO DE FLUIDO A ALTA PRESIÓN". Puede utilizarse cualquier programa o paquete CAD bien conocido para especificar el diseño de la pieza 310. Además, el paquete de diseño CAD también puede incorporarse en el propio sistema dinámico de control de chorro de agua. A continuación se introduce el diseño generado en el DWCS 304, que genera entonces automáticamente, según se comenta en más detalle en las figuras restantes, un programa de movimiento 305 que especifica el modo en que el aparato de chorro 320 debe controlarse para cortar el material 303 de la pieza de trabajo. Cuando lo especifica el operario, el DWCS 304 envía el programa de movimiento 305 a un controlador 321 de hardware/software (por ejemplo, un controlador numérico por ordenador, "CNC, *computer numeric controller*"), que acciona el aparato de chorro 320 para cortar el material de la pieza de trabajo según las instrucciones contenidas en el programa de movimiento 305 para producir la pieza objetivo 310. Utilizado de esta manera, el DWCS proporciona un proceso de fabricación asistida por ordenador (un "CAM, *computer-aided manufacturing*") para producir piezas objeto.

Aunque el DWCS descrito en la figura 3 se muestra como residente en una estación de trabajo informática separada de, pero conectada a, el aparato de chorro, un experto en la técnica reconocerá que, dependiendo de la configuración real del aparato de chorro y los ordenadores u otros controladores (el sistema de chorro), el DWCS puede ubicarse alternativamente en otros dispositivos dentro del sistema de chorro global. Por ejemplo, el DWCS puede estar integrado en el controlador del propio aparato de chorro (como parte del software/*firmware*/hardware asociado con la máquina). En este caso, el programa de movimiento se reduce y, en su lugar, la determinación de los ajustes automáticos en los parámetros de orientación del chorro se integra en el propio código del controlador. O, por ejemplo, el DWCS puede residir en un sistema informático conectado directamente al controlador. Todas estas combinaciones o permutaciones están contempladas por los métodos y sistemas de la presente invención, y las modificaciones apropiadas del DWCS descrito, tal como las especificidades del programa de movimiento y su forma, se contemplan basándose en las particularidades del sistema de chorro de fluido y el hardware y el software de control asociados.

La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de ejemplo de un sistema dinámico de control de chorro de agua. El DWCS 401 comprende un generador de programa de movimiento/núcleo 402, una interfaz de usuario 403, tal como una interfaz gráfica de usuario ("GUI, *graphical user interface*"), un módulo de diseño CAD 404, uno o más modelos de orientación o de proceso sustituibles 405, y una interfaz con el controlador 409 del aparato de chorro. El generador de programa de movimiento 402 recibe entradas desde el módulo de diseño CAD 404 y la interfaz de usuario 403 para construir un programa de movimiento que puede enviarse y ejecutarse por el controlador (el CNC) para controlar el chorro. Un experto en la técnica reconocerá que se contemplan igualmente disposiciones y combinaciones alternativas de estos componentes para su uso con técnicas de la presente invención. Por ejemplo, el módulo de diseño CAD 404 puede incorporarse en la interfaz de usuario 403. En una realización, la interfaz de usuario 403 está entrelazada con el generador de programa de movimiento 402 de manera que la interfaz de usuario 403 controla el flujo del programa y genera el programa de movimiento. En otra realización, el flujo de programa principal se segrega en un módulo de núcleo, que está separado del generador de programa de movimiento 402. Los modelos sustituibles 405 proporcionan al generador de programa de movimiento 402 acceso a conjuntos de modelos matemáticos 406, 407, 408 y 409 que se utilizan para determinar parámetros de orientación de chorro y de proceso de corte apropiados. Cada modelo matemático 406, 407, 408 y 409 comprende uno o más conjuntos de ecuaciones o tablas que se utilizan por el generador de programa de movimiento 402 para generar valores particulares para las órdenes resultantes en el programa de movimiento para producir características o comportamiento de corte deseados. Por ejemplo, en un entorno de máquina de 5 ejes, estas ecuaciones se utilizan para generar la posición x, la posición y, el valor de compensación de separación z, el ángulo de avance y el ángulo de conicidad de cada orden si resulta apropiado. Los modelos sustituibles 405 proporcionan preferiblemente modelos matemáticos múltiples y dinámicamente sustituibles. Por ejemplo, en una realización preferida, los modelos 405 incluyen un conjunto de ecuaciones para generar valores de ángulos de avance y conicidad 406; un conjunto de ecuaciones para generar valores de velocidad y aceleración 407; un conjunto de ecuaciones para generar valores de parámetros de proceso de corte modificados para cortar curvas, esquinas, etc. 408; y otros modelos 409. Los modelos matemáticos 406, 407, 408 y 409 se crean normalmente de forma experimental y están basados teóricamente en observaciones empíricas y análisis anteriores de datos de corte. En

particular, tal como se comentará en más detalle más adelante, el modelo de avance y conicidad 406 es un modelo predictivo que puede utilizarse para generar valores de ángulos de avance y conicidad para una forma arbitraria. En una realización, el DWCS también comprende una interfaz con el controlador 409, que proporciona funciones para comunicación bidireccional entre el controlador y el DWCS. Estas funciones del controlador se utilizan, por ejemplo, para visualizar la trayectoria de corte en curso mientras la pieza objetivo se está cortando a partir de la pieza de trabajo. También se utilizan para obtener valores del aparato de corte, tal como el estado actual de los dispositivos mecánicos y eléctricos anexos.

La figura 5 es un diagrama de flujo de ejemplo de etapas ejecutadas por una realización de ejemplo de un sistema dinámico de control de chorro de agua para cortar una pieza objetivo. En la etapa 501, el DWCS reúne una diversidad de datos de entrada del operario, incluyendo un diseño (una especificación de geometría) para una pieza objetivo en un formato CAD, o equivalente. Además, los requisitos del cliente para la pieza objetivo también han de especificarse y reunirse, tales como una indicación del acabado de superficie o, como a veces se denomina, una indicación de la calidad del corte. Pueden utilizarse diversas técnicas para indicar esta información al DWCS. En una realización de ejemplo, el paquete CAD permite a un operario especificar diferentes acabados de superficie para cada entidad de dibujo. Estos acabados de superficie pueden indicarse, por ejemplo, mediante una escala de velocidad porcentual; sin embargo, un experto en la técnica reconocerá que pueden utilizarse otras escalas para indicar el acabado de superficie o la calidad del corte. Por ejemplo, pueden utilizarse escalas alternativas que indiquen velocidad relativa, o indicaciones de calidad tales como “acabado basto”, “acabado medio” y “acabado liso”. La velocidad normalmente se equilibra en relación con el acabado de superficie (o calidad del corte); así, la velocidad y la calidad del acabado pueden inferirse a partir de cualquier escala que se use. Sin embargo, debe observarse que el DWCS puede soportar la producción de piezas dimensionalmente más precisas mientras se hace funcionar el aparato de chorro a velocidades más elevadas, debido a las compensaciones automáticas de los ángulos de conicidad y de avance.

En la etapa 502, el DWCS reúne parámetros de proceso, normalmente de un operario, aunque estos parámetros pueden tener valores por defecto o algunos pueden consultarse al controlador del aparato de chorro. En una realización de ejemplo, mostrada más adelante en la figura 8, el DWCS determina valores para el tipo de material que se está cortando; el grosor del material; la presión del agua; el diámetro del orificio; la velocidad del flujo de abrasivo; el tipo de abrasivo; el diámetro del tubo de mezclado; y la longitud del tubo de mezclado como parámetros de proceso.

En la etapa 503, el DWCS utiliza los parámetros de proceso de entrada para calcular automáticamente la trayectoria de desviación. La trayectoria de desviación es la trayectoria que debe seguirse cuando se corta la pieza objetivo para tener en cuenta cualquier anchura que ocupe el chorro en realidad (la anchura del corte debida al chorro). Así se evita la producción de piezas que sean más pequeñas o más grandes de lo especificado. Como las características del chorro cambian con el tiempo, por ejemplo, debido al desgaste, los parámetros de proceso del chorro deben modificarse de forma correspondiente con el fin de calcular la desviación correcta. En algunas realizaciones, la trayectoria de desviación la determina el controlador y se realizan transformaciones apropiadas de los parámetros de orientación del programa de movimiento mediante el controlador.

Las etapas 504-507 construyen un programa de movimiento mediante el almacenamiento incremental de valores de programa determinados en una estructura de datos del programa de movimiento. Preferiblemente, las entradas en la estructura de datos corresponden a instrucciones de programa de movimiento almacenadas que son ejecutables por el controlador de chorro. En la etapa 504, el DWCS determina las entidades de dibujo de componentes del diseño de la pieza objetivo mediante “segmentación” de la geometría en entidades que son apropiadas para asignar velocidades de corte. Esta etapa puede realizarse en este momento o en cualquier otro momento en el proceso, por ejemplo, utilizando sistemas de software estándar conocidos que proporcionan segmentación de diseño mediante la modificación del archivo CAD/CAM. Una vez realizada la segmentación, entonces en la etapa 505, el DWCS asigna un valor de velocidad a cada entidad de dibujo basándose en modelos de velocidad y aceleración conocidos (por ejemplo, modelo de velocidad 407 en la figura 4) y modelos de esquina conocidos (por ejemplo, modelo de esquina 408 en la figura 4), que tienen en cuenta disminuciones de velocidad que son preferidas para cortar entidades como círculos, arcos y esquinas. En la actualidad hay disponibles realizaciones de estos modelos, por ejemplo, en sistemas de corte de forma controlada FlowMaster™, fabricados actualmente por Flow International Corporation, y generalmente en la técnica se conocen equivalentes de estos modelos o modelos similares. Para los fines del DWCS, puede utilizarse cualquier modelo de velocidad y aceleración y/o modelo de esquina siempre y cuando las velocidades puedan indicarse para una entidad de dibujo en particular. En general, el modelo de velocidad y aceleración proporciona acceso a ecuaciones y pruebas que generan una escala de velocidad (por ejemplo, un porcentaje de la velocidad máxima del aparato de chorro) basándose en geometrías conocidas, tales como líneas, arcos, círculos, y las características de la máquina en particular. Por ejemplo, un experto en la técnica sabe que arcos de radio más estrecho requieren que el corte del chorro tenga lugar a velocidades más lentas que la máxima. Además, el modelo de velocidad y aceleración se utiliza para ajustar velocidades para entidades de dibujo cuando se encuentran transiciones de velocidad basándose en las características de aceleración del aparato de chorro en particular.

En la etapa 506, el DWCS determina automáticamente la inclinación y el basculamiento del cabezal de corte de chorro necesarios para conseguir los requisitos designados por el cliente mediante la determinación automática de los ángulos de conicidad y de avance utilizando modelos predictivos (por ejemplo, modelo de avance y conicidad 406 en la figura 4). Esta determinación se comentará en detalle con referencia a la figura 21. En resumen, el modelo de ángulos de conicidad y de avance genera, basándose en una serie de ecuaciones, valores óptimos para los ángulos de conicidad y de avance en cada punto final de cada entidad de dibujo en función de la velocidad del cabezal de corte en ese punto. Específicamente, si el modelo de avance y conicidad determina que un segmento de la pieza objetivo debe cortarse más despacio (por razones tales como desaceleración de la máquina o necesidad de control de acabado de superficie), entonces los ángulos de avance y conicidad se ajustan automáticamente para compensar el cambio de velocidad. Así, los ángulos de avance y conicidad se ajustan para que se correspondan automáticamente con la velocidad del corte en cada punto final y para cada segmento. Dado que la velocidad del corte para una entidad de dibujo en particular se determina previamente en función de otros diversos parámetros de proceso, por ejemplo, el grosor del material y las características del tubo de mezclado, los ángulos de conicidad y de avance son también indirectamente funciones de estos otros parámetros de proceso.

En la etapa 507, el DWCS construye el programa de movimiento final haciendo ajustes en la estructura de datos del programa de movimiento según sea necesario para el controlador de chorro particular en uso. Normalmente, los CNC y otros controladores de chorro de agua utilizan ecuaciones cinemáticas para calcular el movimiento de los motores del cabezal de corte que es necesario para producir una trayectoria deseada (es decir, para calcular el modo en que deben colocarse los motores para generar posiciones particulares de la punta de la herramienta de chorro). Preferiblemente, antes de utilizar el cabezal de corte, el operario alinea el aparato del cabezal de corte utilizando el controlador, de manera que las ecuaciones cinemáticas producen posiciones de los motores que generan el corte deseado. Algunos controladores pueden recibir programas de movimiento especificados en términos de la orientación del chorro y utilizan internamente cinemática inversa para determinar las posiciones reales de los motores a partir de las posiciones de la punta de la herramienta de chorro. Otros, sin embargo, esperan recibir las instrucciones del programa de movimiento en términos de posiciones de los motores, y no de posiciones x-y de la punta de la herramienta de chorro ni de coordenadas angulares. En este caso, cuando es preciso “traducir” las posiciones de la punta de la herramienta de chorro a posiciones de los motores, el DWCS en la etapa 507 realiza dichas traducciones utilizando ecuaciones cinemáticas y hace ajustes en los valores de los parámetros de orientación almacenados en la estructura de datos del programa de movimiento. Además, los valores de compensación de separación para el cabezal de corte de chorro se determinan utilizando ecuaciones cinemáticas y se almacenan con cada instrucción. Los valores de compensación de separación son las medidas en el “eje z” necesarias para garantizar que la punta de la herramienta de chorro permanece en una magnitud de separación concreta, centrada en la trayectoria de corte, con independencia de los ángulos de conicidad y de avance. Los valores de compensación de separación son normalmente una función de la distancia del punto de pivote de los motores de chorro con respecto a la punta de la herramienta de chorro.

En la etapa 508, el DWCS establece y/o verifica la comunicación con el controlador del aparato de chorro. En la etapa 509, el DWCS envía el programa de movimiento construido al controlador para su ejecución. Un experto en la técnica reconocerá que el término “controlador” incluye cualquier dispositivo/software/firmware capaz de dirigir el movimiento de los motores basándose en el programa de movimiento. Un experto en la técnica también reconocerá que el término “programa de movimiento” se utiliza en el presente documento para indicar un conjunto de instrucciones que el aparato de chorro y/o el controlador en particular en uso entiende. Las etapas precedentes pueden alterarse consiguientemente para dar cabida a las necesidades de cualquiera de dichas instrucciones.

Según se ha mencionado, en una realización, la interfaz de usuario del DWCS es una interfaz gráfica de usuario (“GUI”) que controla todo el proceso de corte. Las figura 6 a 17 son capturas de pantalla de ejemplo de varios aspectos de una realización de ejemplo de la interfaz de usuario del DWCS. Un experto en la técnica reconocerá que existen muchas variantes de estas capturas de pantalla, incluyendo la entrada solicitada, la salida visualizada y el flujo de control y se contempla su uso con las técnicas de la presente invención.

La figura 6 es una captura de pantalla de ejemplo de la interfaz de usuario de un módulo CAD del sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. Un operario utiliza las herramientas de diseño 604 para introducir un diseño de una pieza (parte) deseada, que incluye el orden de los segmentos que se cortarán, en el área de dibujo 601. En el área de entrada de la geometría 602, el módulo CAD recibe la entrada de la entidad de dibujo del operario para el diseño que se visualiza en el área de dibujo 601. Preferiblemente, el módulo CAD permite al operario indicar también los requisitos de acabado de superficie (o cualquier otra representación de los requisitos del cliente) para los segmentos del diseño. Los botones de especificación de la velocidad 603 se utilizan para designar los requisitos de velocidad (y con ello los requisitos de calidad de superficie) para un segmento en particular. En el módulo CAD ilustrado, el color de cada segmento (no mostrado) corresponde a un porcentaje de la velocidad máxima. Así, por ejemplo, mientras que el rectángulo se dibuja, por ejemplo, en azul, para corresponderse con el 40% de la velocidad máxima, el círculo recortado se dibuja, por ejemplo, en verde claro, para corresponderse con el 20% de la velocidad máxima. Un experto en la técnica reconocerá que puede utilizarse cualquier tipo de sistema de claves, incluyendo diferentes incrementos y designaciones que no sean el color.

La figura 7 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de introducción de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. El área de visualización de dibujo 701 contiene una vista del diseño actual de la pieza objetivo. En esta realización en particular, las líneas están codificadas por colores para corresponderse con los requisitos de acabado de superficie del cliente según se especificaron cuando se introdujo el diseño en el programa CAD. Los botones de ajuste de velocidad 707 pueden utilizarse para cambiar manualmente los ajustes de cualquier entidad de dibujo en particular. Entre otras capacidades, el diálogo de introducción proporciona acceso a opciones de configuración por medio de la selección del botón Configuración 702, que se comenta adicionalmente más adelante con respecto a la figura 8. Cuando se selecciona el botón Vista previa 703, el DWCS proporciona una vista previa simulada de la dirección y la trayectoria del cabezal de corte a lo largo del dibujo mostrado en el área de visualización de dibujo 701. Cuando se selecciona el botón Ejecutar 704, el DWCS realiza una miriada de actividades relacionadas con la construcción del programa de movimiento, del que se describe en detalle una realización en relación con las figura 20 y 21. Después de que el DWCS haya terminado de construir el programa de movimiento y de establecer la comunicación con el controlador del aparato de chorro, la interfaz de usuario del módulo de corte visualiza el diálogo de realimentación y control del controlador (el “diálogo de controlador”) para ejecutar realmente el proceso de corte. El diálogo de controlador se comenta adicionalmente más adelante en relación con las figura 14 a 17. Existen otros campos disponibles en el diálogo de introducción para ajustar y visualizar los valores de otros parámetros de proceso. Por ejemplo, los atributos del material de la pieza de trabajo pueden configurarse en cuadros de edición 705. Además, el radio de la herramienta de chorro puede configurarse en el cuadro de edición 706. El radio de la herramienta de chorro se utiliza para determinar la desviación del chorro que es necesaria para producir la trayectoria de corte objetivo. Normalmente, es necesaria una desviación para garantizar la precisión del corte debido a que el chorro en sí tiene una anchura, que no forma parte de la trayectoria de corte.

La figura 8 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de configuración de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. El diálogo de configuración 801, que soporta el ajuste de diversos parámetros de proceso, se visualiza en respuesta a la selección del botón Configuración 702 en la figura 7. Varios parámetros de proceso tales como las características de la bomba y los procedimientos con abrasivo conectado/desconectado son ajustables mediante campos del diálogo 801. Normalmente, un operario invocará el diálogo de configuración 801 antes de cortar el primer elemento de la pieza objetivo y a continuación guardará los valores para cortes posteriores.

La figura 9 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de configuración avanzada de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. El diálogo 901 de configuración avanzada se invoca cuando un operario selecciona el elemento de menú “Avanzado” en la barra de herramientas del diálogo de introducción (por ejemplo, véase la figura 7). El operario indica una longitud de herramienta y un valor de separación para el aparato del cabezal de corte. El valor de separación es la distancia desde la punta del cabezal de corte al material. La longitud de la herramienta es la longitud desde el centro del eje de rotación del cabezal de corte a la punta del cabezal de corte. Estos valores se utilizan con las ecuaciones cinemáticas para determinar las transformaciones a partir de los ángulos de avance y conicidad y los valores de compensación de separación determinados automáticamente a los valores numéricos que controlan los motores del cabezal de corte.

En el diálogo de introducción de ejemplo comentado con referencia a la figura 7, cuando el operario selecciona el botón Ejecución 704, entonces el DWCS determina si el operario ya ha indicado qué modelos utilizar (por ejemplo, uno de los modelos sustituibles 405 de la figura 4). Por ejemplo, si es la primera vez que se va a cortar la pieza objetivo, entonces el DWCS supone que el operario todavía no ha configurado los modelos y presenta un diálogo para recibir la entrada relativa a los modelos que el operario desea utilizar. Las figura 10 a 13 son capturas de pantalla de ejemplo de diálogos de configuración de modelos de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. Los diálogos de configuración de modelos proporcionan un espectro de control desde completamente manual a completamente automatizado. Por ejemplo, permiten que el operario seleccione si utilizar el modelo de avance y conicidad para determinar automáticamente los ángulos de avance y conicidad o si proporcionar valores específicos para reemplazar los ángulos de avance y conicidad para cada entidad de dibujo. Un experto en la técnica reconocerá que son posibles otras combinaciones, incluyendo la de proporcionar una parte de valores de reemplazo manuales para un método por lo demás automatizado. En una realización, se proporcionan “esquemas” o combinaciones de configuraciones de modelos por defecto.

La figura 10 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de aplicar modelos de los diálogos de configuración de modelos. El diálogo de aplicar modelos 1001 se utiliza para ajustar varios parámetros de proceso que son utilizados por los modelos. Una vez seleccionado el botón “OK” 1002, entonces el DWCS procede a construir el programa de movimiento.

La figura 11 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de seleccionar modelos de los diálogos de configuración de modelos. El operario utiliza el diálogo de seleccionar modelos 1101 para seleccionar los modelos que se utilizarán para una sesión de corte en particular. El botón de modelo “Estándar” 1102 se utiliza para

especificar qué combinaciones de los modelos sustituibles (por ejemplo, modelos 405 de la figura 4) utilizar. Preferiblemente proporciona un conjunto de modelos por defecto. El operario puede seleccionar preferiblemente uno o más de los modelos disponibles actualmente seleccionando las casillas de verificación de modelo 1103 apropiadas. Pueden añadirse opciones de diferentes versiones de estos modelos cuando existe más de uno de un tipo de modelo. Por ejemplo, pueden seleccionarse diferentes modelos de esquina en un menú desplegable (no mostrado) u otro elemento de GUI si hay disponibles más de un modelo de esquina. Seleccionando la casilla de verificación de Control de Avance y Conicidad 1105, el operario puede indicar el deseo de hacer que el DWCS determine automáticamente los ángulos de avance y conicidad.

La figura 12 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de editar esquina a medida de los diálogos de configuración de modelos. Este diálogo se visualiza por el DWCS en respuesta a la selección del botón Edición 1106 en la figura 11. El diálogo de editar esquina 1201 a medida se utiliza para controlar manualmente los cálculos de la velocidad en las esquinas. El operario puede especificar la velocidad real alrededor de la esquina, así como el modo en que debe ajustarse la segmentación de las entidades de dibujo para tener en cuenta la desaceleración y la aceleración alrededor de las esquinas.

La figura 13 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de avance y conicidad a medida de los diálogos de configuración de modelos. Utilizando el diálogo de control de avance y conicidad a medida 1301, un operario puede especificar un esquema de avance y conicidad, con valores ya determinados, por ejemplo, utilizando el campo de entrada del esquema 1302. O el operario puede especificar los valores de avance y conicidad particulares que se utilizarán con cada incremento de velocidad especificado, por ejemplo introduciendo valores en el campo 1303 de tabla de ángulos de avance y conicidad. Los incrementos de velocidad se especifican en el campo de incrementos 1304. Así, es concebible que un operario pueda especificar el avance y la conicidad para todas las velocidades que pueden aplicarse mediante el cabezal de corte utilizando un incremento del 1%.

La figura 14 es una captura de pantalla de ejemplo de un diálogo de realimentación y control del controlador de chorro de una interfaz de usuario de un módulo de corte de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. El área de visualización de corte 1401 contiene una vista de la pieza objetivo. El diálogo de realimentación y control del controlador (diálogo de controlador) presenta la información de controlador actual al operario a medida que se corta la pieza. El área de realimentación de parámetros de orientación 1402 visualiza los valores de los parámetros de orientación desde el punto de vista del controlador. Una vez que se inicia el proceso de corte, el operario puede elegir los parámetros que se visualizarán, según se comenta con referencia a las figuras 15 a 17. El operario selecciona los botones de orientación de inicio 1403 para ajustar una posición de "origen" para el plano x-y, para la dirección z (que se utiliza para la compensación de separación), y para las posiciones angulares de avance y conicidad del cabezal de corte. La posición de "inicio" puede ser o bien una posición de origen de coordenadas 0,0 del aparato de chorro, o bien cualquier posición x-y ó z ó ángulos, ajustados por el operario utilizando los botones 1403. El área de realimentación de parámetros de proceso 1406 contiene valores actuales para parámetros relacionados con la bomba y la boquilla que incluyen si se va a utilizar o no un abrasivo y si la bomba está actuando a alta o a baja presión. Para iniciar el proceso real de corte, el operario selecciona el botón de inicio de ciclo 1404. En este momento, el DWCS descarga el programa de movimiento al controlador y da instrucciones al controlador para que ejecute el programa. El botón de detención de ciclo 1405 se selecciona para detener el proceso de corte actual.

Las figuras 15 a 17 son capturas de pantalla de ejemplo de realimentación del controlador proporcionada mientras el chorro está cortando la pieza de trabajo. La figura 15 es una captura de pantalla de ejemplo que muestra la posición x-y de la ubicación actual de la punta de la herramienta de chorro con respecto a la trayectoria. En la figura 15, el área de visualización de corte 1501 muestra el corte que se está realizando de manera que el operario puede ver la posición actual (aproximada) del chorro y el progreso de la operación de corte. El área de realimentación de parámetros de orientación 1502 visualiza los valores actuales del parámetro de orientación particular seleccionado para su visualización. En la figura 15, estos valores son la posición x e y de la punta de la herramienta de chorro en relación con la posición de "inicio" del aparato de chorro.

La figura 16 es una captura de pantalla de ejemplo que muestra valores de compensación de separación del cabezal de corte. El área de visualización de corte 1601 es similar a la descrita con referencia a la figura 15. El área de realimentación de parámetros de orientación 1602 se muestra con visualización del valor de compensación de separación actual del cabezal de corte que corresponde a la ubicación actual de la punta de la herramienta de chorro. En la realización ilustrada, estos valores se dan desde el punto de vista del controlador, y por tanto reflejan las posiciones de los motores.

La figura 17 es una captura de pantalla de ejemplo que muestra los valores de compensación de avance y conicidad del cabezal de corte. El área 1701 de visualización del corte es similar a la descrita con referencia a la figura 15. El área de realimentación de parámetros de orientación 1702 se muestra con la visualización de los valores actuales de compensación de avance y conicidad del cabezal de corte con respecto a una posición neutra vertical. En la realización ilustrada, estos valores se dan desde el punto de vista del controlador (después de que se hayan aplicado las ecuaciones cinemáticas a los ángulos de avance y conicidad) , y por tanto reflejan las posiciones de los motores.

En realizaciones de ejemplo, el sistema dinámico de control de chorro de agua se implementa en un sistema informático que comprende una unidad central de procesamiento, una pantalla, una memoria y otros dispositivos de entrada/salida. Las realizaciones de ejemplo están diseñadas para funcionar en forma autónoma o en un entorno de red, como un sistema informático que está conectado a Internet, o en un entorno en el que la interfaz de usuario del DWCS está controlada de forma remota, por una red física o, por ejemplo, por una conexión inalámbrica. Además, las realizaciones de ejemplo pueden estar integradas en un controlador numérico controlado por ordenador (un dispositivo CNC) que controla directamente el chorro o en una interfaz informática del dispositivo CNC. Un experto en la técnica reconocerá que las realizaciones del DWCS pueden ponerse en práctica en otros entornos que soporten la capacidad de generar órdenes que un dispositivo controlador de chorro de agua pueda entender.

La figura 18 es un diagrama de bloques de un sistema informático de propósito general para poner en práctica realizaciones del sistema dinámico de control de chorro de agua. El sistema informático 1801 contiene una unidad central de procesamiento (CPU, *central processing unit*) 1802, una pantalla 1803, una memoria informática 1805 (memoria) u otro medio de memoria legible por ordenador, y otros dispositivos de entrada/salida 1804. Los componentes del DWCS 1806 residen normalmente en la memoria 1805 y se ejecutan en la CPU 1802. Según se describe en la figura 4, el DWCS 1806 comprende varios componentes, incluida una interfaz 1807 de usuario, un módulo CAD 1808 (si no forma parte de la interfaz 1807 de usuario), un generador de programa de movimiento/núcleo de DWCS 1809, uno o más modelos sustituibles 1810 y una interfaz de controlador 1811. Estos componentes se muestran como residentes en la memoria 1805. Otros programas 1810 residen también en la memoria 1805.

El experto en la técnica reconocerá que los DWCS a modo de ejemplo pueden implementarse como uno o más módulos de código y pueden implementarse en un entorno distribuido en el que los diversos programas mostrados como residentes actualmente en la memoria 1805 se distribuyen en cambio entre varios sistemas informáticos. Por ejemplo, los modelos sustituibles 1810, que contienen preferiblemente el modelo de avance y conicidad, el modelo de velocidad y aceleración, el modelo de esquina y otros modelos, pueden cada uno o en cualquier combinación residir en un sistema informático diferente al sistema informático en el que residen el generador de programa de movimiento 1809 y/o la interfaz de usuario 1807 o en el que reside el módulo CAD 1808. Asimismo, según se comentó anteriormente con respecto a la figura 3, uno o más de estos componentes pueden residir y ejecutarse en un ordenador asociado con el controlador del aparato de chorro o en una tarjeta de controlador. En una realización, el DWCS se implementa utilizando un entorno de programación orientado a objetos tal como el lenguaje de programación C++ y los modelos sustituibles de orientación y de proceso se implementan como diferentes tipos de objetos o clases.

La figura 19 es un diseño de pieza objetivo de ejemplo, que se utiliza para ilustrar el modo en el que el sistema dinámico de control de chorro de agua automatiza la determinación de los parámetros de orientación y de proceso de corte. La figura 19 muestra una forma rectangular, que va a cortarse desde el punto marcado como "Principio" avanzando en sentido antihorario hasta el punto marcado como "Final". El diseño muestra cuatro entidades geométricas (líneas) marcadas como "a", "b", "c" y "d". Cuando se corta, el aparato de chorro avanzará en orden alrededor de las esquinas marcadas como A, B y C. Al final del corte, el chorro llegará al punto marcado como "Final". Con fines de ilustración, la siguiente descripción supone que el operario ha comunicado su deseo de cortar la entidad "a" a una velocidad alta (acabado de superficie basto) y las restantes entidades "b", "c" y "d" lentamente (acabado de superficie liso). También, la descripción supone que no se requiere desviación de la pieza para tener en cuenta la anchura del corte producido por el chorro.

Tal como se comentó con referencia a la interfaz de usuario mostrada en la figura 7, cuando un operario selecciona el botón "Ejecución" desde el diálogo de introducción del módulo de corte de la interfaz de usuario (véase, por ejemplo, el botón 704), el DWCS inicia el proceso automatizado de determinación de los parámetros de orientación. La figura 20 es un diagrama de flujo de ejemplo del proceso automatizado de determinación de los parámetros de orientación de un sistema dinámico de control de chorro de agua de ejemplo. En la etapa 2001, el DWCS determina si es la primera vez que el software se ha ejecutado para cortar esta pieza objetivo o si ha cambiado algún parámetro (de proceso) de entrada, y, en caso afirmativo, continúa en la etapa 2002, en caso contrario continúa en la etapa 2003. En la etapa 2002, el DWCS visualiza los diálogos de preferencia de modelos (véase, por ejemplo, las figuras 10 a 13) y obtiene información del operario en relación con los modelos y/o los valores de reemplazo que desea el operario. Por ejemplo, un operario puede utilizar estos diálogos de preferencia de modelos para reemplazar el valor porcentual de velocidad para esquinas aun cuando otros parámetros puedan ser elegidos automáticamente por el sistema, por ejemplo los ángulos de avance y conicidad. En la etapa 2003, el DWCS invoca una rutina de construcción de estructura de datos del programa de movimiento para consultar en los diversos modelos los valores de los parámetros de orientación y de proceso. En la etapa 2004, el DWCS configura o verifica que se ha establecido una sesión de comunicación con el controlador de chorro. En la etapa 2005, el DWCS visualiza el diálogo de controlador (por ejemplo, véase la figura 14), y vuelve a esperar más instrucciones del operario.

La figura 21 es un diagrama de flujo de ejemplo de las etapas ejecutadas por el sistema dinámico de control de chorro de agua para construir una estructura de datos del programa de movimiento. El DWCS examina la geometría que se recibió para la pieza deseada y determina automáticamente, utilizando los modelos y los valores de los

parámetros de proceso de corte reemplazados indicados por el operario, las velocidades y la orientación del chorro que se utilizará para cortar la pieza según los requisitos especificados por el cliente. Estos valores se almacenan en una estructura de datos que forma el programa de movimiento cuando está completa. Un experto en la técnica reconocerá que puede utilizarse cualquier estructura de datos apropiada, incluyendo una simple matriz o tabla, para almacenar los datos del programa de movimiento.

Específicamente, en la etapa 2101, el DWCS segmenta la entrada CAD en entidades de dibujo. Según se ha indicado anteriormente, esta etapa se ejecuta utilizando técnicas bien conocidas en la industria y/o programas estándar. En la etapa 2102, el DWCS determina las velocidades de corte que se utilizarán para cada entidad de dibujo consultando el modelo de velocidad de corte y aceleración. El modelo puede implementarse como una serie de funciones (ecuaciones) que pueden llamarse o puede implementarse como una simple tabla de búsqueda basándose en el tipo de entidad de dibujo, las restricciones o requisitos del aparato de chorro y diversos valores de los parámetros de proceso. En cualquier caso, pueden utilizarse modelos de velocidad y aceleración externos en conjunción con el modelo de avance y conicidad descrito en el presente documento. Preferiblemente, cualquier modelo utilizado produce la velocidad de corte más rápida alcanzable para los parámetros de proceso dados (la "velocidad de separación"). Para un aparato de chorro y un DWCS dados, el modelo de velocidad especifica una relación que relaciona requisitos del cliente "lentos" y "rápidos" con alguna velocidad dada. Por ejemplo, en una realización de ejemplo, se considera que un corte rápido es al 100% mientras que un corte lento es normalmente al 20%. Otras realizaciones se refieren a "rápido" y "lento" en una escala deslizando, por ejemplo, de 1 a 10. Con fines de ilustración, esta exposición indica rápido como una velocidad del 100%.

Una vez determinada la velocidad rápida (100%), el DWCS puede asignar valores porcentuales de velocidad a otras velocidades requeridas. Por ejemplo, si el modelo de velocidad invocado por el DWCS devuelve un valor de 10 pulgadas por minuto (in/min) para la velocidad del 100%, entonces, cuando el modelo especifica que una segunda entidad debe cortarse a 1 in/min, el DWCS determina que la segunda entidad debe cortarse a una velocidad del 10%, ya que 1 in/min es la décima parte de 10 in/min.

En referencia de nuevo a los ejemplos mostrados en la figura 19, la entidad geométrica "a" debe cortarse a velocidad rápida, por tanto a la velocidad del 100%. Como el operario especificó una velocidad lenta para las restantes entidades, con fines de ilustración, a estas entidades se les asignará un valor de velocidad del 20%. Los valores de la estructura de datos del programa de movimiento que corresponden al diseño de la figura 19 en este punto serán similares a los mostrados en la tabla 1.

Característica	Velocidad porcentual
Principio	0
Primer lado a	100
Esquina A	
Segundo lado b	20
Esquina B	
Tercer lado c	20
Esquina C	
Cuarto lado d	20
Final	0

Tabla 1

Una vez calculadas las velocidades de corte para las entidades geométricas de la pieza diseñada, a continuación en la etapa 2103, el DWCS verifica las restricciones de velocidad en cada esquina, si hay esquinas presentes. Por ejemplo, al igual que un conductor frena el coche al tomar una curva, el cabezal de corte de chorro también debe ralentizarse. La velocidad a la que debe ralentizarse el cabezal de corte para una esquina en particular se determina mediante una entrada del operario o utilizando las ecuaciones matemáticas de un modelo de control de esquina, tal como el modelo de esquina 408 de la figura 4.

Una vez determinadas las velocidades de esquina, se hacen corresponder todas las velocidades con sus entidades geométricas respectivas. Los valores de la estructura de datos del programa de movimiento que corresponden al diseño de la figura 19 en este punto serán similares a los mostrados en la tabla 2.

Característica	Velocidad porcentual
Principio	0
Primer lado a	100
Esquina A	10
Segundo lado b	20
Esquina B	10
Tercer lado c	20
Esquina C	10
Cuarto lado d	20
Final	0

Tabla 2

En la etapa 2104, el DWCS determina el modo en que se efectúa la transición de velocidad entre cada entidad de dibujo del diseño. Por ejemplo, en referencia a la figura 19 y la tabla 2, para cumplir con las restricciones de aceleración del proceso o la máquina, el cabezal de corte puede necesitar 0,5 in para aumentar de una velocidad del 0% en el “Principio” a la velocidad del 100% del primer lado (entidad “a”). Tales transiciones las calcula el DWCS para todas las entidades geométricas y se basan en las características del aparato de chorro y el tipo de entidad entre otros parámetros de proceso.

Las transiciones de velocidad pueden efectuarse ajustando los parámetros de aceleración en el controlador o “descomponiendo” el diseño CAD original en segmentos más pequeños. A continuación el DWCS asigna a cada uno de estos segmentos un cambio incremental de velocidad que produce la transición de velocidad requerida. En una realización de ejemplo, la técnica de descomposición en segmentos se utiliza a menudo.

En este punto, la estructura de datos del programa de movimiento incluye la ubicación x-y de cada entidad o característica y la velocidad asignada a cada entidad.

En las etapas 2105 y 2106, el DWCS utiliza el modelo de avance y conicidad para determinar el ángulo de avance y de conicidad de cada punto final. Un principio subyacente del modelo consiste en hacer corresponder los ángulos de avance y conicidad con la velocidad de corte de manera que el chorro pueda acelerarse a través de la pieza objetivo con un borde recto resultante. Además, las técnicas empleadas por el modelo son preferiblemente lo suficientemente generales para soportar la determinación de ángulos de avance y conicidad para un diseño geométrico arbitrario, y no sólo para diseños para los que se hayan realizado pruebas anteriores. Asimismo, las técnicas descritas más adelante ilustran ángulos de avance y conicidad como funciones de la velocidad. Un experto en la técnica reconocerá que, como los valores de velocidad son en sí mismos funciones de otros parámetros de proceso, pueden utilizarse técnicas equivalentes que caractericen el avance y la conicidad en lugar de como funciones de estos otros parámetros de proceso.

El modelo de avance y conicidad puede implementarse como un objeto (o clase) con al menos un método, por ejemplo, un método “getLTAngle”. En una realización, el método recibe tres parámetros de entrada: la velocidad de corte, el ángulo de una tangente a la trayectoria (en el punto de consulta) y una indicación de la dirección de desviación. El método getLTAngle incluye varias técnicas (por ejemplo, familias de ecuaciones o tablas de búsqueda) para determinar los ángulos de avance y conicidad, basándose en diferentes valores para los parámetros de proceso del cabezal de corte. Además, el método getLTAngle incorpora el denominado ángulo de tangente para ayudar a definir transiciones más suaves en casos en los que intersecan dos líneas rectas, por ejemplo, en esquinas. El denominado ángulo de tangente en la intersección/esquina es preferiblemente un promedio de las tangentes de cada línea de intersección. El modelo utiliza este ángulo de tangente para determinar los ángulos de avance y conicidad en intersecciones que darán lugar a transiciones más suaves del movimiento del cabezal de corte.

Específicamente, en la etapa 2105, el DWCS utiliza el modelo de avance y conicidad y la estructura de datos del programa de movimiento compilados hasta ahora para determinar el ángulo de avance para cada punto final de entidad. En primer lugar, el modelo determina la longitud del arrastre. Una forma de ecuación para determinar la longitud del arrastre es la siguiente:

$$d = U\% * \frac{((0,1445 * t) + 0,0539)}{100} \quad (1)$$

en la que d es la longitud de arrastre (por ejemplo, en pulgadas) , U% es la velocidad porcentual asignada a la entidad y t es el grosor del material (por ejemplo, en pulgadas) . Los coeficientes de la ecuación 1 variarán dependiendo del intervalo de grosor del material pero ésta es la forma general de una ecuación que puede utilizar el modelo de avance y conicidad.

Una vez determinada la longitud de arrastre, el modelo determina a continuación el ángulo de avance θ_L (por ejemplo, en grados) mediante la ecuación:

$$\theta_L = \arctan\left(\frac{d}{t}\right) \quad (2)$$

en la que d y t son de nuevo la longitud de arrastre y el grosor del material, respectivamente. Pueden aplicarse varios factores de ajuste a escala a la ecuación 2 para materiales de menos de 0,25 in de grosor. Una vez determinado el ángulo de avance para cada punto final, se almacena por el DWCS en la estructura de datos del programa de movimiento.

Un experto en la técnica reconocerá que pueden utilizarse otras ecuaciones de la forma general de las ecuaciones 1 y 2 para determinar el ángulo de avance e incorporarse en el modelo de avance y conicidad. Cualquier forma de ecuación que evalúe los mismos valores o similares para grosores dados del material (incluyendo también una tabla de búsqueda de valores discretos) funcionará con los métodos y sistemas de la presente invención. En la práctica, habrá una familia de ecuaciones en la forma general mostrada que cubrirán diversos grosores del material. El DWCS determina preferiblemente qué familia de ecuaciones utilizar a partir del modelo basándose en los parámetros de proceso recibidos. Básicamente, puede utilizarse cualquier técnica para proporcionar un valor de ángulo de avance para una geometría arbitraria al implementar el modelo de avance y conicidad del DWCS.

En la etapa 2106, el DWCS utiliza el modelo de avance y conicidad y la estructura de datos del programa de movimiento compilados hasta ahora para determinar el ángulo de conicidad para cada punto final de la entidad. En primer lugar, el modelo determina la anchura W_t (por ejemplo, en pulgadas) en la parte superior (el punto de entrada) del corte utilizando una ecuación similar a:

$$W_t = 0,04628 - (0,00015 * U\%) + (0,00125 * t) + (9,06033E - 07 * U\%^2) \quad (3)$$

en la que U% es la velocidad porcentual asignada a la entidad y t es el grosor del material. A continuación, el modelo determina la anchura W_b (por ejemplo, en pulgadas) en la parte inferior (el punto de salida) del corte utilizando una ecuación similar a:

$$W_b = \frac{1}{(20,391548 + (0,434775 * U\%) - (4,650149 * t))} \quad (4)$$

Obsérvese que los coeficientes de las ecuaciones 3 y 4 variarán dependiendo de los valores de los parámetros de proceso tales como la velocidad del flujo de abrasivo, la longitud del tubo de mezclado, el material, etc. Las ecuaciones 3 y 4 pueden expresarse más generalmente como un polinomio de la forma:

$$W_t = (d * U\%^2) - (b * U\%) + (c * t) + a \quad (4a)$$

en la que los coeficientes a, b, c y d se determinan teóricamente, experimentalmente o mediante una combinación de ambas formas. Un experto en la técnica reconocerá que pueden añadirse términos adicionales y que pueden utilizarse otras ecuaciones de la forma general de la ecuación 4a para determinar el ángulo de conicidad e incorporarse en el modelo de avance y conicidad. Cualquier forma de ecuación que evalúe los mismos valores para los parámetros de proceso dados (incluyendo también una tabla de búsqueda de valores discretos) funcionará con los métodos y sistemas de la presente invención.

Una vez determinadas la anchura superior y la anchura inferior, el modelo devuelve el ángulo de conicidad θ_T (por ejemplo, en grados) utilizando una ecuación de la forma:

$$\theta_T = \arctan\left(\frac{(0,5 * (W_t - W_b))}{t}\right) \quad (5)$$

Básicamente, puede utilizarse cualquier técnica para proporcionar un valor de ángulo de conicidad para una

geometría arbitraria implementando el modelo de avance y conicidad del DWCS.

En la etapa 2107, el DWCS ajusta opcionalmente a escala los valores para avance y conicidad dependiendo de diversas entradas del operario. Por ejemplo, a velocidades muy altas (y dependiendo de las características del cabezal de corte), las correcciones del ángulo de avance pueden no tener ningún efecto práctico. En tal situación, el DWCS puede ajustar a escala los valores de ángulo de avance determinados por el modelo multiplicándolos por 0.

En este punto, la estructura de datos del programa de movimiento contiene todas las entidades geométricas, velocidades de corte y compensaciones de ángulos deseadas. En la etapa 2108, estos datos se convierten en instrucciones de un programa de movimiento. En una realización, el DWCS utiliza ecuaciones cinemáticas inversas para determinar las posiciones combinadas de los motores que hacen avanzar la punta de la herramienta siguiendo la trayectoria deseada con los ángulos apropiados según se especifica en la estructura de datos. (Si existen arcos en el diseño, esta técnica requiere normalmente que los arcos se conviertan en segmentos lineales antes de aplicar las ecuaciones cinemáticas inversas). El programa de movimiento resultante está en una forma "compleja" en la que los ángulos de avance y conicidad están implícitos en el programa. La interfaz de usuario de ejemplo descrita anteriormente con referencia a las figura 7 a 17 corresponde a esta realización.

En otra realización de la figura 21, las cinemáticas inversas son ejecutadas por la tarjeta de controlador después de descargar el programa de movimiento. (No es preciso convertir los arcos en líneas). El programa de movimiento es más simple y tiene valores de avance y conicidad explícitos (y visibles) que son leídos por la tarjeta de controlador y pueden visualizarse en un diálogo de controlador correspondiente para fines de realimentación.

En otra realización de la figura 21, el DWCS no ejecuta una o más de las etapas de segmentación del diseño (etapa 2101), o las otras etapas de asignación de valores de velocidad y ángulo a subentidades de la geometría. En su lugar, se descargan los diversos modelos en el propio controlador. A medida que el controlador ejecuta la trayectoria x-y del dibujo, el controlador consulta internamente los modelos integrados, tales como el modelo de velocidad y aceleración y el modelo de esquina, para determinar la siguiente velocidad cuando detecta y encuentra una nueva entidad geométrica. El controlador también ajusta dinámicamente el avance y la conicidad del cabezal de corte en respuesta a la realimentación de velocidad con respecto a la ubicación actual y a la ubicación inminente determinando valores apropiados a partir de un modelo de avance y conicidad integrado. Así, se proporciona un tipo de "anticipación". Tal como se comentó con referencia a la figura 14, una vez que visualizada la pantalla de realimentación y control del controlador, un operario selecciona preferiblemente el botón de inicio de ciclo (véase, por ejemplo, botón 1404) para hacer que el aparato de chorro empiece realmente a cortar la pieza de trabajo. La figura 22 es un diagrama de flujo de ejemplo de las etapas ejecutadas por el sistema dinámico de control de chorro de agua para iniciar el ciclo de corte. En la etapa 2201, el DWCS descarga el programa de movimiento al controlador (por ejemplo, ordenador o tarjeta de controlador). En la etapa 2202, el DWCS envía una instrucción al controlador para indicar que el controlador debe iniciar la ejecución del programa de movimiento, y después vuelve. A medida que el controlador avanza a través del programa de movimiento, efectúa transiciones suaves entre todos los ángulos y velocidades.

El alcance de la presente invención estará determinado por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar un sistema informático para controlar un aparato de chorro (320) para cortar a lo largo de una trayectoria de corte designada de un material para producir una pieza objetivo que tiene una especificación geométrica, teniendo al aparato de chorro (320) un cabezal de corte y una pluralidad de parámetros de proceso modificables;
5
caracterizado por
recuperar una representación de un modelo de datos predictivo (405) que modela los efectos de valores de al menos una característica de orientación del cabezal de corte sobre un corte producido utilizando esos valores;
10
determinar automáticamente y dinámicamente (506) una pluralidad de valores para la al menos una característica de orientación a partir de la representación del modelo de datos (405) recuperada, según valores de los parámetros de proceso; y
15
utilizar la pluralidad de valores determinados para la al menos una característica de orientación para controlar el aparato de chorro (320) para cortar siguiendo la trayectoria designada para producir la pieza objetivo.
2. Método según la reivindicación 1, comprendiendo la especificación geométrica
una pluralidad de entidades geométricas, en el que la determinación automática de la pluralidad de valores comprende además, para cada entidad:
determinar una velocidad que corresponde a una entidad geométrica; y
20
utilizar la representación recuperada del modelo de datos predictivo (405) para determinar automáticamente un valor para la característica de orientación según la velocidad determinada.
3. Método según la reivindicación 2, en el que la determinación automática del valor para la característica de orientación según la velocidad determinada determina también el valor según los valores de los parámetros de proceso.
- 25 4. Método según la reivindicación 2, en el que dos de las entidades geométricas se ordenan en sucesión y tienen velocidades correspondientes diferentes, indicando por tanto una de una aceleración y una desaceleración del aparato de chorro (320).
5. Método según la reivindicación 1, en el que las etapas se realizan mediante un controlador del aparato de chorro (320).
- 30 6. Método según la reivindicación 1, en el que la utilización de los valores determinados para controlar el aparato de chorro (320) comprende además:
generar un programa de movimiento para controlar el aparato de chorro (320), indicando el programa de movimiento la pluralidad de valores determinados para la característica de orientación; y
35
ejecutar el programa de movimiento para hacer que el aparato de chorro (320) corte a lo largo de la trayectoria deseada.
7. Método según la reivindicación 1, en el que la característica de orientación es un ángulo de avance de una corriente de chorro del cabezal de corte relativo al material.
8. Método según la reivindicación 1, en el que la característica de orientación es un ángulo de conicidad de una corriente de chorro del cabezal de corte relativo al material.
- 40 9. Método según la reivindicación 1, en el que la representación del modelo de datos predictivo (405) es una función programada que devuelve valores basándose en la evaluación de una ecuación matemática.
10. Método según la reivindicación 9, en el que la ecuación matemática es una ecuación expresada en función de la velocidad.
- 45 11. Método según la reivindicación 10, teniendo la ecuación coeficientes, en el que los valores de los coeficientes se basan en valores de los parámetros de proceso.
12. Método según la reivindicación 10, teniendo la ecuación coeficientes, en el que los valores de los coeficientes varían con el grosor del material.

13. Método según la reivindicación 10, en el que la ecuación es una ecuación polinómica.
14. Método según la reivindicación 1, en el que la representación del modelo de datos predictivo (405) es una tabla de búsqueda de valores discretos y la determinación automática de la pluralidad de valores determina valores que se derivan de los valores discretos.
- 5 15. Medio de memoria legible por ordenador, que contiene instrucciones que controlan un procesador de ordenador para controlar un aparato de chorro (320) para cortar a lo largo de una trayectoria de corte designada de un material para producir una pieza objetivo que tiene una especificación geométrica, teniendo el aparato de chorro (320) un cabezal de corte y una pluralidad de parámetros de proceso modificables, caracterizado por:

10 recuperar una representación de un modelo de datos predictivo (405) que modela los efectos de valores de al menos una característica de orientación del cabezal de corte sobre un corte producido utilizando esos valores;

15 determinar automáticamente y dinámicamente (506) una pluralidad de valores para la al menos una característica de orientación a partir de la representación del modelo de datos (405) recuperada, según valores de los parámetros de proceso; y

utilizar la pluralidad de valores determinados para la al menos una característica de orientación para controlar el aparato de chorro (320) para cortar a lo largo de la trayectoria designada para producir la pieza objetivo.
- 20 16. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, comprendiendo la especificación geométrica una pluralidad de entidades geométricas, en el que la determinación automática de la pluralidad de valores comprende además, para cada entidad:

determinar una velocidad que corresponde a una entidad geométrica; y

utilizar la representación recuperada del modelo de datos predictivo (405) para determinar automáticamente un valor para la característica de orientación según la velocidad determinada.
- 25 17. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 16, en el que la determinación automática del valor para la característica de orientación según la velocidad determinada determina también el valor según los valores de los parámetros de proceso.
- 30 18. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 16, en el que dos de las entidades geométricas se ordenan en sucesión y tienen velocidades correspondientes diferentes, indicando de este modo una de una aceleración y una desaceleración del aparato de chorro (320).
19. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, en el que las etapas se realizan mediante un controlador del aparato de chorro (320).
20. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, en el que la utilización de los valores determinados para controlar el aparato de chorro (320) comprende además:

35 generar un programa de movimiento para controlar el aparato de chorro (320), indicando el programa de movimiento la pluralidad de valores determinados para la característica de orientación; y

ejecutar el programa de movimiento para hacer que el aparato de chorro (320) corte a lo largo de la trayectoria deseada.
- 40 21. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, en el que la característica de orientación es un ángulo de avance de una corriente de chorro del cabezal de corte relativo al material.
22. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, en el que la característica de orientación es un ángulo de conicidad de una corriente de chorro del cabezal de corte relativo al material.
23. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, en el que la representación del modelo de datos predictivo (405) es una función programada que devuelve valores basándose en la evaluación de una ecuación matemática.
- 45 24. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 23, en el que la ecuación matemática es una ecuación expresada como una función de la velocidad.
25. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 24, teniendo la ecuación coeficientes, en el que los valores de los coeficientes se basan en valores de los parámetros de proceso.

26. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 24, teniendo la ecuación coeficientes, en el que los valores de los coeficientes varían con el grosor del material.
27. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 24, en el que la ecuación es una ecuación polinómica.
- 5 28. Medio de memoria legible por ordenador según la reivindicación 15, en el que la representación del modelo de datos predictivo (405) es una tabla de búsqueda de valores discretos y la determinación automática de la pluralidad de valores determina valores que se derivan de los valores discretos.
- 10 29. Sistema de control del aparato de chorro (320) de fluido para controlar un cabezal de corte de un aparato de chorro (320) de fluido para cortar siguiendo una trayectoria de corte designada para producir una pieza objetivo,
caracterizado por
una memoria (1805) que contiene un modelo de datos predictivo (1810) de los efectos de los valores de una característica de orientación del cabezal de corte sobre un corte producido utilizando esos valores; y
una interfaz de control del cabezal de corte que
15 recupera el modelo de datos predictivo (1810) de la memoria (1805);
determina automáticamente una pluralidad de valores para la característica de orientación a partir del modelo de datos (1810) recuperado según la trayectoria de corte designada; y
utiliza la pluralidad de valores determinados para la característica de orientación para controlar el
20 cabezal de corte del aparato de chorro (320) para cortar a lo largo de la trayectoria designada para producir la pieza objetivo.
30. Sistema de control según la reivindicación 29, en el que la trayectoria de corte designada comprende segmentos, y en el que la interfaz de control del cabezal de corte determina automáticamente la pluralidad de valores para la característica de orientación por:
para cada segmento,
25 determinar una velocidad de corte deseada que corresponde al segmento; y
utilizar el modelo de datos (1810) recuperado para determinar automáticamente un valor para la característica de orientación que corresponde a la velocidad de corte deseada.
- 30 31. Sistema de control según la reivindicación 29, en el que la interfaz de control del cabezal de corte utiliza la pluralidad de valores determinados de la característica de orientación para controlar el corte generando instrucciones de movimiento que hacen que el cabezal de corte corte siguiendo la trayectoria designada.
32. Sistema de control según la reivindicación 29, en el que la característica de orientación es un ángulo de avance de una corriente de chorro del cabezal de corte.
33. Sistema de control según la reivindicación 29, en el que la característica de orientación es un ángulo de conicidad de una corriente de chorro del cabezal de corte.
- 35 34. Sistema de control según la reivindicación 29, en el que el modelo de datos predictivo (405) es una estructura de datos que tiene un código de programa que devuelve valores de la característica de orientación.
35. Sistema de control según la reivindicación 34, en el que el código de programa calcula valores basándose en una ecuación que indica valores de orientación en función de la velocidad.
- 40 36. Sistema de control según la reivindicación 35, teniendo la ecuación un coeficiente, en el que un valor del coeficiente se basa en un valor de un parámetro de proceso.
37. Sistema de control según la reivindicación 35, en el que la ecuación es una ecuación polinómica.
38. Sistema de control según la reivindicación 29, en el que el modelo de datos predictivo (1810) es una estructura de datos que representa una tabla de búsqueda de valores discretos.
- 45 39. Sistema de control según una de las reivindicaciones 29 a 38, en el que el sistema de control es un controlador.

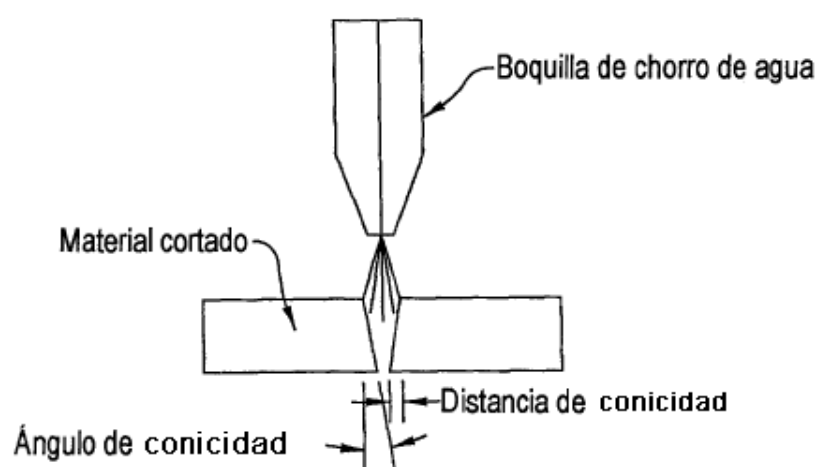


Fig. 1

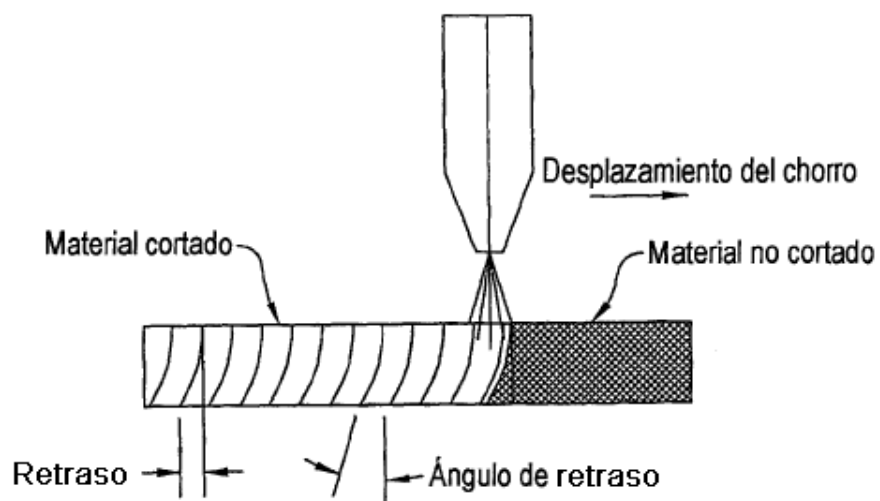


Fig. 2

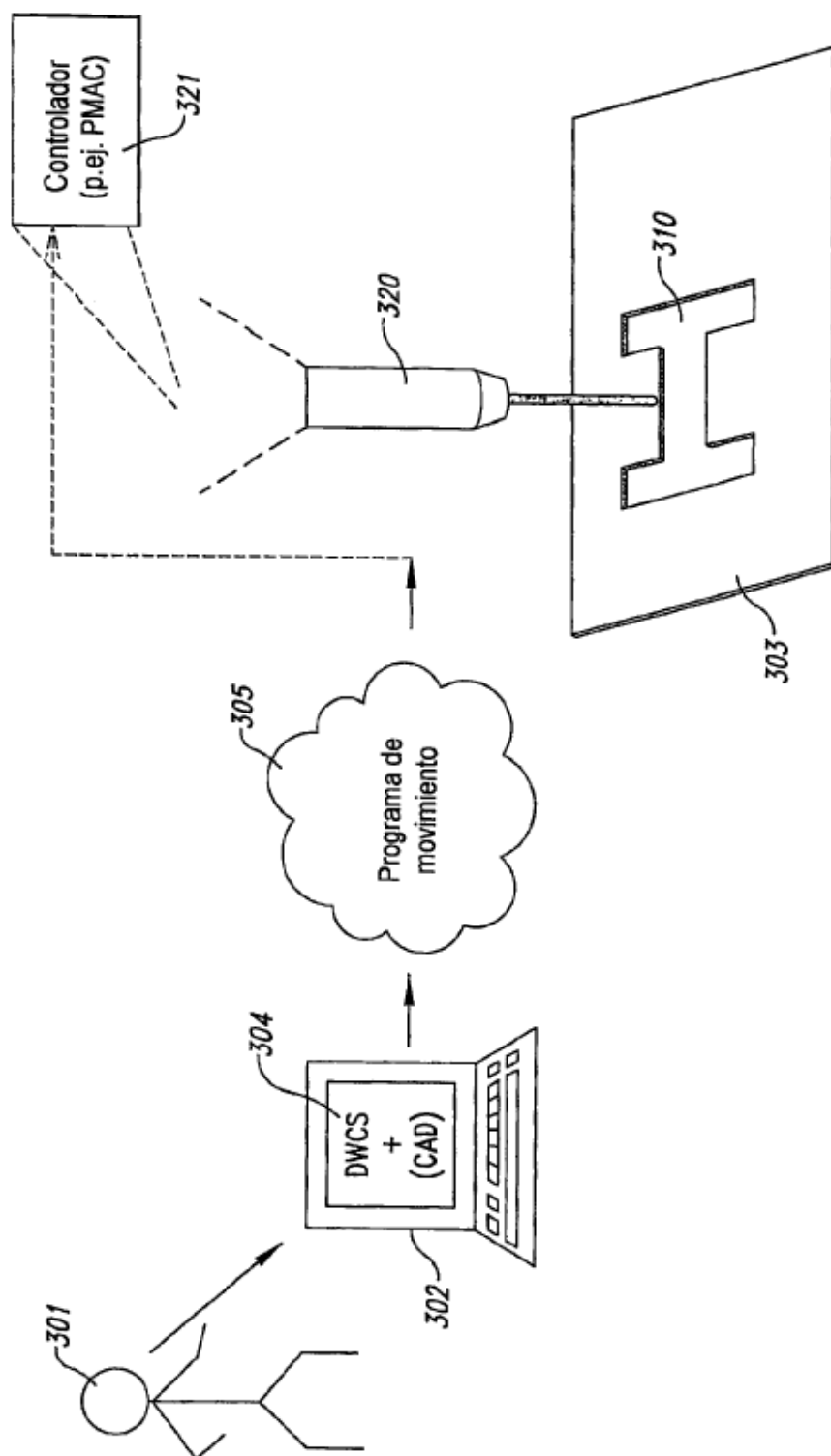


Fig. 3

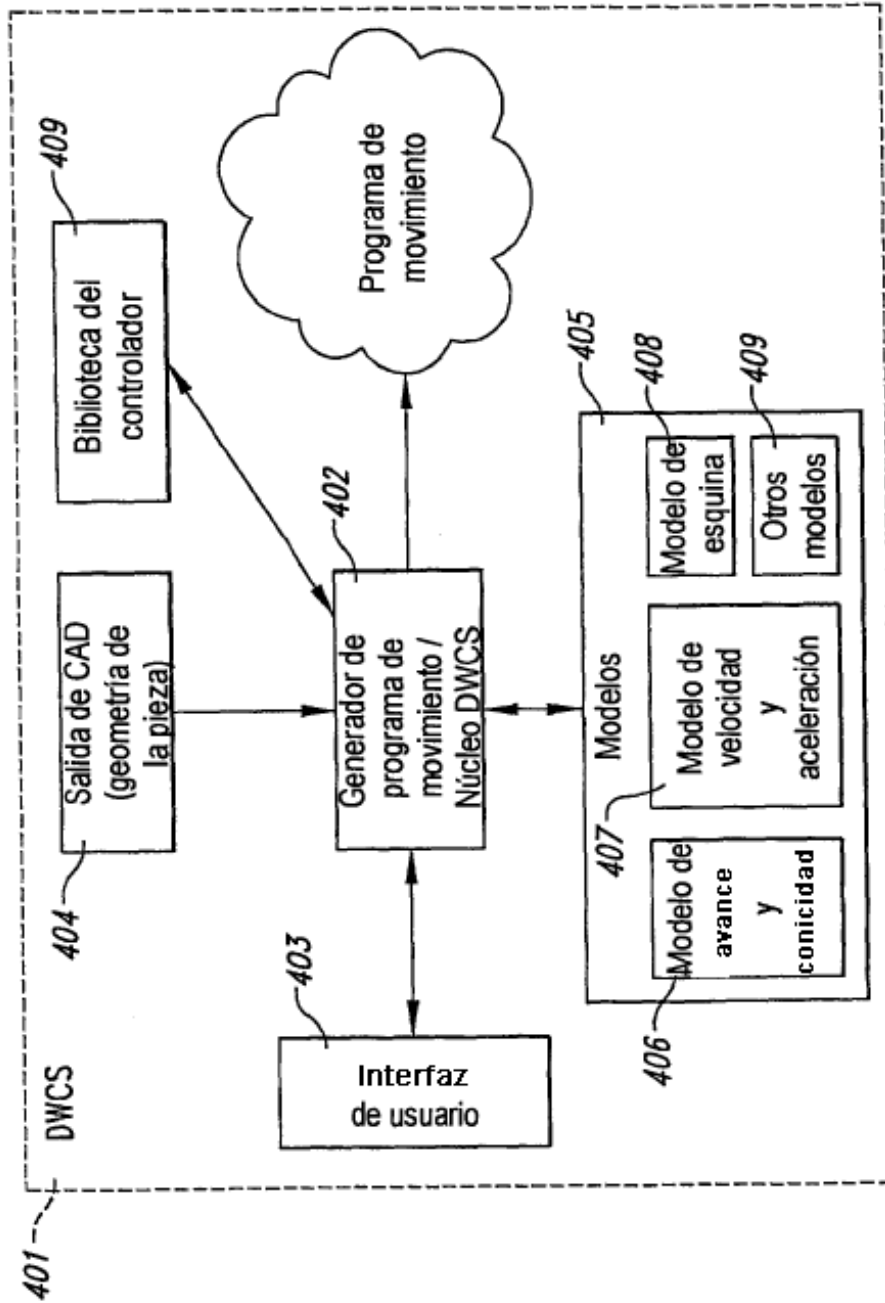


Fig. 4

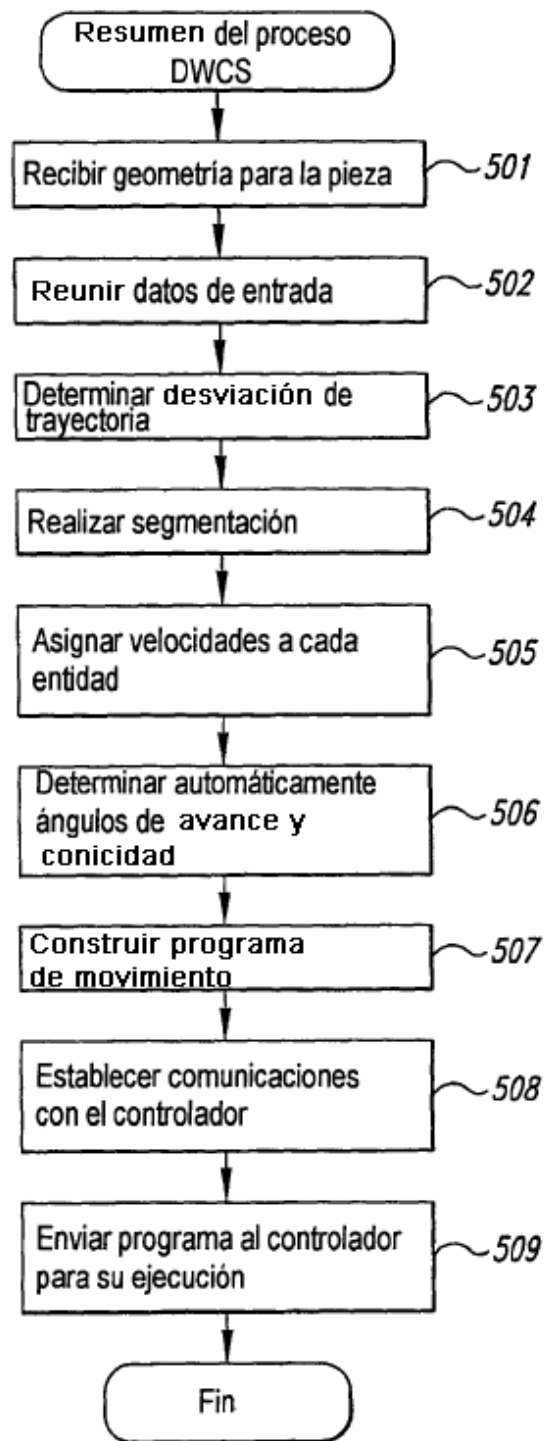


Fig. 5

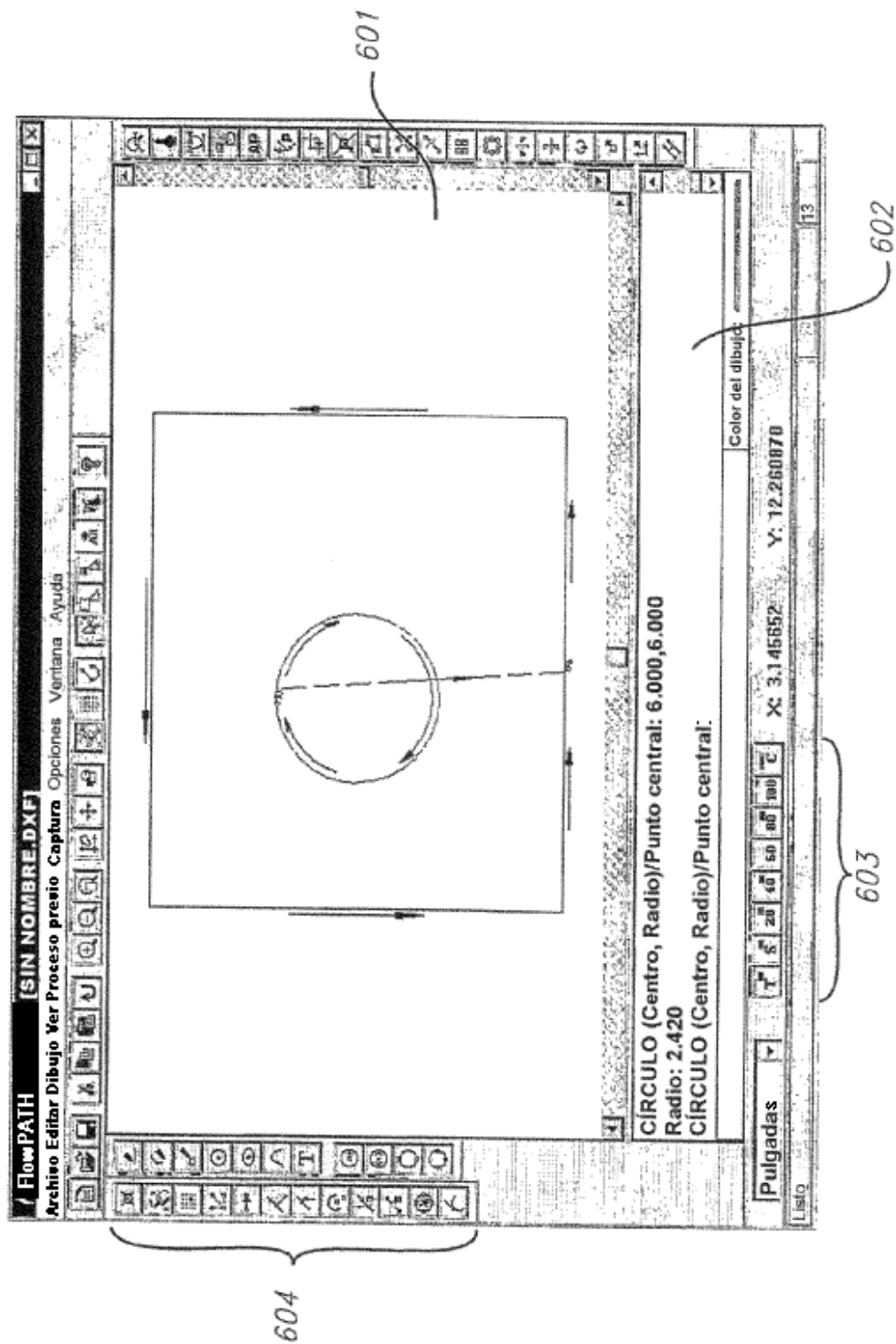


Fig. 6

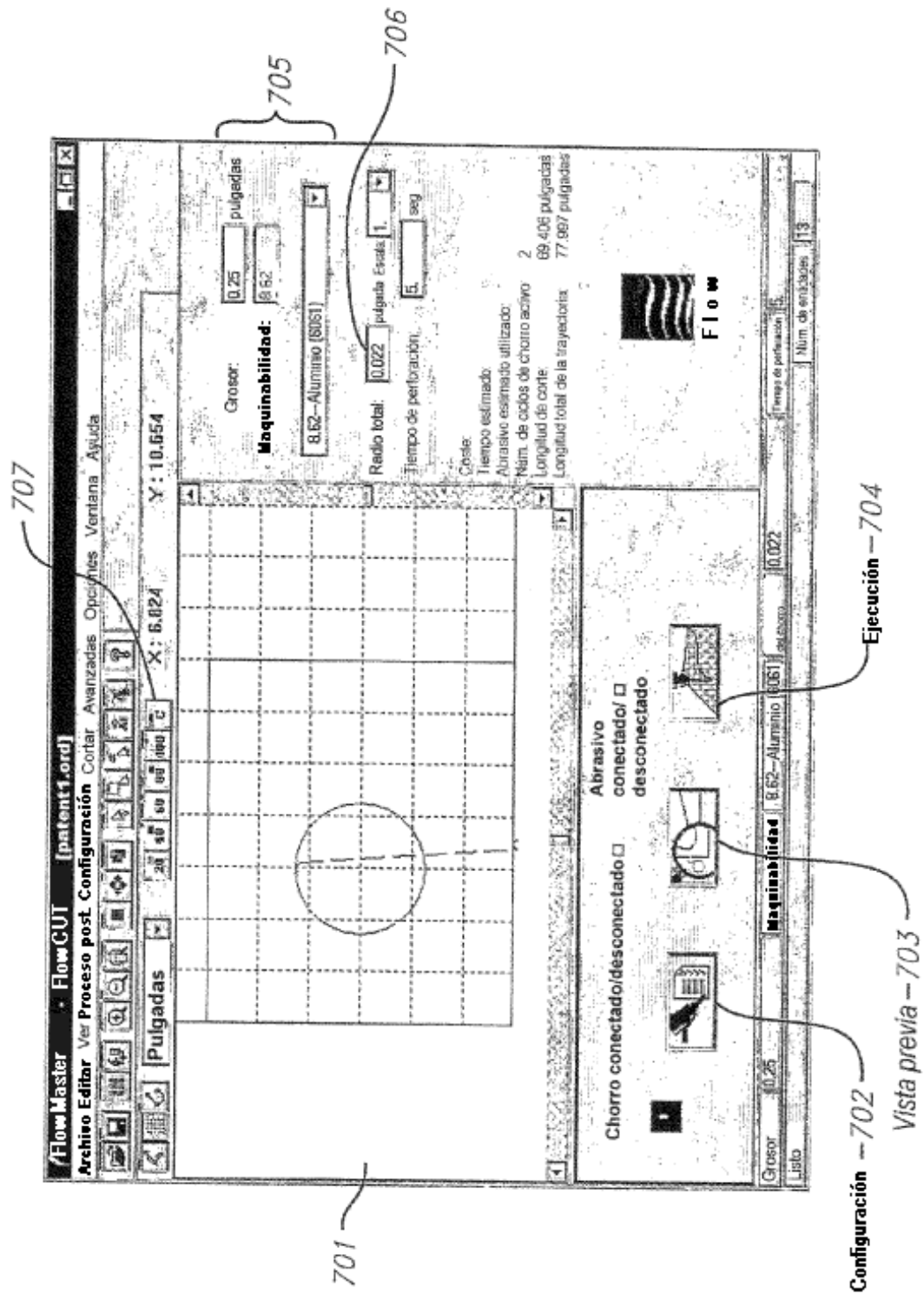


Fig. 7

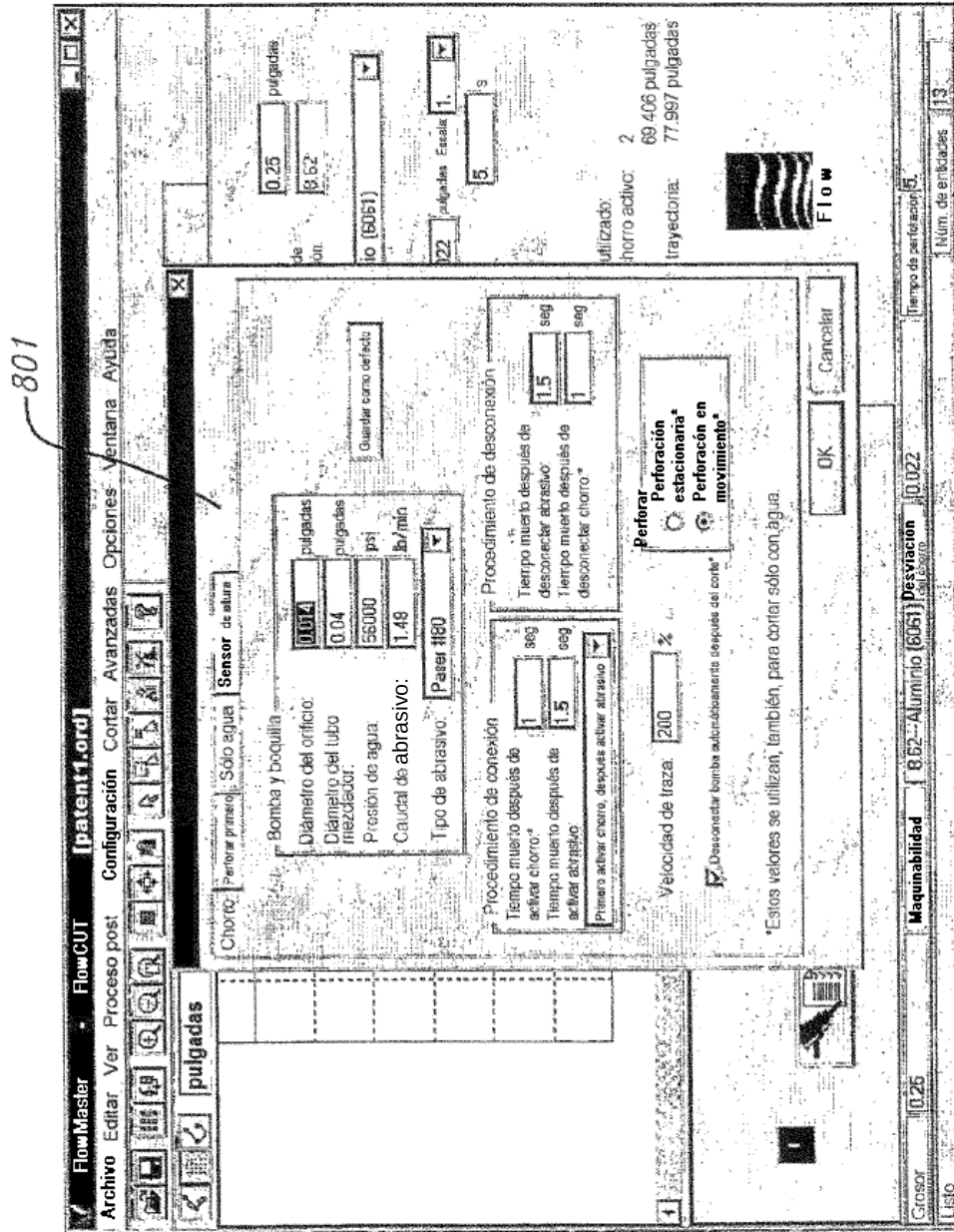


Fig. 8

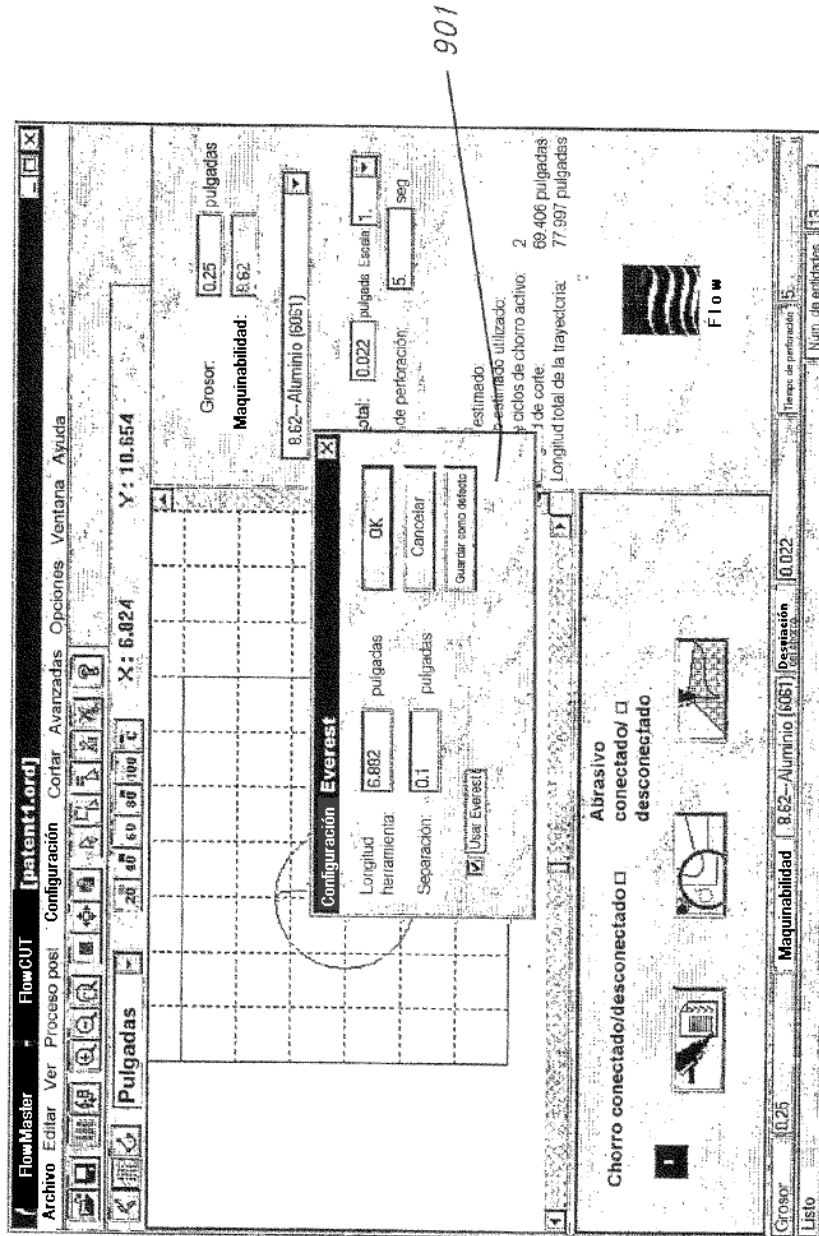


Fig. 9

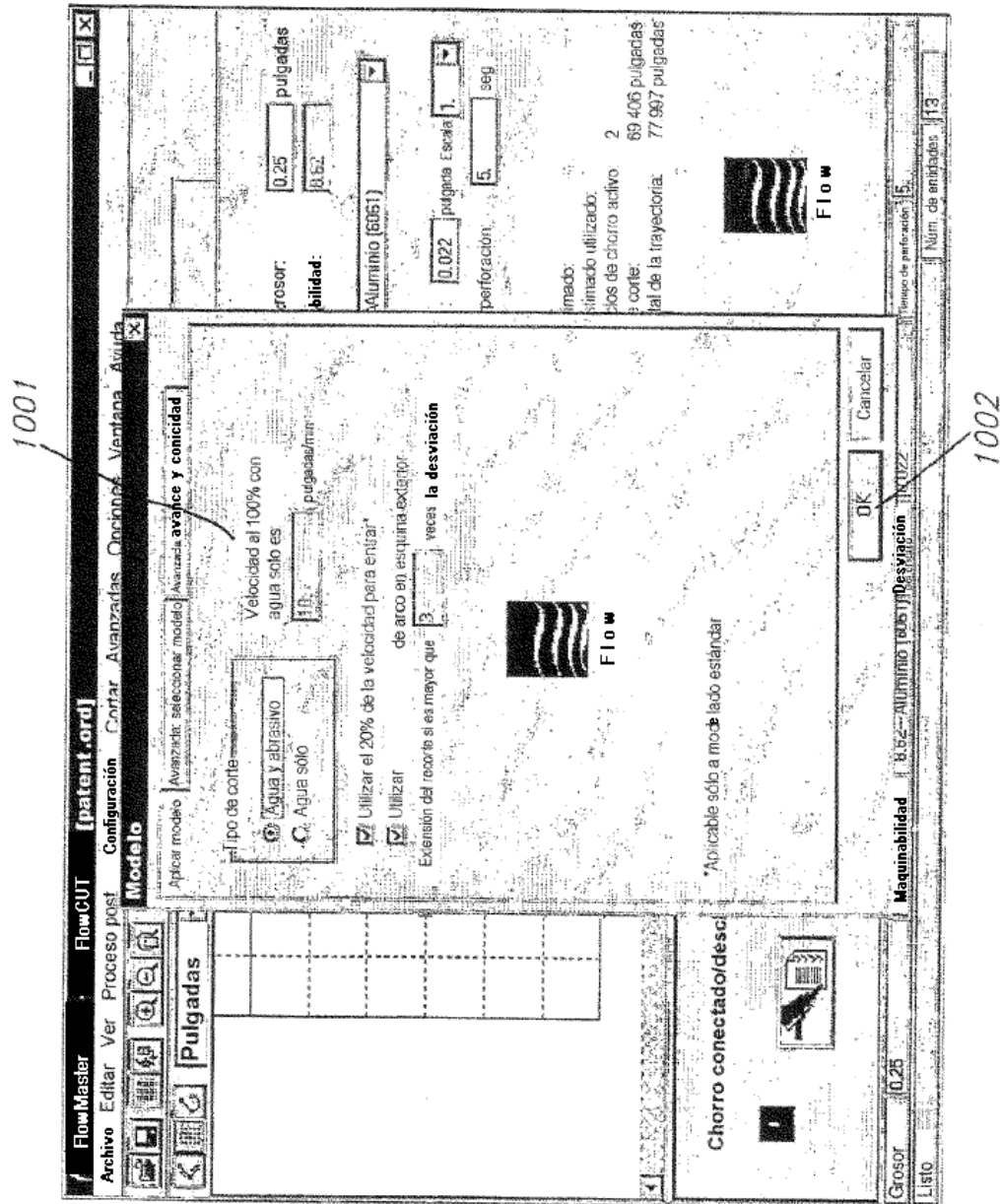


Fig. 10

1101

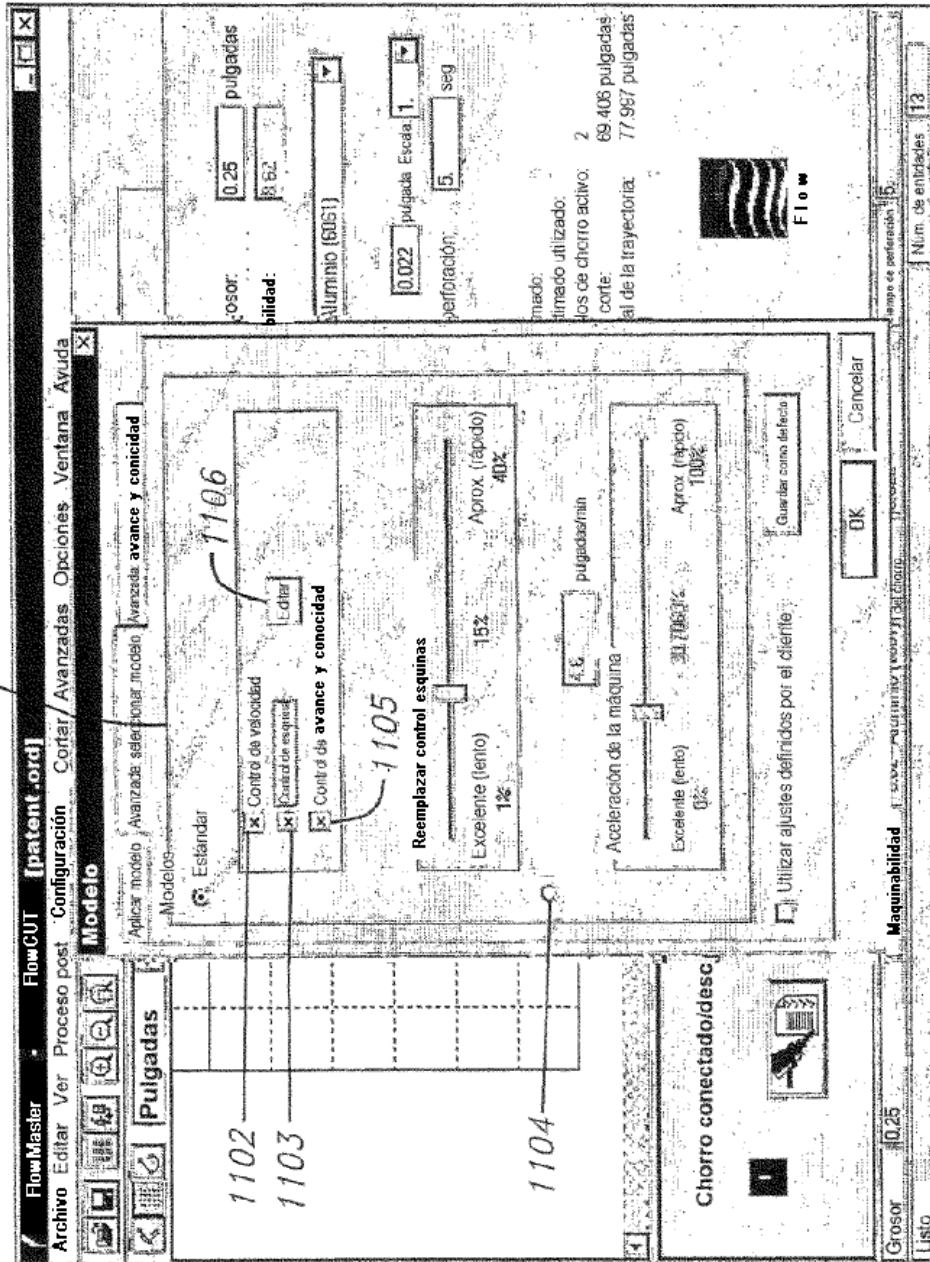


Fig. 11

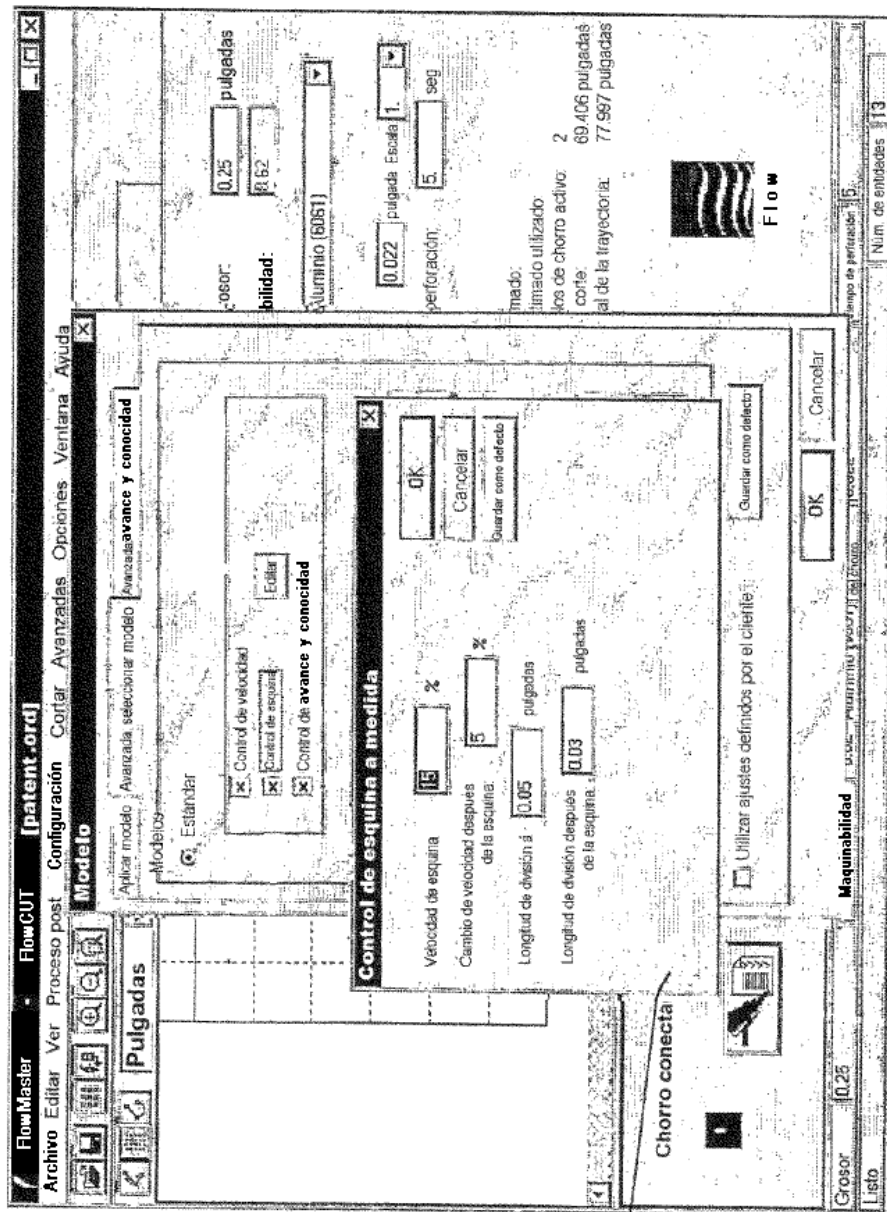


Fig. 12

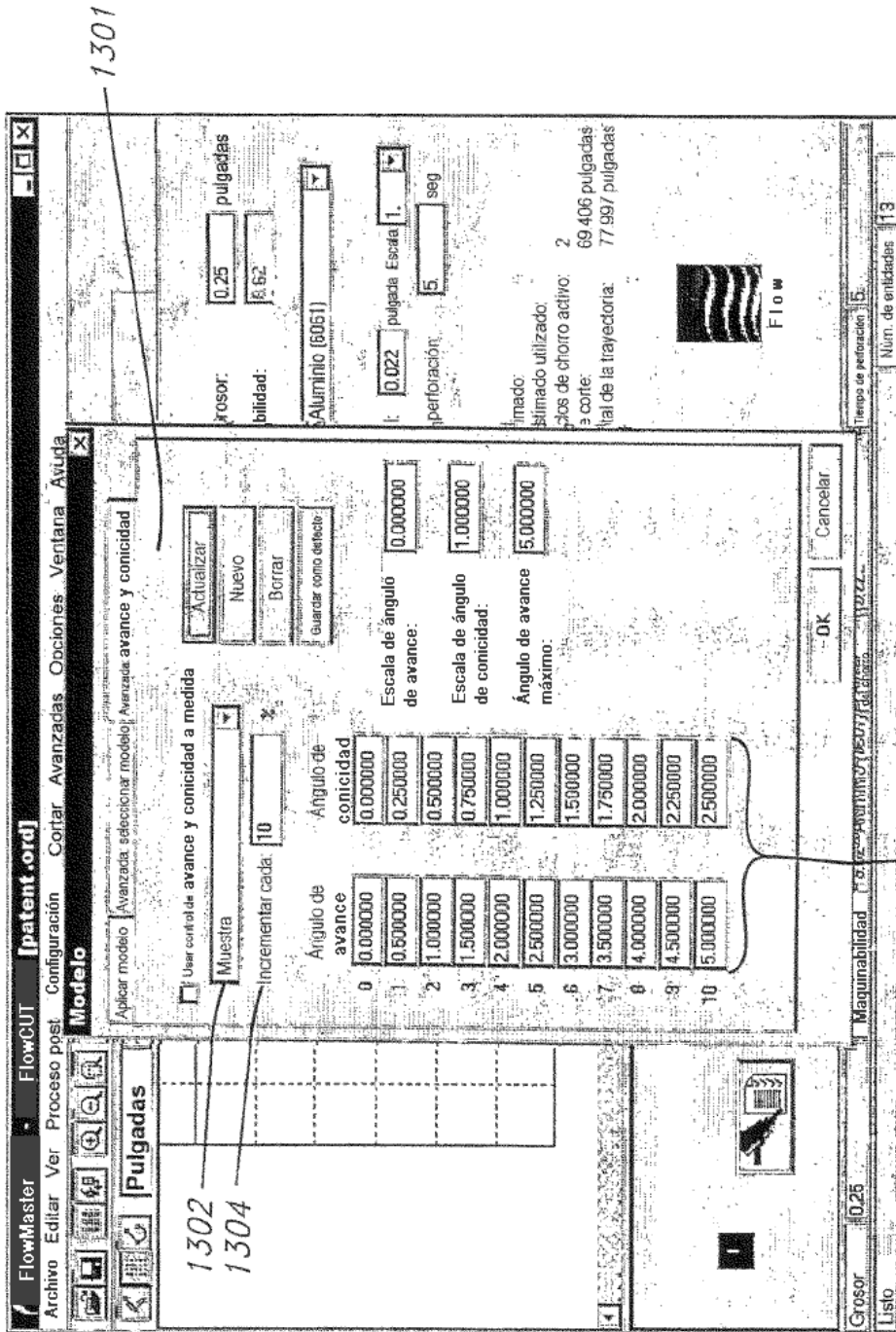


Fig. 13

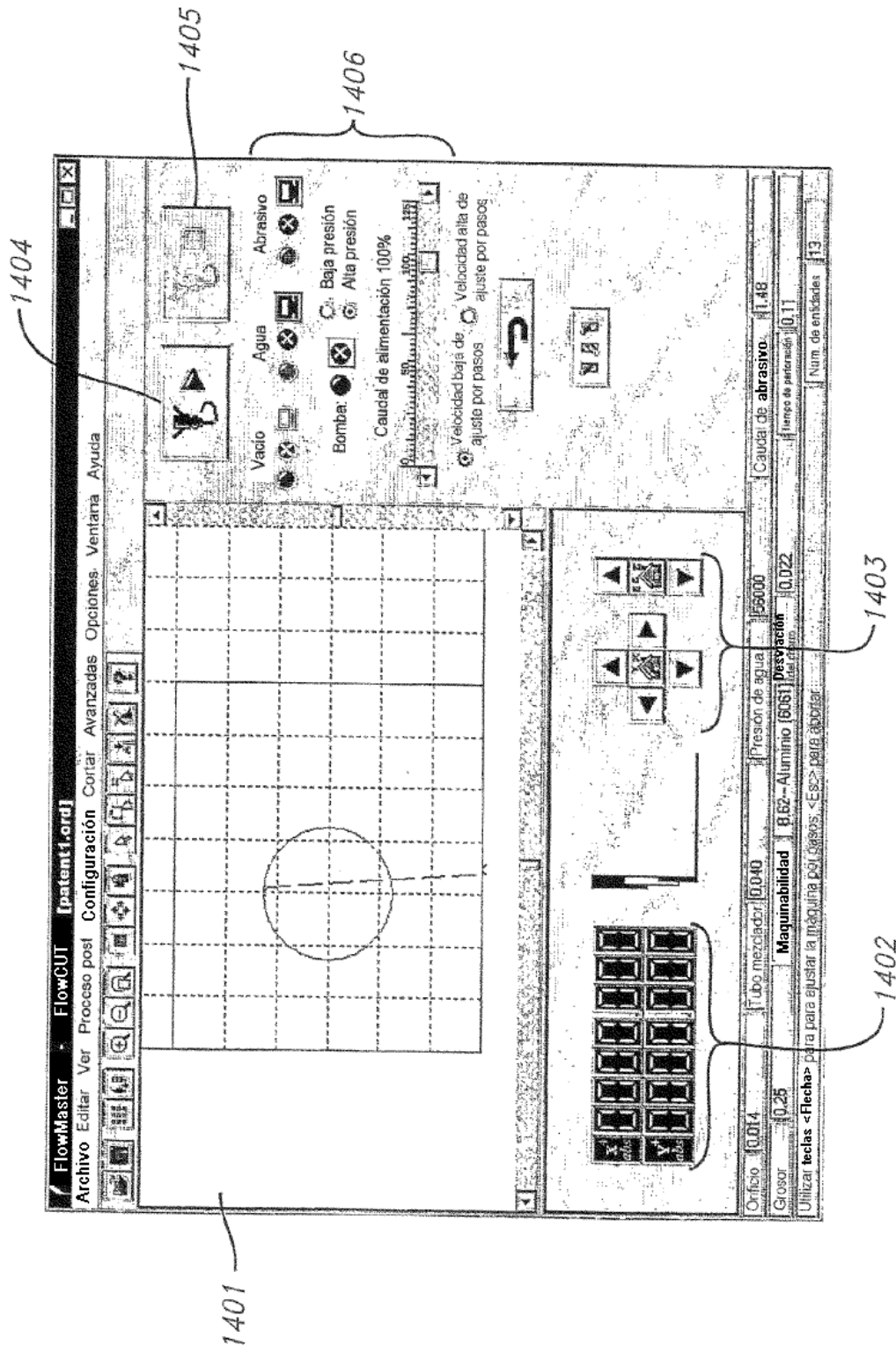


Fig. 14

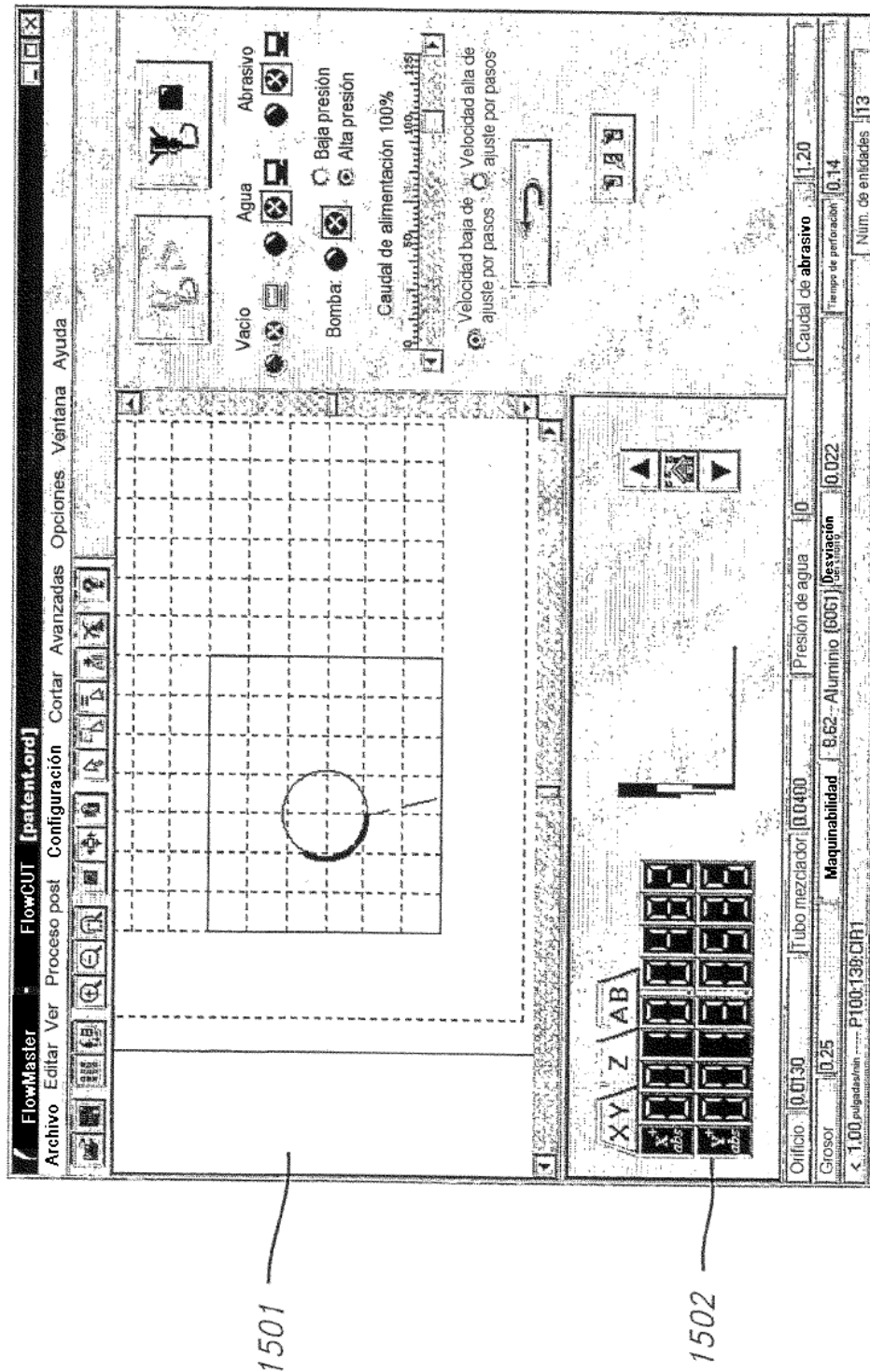


Fig. 15

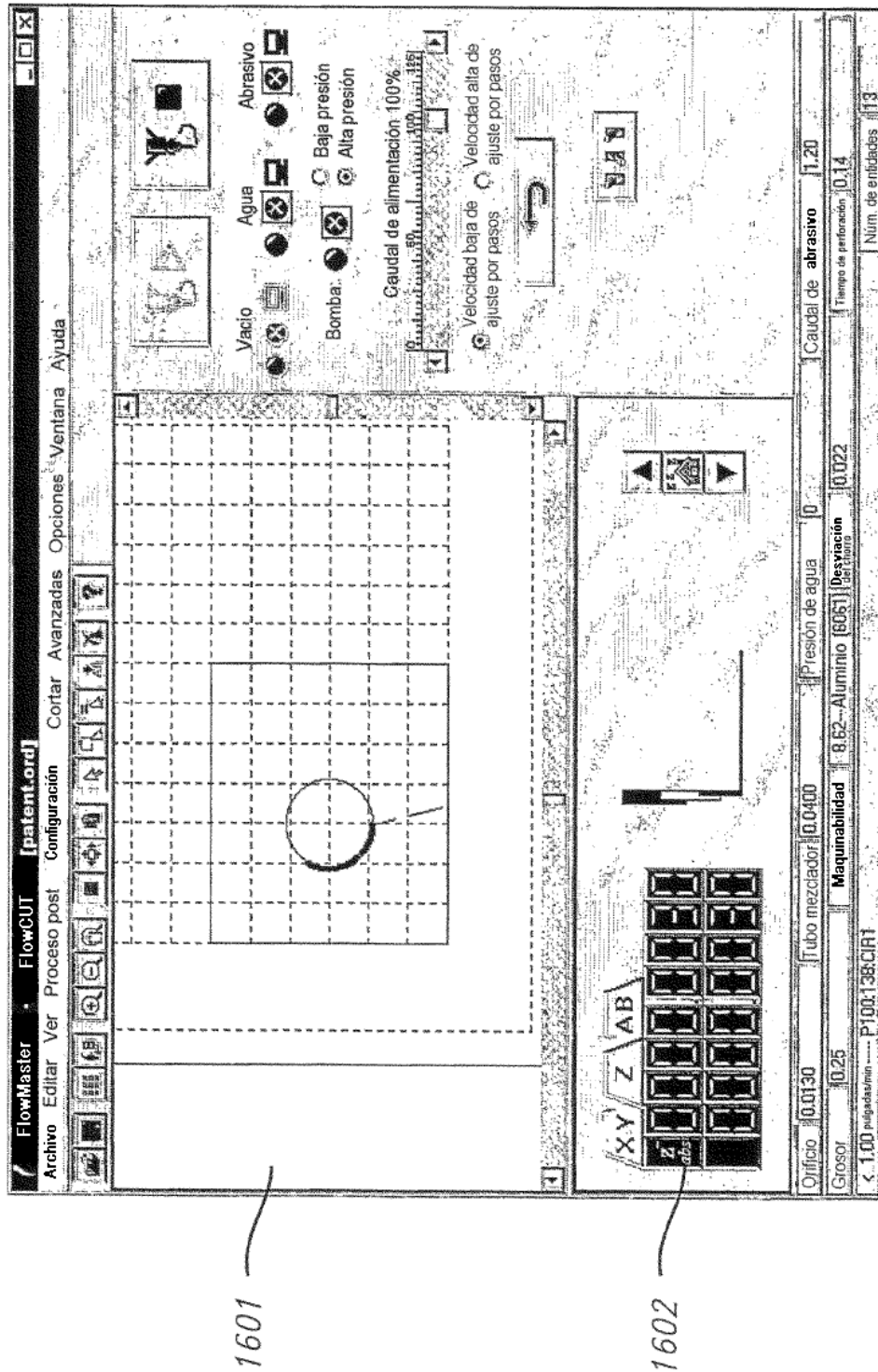


Fig. 16

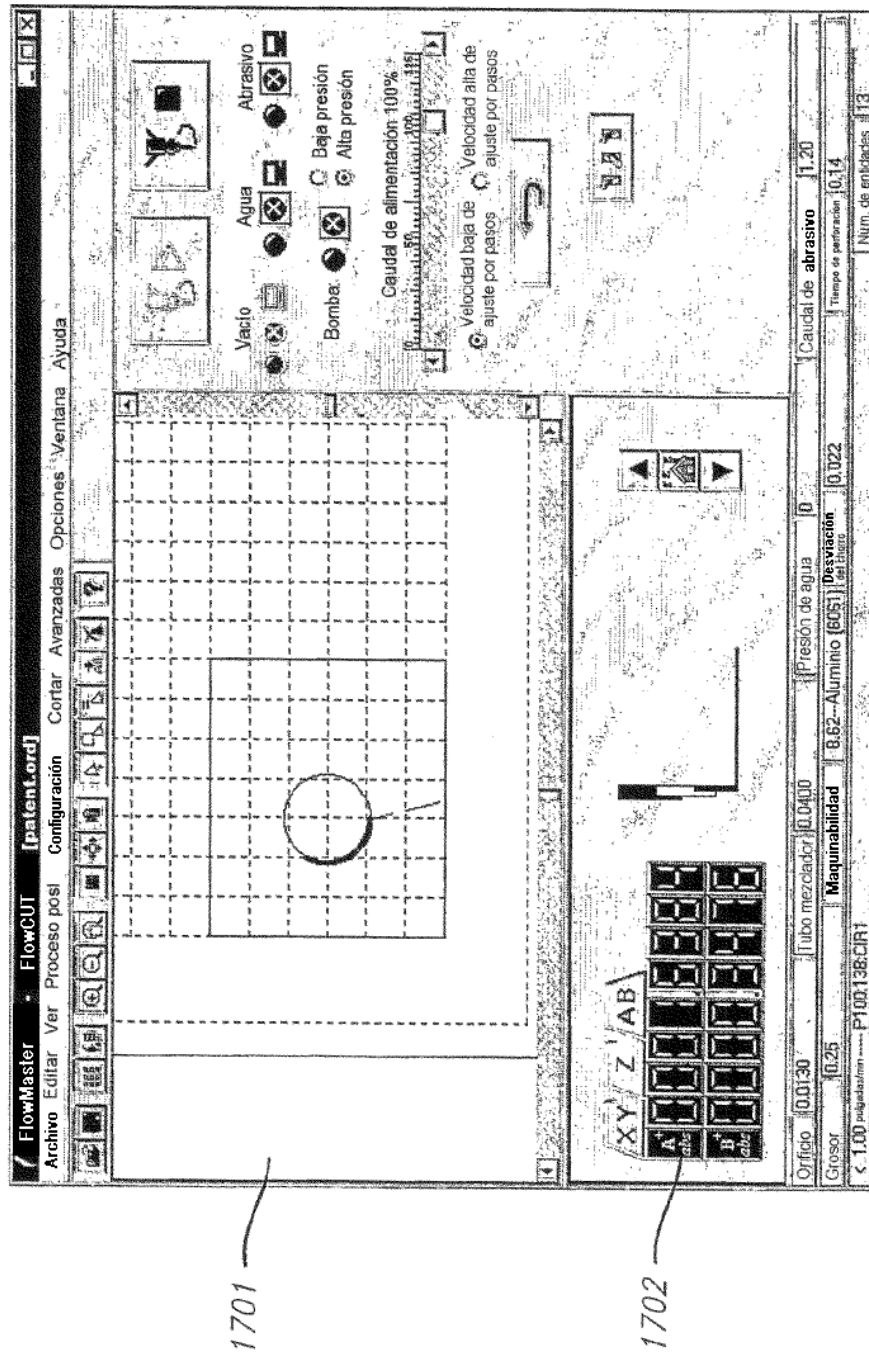


Fig. 17

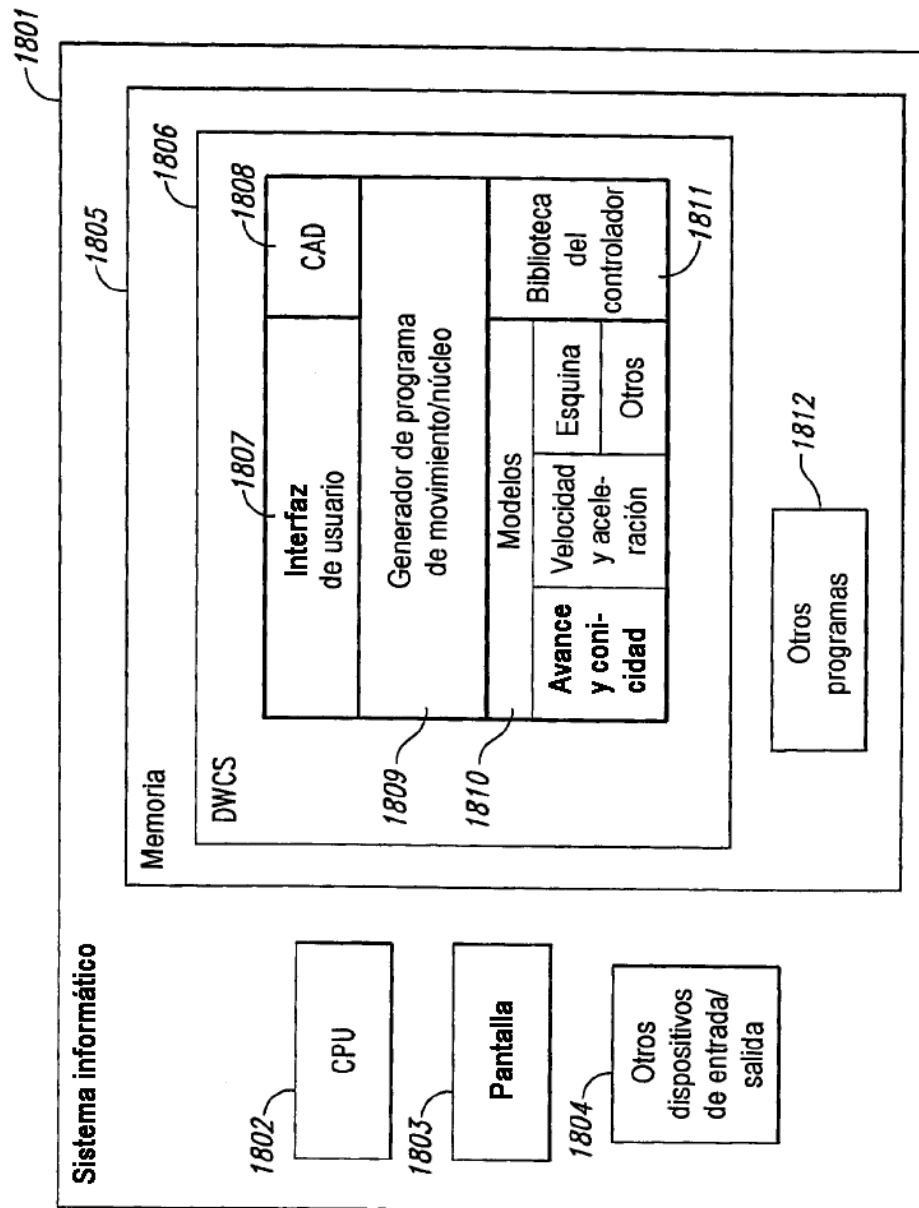


Fig. 18

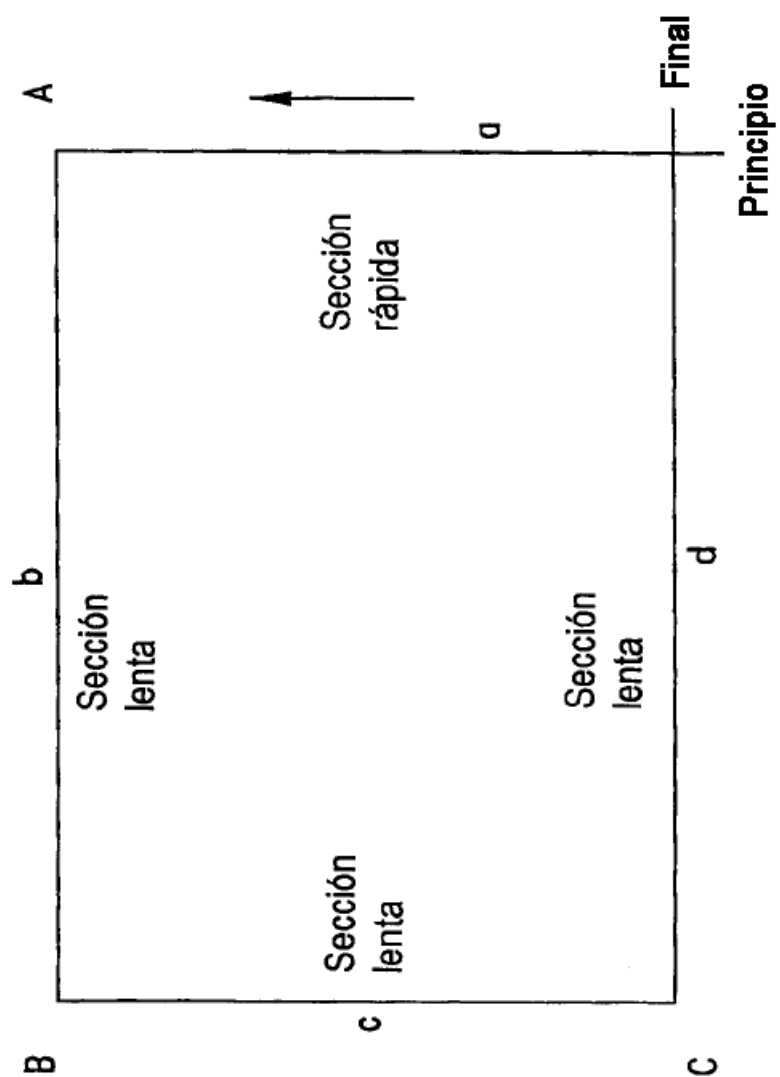


Fig. 19

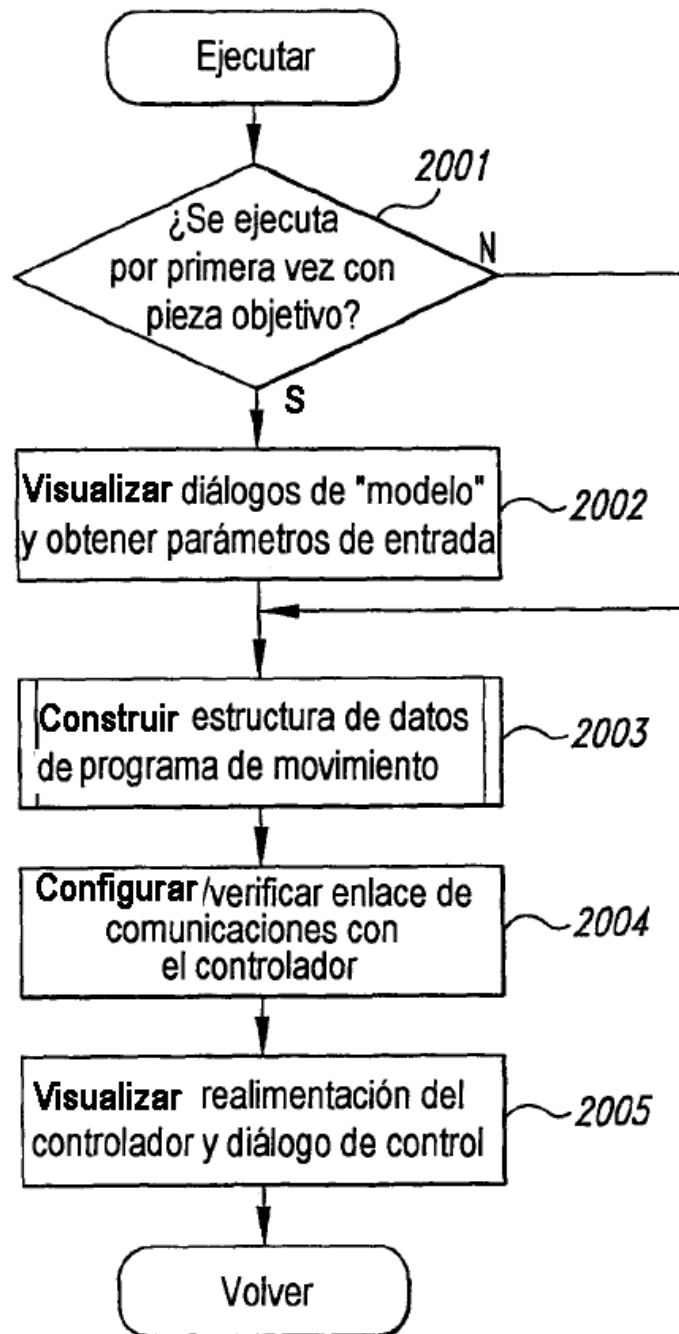


Fig. 20

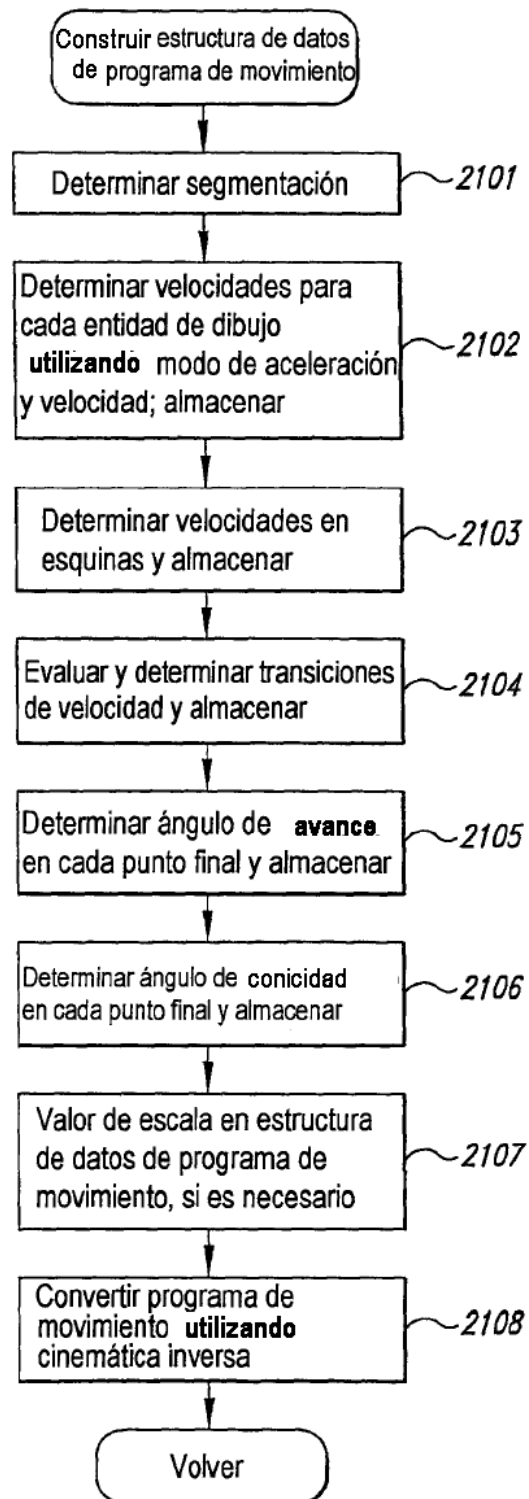


Fig. 21

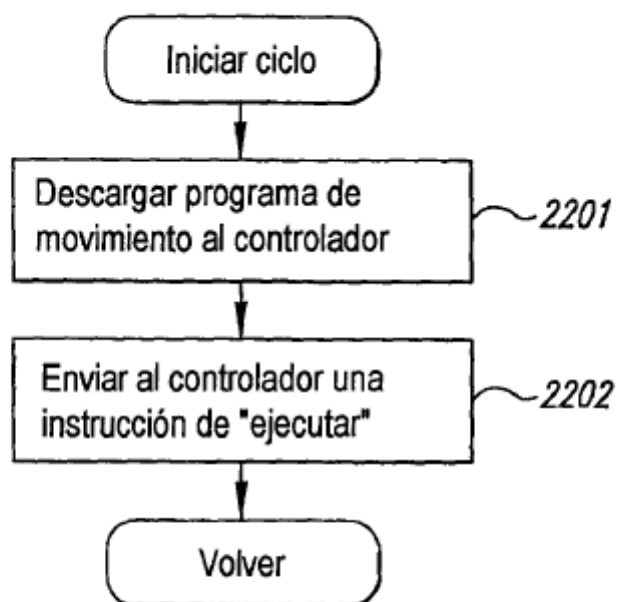


Fig. 22