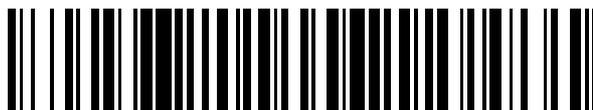


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 496**

51 Int. Cl.:

**B24C 1/04** (2006.01)

**B26F 3/00** (2006.01)

**B23K 26/08** (2014.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2011 E 11725557 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 2571656**

54 Título: **Determinación automatizada de parámetros de orientación de chorro en el corte tridimensional por chorro de fluido**

30 Prioridad:

**21.05.2010 US 800756**

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

**21.12.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ERICHSEN, GLENN, A.;  
ZHOU, JIANNAN;  
HAUKOOS, DANA, S. y  
JUNG, HYUN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 554 496 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

Determinación automatizada de parámetros de orientación de chorro en el corte tridimensional por chorro de fluido

### Campo técnico

- 5 La presente divulgación se refiere a procedimientos, sistemas y técnicas para controlar automáticamente un aparato de chorro de fluido para cortar piezas tridimensionales, y, en particular, procedimientos, sistemas y técnicas para ajustar automáticamente los parámetros de orientación de un v de corte por chorro de agua para cortar dentro de una tolerancia designada piezas tridimensionales que tienen superficies no verticales y/o de material no plano.

### Antecedentes

- 10 Los chorros de fluido de alta presión, incluyendo chorros de agua abrasivos de 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 agregados, tal como metal grueso, vidrio o materiales cerámicos. Los sistemas para generar chorros de agua abrasivos de alta presión están actualmente disponibles, por ejemplo el sistema Paser® ECL Plus fabricado por Flow International Corporation. Un sistema de corte por chorro abrasivo de este tipo se muestra y describe en la patente estadounidense de Flow No. 5.643.058, que se incorpora aquí por referencia. Los términos "chorro de fluido de alta presión" y "chorro" utilizado a lo largo del documento deben entenderse que incorporan todo tipo chorros de fluido de alta presión de, incluyendo, pero sin limitarse a, chorros de agua de alta presión y chorros de agua abrasivos de alta presión. En tales sistemas, el fluido a alta presión, típicamente agua, fluye a través de un orificio en un cabezal de corte para formar un chorro de alta presión, en el que se combinan partículas abrasivas a medida que el chorro fluye a través de un tubo de mezcla. El chorro de agua abrasivo de alta presión es descargado desde el tubo de mezcla y dirigido hacia una pieza de trabajo para cortar la pieza de trabajo a lo largo de una trayectoria designada.

- 25 Varios sistemas están actualmente disponibles para mover un chorro de fluido de alta presión a lo largo de una trayectoria designada. Tales sistemas se denominan comúnmente como máquinas de tres ejes y de cinco ejes. Las máquinas de tres ejes convencionales montan el ensamblaje de cabezal de corte de tal manera que se pueda mover a lo largo de un plano XY y perpendicular a lo largo de un eje z, es decir, acercándose y alejándose de la pieza de trabajo. De esta manera, el chorro de fluido de alta presión generado por el ensamblaje de cabezal de corte se mueve a lo largo de la trayectoria designada en un plano xy, y es subido y bajado con relación a la pieza de trabajo, según se desee. Las máquinas de cinco ejes convencionales trabajan de una manera similar pero proporcionan el movimiento alrededor de dos ejes giratorios adicionales, típicamente alrededor de un eje horizontal y un eje vertical, de manera de lograr en combinación con los otros ejes, grados de inclinación y giro.

- 35 La manipulación de un chorro alrededor de cinco ejes puede ser útil por diversas razones, por ejemplo, para cortar una forma tridimensional. Tal manipulación también puede ser deseable para corregir las características de corte del chorro o para las características del resultado de corte. Más particularmente, un corte producido por un chorro, tal como un chorro de agua abrasivo, tiene características que difieren de los cortes producidos por los procesos más tradicionales de mecanizado. Dos de las características de corte, que puedan resultar del uso de un chorro de fluido de alta presión se denominan "ahusamiento" y "arrastre." La Figura 1 es una ilustración ejemplo de ahusamiento. El ahusamiento es un fenómeno resultante de la anchura de un chorro que cambia desde su entrada en un material hasta su salida del material. El ángulo de ahusamiento se refiere al ángulo de un plano de la pared de corte respecto a un plano vertical. El ahusamiento del chorro típicamente resulta en una pieza diana que tiene diferentes dimensiones en la superficie superior (donde el chorro entra en la pieza de trabajo) que en la superficie inferior (donde el chorro sale de la pieza de trabajo). La Figura 2 es una ilustración ejemplo de arrastre. Arrastre, también conocido como roce, identifica el fenómeno de que el chorro de fluido de alta presión sale de la pieza de trabajo en un punto detrás del punto de entrada del chorro en la pieza de trabajo, con relación a la dirección de desplazamiento. Estas dos características de corte, es decir, ahusamiento y arrastre, puede o no ser aceptable, teniendo en cuenta el producto final deseado. El ahusamiento y arrastre varía dependiendo de la velocidad en que se hace el corte (la velocidad en la que el chorro se desplaza con el fin de producir la separación de parte del material de otra parte) y otros parámetros del proceso, tal como el espesor del material. Por lo tanto, una forma conocida para controlar el ahusamiento y/o arrastre excesivo es disminuir la velocidad de corte del sistema. En situaciones en las que es deseable minimizar o eliminar el ahusamiento y arrastre, se han utilizado sistemas de cinco ejes convencionales, principalmente por ensayo y error manual, para aplicar correcciones angulares al chorro (mediante el ajuste del aparato de cabezal de corte) para compensar el ahusamiento y arrastre a medida que el chorro se mueve a lo largo de la trayectoria de corte. Se conoce un ejemplo para la aplicación de algunas de estas técnicas corta formas de dos dimensiones, por ejemplo, a partir del documento US 7.035.708.

### Breve descripción de los dibujos

- 55 El archivo de patente o solicitud de patente contiene al menos un dibujo ejecutado en color. Las copias de esta patente o publicación de patente de la solicitud con dibujos en color serán proporcionadas por la Oficina bajo petición y pago de la tasa necesaria.

La Figura 1 es una ilustración ilustrativa de la forma ahusada.

La Figura 2 es una ilustración ilustrativa de arrastre.

Las Figuras 3A-3E muestran una variedad de ejemplos de las formas que se pueden cortar de forma automática utilizando las técnicas de un sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo.

- 5 La Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra el uso de un Sistema de control vectorial adaptativo para producir una pieza diana.

La Figura 5 es un diagrama de bloques ilustrativo de componentes de una realización ilustrativa de un Sistema de Control vectorial Adaptativo.

- 10 La Figura 6 es un diagrama de flujo ilustrativo de la lógica ejecutada por una realización ilustrativa de un sistema de control vectorial adaptativo para producir una pieza diana.

Las Figuras 7A-7B muestran la segmentación ilustrativa de una pieza deseada.

Las Figuras 8A-8C ilustran un ejemplo de asignación de una velocidad de corte de 50% a tres piezas con diferentes perfiles secundarios.

- 15 La Figura 9 es un diagrama de bloques ilustrativo que ilustra dos volúmenes de tolerancia alrededor de los vectores de geometría de la pieza.

La Figura 10 ilustra una forma curvada de un frente de corte parcialmente contenida en una forma cilíndrica de un volumen de tolerancia de desviación.

La Figura 11 ilustra un ejemplo de una forma curva, donde se encuentra el frente de corte previsto dentro del volumen de tolerancia de desviación.

- 20 La Figura 12 ilustra un ejemplo de ángulos de corrección de desviación aplicada aplicado a la representación que se muestra en la Figura 10.

La Figura 13 ilustra un ejemplo donde la curvatura prevista del frente de corte no puede ser orientada para estar totalmente contenida en un pequeño volumen de tolerancia de desviación.

- 25 La Figura 14 ilustra una representación del frente de corte mostrado en la Figura 13 donde la velocidad de corte se ha reducido.

La Figura 15 es una visualización de pantalla ilustrativa de un cuadro de diálogo de introducción de una interfaz de usuario de módulo de corte del sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo.

La Figura 16 es una visualización de pantalla ilustrativa de un diálogo de control y retroalimentación del controlador de chorro de una interfaz de usuario de módulo de corte del sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo.

- 30 La Figura 17 es un diagrama de bloques ilustrativo de un sistema de cálculo ilustrativo que se puede utilizar para practicar formas de realización de un sistema de Control vectorial adaptativo tal como se describe en el presente documento.

La Figura 18 es un diagrama de flujo ilustrativo del proceso de ajuste de corrección de desviación automática de un sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo.

- 35 La Figura 19 es un diagrama de flujo ilustrativo del proceso realizado por un AVCS ilustrativo para construir una estructura de datos de programa de movimiento.

La Figura 20 es una ilustración ilustrativa de aplicación de ángulos de corrección de desviación para ajustar la orientación del chorro para que esté dentro de las tolerancias aceptables.

- 40 La Figura 21 muestra un ejemplo del perfil lateral de una pieza con forma trapezoidal utilizada para ilustrar la segmentación y estratificación de AVCS ilustrativo.

Las Figuras 22A y 22B ilustran cómo el radio de curvatura varía para cada capa en una pieza tal como la que se muestra en la Figura 7B.

La Figura 23 muestra la deflexión del canal de corte posterior hacia el centro del movimiento circular.

La Figura 24 muestra una representación gráfica de la relación entre la anchura de canal de corte y arrastre lineal.

- 45 La Figura 25 muestra un ejemplo de la utilización de coordenadas esféricas para derivar los ángulos de corrección de desviación.

La Figura 26 es un diagrama de flujo ilustrativo de las etapas realizadas por el sistema de control vectorial adaptativo para comenzar el ciclo de corte.

### Descripción detallada

5 Las realizaciones descritas en este documento proporcionan una mejora en los procedimientos basados en redes y computadoras, sistemas y técnicas para ajustar automáticamente la orientación de un chorro en un sistema de corte por chorro de agua para compensar las desviaciones para lograr un control superior sobre la superficie del corte y la pieza resultante generada por el corte. Las realizaciones ilustrativas proporcionan un sistema de control vectorial adaptativo ("AVCS") que predice de forma automática hasta qué punto el chorro se desviará del perfil de la trayectoria de corte deseada y determina automáticamente los ángulos de corrección de desviación apropiados que se pueden utilizar para generar un programa de control de movimiento u otros datos para el control de la orientación de un aparato de cabezal de corte. Los ángulos de corrección de desviación se determinan como funciones de la geometría diana de la pieza, así como la velocidad y /u otros parámetros del proceso. Al determinar los ángulos de corrección de desviación y utilizándolos, según proceda, para generar instrucciones en los programas de control de movimiento / datos (en una forma dependiente de lo que puede procesar el controlador de cabezal de corte), el AVCS permite que el aparato de cabezal de corte / controlador controle automáticamente la posición tridimensional y la inclinación y las posiciones de giro del cabezal de corte y por tanto las posiciones del eje x, eje y, eje z y angulares del chorro, en relación con el material a cortar, ya que se mueve a lo largo de una trayectoria de corte en el espacio tridimensional para cortar la pieza diana. Los AVCS cuando son posibles maximizan la velocidad de corte, manteniendo las tolerancias deseadas.

20 En una realización, el AVCS utiliza un conjunto de modelos predictivos avanzados para determinar las características de un corte (previsto) a través de un material dado y para proporcionar la ángulos de corrección de desviación para dar cuenta de la desviación prevista del chorro de una trayectoria en línea recta. La desviación prevista puede estar relacionada, por ejemplo, con la anchura del chorro que cambia a medida que penetra a través del material y/o el arrastre o desviación que resulta en el chorro que sale en un punto en alguna dirección distante del punto de salida previsto. Al cortar piezas de pared recta, estos fenómenos de corte pueden expresarse como arrastre / roce y ahusamiento y las correcciones de desviación correspondientes expresadas como la compensación de resistencia y ángulos de compensación de ahusamiento. Sin embargo, al cortar piezas más complicadas, tal como superficies no verticales (biseladas), el material no plano (curvo), piezas con cambios de dirección en la profundidad del chorro, piezas con diferentes formas en la parte superior y en la parte inferior, etc. estas desviaciones tienen componentes direccionales (tal como términos hacia adelante, hacia atrás y hacia los lados relativos a la dirección y la trayectoria del recorrido del chorro) que influyen en las desviaciones. La predicción de las correcciones angulares de este modo se vuelve mucho más compleja. Utilizando modelos predictivos avanzados, el AVCS funciona sin la intervención manual (por ejemplo, humana) y no requiere conocimientos especiales por parte del operador para ejecutar la máquina de corte. El carácter automático del AVCS de ese modo soporta una reducción en el tiempo de producción, así como un control más preciso en el proceso de corte, especialmente de piezas complejas.

Las Figuras 3A-3E muestran una variedad de ejemplos de formas que se pueden cortar de forma automática utilizando las técnicas de un sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo. La Figura 3A ilustra una pieza con un simple bisel. En este caso, la parte superior e inferior de la pieza tienen la misma forma pero no el mismo tamaño. Además, las longitudes de bisel final en la parte superior de la parte 301 y el bisel final en la parte inferior de la parte 302 son las mismas. La Figura 3B ilustra una pieza con un bisel ahusado. Aquí, la parte superior e inferior parecen similares, pero las longitudes de la parte superior e inferior son diferentes. Por lo tanto, las velocidades de corte en la parte superior e inferior (donde el chorro entra y sale de la pieza a medida que se mueve a lo largo de la trayectoria de corte) son diferentes porque las trayectorias superiores e inferiores deben ser recorridas en la misma cantidad de tiempo, pero tienen diferentes distancias por recorrer. La Figura 3C ilustra una pieza que requiere corte multidireccional. Aquí, la dirección de corte en la parte inferior de la pieza 304 está en ángulo recto a la dirección de corte en la parte superior 303. De este modo, la superficie de corte tiene una "vuelta" en ella como resultado de esta acción. Por lo tanto, el chorro cambia la dirección desde donde entra a la pieza hasta donde sale cuando se atraviesa la trayectoria identificada por 303 y 304. La Figura 3D ilustra una pieza que tiene una superficie superior definida como un cuadrado y una superficie inferior definida como un círculo. Cuando se corta esta pieza, la pieza cambia gradualmente de l cuadrado al círculo a medida que el chorro se mueve (es decir, penetra en el material) desde la entrada del chorro (por ejemplo, la parte superior) hasta la salida del chorro (por ejemplo, la parte inferior). La Figura 3E ilustra un corte de pieza de una superficie de corte no plana. Aquí una porción de una esfera contiene un orificio.

55 Para cortar dichas piezas, el AVCS emplea modelos predictivos avanzados para determinar cómo se ve afectado el chorro al penetrar el material, desde la entrada del chorro al hacer el corte (por ejemplo, la parte superior) hasta la salida del chorro al hacer el corte (por ejemplo, la parte inferior), a medida que avanza por la trayectoria prevista de corte. Se debe destacar que, al cortar a partir de material de láminas, la entrada de chorro normalmente corresponde a una posición en la superficie superior y la salida de chorro corresponde típicamente a una posición en la superficie inferior. A medida que el chorro avanza para cortar el material de la pieza de trabajo para crear la pieza deseada, hay una trayectoria que forma un contorno en la parte superior, más generalmente referida en la presente memoria como contorno de entrada de chorro y una trayectoria que forma un contorno en la parte inferior, referida de manera

más general en este documento como contorno de salida de chorro. (Un contorno es un límite de una forma u objeto.) Un aspecto para entender estos modelos es reconocer que la velocidad de corte del chorro cambia a lo largo de la longitud (por ejemplo, penetración o proyección) del chorro a medida que el chorro avanza a lo largo del perfil de la trayectoria de corte. Estos cambios de velocidad microambiente originan desviaciones "localizadas" a lo largo de la longitud del chorro, que son tenidas en cuenta en los modelos al determinar las correcciones de desviación.

Aunque se discute aquí en términos de chorros de agua y chorros de agua abrasivos, en particular, las técnicas descritas se pueden aplicar a cualquier tipo de chorro de fluido, generado por la alta presión o baja presión, ya sea que se utilicen o no aditivos o abrasivos. Además, estas técnicas pueden ser modificadas para controlar el eje x, eje y, desfase z y parámetros de inclinación y giro (u otra orientación comparable) como funciones de los parámetros del proceso que no sean la velocidad ( $v$ ), y los datos descritos en este documento.

La Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra el uso de un sistema de control vectorial adaptativo para producir una pieza diana. En funcionamiento normal, un operador 401 utiliza un programa o paquete de diseño asistido por computadora ("CAD") (Programa o paquete CAD / CAM) en una estación de trabajo de computadora 402, para especificar un diseño de una pieza diana 410 (por ejemplo, una pieza) que debe ser cortada a partir del material de la pieza el de trabajo 403. La estación de trabajo informática 402 es adyacente a, o está conectada de forma remota o directamente a un aparato de corte de chorro de agua abrasivo (AWJ) 420, tal como aparato de chorro de fluido de alta presión llamado el "Dynamic Waterjet® XD" comercializado por Flow International Corporation. Otras máquinas de 4 ejes, 5 ejes, o más ejes también se pueden utilizar siempre que la "muñeca" del aparato de chorro de fluido permita suficiente movimiento (por ejemplo, angular). Cualquier programa o paquete CAD existente se puede utilizar para especificar el diseño de la pieza diana 410 siempre que permita las operaciones descritas en este documento. Además, el paquete de diseño CAD también puede ser incorporado en el propio sistema de control vectorial adaptativo. El diseño generado es entonces la entrada en el AVCS 404, que entonces genera automáticamente, como se discute con más detalle en las restantes Figuras, un programa de movimiento 405 (u otros datos programático u otros datos relacionados con el movimiento) que especifica cómo el aparato de chorro 420 debe controlarse para cortar la pieza diana 410 a partir del material de la pieza de trabajo 403. Cuando es especificado por el operador, el AVCS 404 envía los datos / programa de movimiento 405 a un controlador de hardware / software 421 (por ejemplo, un controlador numérico informático, "CNC"), que dirige el aparato de chorro 420 para cortar el material de de la pieza de trabajo de acuerdo a las instrucciones contenidas en los datos / programa de movimiento 405 para producir la pieza diana 410. Utilizado de esta manera, el AVCS proporciona un proceso de fabricación asistido por computadora (un "CAM") para producir piezas dianas.

Aunque el AVCS 404 que se describe en la Figura 4 se muestra que reside en una estación de trabajo de computadora separado de, pero conectado a, el aparato de chorro, el AVCS alternativamente puede estar ubicado en otros dispositivos dentro del sistema general de chorro, dependiendo de la configuración real del aparato de chorro y computadoras u otros controladores (el sistema de chorro). Por ejemplo, el AVCS tal vez incorporado en el propio aparato controlador del chorro (como parte del software / firmware / hardware asociado a la máquina). En este caso, los datos / programa de movimiento pueden reducirse y, más bien, la determinación de los ajustes automáticos de corrección de desviación a la orientación del chorro pueden estar incorporados en el propio código del controlador. O, por ejemplo, el AVCS puede residir en un sistema informático conectado directamente al controlador. Además, el controlador puede tomar muchas formas, incluyendo tarjetas de circuitos integrados, así como sistemas de robótica. Todas estas combinaciones o permutaciones se contemplan, y las modificaciones apropiadas al AVCS descrito, tal como las características específicas de los datos / programa de movimiento y su forma, se contemplan en base a los datos del sistema de chorro de fluido y hardware y software de control asociados.

La Figura 5 es un diagrama de bloques ilustrativo de los componentes de una realización ilustrativa de la un Sistema de control vectorial adaptativo. En una realización, el AVCS comprende uno o más módulos / componentes funcionales que trabajan juntos para proporcionar un programa / datos de movimiento para controlar automáticamente la inclinación y giro del cabezal de corte y otros parámetros que controlan el cabezal de corte, y por lo tanto el eje x, eje y, y eje z y posiciones angulares del chorro en relación con el material a cortar, a medida que el chorro se mueve a lo largo de una trayectoria de corte, en un espacio tridimensional, para cortar la pieza diana. Estos componentes pueden ser implementados en software, firmware o hardware o una combinación de los mismos. El AVCS 501 comprende un generador de programa de movimiento / centro 502, una Interfaz de usuario 503, tal como una Interfaz de usuario gráfica ("GUI"), un módulo de diseño CAD 504 (que puede ser externo al AVCS 501), uno o más modelos 505, y una interfaz al controlador del aparato de chorro 510. El generador de programa de movimiento 502 recibe la entrada del módulo de diseño CAD 504 y la interfaz de usuario 503 para construir un programa o datos de movimiento o instrucciones de movimiento comparables que pueden ser transmitidas a y ejecutadas por el controlador (CNC) para controlar el chorro. Disposiciones alternativas y combinaciones de estos componentes se igualmente contemplan para su uso con técnicas que se describen en la presente memoria. Por ejemplo, el módulo de diseño CAD 504 pueden incorporarse en la interfaz de usuario 503. En una realización, la interfaz de usuario 503 se entrelaza con el generador de programa de movimiento 502 para que la interfaz de usuario 503 controle el flujo del programa y genere los datos y/o programa de movimiento. En otra realización, el flujo de programa básico está segregado en un módulo núcleo, que es independiente del generador de programa de movimiento 502. Los modelos 505 proporcionan el generador de programa de movimiento 502 con

acceso a conjuntos de modelos matemáticos 506, 507 y 508 que se utilizan para determinar la orientación de chorro apropiada y parámetros de procesos de corte. Cada modelo matemático 506, 507, y 508 comprende uno o más conjuntos de algoritmos, ecuaciones, tablas, o datos que son utilizados por el generador de programa de movimiento 502 para generar valores particulares para los comandos resultantes en el programa de movimiento para producir características de corte o comportamiento deseado. Por ejemplo, en un entorno de máquina de 5 ejes, estos algoritmos / ecuaciones se utilizan para generar la posición x, posición y, valor de compensación en punto muerto z y ángulos de corrección de desviación (por ejemplo, los que se utilizan para controlar la inclinación y posiciones de giro del cabezal de corte) de cada comando en su caso. Los modelos 505 proporcionan múltiples modelos matemáticos, por lo general en forma de software u otra lógica, que pueden ser reemplazados sin tener la máquina fuera de línea, por ejemplo en forma de "bibliotecas de enlace dinámico (DLL)". En otras formas de realización pueden ser no reemplazables y compilados o vinculados en el código de AVCS, por ejemplo, en forma de bibliotecas de enlaces estáticos. Igualmente se contemplan otras arquitecturas. Por ejemplo, en una realización, los modelos 505 incluyen un conjunto de algoritmos, ecuaciones, tablas o datos para generar correcciones de desviación 506; un conjunto de ecuaciones para generar valores de velocidad y aceleración 507; y otros modelos 508. Los modelos matemáticos 506, 507 y 508 se crean normalmente experimental y teóricamente en base a observaciones empíricas y análisis previo de datos de corte. En particular, como se discutirá con más detalle más adelante, el modelo de corrección de desviación adaptativo 506 es un modelo predictivo avanzado que se puede utilizar para generar valores angulares de corrección de desviación para una forma arbitraria - es decir, uno no "conocido" previamente para la máquina (uno para el que la máquina no ha sido programada específicamente para cortar a priori). En una realización, el AVCS también comprende una interfaz para el controlador (por ejemplo, a través de una biblioteca de controlador 510), que proporciona funciones de comunicación bidireccional entre el controlador y el AVCS. Estas funciones del controlador se utilizan, por ejemplo, para mostrar la trayectoria de corte en curso, mientras que la pieza diana está siendo cortada de la pieza de trabajo. También pueden ser utilizados para obtener valores del aparato de corte, tal como el estado actual de los dispositivos mecánicos y eléctricos conectados. En realizaciones en las que AVCS está integrado en el controlador o en la parte del aparato de cabezal de corte, algunos de estos componentes o funciones pueden ser eliminados.

Son posibles muchos diferentes arreglos y divisiones de la funcionalidad de los componentes de un AVCS. En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles específicos, tal como formatos de datos, pantallas de interfaz de usuario, secuencias de códigos, opciones de menú, etc., con el fin de proporcionar una comprensión exhaustiva de las técnicas descritas. Las realizaciones descritas también se pueden practicar sin algunos de los detalles específicos, o con otros detalles específicos, tal como cambios con respecto al orden del flujo de código, diferentes flujos de código, etc., o las características específicas mostradas en las pantallas de interfaz de usuario. Así, el alcance de las funciones y/o técnicas descritas no están limitadas por el orden en particular, selección, o la descomposición de los bloques descritos con referencia a cualquier rutina o lógica de código particular. Además, las realizaciones ilustrativas aquí descritas proporcionan aplicaciones, herramientas, estructuras de datos y otro tipo de soporte para implementar un AVCS para el corte por chorro de agua. Otras realizaciones de las técnicas descritas se pueden utilizar para otros fines, incluyendo, para otro aparato de corte por chorro de fluido.

La Figura 6 es un diagrama de flujo ilustrativo de la lógica ejecutada por una realización ilustrativa de un sistema de control vectorial adaptativo para producir una pieza diana. En el bloque 601, el AVCS recoge una variedad de datos de entrada del operador, tal como de un programa de CAD que se ejecuta en la estación de trabajo 402 en la Figura 4, incluyendo un diseño (una especificación de geometría) para una pieza diana en un formato CAD tridimensional, o equivalente. La especificación de geometría describe preferiblemente una parte formada por "superficies regladas." Una superficie reglada se describe típicamente mediante un conjunto de puntos barridos por una línea recta en movimiento. Dado que un chorro de agua sin obstrucciones procederá en una línea recta, una superficie reglada da una manera natural para definir una pieza que puede ser producida. En términos generales, una superficie no reglada es más difícil de cortar por un proceso de chorro de agua. Sin embargo, el corte de una superficie no reglada puede hacerse para aproximar el corte de una superficie reglada mediante la visualización del corte de la misma a medida que se corta una serie de superficies más pequeñas regladas. Cuanto más se subdivide la superficie no reglada en superficies más pequeñas regladas, más probable es que la forma resultante se aproxime a la forma deseada. Por ejemplo, el corte de una superficie esférica se puede aproximar mediante el corte de una multitud de superficies planas poligonales más pequeñas; cuanto más polígonos se cortan, más redonda se ve a forma resultante. Además, es posible cortar (quitar) una superficie reglada de una pieza de trabajo no reglada, por ejemplo, tal como la que se muestra en la Figura 3E. Además, otros requisitos del cliente pueden ser especificados y reunidos, tal como tolerancias dimensionales, y una indicación del acabado de superficie (y/o calidad y velocidad aceptable y/o desea). En algunas realizaciones, estas especificaciones de entrada pueden ser suministradas por una GUI tal como la interfaz gráfica de usuario 503 de la Figura 5, utilizando herramientas que permiten a los usuarios asignar tolerancias y/o indicaciones de acabado deseadas a regiones particulares de (áreas y/o superficies de) la pieza diana, por ejemplo, a través de controles de interfaz de usuario estándar o propietarios tal como pulsadores, campos de edición, menús desplegados o una interfaz de manipulación directa que incorpora técnicas de arrastrar y soltar. Las tolerancias dimensionales pueden, por ejemplo, estar indicadas con una entrada numérica o alguna escala alternativa. Por ejemplo, las escalas que indican exactitud relativa puede utilizarse tal como "tolerancia apretada", "tolerancia estándar" y "tolerancia suelta". Además, no se necesita asignar la misma tolerancia dimensional a toda la pieza. Por ejemplo, una superficie de acoplamiento se puede definir como que requiere una precisión más alta que otras superficies menos críticas. La tolerancia de la pieza se compensa con frecuencia con el acabado de superficie

con superficies más ásperas que crean piezas menos precisas dimensionalmente. En los casos en que la tolerancia dimensional se opone al acabado de superficie, el AVCS normalmente utiliza el requisito más estricto de los dos. Por ejemplo una parte que permite una "tolerancia suelta" sino un "acabado fino" se le asignará el requisito de "acabado fino". Además, otras indicaciones de acabado de superficie se pueden usar como un grado o una escala de calidad y/o velocidad relativa deseada, donde por ejemplo, 100% es equivalente a la velocidad más rápida posible para esa parte (por ejemplo, una región de la pieza) y, por ejemplo, el 50% es indicativo de un acabado más fino. Se pueden utilizar otras escalas para indicar el acabado de superficie o la calidad del corte, por ejemplo, indicaciones de calidad tal como "acabado rugoso", "acabado medio" y "acabado liso". Además, los valores por defecto pueden ser suministrados por el AVCS, así como un valor único para la pieza entera.

5  
10  
15

En el bloque 602, la AVCS reúne otros datos de entrada, tal como parámetros de proceso, típicamente de un operador, aunque estos parámetros pueden tener valores predeterminados o algunos pueden ser capaces de ser consultados y obtenidos a partir del aparato controlador de chorro. En un ejemplo de realización, el AVCS determina valores para uno o más del tipo de material que está siendo cortado; espesor de material; presión de fluido; diámetro de orificio de boquilla; velocidad de flujo abrasivo; tipo abrasivo; distancia de desplazamiento; diámetro del tubo de mezclado; y longitud del tubo de mezclado (u otras características del tubo de mezclado) como parámetros de proceso.

20  
25  
30

En el bloque 603, el AVCS utiliza la especificación de geometría recibida y parámetros de proceso de entrada para calcular automáticamente una geometría de desplazamiento. La geometría de desplazamiento es la geometría que se debe seguir cuando la pieza diana se corta para dar cuenta de cualquier ancho que el chorro de hecho ocupa (el ancho del corte/canal de corte debido al chorro). Esto evita la producción de piezas que son más pequeñas o más grandes que la especificada. Como las características del chorro cambian con el tiempo, por ejemplo, debido al desgaste, los parámetros del proceso de chorro deben ser modificados en consecuencia con el fin de calcular la compensación correcta. En algunas realizaciones, el tamaño del desplazamiento es fijo y parte de los datos de entrada. El cálculo de la geometría de desplazamiento de una parte tridimensional se puede lograr utilizando técnicas conocidas para la compensación de superficies. Alternativamente, una aproximación de la geometría de desplazamiento en lugar del cálculo directo se puede obtener mediante el cálculo de un desplazamiento desde el contorno de entrada de chorro (el contorno de la parte en la que el chorro entra en el material) y mediante el cálculo de un desplazamiento desde el contorno de salida de chorro (el contorno de la parte en la que el chorro sale el material) y luego mediante la conexión de los contornos de entrada y salida por líneas. Dependiendo de las inclinaciones de las superficies y tolerancias permitidas, esta metodología de aproximación puede o no ser aceptable.

35  
40

Los bloques 604-609 construyen un programa de movimiento mediante el almacenamiento de forma incremental de determinados valores del programa en una estructura de programa de movimiento (u otra estructura de datos, según sea necesario por un controlador de cabezal de corte particular, cabezal de corte, etc.). Preferiblemente, las entradas en la estructura de datos corresponden a las instrucciones del programa de movimiento almacenados y/o de datos que son ejecutados por el controlador. Dependiendo del aparato de cabezal de corte particular y controlador, el programa de movimiento puede ser instrucciones y/o datos de movimiento, alimentados directamente o indirectamente al hardware / software / firmware que controla el cabezal de corte. Además, algunas configuraciones requieren datos cinemáticos inversos porque las instrucciones se especifican desde el punto de vista de los impulsores en el cabezal de corte en lugar de desde el punto de vista del chorro. La cinemática inversa puede calcularse utilizando las matemáticas conocidas para convertir las coordenadas de chorro en comandos del impulsor (o, a veces conocidos como unión). Todas estas formas de realización se pueden incorporar en un AVCS apropiadamente configurado para utilizar las técnicas que se describen en la presente memoria.

45  
50  
55  
60

En particular, en el bloque 604, la geometría de desplazamiento se divide en una serie de vectores de geometría de pieza (PGV). Esta segmentación se lleva a cabo, por ejemplo, automáticamente por componentes del AVCS, o, en algunas realizaciones, se puede realizar externamente, tal como mediante un programa CAD / CAM. Las Figuras 7A-7B muestran la segmentación ilustrativa de una pieza deseada. La Figura 7A muestra un ejemplo de una pieza deseada (por ejemplo, diseño de pieza diana) ya que podría ser generada en un sólido paquete de modelado CAD. La información de la especificación de geometría de la pieza y la geometría de desplazamiento se utiliza para determinar el contorno de entrada de chorro donde el chorro de corte entrará en el material diana a medida que avanza a lo largo de la trayectoria de corte deseado y el contorno de salida de chorro donde el chorro de corte dejará en consecuencia el material. Por ejemplo, al cortar una pieza de lámina plana, el contorno de entrada de chorro definirá la trayectoria de corte en la parte superior de la pieza y el contorno de salida de chorro definirá la trayectoria de corte en la parte inferior de la pieza. Los PGV luego son formados utilizando varias líneas para conectar el contorno de entrada de chorro con el contorno de salida de chorro en una relación uno a uno. Es decir, hay un número igual de segmentos entre los PGV en ambos contornos de entrada y salida. En un ejemplo de realización, los puntos finales de cada PGV están conectados por líneas a cada PGV subsiguiente a lo largo del contorno. Por lo tanto, un círculo o contorno de arco se convierte en una secuencia de segmentos de línea. La Figura 7B ilustra la pieza que se muestra en 7A segmentada en los PGV. En este ejemplo, el contorno de entrada de chorro forma un círculo, y el contorno de salida de chorro forma un cuadrado. La naturaleza de la superficie reglada de la pieza es claramente visible en la Figura 7B. En una realización, el número de PGV está determinado por la resolución deseada de la pieza diana que se debe cortar. Por ejemplo, el contorno circular (entrada) que se muestra en la Figura 7B requiere un gran número de PGV para retener de manera óptima su forma circular. Si el proceso de segmentación se traduce en muy pocos PGV, entonces el círculo deseado se vería como un polígono después de

que se corta. Otros factores, como la cinemática de hardware o capacidades del controlador de movimiento también pueden ser considerados al determinar el número de PGV requeridos. Además, los PGV de conductor de entrada y de conductor de salida se pueden añadir a la geometría de desplazamiento (o de antemano para la geometría especificada por el usuario) corresponder y para iniciar las posiciones de acabado del chorro. Estos vectores no definen la pieza, pero describen la forma en que el chorro comienza y termina su corte en la pieza de trabajo.

En el bloque 605, una indicación de velocidad de corte máxima permitida se asigna a una o más superficies o regiones de la pieza deseada. Normalmente, el operador (o utilizando un valor predeterminado proporcionado por el AVCS) asigna una velocidad máxima a cada región / superficie de la pieza diana, un conjunto de regiones, o toda la pieza, ya sea como una indicación de velocidad o especificando el acabado de superficie y/o calidad, etc. La definición de la velocidad máxima permitida fija un límite superior sobre qué tan rugoso será el acabado de superficie del corte. La velocidad de corte y acabado de superficie están fuertemente relacionados; por lo tanto, la indicación de velocidad máxima permitida podrá adoptar la forma de cualquier escala que representa la velocidad de corte, acabado de superficie, o calidad de corte. Utilizando los datos de entrada, los parámetros del proceso, especificación de geometría recibida, indicación de velocidad, y cualesquiera relaciones matemáticas requeridas, el AVCS calcula automáticamente la velocidad de punta de herramienta deseada a lo largo del contorno de entrada de chorro para cada segmento (entre PGV) en base a la velocidad de corte máxima indicada asignada a cada superficie / región respectiva. Por ejemplo, si el operador había asignado una velocidad de corte máxima del 50% (1/2 velocidad) para los lados de la forma mostrada en la Figura 7B, entonces el AVCS usaría ese valor para determinar qué velocidad de corte real asignar a cada contorno de segmento de entrada de entre los PGV (ya que la velocidad especificada es la misma para todos). En el caso en que la longitud de un segmento en el contorno de entrada y el correspondiente segmento sobre el contorno de salida son diferentes, la velocidad de corte variará a lo largo de la longitud (proyección en el material) del chorro (porque necesita ser cortado más material en un contorno que el otro en un determinado período de tiempo). Así, el AVCS necesita ajustar la velocidad de corte en la entrada de chorro de manera tal que ninguna porción de una superficie determinada se corte a una velocidad mayor que la velocidad máxima indicada permitida. Esto significa que las velocidades de corte a lo largo de algunas porciones del chorro (por lo tanto asignadas al PGV) pueden ser conservadoras para asegurar que todas las regiones (áreas de superficie) delimitadas por los PGV no infrinjan el requisito de calidad (por ejemplo, estén dentro de la velocidad máxima deseada). Un ejemplo que utiliza una velocidad porcentual máxima como una indicación adecuada de máxima velocidad está disponible en los sistemas de corte de forma controlada de FlowMaster™, actualmente fabricado por Flow International Corporation. Los indicadores equivalentes de acabado de superficie, velocidad, y/o calidad son generalmente conocidos. Al utilizar el porcentaje de velocidad máxima como indicador, se pueden utilizar los modelos predictivos, ecuaciones, y/o tablas de consulta equivalentes, tal como modelo de velocidad y aceleración 507, utilizando por el AVCS para determinar la velocidad de corte más rápida posible para un espesor dado de material en base a los datos de entrada (por ejemplo, para comportarse con limitaciones newtonianas). El valor de porcentaje se utiliza entonces para escalar el valor máximo calculado.

Las Figuras 8A-8C ilustran un ejemplo de asignación de 50% de una velocidad de corte a tres partes con diferentes perfiles secundarios. En la Figura 8A, el perfil lateral 801 indica que el chorro de corte hará un corte perpendicular a la parte superior del material. En este caso, la velocidad de corte en la parte superior será igual a la velocidad de corte en la parte inferior y el AVCS simplemente asigna el 50% de velocidad deseado. En la Figura 8B, el perfil lateral 802 indica que la parte inferior del corte es dos veces más largo que la parte superior. Esto indica que el chorro pivotará durante el corte con el resultado de que la velocidad de corte en la parte inferior será el doble que en la parte superior. En este caso, el AVCS ajustará la velocidad de corte para que sea 50% en la parte inferior, pero sólo el 25% en la parte superior con el fin de preservar el acabado de superficie / calidad / velocidad deseados. La Figura 8C muestra el caso inverso de la Figura 8B. Aquí, el chorro en la parte inferior del corte se desaceleró a un 25% y en la parte superior no se permite superar el 50%. En los tres casos el AVCS determina automáticamente la velocidad de corte correcta en base a los aportes del operador o valores por defecto u otros valores asignados por el sistema. Un enfoque conservador garantiza que la velocidad máxima de corte en cualquier punto a lo largo del chorro no superará la indicación solicitada de velocidad.

En el bloque 605, la determinación de velocidad se hace para cada par superior / inferior de segmentos limitados por los PGV adyacentes. Dadas las longitudes de los segmentos superiores e inferiores y una indicación de velocidad, el AVCS puede calcular automáticamente las velocidades de corte de la parte superior e inferior.

En el bloque 606, los datos de entrada de tolerancia del bloque 601 se utilizan para determinar un volumen cerrado (imaginario) alrededor de cada PGV. Este volumen representa la tolerancia de desviación (o zona de tolerancia de desviación) para cada PGV. La Figura 9 es un diagrama de bloques ilustrativo que ilustra dos volúmenes de tolerancia hacia las dos vectores de geometría de pieza. En la práctica, un volumen se define entorno a todos los PGV, mostrando la Figura 9 sólo dos tales vectores con fines de claridad. El volumen 901 es un volumen de tolerancia alrededor de un primer PGV; el volumen 902 es un volumen de tolerancia entorno a un segundo PGV. Como se muestra en Figura 9, el volumen alrededor de cada vector no tiene por qué ser el mismo. Por Ejemplo, la Figura 9 muestra un volumen menor 902 alrededor del PGV en la esquina de la pieza. Esto es indicativo de un requisito de tolerancia más estricto en esta región de la pieza. Además, si bien la Figura 9 muestra un volumen de tolerancia, por ejemplo, 901, que es de forma cilíndrica, una forma tal no es un requisito. En la práctica, los requisitos de tolerancia pueden ser direccionales por naturaleza. Por ejemplo, a medida que el chorro se dirige hacia una esquina interior, puede ser no deseable crear una región de corte excesivo en la pieza. En una esquina exterior, sin

embargo, el corte en el material de desecho por el chorro de arrastre puede ser aceptable. Estos requisitos diferentes pueden dar lugar a un valor de la tolerancia a medida que el chorro entra en la esquina y otro valor de tolerancia a medida que el chorro sale de la esquina. Tales requisitos pueden crear volúmenes de tolerancia de diferentes tamaños y formas a lo largo de una pieza, a diferencia de los cilíndricos mostrados en la Figura 9.

5 Además, un único valor de tolerancia puede ser asignado a la pieza entera, por ejemplo, cuando se requiere menos precisión de cualquiera de las subpartes de la pieza. También, una o más tolerancias pueden ser asignadas por el sistema de corte, por ejemplo, como valores por defecto.

En el bloque 607, el AVCS determina automáticamente la forma de una pieza que debe ser cortada y si la forma está dentro de la tolerancia de desviación asociada con cada PGV o no, por ejemplo, utilizando el modelo de corrección de desviación adaptativo 506 en la Figura 5 . En una realización, la indicación de la velocidad máxima permitida, los datos de entrada, especificación de geometría recibida y vectores de geometría de pieza se utilizan para predecir la forma del frente de corte (al reducir la longitud del chorro), a medida que se mueve en el material de la pieza de trabajo para cortar la pieza diana. Esta predicción se discute más adelante con respecto a la Figura 19. Cualquier modelo adecuado que proporcione información igual o equivalente puede ser utilizado. La forma prevista del frente de corte se compara entonces con el volumen de tolerancia de desviación en cada PGV. Por ejemplo, la Figura 10 ilustra una forma curvada de un frente de corte parcialmente contenida en una forma cilíndrica de un volumen de tolerancia de desviación. La forma curva 1002 representa el frente de corte hecho en el material de la pieza de trabajo con la parte superior de la forma de centrada en un PGV (no mostrado). Para facilitar la presentación, el frente de corte se muestra como un conjunto de pequeños cilindros, aunque sólo la mitad de cada cilindro pequeño puede ser necesario para representar el frente de corte. El cilindro 1003 representa el volumen que rodea a la desviación de tolerancia PGV. En la Figura 10, la representación del frente de corte cae fuera del volumen de tolerancia de desviación, como puede verse por el arrastre de la forma 1002 que se extiende más allá del cilindro 1003. La Figura 11 ilustra un ejemplo de una forma curva, donde se encuentra el frente de corte previsto dentro del volumen de tolerancia de desviación. Aquí, la forma curvada 1102 se muestra enteramente dentro de la forma cilíndrica 1103. La ubicación y orientación del frente de corte dentro del volumen de tolerancia de desviación puede cambiar, pero un factor crítico es si el frente de corte está contenido dentro de la zona.

En el bloque 608, el AVCS determina automáticamente dos ángulos de corrección de desviación aplicados con respecto al sistema de coordenadas XYZ utilizado para describir el PGV. Aquí, las coordenadas esféricas los ángulos de corrección de desviación son coordenadas esféricas expresadas aplicadas al sistema local de coordenadas de PGV. Otras expresiones equivalentes se pueden utilizar. También, dependiendo de los impulsores del aparato de cabezal de corte y el controlador, se pueden determinar y utilizar menos o más ángulos de desviación. Los ángulos de corrección de desviación se utilizan para crear un nuevo vector de dirección del chorro (JDV) que se desvía del PGV en la cantidad definida por la inclinación y giro especificado en los ángulos de corrección de desviación. En el caso donde la forma prevista del frente de corte está fuera del volumen de tolerancia de desviación, dirigir el chorro a lo largo del JDV ajustará el frente de corte en el volumen de tolerancia de desviación.

La Figura 12 ilustra un ejemplo de ángulos de corrección de desviación aplicados a la representación que se muestra en la Figura 10. Aquí, el frente de corte 1202 se muestra dentro del volumen de tolerancia de desviación definido el cilindro 1203. En los casos en que la tolerancia de la desviación es pequeña, o la curvatura del frente de corte es grande, puede ser imposible encontrar ángulos de corrección de desviación que funcionen como se muestra en la Figura 12.

La Figura 13 ilustra un ejemplo donde la curvatura prevista del frente de corte no puede ser orientada para estar totalmente contenida en un pequeño volumen de tolerancia de desviación. Aquí el frente de corte 1302 se extiende más allá del volumen definido por la tolerancia de desviación del cilindro 1303. Cuando se produce este fenómeno, el AVCS intenta automáticamente eliminar o reducir la curvatura del frente de corte para cumplir los requisitos de tolerancia establecidos por el operador. La reducción de la velocidad de corte tiene el efecto de eliminar la curvatura en el frente de corte.

La Figura 14 ilustra una representación del frente de corte mostrado en la Figura 13, donde la velocidad de corte se ha reducido. En este caso, el frente de corte 1402 tiene un frente de corte de curvatura reducido 1302 que se muestra en la Figura 13, ahora suficiente para que quepa en el volumen de tolerancia de desviación definido por el cilindro 1403. Si, después de reducir la velocidad, el frente de corte todavía no puede ajustarse para caber en el volumen de tolerancia de desviación, entonces, en una realización, se obtiene un mejor ajuste y el operador es alertado. Además, si se requiere una reducción de velocidad de corte para un JDV, tal reducción puede requerir un ajuste en las velocidades de corte de los JDV adyacentes. Estos ajustes pueden ser necesarios para evitar la introducción de sacudida en el sistema de corte. La determinación de los JDV se discute más adelante con respecto a la Figura 19.

En el bloque 609, el AVCS construye el programa/ datos de movimiento final haciendo ajustes a la estructura de datos del programa de movimiento (u otras estructuras de datos) según sea necesario para el controlador de chorro en particular en uso. El programa de movimiento contiene los comandos necesarios para orientar el chorro a lo largo de cada JDV en la velocidad de corte determinada, a partir de la ubicación del JDV de conductor de entrada y terminando con la ubicación que corresponde al JDV de conductor de salida, a medida que el chorro avanza a lo largo de los contornos de entrada y salida. Las instrucciones del programa de movimiento se pueden expresar en

términos de posiciones de impulsor o posiciones de punta de herramienta y orientaciones, o sus equivalentes. Si se utilizan posiciones de la punta de herramienta que definen la ubicación y orientación, el controlador debe interpretar las instrucciones en las posiciones de impulsor mediante el uso de ecuaciones cinemáticas. La complejidad de la cinemática es típicamente una función de hardware utilizado para manipular el chorro de corte.

- 5 Por ejemplo, algunos controladores son capaces de recibir programas de movimiento especificados en términos de la orientación de chorro y utilizan internamente la cinemática inversa para determinar las posiciones de impulsor reales a partir de las posiciones de punta de herramienta de chorro. Otros, sin embargo, esperan recibir las instrucciones del programa de movimiento en términos de posiciones del impulsor, y no la posiciones xy de punta de herramienta de chorro y coordenadas de ángulo. En este caso, cuando las posiciones de punta de herramienta de chorro deben ser "traducidas" a posiciones de impulsor, el AVCS en el paso 609 realiza dichas traducciones utilizando ecuaciones cinemáticas y realiza ajustes a los valores de los parámetros de orientación almacenados en la estructura de datos de programa de movimiento.

- 15 En el bloque 610, el AVCS establece y/o verifica la comunicación con el aparato controlador del chorro dependiendo de la configuración de la conexión entre el AVCS y el controlador. (Por ejemplo, en el caso de un AVCS incorporado, esta lógica puede no necesitar ser ejecutada) En el bloque 611, el AVCS envía (reenvía, se comunica, transmite, o similar) el programa de movimiento incorporado / instrucciones de movimiento / datos al controlador para su ejecución. El término "controlador" incluye cualquier dispositivo / software / firmware capaz de dirigir el movimiento del impulsor sobre la base de los programas de movimiento / instrucciones de movimiento / datos. El término "programa de movimiento" se usa aquí para indicar un conjunto de instrucciones que el aparato de chorro particular y/ o controlador que está siendo utilizado entiende, como se explica en otro lugar. El código / lógica anterior en consecuencia puede ser alterado para dar cabida a las necesidades de cualquier tipo de instrucciones y/o requisitos de datos.

- 25 En una realización, la Interfaz de usuario del AVCS es una Interfaz de usuario gráfica ("GUI") que controla todo el proceso de corte. Las Figuras 15 y 16 son ejemplos de visualizaciones de pantallas de diversos aspectos de una realización ilustrativa de la Interfaz de usuario del AVCS. Estas pantallas muestran cómo un usuario invoca las capacidades del AVCS para determinar automáticamente correcciones de desviación de chorro y ajustar en consecuencia la orientación del chorro como se describe en detalle en la Figuras 19 y 26. Otras visualizaciones de pantalla ilustrativas para la introducción de la entrada del usuario, etc., se describen en detalle en la patente Estadounidense No. 6.766.216, emitida el 20 de julio de 2004 para Flow International Corporation. Existen muchas variaciones de estas pantallas, incluyendo la entrada solicitada, la salida visualizada, y el flujo de control y se contemplan para ser utilizadas con las técnicas que se describen en la presente memoria.

- 35 La Figura 15 es una visualización de pantalla ilustrativa de un cuadro de diálogo de introducción de una Interfaz de usuario del módulo de corte del sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo. El dibujo del área de visualización 1501 contiene una vista del diseño actual de la pieza diana. En esta realización particular, las líneas están codificadas por colores para corresponder con los requisitos acabado de de superficie del cliente. Diferentes alojamientos (no se muestran) se hacen para representar dos partes dimensionales. Los pulsos de ajuste de velocidad 1508 se pueden utilizar para cambiar manualmente la configuración para cualquier entidad de dibujo en particular. Entre otras capacidades, el cuadro de diálogo de introducción proporciona acceso a las opciones de configuración a través de la selección del pulsor de configuración 1502. Cuando se selecciona el pulsor de vista previa 1503, el AVCS proporciona una vista previa simulada de la dirección y la trayectoria del cabezal de corte a lo largo del dibujo que se muestra en el área de visualización del dibujo 1501. El pulsor de correcciones de desviaciones 1504 se utiliza para activar el ajuste de orientación lógica automática. Cuando se selecciona el pulsor ejecutar 1505, el AVCS realiza una gran cantidad de actividades relacionadas con la construcción del programa de movimiento, una realización que se describe en detalle con respecto a las Figuras 18 y 19. Después de que el AVCS ha terminado de construir el programa de movimiento y el establecimiento de comunicación con el aparato controlador de chorro, la interfaz de usuario del módulo de corte muestra la retroalimentación del controlador y el diálogo de control (el "diálogo controlador ") para ejecutar realmente el proceso de corte. El cuadro de diálogo del controlador se describe con respecto a la Figura 16. Otros campos están disponibles en el cuadro de diálogo de introducción para establecer los valores de indicación y otros parámetros del proceso. Por ejemplo, los atributos de material de la pieza de trabajo se pueden configurar en los cuadros de edición 1506. Además, el radio de la herramienta de chorro se puede configurar en el cuadro de edición 1507. El radio de la herramienta de chorro se puede utilizar para determinar el desplazamiento del chorro lo que se necesita para producir la trayectoria de corte diana (la geometría de desplazamiento).

- 55 La Figura 16 es una visualización de pantalla ilustrativa de una realimentación del controlador de chorro y cuadro de diálogo de una Interfaz de usuario del módulo de corte del sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo. El área de visualización de corte 1601 contiene una vista de la pieza diana (que aquí se muestra en tres dimensiones). Los ajustes apropiados, no mostrados, están hechos para ilustrar el corte de dos dimensiones. La retroalimentación del controlador y cuadro de diálogo de control (diálogo del controlador) presenta la información del controlador actual al operador a medida que se corta la pieza diana. El área de retroalimentación de parámetros de orientación 1602 muestra los valores de los parámetros de orientación desde el punto de vista del controlador. Una vez que el proceso de corte se inicia, el operador puede elegir qué parámetros mostrar. El operador selecciona los pulsos de orientación de inicio 1603 para establecer una posición (x, y, z) de "origen" y un "origen" para la inclinación y

posiciones angulares de giro del cabezal de corte. Alternativamente, los pulsos de orientación de inicio 1603 también se pueden utilizar para comandar el cabezal de corte a la posición de origen de inicio si se ha producido movimiento lejos de la ubicación. El área de control de parámetros de proceso 1606 contiene los valores actuales de los parámetros relacionados con la bomba y las boquillas incluyendo si se está utilizando abrasivo o no y si la bomba se está desempeñando a presión alta o baja. Para empezar el proceso de corte real, el operador selecciona el pulsor de inicio de ciclo 1604. En este momento, el AVCS comunica el programa de movimiento al controlador y ordena al controlador ejecutar el programa. El pulsor de parada de ciclo 1605 se selecciona para detener el proceso de corte actual.

La Figura 17 es un diagrama de bloques ilustrativo de un sistema de cálculo ilustrativo que se puede utilizar para practicar realizaciones de un Sistema de Control Vectorial Adaptativo tal como se describe en el presente documento. Tenga en cuenta que un sistema informático de propósito general o propósito especial instruido convenientemente puede usarse para implementar un AVCS. Además, el AVCS puede implementarse en software, hardware, firmware o en alguna combinación para lograr las capacidades descritas en el presente documento.

El sistema informático 1700 puede comprender uno o más servidor y/o sistemas informáticos del cliente y puede abarcar ubicaciones distribuidas. Además, cada bloque que se muestra puede representar uno o más bloques según corresponda para una realización específica o puede combinarse con otros bloques. Por otra parte, los distintos bloques del sistema de control vectorial adaptativo 1710 pueden residir físicamente en una o más máquinas, que usan mecanismos de comunicación entre procesos patentados o estándar (por ejemplo, TCP / IP) para comunicarse entre sí.

En la realización que se muestra, el sistema informático 1700 comprende una memoria de computadora ("memoria") 1701, una pantalla 1702, una o más unidades centrales de procesamiento ("CPU") 1703, dispositivos de entrada / salida 1704 (por ejemplo, teclado, ratón, visualización CRT o LCD, etc.), otros medios legibles por computadora 1705, y una o más conexiones de red u otras conexiones de comunicaciones 1706. El AVCS 1710 se muestra que reside en la memoria 1701. En otras formas de realización, alguna porción de los contenidos, algunos de, o la totalidad de los componentes del AVCS 1710 puede almacenarse en y/o transmitirse a través de otros medios legibles por computadora 1705. Los componentes del Sistema de Control Vectorial Adaptativo 1710 se ejecutan preferentemente en una o más CPU 1703 y gestionan los programas de generación de movimiento, como se describe en el presente documento. Otros códigos o programas 1730 y potencialmente otros depósitos de datos, tal como depósito de datos 1720, también residen en la memoria 1701, y se ejecutan preferentemente en una o más CPU 1703. Es de destacar que uno o más de los componentes en la Figura 17 no puede estar presente en cualquier aplicación específica. Por ejemplo, algunas realizaciones incorporadas en otro software no pueden proporcionar medios para la entrada del usuario o la pantalla.

Como se describe en la Figura 5, en una realización típica el AVCS 1710 comprende varios componentes, incluyendo una interfaz de usuario 1711, un módulo de CAD 1712 (si no es una parte de la interfaz de usuario 1711), un generador de programa de movimiento / AVCS Núcleo 1713, uno o más modelos reemplazables 1714, incluyendo el Modelo de Corrección de Desviación Adaptativa 1716, una interfaz de controlador 1715, y un depósito de datos de AVCS 1718. Estos componentes se muestran que residen en la memoria de 1701. Como se describe en otro lugar, la interfaz de usuario 1711 se utiliza para proporcionar el AVCS con ciertos insumos, tal como un acabado de superficie deseado y /u otros parámetros de entrada. El módulo CAD 1712 ofrece especificaciones de geometría para la pieza deseada. El generador de programa de movimiento / AVCS núcleo se encarga de segmentar la geometría de la pieza, determinar tolerancias y correcciones de desviación para lograr tales tolerancias utilizando los modelos 1714, incluido el Modelo de Corrección de Desviación Adaptativa 1716. El Depósito de Datos de AVCS 1718 se puede utilizar para retener datos temporales o permanentes, incluyendo, por ejemplo, una copia del programa de movimiento generado.

En al menos algunas realizaciones, el módulo de CAD / componente 1712 se proporciona externo al AVCS y está disponible, potencialmente, en una o más redes y/o buses de comunicación 1750. Otros y/o diferentes módulos pueden ser implementados. Además, el AVCS puede interactuar a través de un bus de comunicaciones / red 1750 con otro código de aplicación 1755, que (por ejemplo, utiliza resultados calculados por el AVCS 1710), uno o más controladores de chorro de corte o sistemas de control 1760, y/o uno o más sistemas de proveedores de información de terceros 1765, tal como un sistema CAD externo que proporciona parte del proceso de segmentación o una herramienta de modelado 3D, etc.

Además, en algunas realizaciones, se proporciona una API AVCS (Interfaz de programación de aplicación) 1717 para proporcionar acceso programático a los aspectos del AVCS. Por ejemplo, la API 1717 puede proporcionar acceso de programación al programa de movimiento almacenado en el depósito de datos 1718, o incluso a los resultados de corrección de desviación intermediarios, tal como PGV, JDV, etc., o para las funciones previstas por el AVCS, en realizaciones en las que es deseable dicho acceso. Este acceso puede ser deseable, por ejemplo, para interconectarse al software de modelado 3D de terceras partes.

En una realización ilustrativa, los componentes / módulos del AVCS 1710 se implementan utilizando técnicas estándar de programación. Sin embargo, una variedad de lenguajes de programación conocidos en la técnica se pueden emplear para la aplicación de tales realizaciones ilustrativas, incluyendo implementaciones representativas

de diversos paradigmas del lenguaje de programación, incluyendo, pero sin limitarse a, orientado a objetos (por ejemplo, Java, C ++, C #, Smalltalk, etc.), funcional (por ejemplo, ML, Lisp, Scheme, etc.), de procedimiento (por ejemplo, C, Pascal, Ada, Modula, etc.), de secuencias de comandos (por ejemplo, Perl, Ruby, Python, JavaScript, VBScript, etc.), declarativa (por ejemplo, SQL, Prolog, etc.), etc.

- 5 Las realizaciones descritas anteriormente también pueden utilizar técnicas informáticas del cliente-servidor síncronas o asíncronas conocidas o de propiedad. Sin embargo, los diversos componentes pueden implementarse utilizando técnicas de programación más monolíticas, así, por ejemplo, como un funcionamiento ejecutable en un único sistema informático de CPU, o alternativamente pueden descomponerse utilizando una variedad de técnicas de estructuración conocidas en la técnica, incluyendo pero sin limitarse a, multiprogramación, multitratamiento, cliente-servidor o par a par, que se ejecuta en uno o más sistemas informáticos teniendo cada uno una o más CPUs. Algunas realizaciones pueden ejecutarse al mismo tiempo y de forma asíncrona y comunicarse utilizando técnicas de pasaje de mensaje. Las realizaciones síncronas equivalentes también están soportadas.

Además, la programación de interfaces para datos almacenados como parte del AVCS 1710 (por ejemplo, en los depósitos de datos 1718) puede estar disponibles por medios estándar tal como C, C ++, C #, y API de Java; bibliotecas para acceder a archivos, bases de datos u otros depósitos de datos; a través de los lenguajes de programación tal como XML; o a través de los servidores web, servidores FTP, u otros tipos de servidores que proporcionan acceso a los datos almacenados. El depósito de datos de AVCS 1718 puede implementarse como uno o más sistemas de bases de datos, sistemas de archivos, estructuras de datos en memoria, o cualquier otro procedimiento conocido en la técnica para almacenar dicha información, o cualquier combinación de los mismos, incluida la implementación anterior utilizando técnicas de computación distribuidas.

También el AVCS ilustrativo 1710 puede implementarse en un entorno distribuido que comprende múltiples sistemas informáticos, incluso heterogéneos, y redes. Además, uno o más de los módulos puede ser distribuidos por sí mismos, combinados o de otro modo agrupados, tal como por razones de equilibrio de carga, fiabilidad o seguridad. Diferentes configuraciones y ubicaciones de los programas y datos se contemplan para su uso con técnicas descritas en este documento. Una variedad de técnicas informáticas distribuidas son apropiadas para la aplicación de los componentes de las realizaciones ilustradas de manera distribuidas, incluyendo pero sin limitarse a sockets TCP / IP, RPC, RMI, HTTP, Servicios Web (XML-RPC, JAX-RPC, SOAP, etc.) etc. Otras variaciones son posibles. También, otra funcionalidad podría ser proporcionada por cada componente / módulo o la funcionalidad existente podría distribuirse entre los componentes / módulos de diferentes maneras, y aún así lograr las funciones descritas en el presente documento.

Además, en algunas realizaciones, algunos o todos los componentes del AVCS 1710 pueden implementarse o proporcionarse de otras maneras, tal como al menos parcialmente en firmware y/o hardware, incluyendo, pero sin limitarse a uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), circuitos integrados estándar, controladores (por ejemplo, mediante la ejecución de instrucciones apropiadas, e incluyendo microcontroladores y/o controladores incorporados), procesadores de señales digitales (DSP), arreglos de compuertas programables en campo (FPGAs), dispositivos lógicos programables complejos (CPLD), etc. Algunos o todos los componentes del sistema y/o estructuras de datos también pueden ser almacenados (por ejemplo, como ejecutables u otras instrucciones de software legible por máquina o datos estructurados) en un medio legible por computadora (por ejemplo, un disco duro; una memoria; una red, o un artículo de medios portátil para ser leídos por una unidad apropiada o por medio de una conexión apropiada) para activar o configurar el medio legible por computadora y/o uno o más sistemas o dispositivos informáticos asociados para ejecutar o de otra manera utilizar o proporcionar el contenido para llevar a cabo al menos algunas de las técnicas descritas. Algunos o todos los componentes y/o estructuras de datos pueden ser almacenados en medios de almacenamiento tangibles. Algunos o todos los componentes del sistema y las estructuras de datos también se pueden transmitir de una manera no transitoria como señales de datos (por ejemplo, como parte de una onda portadora o incluidos como parte de una señal analógica o digital propagada) en una variedad de medios de transmisión legibles por computadora, tal como medios de comunicación 1705, incluyendo a través de medios en base a cables/ alámbricos e inalámbricos, cuyas señales se transmiten a continuación, incluyendo a través de medios en base a cables/ alámbricos e inalámbricos, y puede tomar una variedad de formas (por ejemplo, como parte de una señal analógica simple o multiplexada, o como múltiples paquetes o tramas digitales discretas). Tales productos de programas informáticos también pueden adoptar otras formas en otras realizaciones. Por consiguiente, las realizaciones de esta descripción pueden ponerse en práctica con otras configuraciones de sistemas informáticos.

Como se ha expuesto en relación con la interfaz de usuario demostrada en la Figura 15, cuando un operador selecciona el pulsor "Ejecutar" en el cuadro de diálogo de introducción del módulo de corte de la interfaz de usuario (véase, por ejemplo, el pulsor 1505), el AVCS comienza el proceso de determinar automáticamente y ajustar ángulos de corrección de desviación y la construcción de un programa de movimiento en base a ellos.

La Figura 18 es un diagrama de flujo ilustrativo del proceso de ajuste de corrección de desviación automática de un sistema de control vectorial adaptativo ilustrativo. En el bloque 1801, el AVCS determina si esta es la primera vez que el software se ha ejecutado para cortar esta pieza de destino o si cualquier parámetro (proceso) de entrada ha cambiado, y, si es así, continúa en el bloque 1802, de lo contrario continúa en el bloque 1803. En el bloque 1802, el AVCS muestra los diálogos de entrada de la interfaz de usuario y obtiene información del operador con respecto a

los valores primordiales que el operador desea, acabado de superficie deseado, tolerancias deseadas, etc. En el bloque 1803, el AVCS invoca una rutina para construir una estructura de datos de programa de movimiento (o estructura de datos equivalente para retener las instrucciones y/o datos de movimiento) utilizando las técnicas de ajuste automático descritas anteriormente para generar valores angulares de inclinación y giro (en base a correcciones de desviación) y otros valores de parámetros de proceso. En el bloque 1804, el AVCS establece o verifica que una sesión de comunicación se ha establecido con el controlador de chorro. (Esta lógica no puede existir cuando se utiliza un AVCS incorporado dentro de un controlador.) En el bloque 1805, en una realización el AVCS muestra un cuadro de diálogo para mostrar la retroalimentación del controlador (por ejemplo, para mostrar los valores x, y, z, y angulares actuales, mientras que se corta una pieza), y regresa a la espera de más instrucciones del operador.

La Figura 19 es un diagrama de flujo ilustrativo de la lógica ejecutada por un AVCS ilustrativo para construir una estructura de datos de programa de movimiento. Esta lógica se invoca, por ejemplo, desde el bloque 1803 de la Figura 18. El AVCS examina la especificación de la geometría que fue recibida para la pieza deseada y automáticamente determina y ajusta, utilizando los modelos (tal como los modelos 505 de la Figura 5) y valores de parámetros de proceso de corte primordiales indicados por el operador, velocidades y orientación del chorro que se utilizarán para cortar la pieza diana de acuerdo a las necesidades de los clientes especificados. Estos valores se almacenan en una estructura de datos que forma el programa de movimiento cuando se ha completado. Cualquier estructura de datos apropiada, incluyendo una matriz simple, archivo, portátil, se puede utilizar para almacenar los datos del programa de movimiento. Además, como se ha explicado anteriormente la estructura de datos de programa de movimiento puede incluir código, instrucciones, datos, y / u otra lógica según corresponda para controlar el controlador y/o cabezal de corte.

En concreto, en el bloque 1901 el AVCS calcula automáticamente una geometría de desplazamiento de la pieza deseada (llamada también la geometría de la pieza) a partir de la especificación de la geometría introducida como se describe en otro lugar y le asigna un sistema de coordenadas XYZ, en el que se basan todos los cálculos posteriores. Recordemos que la geometría de desplazamiento es la geometría que se debe seguir cuando la pieza diana se corta para dar cuenta de cualquier ancho que el chorro de hecho ocupa al cortar. Preferiblemente, se utiliza el sistema de coordenadas diestro con el eje Z apuntando hacia arriba. Sin embargo, puede usarse cualquier sistema de coordenadas consistente. En la práctica, los cálculos se hacen más fáciles si el sistema de coordenadas coincide con el sistema robótico físico en el que se cortará la pieza.

En el bloque 1902, la geometría de la pieza es segmentada automáticamente de manera que tal la misma esté representada como una serie de vectores de geometría de la pieza (PGV). Como se describió anteriormente, los PGV son segmentos de línea recta que conectan un contorno donde el chorro entra en el material que debe cortar con un contorno donde el chorro sale del material. Preferiblemente, los puntos finales de los PGV a lo largo de los contornos de entrada de chorro y salida de chorro están conectados por segmentos de línea, aunque otras entidades geométricas tal como arcos pueden ser factibles en algunos esquemas de control. Los contornos de entrada de chorro y salida de chorro se encuentran en una relación de uno-a-uno de manera tal que los dos contornos tengan el mismo número de segmentos. Para facilitar la explicación, el diagrama de flujo de la Figura 19 se referirá a una pieza tal como la representada en la Figura 7B, aunque las técnicas no se limitan a geometrías (tal como la Figura 7B) donde el chorro entra en una superficie co-planar con la superficie en la que el chorro sale. Tenga en cuenta que las técnicas que se describen en la Figura 19 se pueden aplicar a cualquier geometría, siempre que las transformaciones adecuadas se apliquen al sistema de coordenadas seleccionado.

En el bloque 1903, el AVCS determina una velocidad de punta de herramienta (por ejemplo, en unidades de porcentaje de velocidad) para cada segmento del contorno de salida de chorro (entre dos PGV). En otras realizaciones, se pueden incorporar indicaciones de velocidad distintas de unidades de porcentaje de velocidad. En aras de coherencia y facilidad, las unidades de porcentaje de velocidad se utilizan aquí para describir la velocidad. La velocidad de punta de herramienta es determinada automáticamente por el AVCS utilizando la geometría de la pieza y la indicación de máxima velocidad de corte permitida por el operador como se ha explicado con referencia a la Figura 6. En su forma más simple, en una realización el AVCS sigue un enfoque muy conservador y no permite que ninguna parte de la corriente de chorro de corte para exceda la velocidad determinada por el AVCS. Por ejemplo, en el caso donde un operador utiliza un indicador de 50% como máxima velocidad. Si la longitud del segmento de conexión entre dos PGV es la misma en la entrada de chorro (a lo largo del contorno de entrada de chorro) y la salida de la pieza (a lo largo del contorno de salida de chorro), entonces el AVCS calculará la velocidad de corte en base a la entrada de 50%. Si, sin embargo, la longitud del segmento de conexión en la entrada de chorro es dos veces tan larga como la longitud del segmento de conexión en la salida de chorro, a continuación, un enfoque conservador es utilizar un valor de 50% en la entrada del corte, incluso si la velocidad de corte es muy lenta a lo largo de la longitud del chorro en la salida del corte. (La Figura 3B muestra una pieza biselada ahusada, donde el contorno de entrada es más largo que el contorno de salida.) Si la longitud del segmento de conexión en la entrada de chorro es la mitad de la longitud del segmento de conexión en la salida de chorro, a continuación, un enfoque conservador es bajar la velocidad de corte de entrada a una velocidad determinada por un valor del 25% (la mitad del valor máximo del 50%). (La Figura 3A muestra una parte biselada donde el contorno de entrada es más corto que el contorno de salida a pesar de que las formas son las mismas. Véase también la Figura 21.) La configuración de la velocidad de entrada de corte en un valor del 25% garantiza que ninguna parte de la superficie de corte sea cortada más rápido que el 50% originalmente asignado por el operador. Enfoques menos conservadores se pueden

utilizar en base a modelos predictivos tal como aquellos, por ejemplo, que describen el acabado de superficie en función de la velocidad de corte. Cualquier tipo de modelo predictivo puede ser utilizado por el AVCS, así como tablas de consulta, o técnicas matemáticas simples, tal como promedio.

5 En el bloque 1904, el AVCS automáticamente "rebana" la geometría de la pieza en muchas capas paralelas al plano XY. El AVCS aplicará automáticamente modelos predictivos, desviaciones (por ejemplo, modelo de corrección de desviación adaptativo 506 de la Figura 5) para cada rebanada para predecir las desviaciones localizadas tal como arrastre (drag), deflexión radial, que pueden afectar el arrastre y ahusamiento. Los resultados de arrastre (que representan cualquier deflexión radial) para cada capa se suman para dar una visión global del frente de corte. Específicamente, la posición de desviación en cada capa se convierte en la posición de partida para la capa subsiguiente. Por lo tanto, mediante la adición de las desviaciones relativas, se puede determinar un sentido completo de la desviación total del frente de corte previsto a partir del frente de corte deseado. Además, el ahusamiento se examina en cada capa para determinar si el corte está dentro de un volumen de tolerancia localizado. Una vez que el frente de corte previsto se determina y se compara con las tolerancias aceptables, el AVCS puede determinar ángulos de corrección que deben aplicarse a la orientación del chorro para intentar ajustar el frente de corte para entrar dentro de las tolerancias aceptables como se describe con respecto a la Figura 10 a Figura 13.

20 Por ejemplo, considere el escenario que se muestra en la Figura 20. La Figura 20 es una ilustración ilustrativa de ángulos de corrección de desviación de aplicación para ajustar la orientación del chorro que debe estar dentro de las tolerancias aceptables. En la Figura 20, la línea 2004 representa un PGV, la ubicación deseada ideal para el frente de corte para producir la geometría deseada. Sin embargo, la línea 2001 muestra los lugares de partida y de salida del frente de corte previsto sumados en múltiples capas, donde la línea 2001 cae fuera del volumen tolerancia deseada 2000. La línea 2002 muestra las posiciones de inicio y final de un frente de corte hipotético que lo haría caer dentro de un volumen de tolerancia aceptable. El AVCS calcula las rotaciones pertinentes para orientar la línea 2001 a la posición 2002. Estas rotaciones se convierten en la corrección de ángulos 2005 aplicada al PGV 2004. Mediante la adición de estos ángulos de corrección en PGV, el frente de corte se desplaza dentro del volumen de tolerancia con eventualmente cuando se produce el corte.

30 El espesor elegido para cada capa es una compensación entre el esfuerzo de cálculo y resolución. Las capas más delgadas requieren más cálculos pero proporcionan resultados más precisos. Las capas más gruesas permiten un menor número de cálculos, pero resultados menos precisos. Los experimentos han demostrado que un espesor de capa de 0,01 pulgadas (0,254 mm) describe un típico corte de chorro de agua abrasivo con el detalle adecuado. Las ecuaciones utilizadas en la siguiente descripción se basan en este espesor de capa. Los coeficientes para las diversas ecuaciones pueden variar a medida que se cambia el espesor de la capa.

35 La Figura 21 muestra un ejemplo del perfil lateral de una pieza con forma trapezoidal utilizada para ilustrar la segmentación y estratificación de un AVCS ilustrativo. La Figura 21 muestra cinco PGV y un total de m capas. En la práctica, el número de PGV y capas puede ser mucho mayor. El reducido número se muestra para fines explicativos. Cada capa tiene un espesor t, donde el espesor total de la pieza se muestra como T.

40 En el bloque 1905, se determina el radio de curvatura de la superficie de la pieza en cada PGV (para cada segmento PGV) para cada capa. El radio de curvatura R es el recíproco de la curvatura k de la superficie de la pieza. Tanto la curvatura k como el radio de curvatura R se encuentran utilizando procedimientos matemáticos bien establecidos para las superficies. Por Ejemplo, Kobayashia and Nomizu, Foundations of Differential Geometry, John Wiley & Sons, 1991, o Elementary Topics in Differential Geometry, Springer-Verlag, N.Y., 1979 proporciona dicha información, y se incorporan aquí como referencia en su totalidad. Se observa que la información sobre la curvatura se puede perder a través del proceso de segmentación (por ejemplo, cuando los PGV son líneas rectas). En tales casos, los valores de curvatura se pueden recuperar de la geometría original que se introdujo como especificación de geométrica. Alternativamente, estos valores se pueden calcular como parte de la lógica de la Figura 19 antes de la segmentación. Por ejemplo, en la parte que se muestra en la Figura 7B, el radio de curvatura en cada capa puede variar a partir del radio del círculo que forma cada segmento en el contorno de entrada de chorro hasta un valor de infinidad para la línea que representa cada segmento en el contorno de salida de chorro. El valor para el radio en capas intermedias puede variar como una función de la descripción de superficie.

50 Las Figuras 22A y 22B ilustran cómo el radio de curvatura varía para cada capa en una pieza tal como la que se muestra en la Figura 7B. La Figura 22A muestra una vista en despiece con la parte "rebana" en cuatro capas. Al examinar los bordes 2201, 2202, 2203, 2204 y 2205, la transición desde el círculo en el borde 2201 hasta la línea en el borde 2205 se ve claramente. La Figura 22 B muestra una vista superior de la misma pieza para dar una perspectiva diferente del mismo efecto.

55 En el bloque 1906, el AVCS calcula un velocidad de corte ajustada en cada capa (por ejemplo, un velocidad de corte porcentual ajustada) utilizando la velocidad (porcentaje) del contorno de salida del chorro y la información de los PGV y segmentos de conexión. El ajuste en la velocidad da cuenta de la profundidad de material en cada capa. En otras palabras, la velocidad asignada al contorno de salida de chorro se asocia con la profundidad total T del material. Pero el AVCS utiliza preferiblemente una velocidad de corte que sea apropiada para una capa dada para derivar los otros cálculos de capa. Además, el ángulo de ataque  $\theta$  se debe tener en cuenta, así como el pivotamiento

60

del chorro a medida que avanza a través del material. En la Figura 21 se puede observar que el ángulo de ataque se tiene en cuenta para compensar cualquier distancia adicional que el chorro recorra a través de una capa debido al ángulo  $\theta$ . También en la Figura 21, por ejemplo, las longitudes del segmento inferior  $L_m$  son mayores que  $L_{m-1}$  y así sucesivamente. Esto hace de manera efectiva que las velocidades de corte hacia la entrada del corte sean incluso más lentas que en la parte inferior. Si las longitudes de entrada fueran más grandes que en la salida, el efecto se invierte. Además, la eficiencia de corte tiende a disminuir con la profundidad debido a la pérdida de energía debajo de la longitud del chorro y esto también se toma preferiblemente en cuenta. Con respecto a la disminución de la eficiencia con la profundidad de corte, en base a resultados empíricos, para materiales de hasta 2 pulgadas de espesor, la velocidad de corte es aproximadamente proporcional a  $(1-0,2T) / T$  donde T es el espesor total en pulgadas. Esta relación se utiliza para calcular la velocidad de corte ajustada por capa mediante la formación de una relación de velocidad de corte proporcional en el espesor de material completo y la velocidad de corte proporcional en el espesor de una capa dada.

La ecuación (1) muestra la forma de la ecuación utilizada para ajustar la velocidad de corte para cada capa (utilizando aquí velocidad porcentual como medida de velocidad). En la ecuación (1),  $U_{\%adj}$  es la velocidad ajustada en porcentaje para una capa dada,  $U_{\%exit}$  es el porcentaje de velocidad en el contorno de salida, T es el espesor total del material diana en pulgadas, t es la profundidad de una capa en pulgadas, m es el número de capa contando desde el contorno de entrada,  $L_{exit}$  es la longitud del segmento en pulgadas que conecta dos PGV adyacentes en el contorno de salida,  $L_M$  es la longitud del segmento entre PGV adyacentes de la capa que es ajustada. La ecuación (1) se ha demostrado que funciona bien para profundidades de material de hasta 2 pulgadas de espesor. Para materiales más gruesos, algunos de los coeficientes de ajuste puede ser necesarios

$$U_{\%adj} = \left( \frac{L_m}{L_{exit}} \right) * U_{\%exit} * \left( \frac{1-0,2T}{T} \right) \left( \frac{1-0,2mt}{mt} \right) \quad (1)$$

En el bloque 1907, la velocidad de corte (porcentual) ajustada para cada capa se divide en componentes X e Y para representar un componente direccional. Comenzando con el primer PGV, la dirección del segmento en cada capa de conexión al siguiente PGV forma un vector de velocidad. Siguiendo las reglas estándar de la geometría, el AVCS calcula el la velocidad porcentual ajustada para cada capa, para los componentes X e Y del sistema de coordenadas establecido. Los resultados de los cálculos se almacenan en una estructura de datos adecuada.

En el bloque 1908, el AVCS construye el perfil tridimensional del frente de corte. Para el cálculo del frente de corte para cada capa, el AVCS toma dos interacciones entre el chorro y el material en cuenta. La primera interacción es la deflexión del chorro opuesta de la dirección del corte. Esto se conoce como arrastre de chorro, arrastre, o desfase. El AVCS calcula el arrastre para cada capa en cada uno de los componentes X e Y utilizando una ecuación en la forma:

$$d_{L'} = \frac{\left( 0.41 * \left( \frac{t}{\cos\theta} \right) * U_{\%adjxy} \right)}{100} \quad (2)$$

donde  $d_{L'}$  es la longitud de arrastre computarizada en pulgadas para cada uno de los componentes X e Y del arrastre total  $d_L$  para una capa determinada,  $\theta$  es el número de grados en el ángulo de ataque del PGV en las capas de material como se muestra en la Figura 21,  $U_{\%adjxy}$  es el componente X o Y de la velocidad porcentual ajustada para una capa dada encontrada por la ecuación (1), y t es el espesor de la capa en pulgadas. La longitud total de arrastre  $d_L$  es la suma de sus componentes vectoriales. El ángulo de ataque debe ser inferior a 90 grados. En la práctica, los ángulos de ataque que se aproximan a 90 grados no están permitidos y la ecuación (2) se convierte en menos precisa en ángulos de ataque más grandes. La segunda interacción se produce al cortar una forma circular. En este caso, la combinación del arrastre y el movimiento circular crea un frente de corte que no se oponer puramente a la dirección del corte, pero tiene un componente perpendicular a la dirección de corte hacia el centro del movimiento circular.

La Figura 23 muestra el ejemplo de deflexión de un canal de de corte hacia el centro del movimiento circular. El canal de corte es el corte creado por la herramienta. El AVCS calcula este componente perpendicular utilizando una ecuación de la forma:

$$d_R = 30.0 * ((R^2 + d_L^2)^{1/2} - R) \quad (3)$$

donde  $d_R$  es la distancia en pulgadas perpendicular a  $d_L$  y R es el radio de curvatura en pulgadas para cada capa. Cuando el AVCS se encuentra con una línea, el valor de  $d_R$  es simplemente fijado en cero. Debido a que cada capa tiene un espesor finito, es posible que el radio de curvatura en la parte superior de la capa es diferente que en la parte inferior. En estos casos se puede utilizar el radio medio de curvatura. El AVCS se inicia en la primera capa donde el chorro entra en el material y calcula los componentes X e Y de arrastre. El segmento entre dos PGV

adyacentes define la dirección del corte y por lo tanto la dirección de arrastre. Cuando existe un valor para el radio de curvatura, el valor  $d_R$  se calcula en base a la suma vectorial de los componentes X e Y para  $d_L$ . La ubicación de la posición de arrastre de chorro se desplaza perpendicular a su dirección original y por la cantidad de  $d_R$ . La ubicación del arrastre y movimientos de deflexión radial combinados definen el punto de partida para la siguiente capa. El AVCS calcula entonces secuencialmente el arrastre y capa de desviación circular por capa hasta que se construye todo el perfil de curvatura del chorro. Los valores calculados para cada capa se almacenan en una estructura de datos adecuada. En la Figura 10, la forma curvada general del frente de corte 1002 es un ejemplo de la forma creada por una combinación de arrastre y deflexión radial.

En el bloque 1909, el AVCS determina la anchura del canal de corte en cada capa. Para este bloque, el AVCS se basa en modelos que muestran la macroestructura del chorro. Los modelos existentes para el ancho del canal de corte y arrastre son conocidos en la técnica y, por ejemplo, una forma se presenta en la Patente Estadounidense No. 6.766.216. En estos modelos se observa que tanto el arrastre como el ancho del canal de corte son funciones del espesor del material y velocidad porcentual. Por lo tanto, el canal de corte puede ser calculado utilizando la relación entre el arrastre lineal y anchura de canal de corte. La Figura 24 muestra una representación gráfica de la relación entre la anchura de canal de corte y arrastre lineal. En particular, cada línea del gráfico representa cómo la anchura de canal de corte, por pares de velocidad porcentual y espesor del material, varía con diferentes valores de arrastre lineales. El AVCS examina los datos almacenados para cada capa y calcula la longitud total del arrastre para cada capa (de entrada e incluyendo esa capa), sin tener en cuenta la deflexión radial. El valor de este arrastre se utiliza para calcular cual sería una velocidad porcentual equivalente en un corte lineal para el cual se predice el ancho del canal de corte utilizando los modelos antes mencionados. La velocidad porcentual equivalente lineal  $U_{L\%}$  se encuentra utilizando las ecuaciones de la forma:

Si  $mt \leq 0,25$  entonces

$$U_{L\%} = \frac{(100 * d_{LS})}{(0.36 * mt)} \quad (4)$$

Si  $mt \geq 0,25$  and  $mt \leq 2,0$  entonces

$$U_{L\%} = \frac{(100 * d_{LS})}{((0.1445 * mt) + 0.0539)} \quad (5)$$

donde  $mt$  es el producto del número de capa  $m$  y espesor de capa  $t$  en pulgadas que representa la profundidad de capa actual, y  $d_{LS}$  es el arrastre total en esa profundidad. Los valores calculados para cada capa se almacenan en una estructura de datos adecuada.

El AVCS entonces utiliza el valor  $U_{L\%}$  para calcular el ancho  $W_L$  en pulgadas de cada capa utilizando las ecuaciones de la forma:

Si  $mt \leq 5,0$  entonces

$$W_L = (0.051389 - (0.000131 * U_{L\%}) - (0.172999 * mt) + (0.588475 * (mt)^2) - (0.000721 * U_{L\%} * mt)) \quad (6)$$

Si  $mt > 0,25$  y  $mt \leq 2,0$  entonces

$$W_L = (20.391548 + (0.434775 * U_{L\%}) - (4.650149 * mt))^{-1} \quad (7)$$

El AVCS almacena los valores calculados para cada capa en una estructura de datos adecuada. La Figura 10 muestra una representación del frente de corte donde la anchura de canal de corte de cada capa está representada por un disco centrado alrededor del frente de corte determinado por los cálculos de arrastre y deflexión del bloque de 1908.

En el bloque 1910, el AVCS determina automáticamente si el frente de corte, es decir, las características de curvatura de corte prevista, está dentro de la tolerancia de desviación permitida. Utilizando la entrada de tolerancia (por el operador, el mismo AVCS, y/o por una entrada externa), el AVCS calcula el volumen de tolerancia aceptable alrededor de cada PGV por capa. (Por Ejemplo, considerar el cilindro que representa el volumen de la tolerancia en las Figuras 10-13.) Los datos del frente de corte para cada capa determinados en el bloque 1909 se comprueban para ver si el corte previsto será dentro del volumen aceptable. Si el frente de corte es aceptable para todas las capas de PGV, el siguiente PGV y frente de corte (características de curvatura del corte previsto en ese perfil de

trayectoria) se comprueban para cada capa. Para cada PGV, los resultados de los controles de tolerancia se almacenan en una estructura de datos adecuada.

5 En el bloque 1911, el AVCS localiza cualquier PGV para el que el frente de corte correspondiente (características de curvatura de corte están) está fuera de la tolerancia. Un ejemplo de esta situación se describirá con referencia a la Figura 20. Una línea 2001 representa una línea imaginaria que conecta la ubicación del corte de capa superior con la ubicación de corte de capa inferior. Una forma conveniente para describir la posición y orientación de 2001 es utilizar un sistema de coordenadas esféricas locales con el origen colocado en la parte superior del PGV 2004. La Figura 25 muestra un ejemplo de la utilización de coordenadas esféricas para derivar ángulos de corrección de desviación. Utilizando coordenadas esféricas, cualquier punto en el espacio puede ser definido por dos ángulos y una distancia desde un origen. Aplicando este procedimiento a la Figura 20, se puede observar que la ubicación del frente de corte en la capa inferior está definida por una longitud  $r$ , y dos ángulos  $A$  y  $R$ . La línea 2002 representa cualquier orientación que permitiría que el frente de corte caiga dentro del volumen de tolerancia 2000. Es decir, si la línea 2001 se gira a la posición de la línea de 2002, el frente de corte previsto ya no se extendería fuera del volumen de tolerancia 2000. Debido a que el punto final inferior de la línea 2002 también puede ser definido por coordenadas esféricas, se pueden utilizar procedimientos matemáticos estándar para transformaciones de rotación para calcular los valores para los ángulos que, cuando se aplican a la línea 2001, rotarán en la posición mostrada por la línea 2002. Estos ángulos calculados efectivamente pueden utilizarse para corregir la desviación del frente de corte desde el PGV 2004. La línea punteada 2005 muestra que aplicando estos ángulos de corrección de desviación al PGV 2004, se obtiene el JDV (vector de dirección del chorro) 2003. Una vez más, la rotación del PGV por la cantidad de los ángulos de corrección de desviación utilizando conocidos procedimientos matemáticos puede realizarse para transformaciones de rotación.

15 En el bloque 1912, el AVCS determina si el frente de corte corregido de desviación está todavía dentro del volumen de la tolerancia de desviación. Si no, el AVCS continúa hasta el bloque 1913 para bajar la velocidad de corte en alguna velocidad porcentual elegida y el frente de corte es recalculado desde el principio volviendo al bloque 1906. Este proceso se itera sobre (realizando los bloques 1906 a 1913) hasta que el frente de corte encaja dentro del volumen de tolerancia de desviación, por ejemplo, como se muestra en Figura 14.

20 En una realización, el AVCS no permite que la velocidad vaya por debajo de un valor fijo. Si se alcanza este valor, el operador es notificado de que no se cumplirá la tolerancia deseada. La reducción de la velocidad de corte para PGV puede requerir un ajuste de las velocidades de corte para velocidades de PGV adyacentes (o JDV). Esto puede ser necesario si los límites de aceleración de la máquina son violados o para evitar grandes cambios de velocidad que afectan la apariencia de la pieza cortada. En términos generales, son disuadidos los cambios de velocidad que se traducen en un gran cambio de arrastre en una distancia corta. Si varias velocidades necesitan ser ajustadas, el AVCS itera sobre la zona afectada. Todos los resultados se almacenan en una estructura de datos adecuada.

25 En el bloque 1914, el AVCS produce las Instrucciones reales de movimiento (por ejemplo, en un dato y/o programa de movimiento) y las almacena. Las instrucciones de movimiento contienen toda la información necesaria para que el controlador de movimiento mueva la punta de la herramienta a lo largo del contorno de entrada de chorro en el velocidad correcta y en las orientaciones adecuadas que se alinean con cada JDV. La información de todos los PGV, indicaciones de velocidad (por ejemplo, velocidades porcentuales), y ángulos de corrección de desviación se recupera. Cuando sea necesario, las indicaciones de velocidad (por ejemplo, velocidades porcentuales) se convierten en unidades de velocidad reales si es necesario utilizando modelos predictivos adecuados o tablas de búsqueda. Se practican estos modelos, por ejemplo, en el software FlowMaster. Según sea apropiado para el controlador del cabezal de corte, los comandos necesarios para mover los impulsores para lograr la posición y orientación del cabezal de corte a lo largo de los PGV se calculan más ángulos de corrección de desviación y un programa de movimiento / datos se construye a partir de ellos.

30 El programa de movimiento se puede escribir en cualquier formato que sea entendido por un controlador de movimiento dado. Por ejemplo, una forma común de programa de movimiento utiliza lo que se conoce comúnmente como código G. Un ejemplo simple de un programa de código G es:

G01 X10 F50

35 donde G01 indica un movimiento lineal 10 unidades en la dirección X a una velocidad de 50 unidades por tiempo. Más comandos de código G complejos incluirían las direcciones Y y Z, así como comandos para ejes rotativos. Los valores reales utilizados para los ejes X, Y, Z, F y comandos rotativos dependerán de si la posición de la punta de la herramienta y orientación está siendo comandada o no o las posiciones de impulsor explícitas necesarias para producir la posición de la punta deseada y orientación.

40 En otra realización de la Figura 19, el AVCS no realiza uno o más de los bloques lógicos. En cambio, los modelos, tal como el modelo de corrección de desviación adaptativa (modelo 506 en la Figura 5) se descargan en el propio controlador. A medida que el controlador ejecuta el perfil del trayectoria de corte de la geometría de la pieza, el controlador consulta los modelos integrados internamente y la retroalimentación con respecto a la ubicación actual en el perfil de trayectoria de corte y la ubicación próxima para determinar cualquier ángulo de corrección de desviación necesario que se debe utilizar para ajustar la chorro, por ejemplo, mediante la manipulación de la

orientación del cabezal de corte. De este modo, se proporciona un tipo de "mirar hacia adelante". Como se debatió con referencia a la Figura 26 a continuación, una vez que se muestra la pantalla de realimentación y control del controlador (Figura 16), un operador selecciona preferiblemente el pulsor de inicio del ciclo (véase, por ejemplo, el pulsor 1604) para hacer que el aparato de chorro empiece realmente el corte de la pieza de trabajo.

- 5 La Figura 26 es un diagrama de flujo ilustrativo de la lógica ejecutada por el Sistema de Control vectorial Adaptativo para comenzar el ciclo de corte. En el bloque 2601, el AVCS envía (por ejemplo, hace que se descargue, envíe, transmita) el programa de movimiento al controlador (por ejemplo, equipo de controlador o tarjeta). En el bloque 2602, el AVCS envía o de lo contrario comunica una instrucción al controlador para indicar que el controlador debe comenzar la ejecución del programa de movimiento, y luego regresa. A medida que el controlador avanza a través del programa de movimiento, el mismo realiza su transición sin problemas entre todos los ángulos y velocidades.
- 10

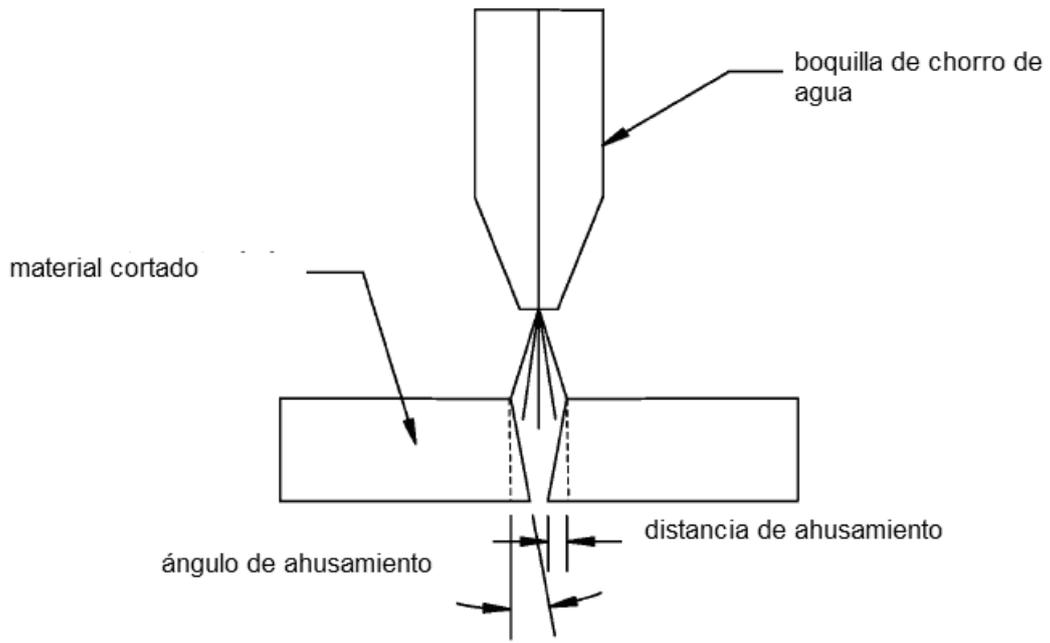
A partir de lo anterior se apreciará que, aunque se han descrito aquí realizaciones específicas para propósitos de ilustración, el alcance de la presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

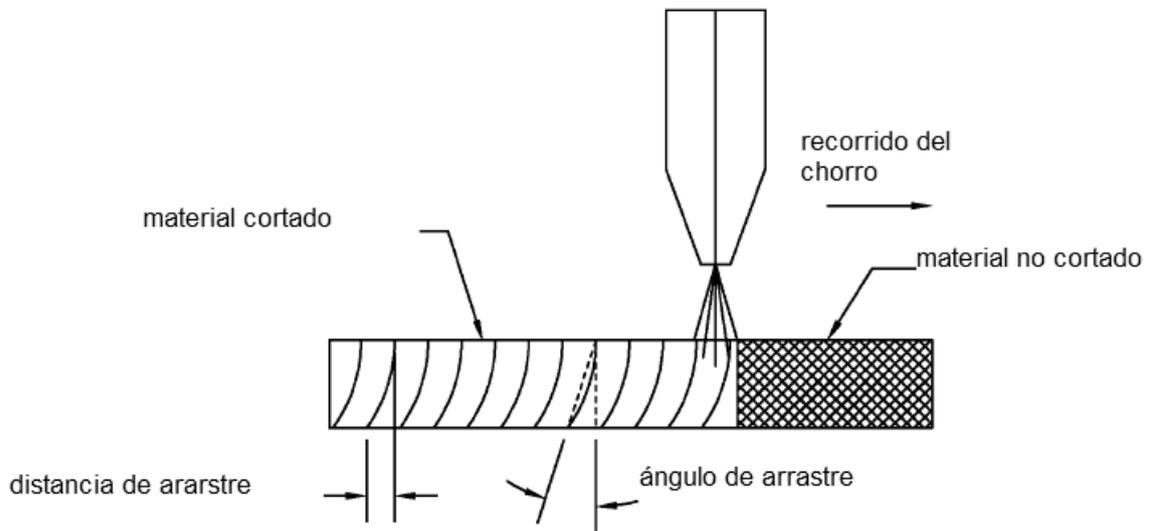
- 5 1. Un procedimiento conducido en un sistema de control de aparato de chorro de fluido para determinar automáticamente y generar instrucciones de movimiento para controlar un cabezal de corte por chorro de fluido para cortar una pieza diana tridimensional dentro de una o más tolerancias designadas utilizando a chorro de fluido, que comprende:
- recibir (601) una indicación de una geometría de pieza diana tridimensional, la geometría indicativa de un contorno de entrada de chorro y un contorno de salida de chorro, donde el contorno de entrada de chorro no es el mismo que un contorno de salida de chorro, de manera tal que el chorro de fluido, al cortar, corta el contorno de entrada de chorro y el contorno de salida de chorro de una pieza de trabajo a diferentes velocidades y/o en diferentes direcciones;
- 10 recibir (601) una indicación de un acabado de superficie, calidad, y/o velocidad deseados;
- determinar automáticamente (1910), mediante el examen de cambios de dirección y/o velocidad a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro determinado desde un punto sobre el contorno de entrada de chorro hasta un punto sobre el contorno de salida de chorro, si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas cuando la pieza diana es cortada a velocidades correspondientes al acabado de superficie, calidad, y/o velocidad deseados indicados;
- 15 cuando se determina que el corte previsto tiene características de curvatura de corte tridimensional fuera de las tolerancias designadas, determinar automáticamente (1911) ángulos de corrección de desviación para ajustar la orientación del chorro para producir un corte que tenga características de curvatura tridimensionales que están dentro de las tolerancias designadas; y
- 20 generar automáticamente y almacenar (1914) una o más instrucciones y/o datos de movimiento que indican el movimiento deseado del cabezal de corte teniendo en cuenta los ángulos de corrección de desviación determinados para ajustar la orientación del chorro.
2. El procedimiento de la reivindicación 1 en donde determinar automáticamente (1910) si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas mediante el examen de cambios de dirección y/o velocidad a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro determina (1908) un arrastre no lineal y/o deflexión radial en varias ubicaciones a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro.
- 25 3. El procedimiento de las reivindicaciones 1 o 2 en donde determinar automáticamente si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas mediante el examen de cambios de dirección y/o velocidad a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro, además comprende:
- 30 determinar (1908) un frente de corte previsto el corte previsto; y
- comparar (1910) el frente de corte previsto con un volumen de tolerancia designado para determinar si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas.
- 35 4. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde determinar automáticamente si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas, además comprende:
- segmentar (1902) la geometría de pieza diana en vectores de geometría de pieza, donde cada vector de geometría de pieza abstractamente conecta un punto imaginario en el contorno de entrada de chorro con un correspondiente punto imaginario en el contorno de salida de chorro, de manera tal que haya una correspondencia uno a uno entre el número de puntos en el contorno de entrada y el contorno de salida;
- 40 examinar (1906) los cambios de dirección y/o velocidad a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro a lo largo de uno o más de los vectores de geometría de pieza; y
- determinar (1910) para uno o más vectores de geometría de pieza si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas.
- 45 5. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde determinar automáticamente si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas, además comprende:
- dividir (1904) la geometría de pieza diana en una pluralidad de capas;
- examinar (1906) los cambios de dirección y/o velocidad a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro en una o más de la pluralidad de capas; y
- 50 determinar (1910) por capa si el corte previsto para generar la pieza diana en esa capa tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas.

- 5 6. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde las características de curvatura tridimensionales incluyen uno o más de arrastre o deflexión radial y/o incluyen anchura de canal de corte y/o en donde las tolerancias designadas pueden expresarse como volúmenes designados que circundan la profundidad del chorro desde uno o más puntos en el contorno de entrada de chorro hasta los correspondientes puntos en el contorno de salida de chorro.
- 10 7. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde, cuando se determina que el características de curvatura de corte tridimensional siguen estando fuera de las tolerancias designadas, aún después de ajustar la orientación del chorro, asignar (1913) al menos una velocidad más lenta a una parte del proceso de corte y reevaluar si la determinación automática de si el corte previsto tiene características de curvatura tridimensional que están fuera de las tolerancias designadas, incluyendo la determinación automática de ángulos de corrección de desviación para ajustar la orientación del chorro produce un corte que tenga características de curvatura tridimensionales que están dentro de las tolerancias designadas.
- 15 8. El procedimiento de una de las reivindicaciones, que además comprende comunicar (611) las instrucciones y/o datos de movimiento que incluyen los ajustes de orientación al cabezal de corte para controlar el proceso de corte y/o enviar las instrucciones y/o datos de movimiento a un controlador.
- 20 9. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde las instrucciones y/o datos de movimiento incluyen los ángulos de corrección de desviación o valores cinemáticos inversos comparables y/o los ángulos de corrección de desviación se utilizan para ajustar la orientación del chorro y controlar la inclinación y posiciones de giro del cabezal de corte.
- 25 10. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde el sistema de control del aparato de chorro de fluido es un sistema de chorro de agua abrasivo.
11. El procedimiento de una de las reivindicaciones en donde recibir (601) una indicación de la geometría de la pieza diana tridimensional indica una pieza diana con contornos diferentes, donde cada contorno tiene un radio de curvatura diferente, progresivamente desde el contorno de entrada de chorro hasta el contorno de salida de chorro de la pieza.
- 30 12. Un medio legible por computadora que tiene instrucciones que, cuando son ejecutadas, controlan un procesador de computadora para determinar automáticamente y generar instrucciones de movimiento para su uso con el control de un cabezal de corte de chorro de agua para cortar una pieza tridimensional con una o más tolerancias designadas, llevando a cabo un procedimiento de acuerdo a una de las reivindicaciones anteriores.
- 35 13. Un sistema informático configurado para llevar a cabo uno de los procedimientos de las reivindicaciones 1-11 que comprende:  
una memoria;  
un procesador de computadora;  
un sistema de control de cabezal de corte por chorro de fluido que controla la posición y orientación de un cabezal de corte para cortar una pieza diana tridimensional de una pieza de trabajo dentro de una o más tolerancias designadas utilizando un chorro de fluido; lógica de modelado predictivo, almacenado en la memoria, que, al ejecutarse en el procesador de computadora:  
determina (1908) al menos un frente de corte previsto que corresponde al corte previsto del chorro de fluido, mediante el examen de cambios de dirección y/o velocidad a lo largo de la profundidad del corte previsto del chorro determinado desde un punto en el contorno de entrada de chorro hasta un punto en el contorno de salida de chorro;  
40 compara (1910) el frente de corte previsto contra una o más tolerancias designadas para determinar cuando al menos alguna porción de al menos un frente de corte previsto está afuera de una o más tolerancias designadas; y  
proporciona (1911) ángulos de corrección de desviación que ajustan la orientación del chorro tridimensional para llevar el frente de corte previsto dentro de una o más tolerancias designadas; y  
45 lógica de generación de instrucción de movimiento que construye (1914) instrucciones de movimiento para el sistema de control del cabezal de corte por chorro de fluido para controlar la orientación del cabezal de corte para cortar la pieza diana tridimensional en base a los ángulos de corrección de desviación proporcionados.
- 50 14. El sistema informático de la reivindicación 13 en donde el sistema de control del cabezal de corte por chorro de fluido es un controlador CNC o un sistema de control basado en robótica y/o las instrucciones de movimiento generadas están contenidas en un programa de movimiento o datos de movimiento utilizados para accionar el sistema de control del cabezal de corte por chorro de fluido.
15. El sistema informático de la reivindicación 14 en donde la lógica de modelado predictivo opera integrando información acerca del corte de la pieza diana tridimensional en una pluralidad de pequeñas etapas para generar al

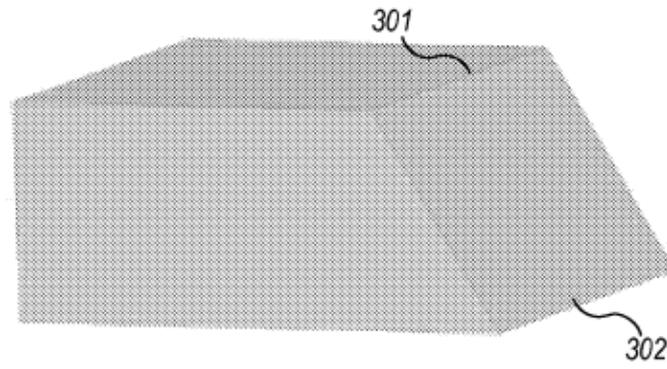
menos un frente de corte previsto.



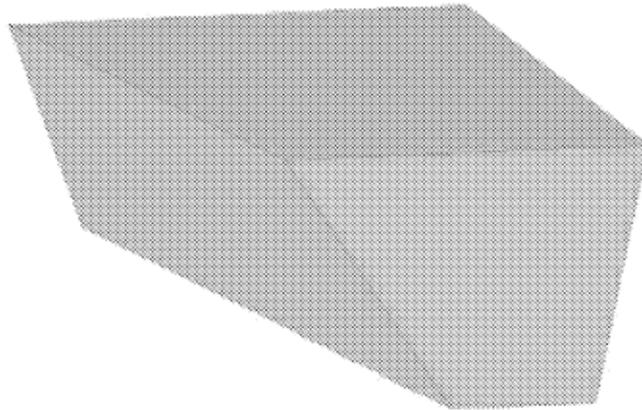
**Fig. 1**



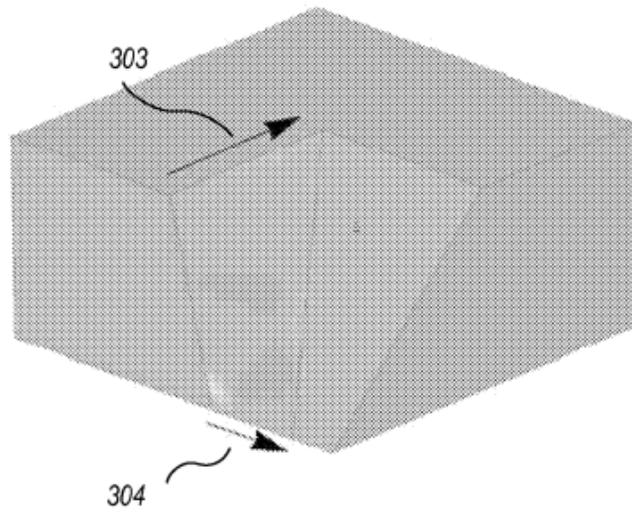
**Fig. 2**



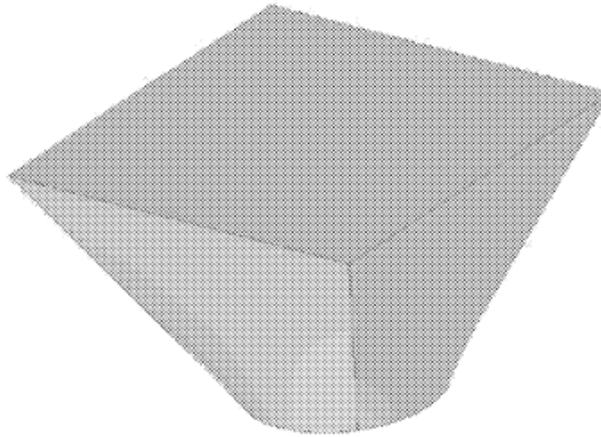
**Fig. 3A**



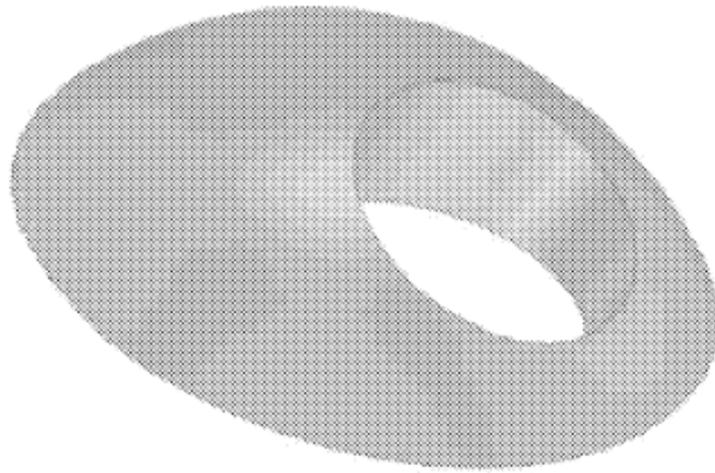
**Fig. 3B**



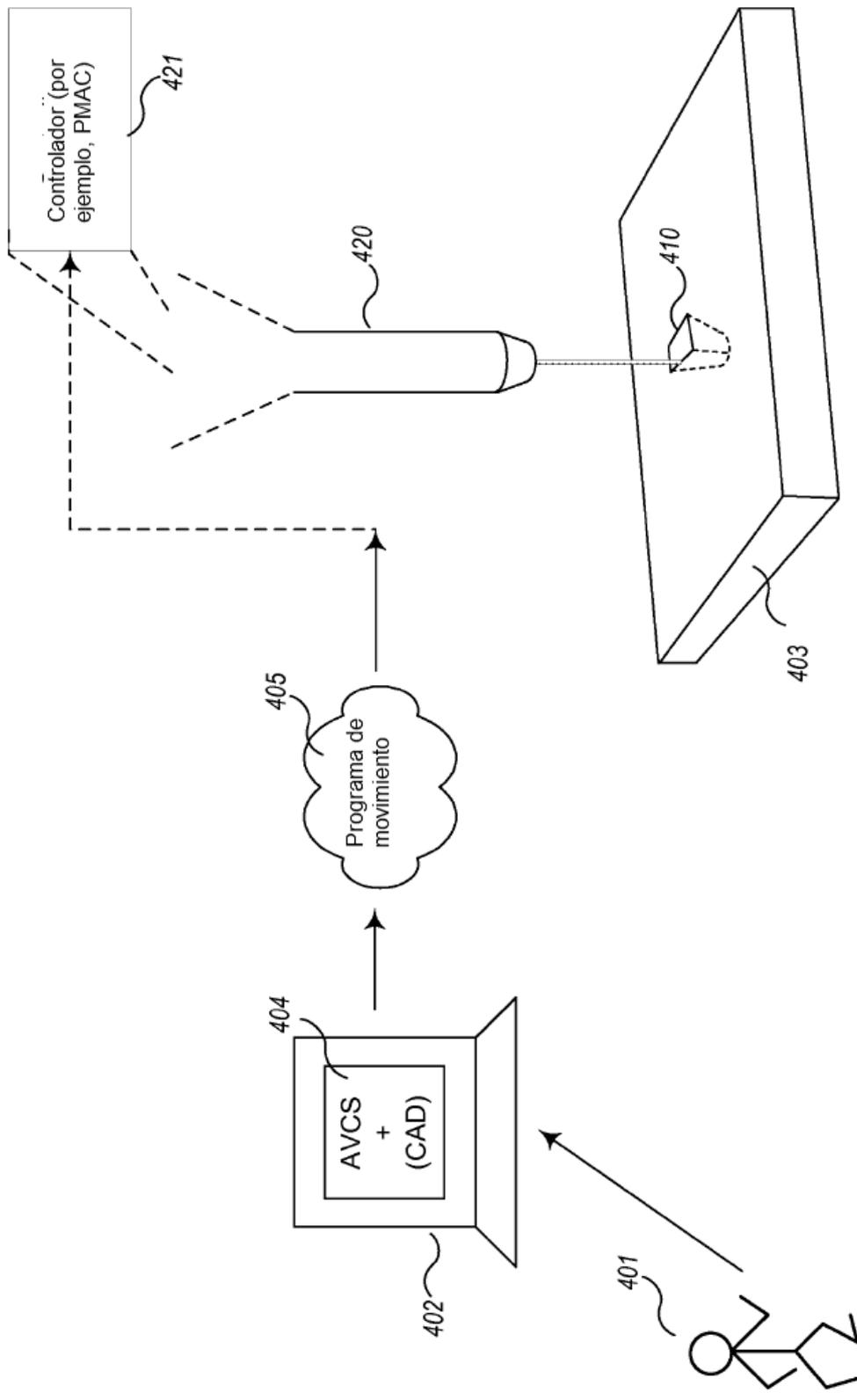
**Fig. 3C**



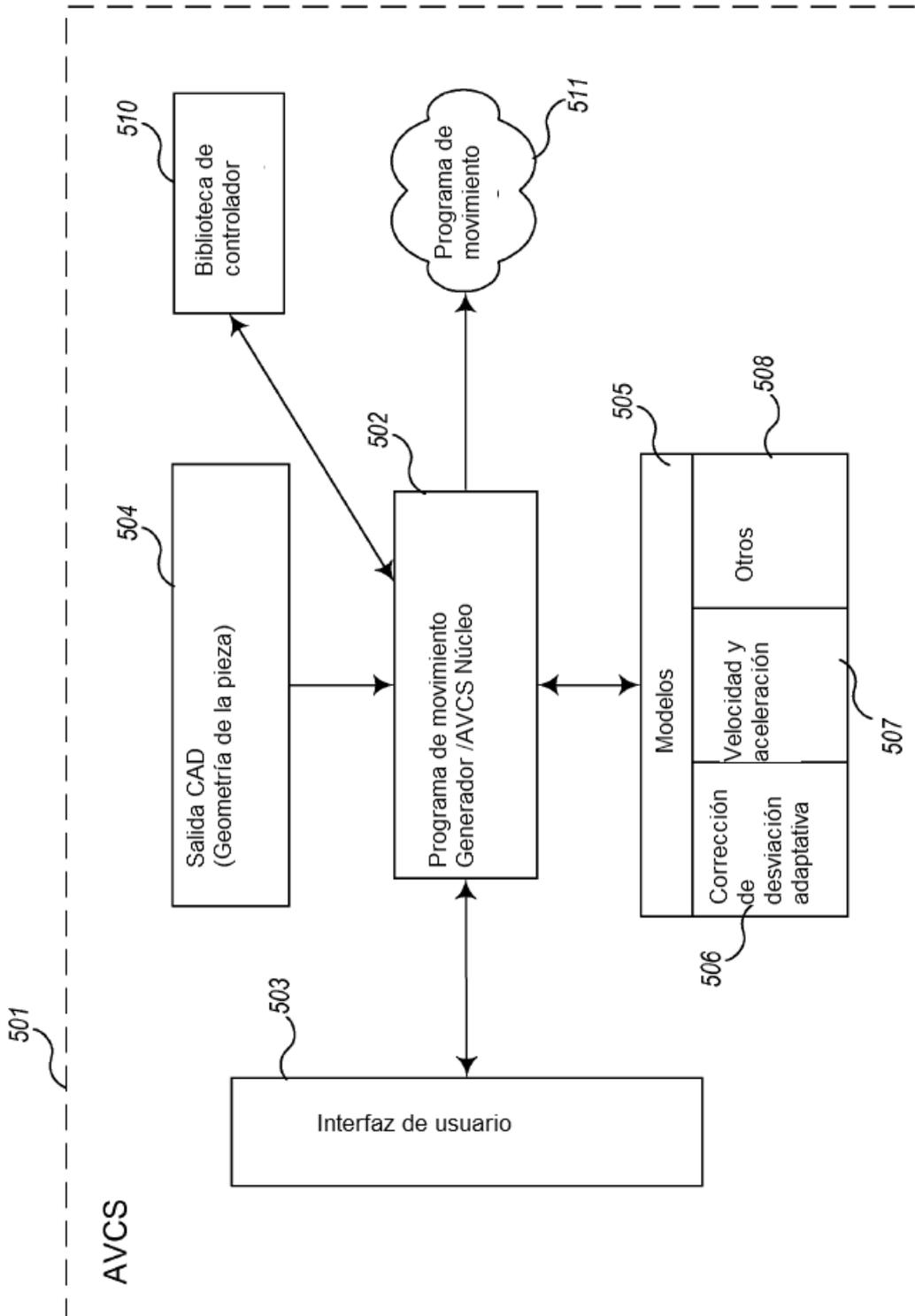
**Fig. 3D**



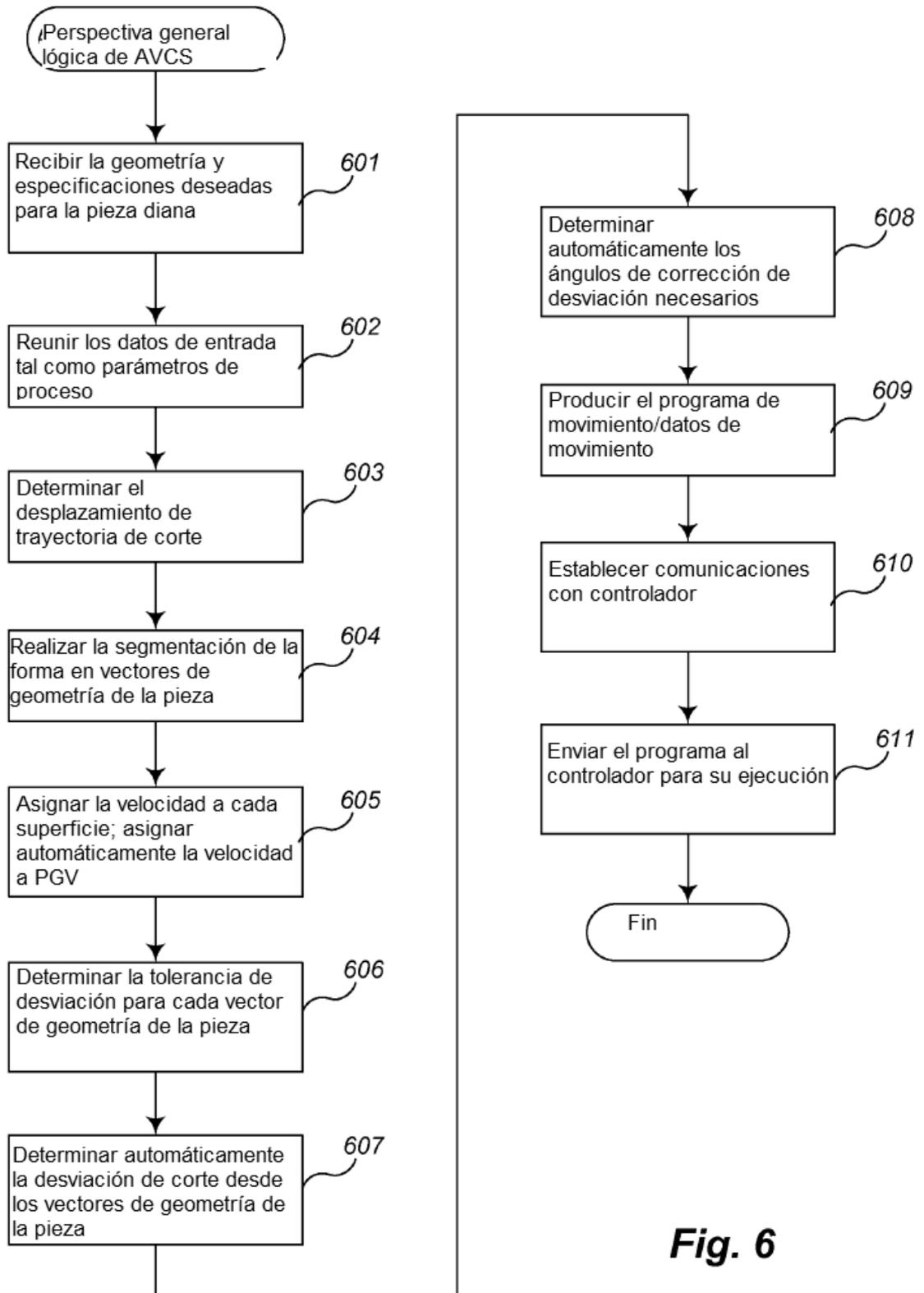
***Fig. 3E***



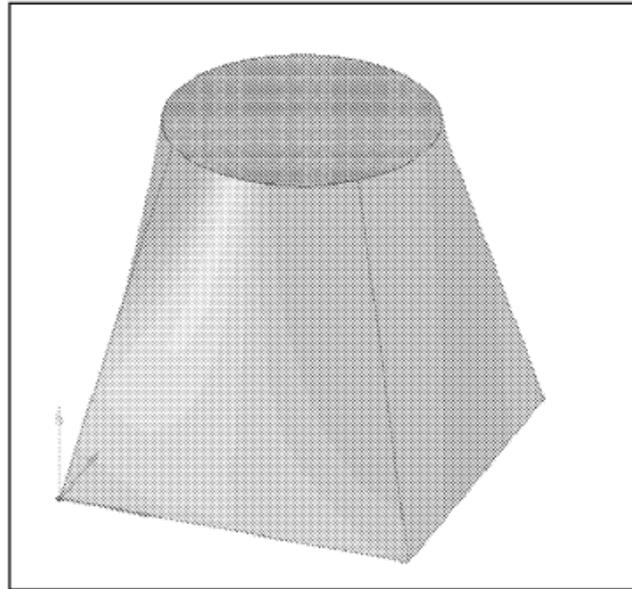
**Fig. 4**



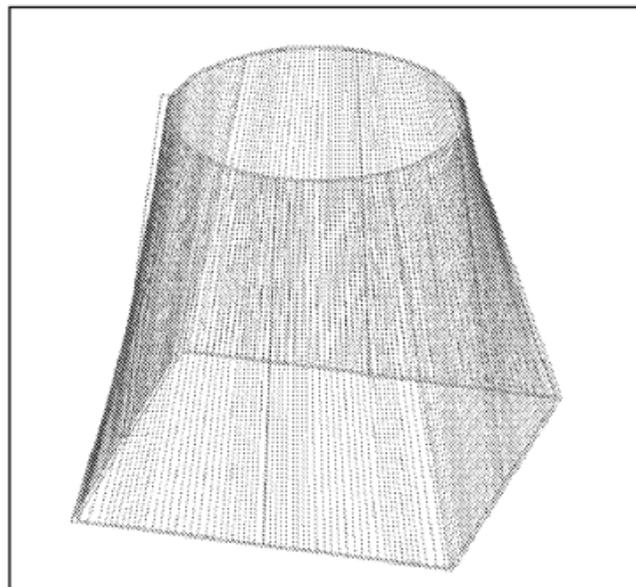
**Fig. 5**



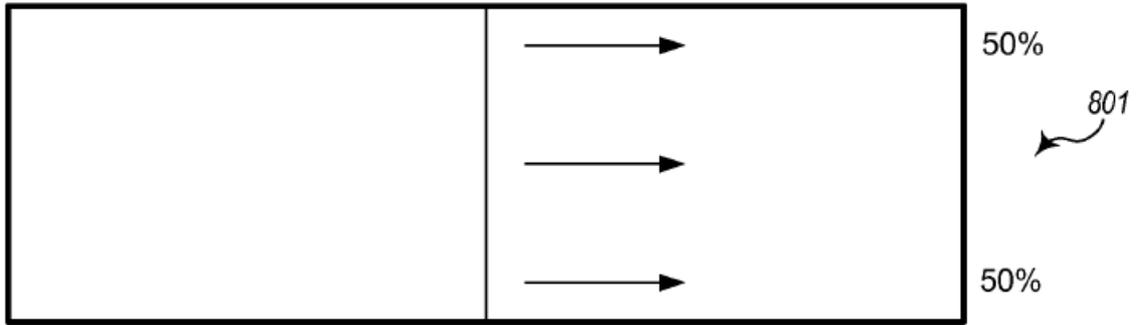
**Fig. 6**



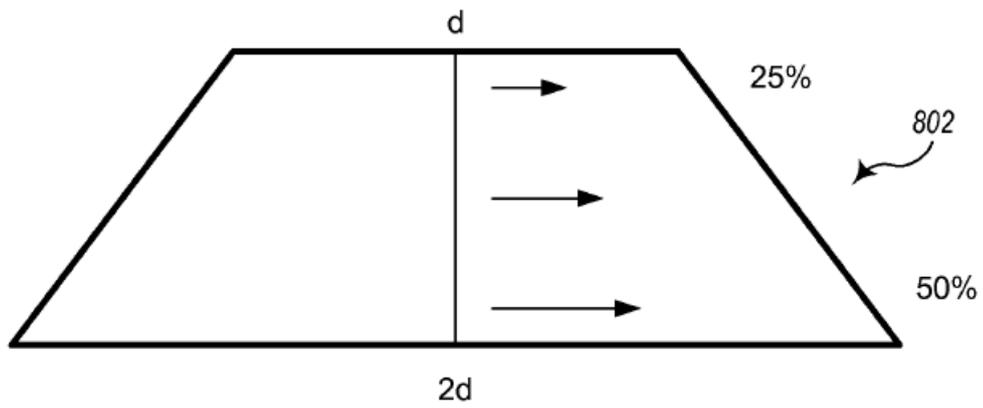
**Fig. 7A**



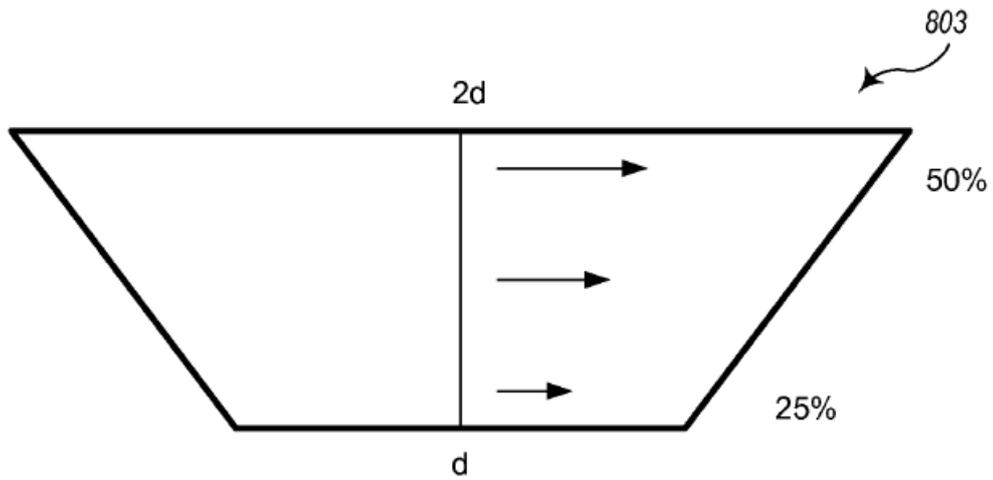
**Fig. 7B**



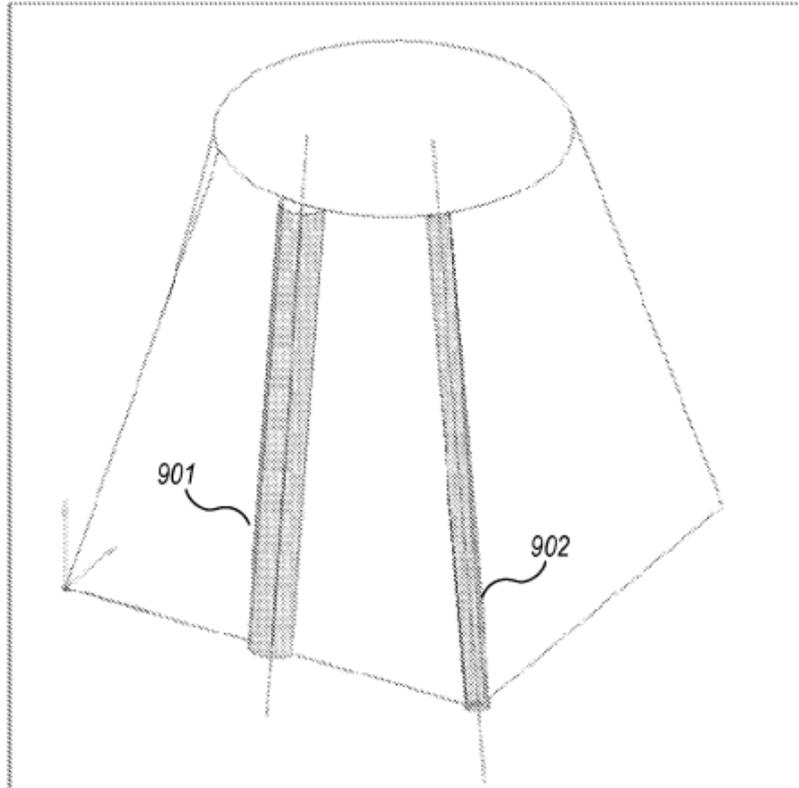
**Fig. 8A** (Misma velocidad parte superior en parte inferior)



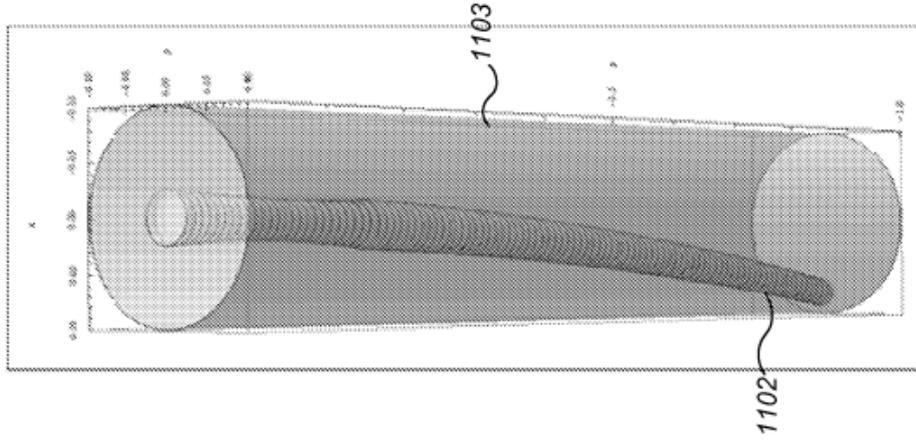
**Fig. 8B** (más rápido en la parte inferior)



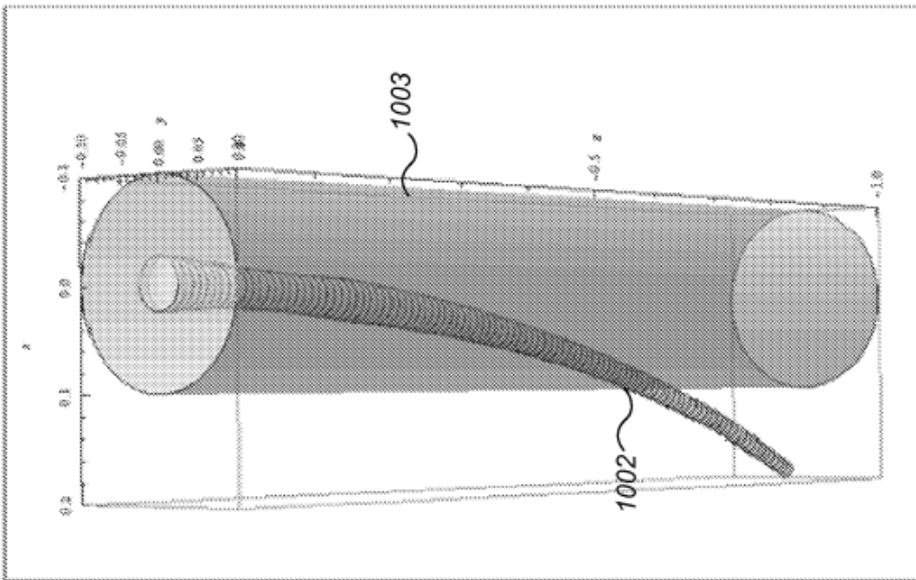
**Fig. 8C** (más lento en la parte inferior)



**Fig. 9**

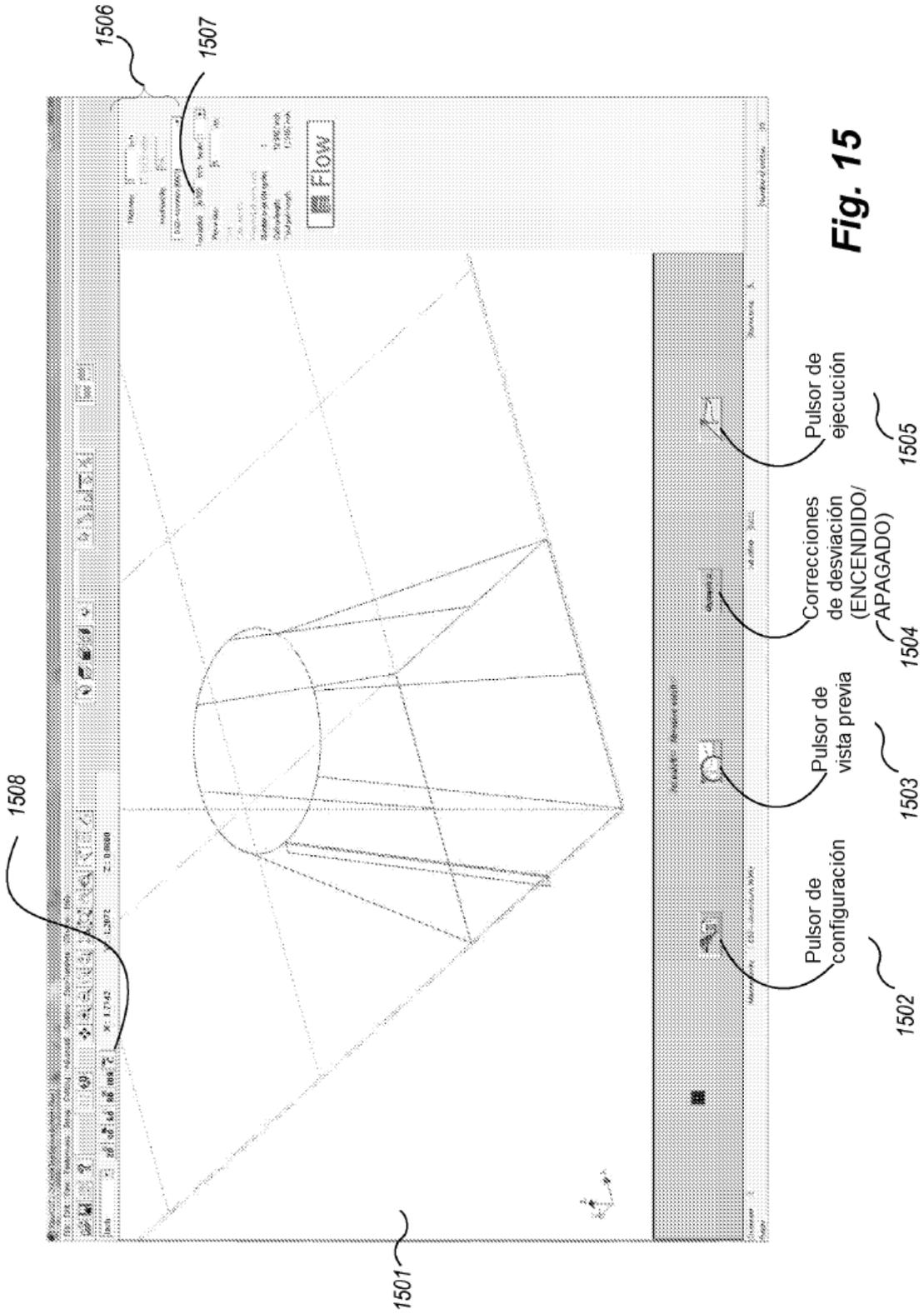


**Fig. 11**



**Fig. 10**





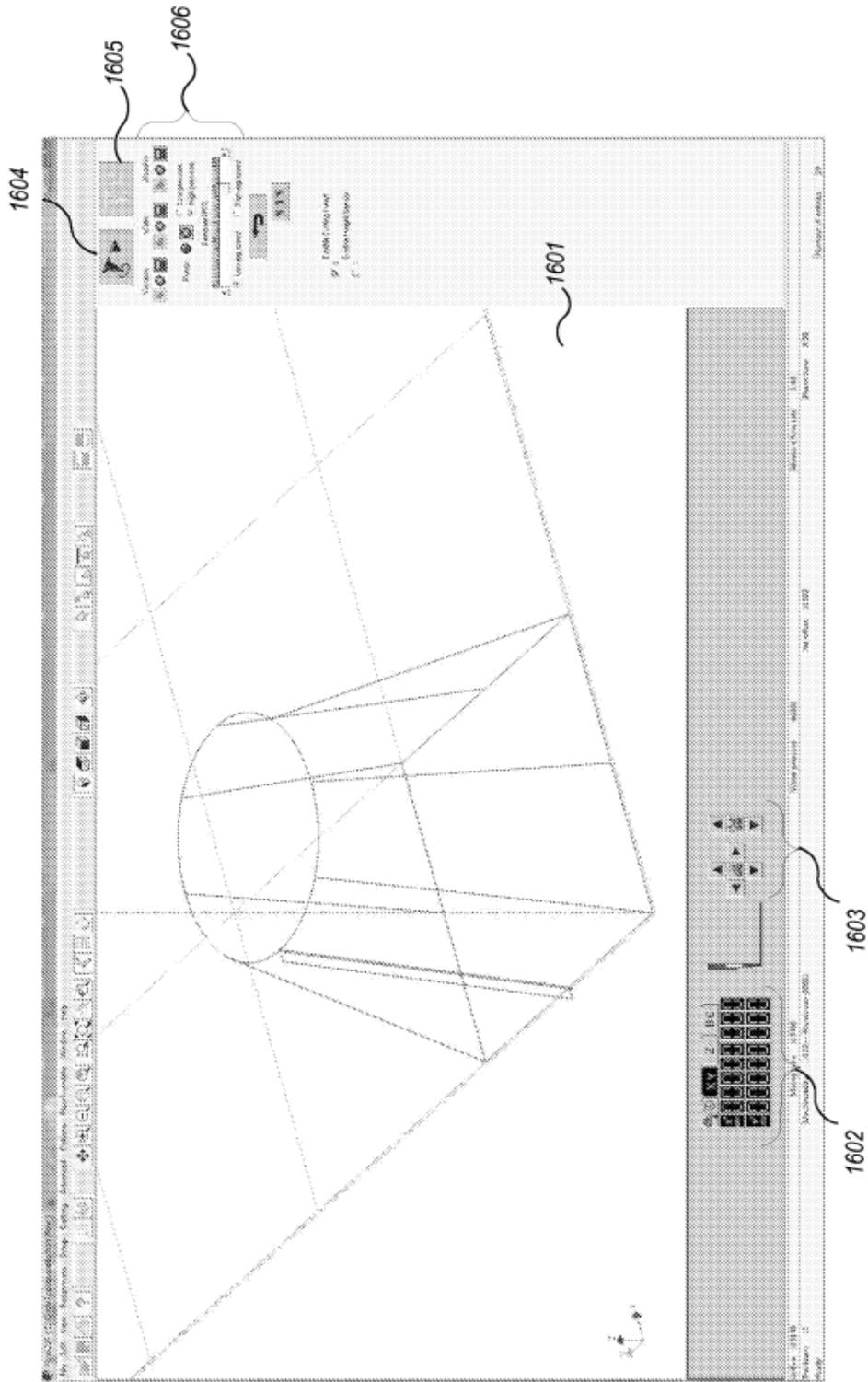


Fig. 16

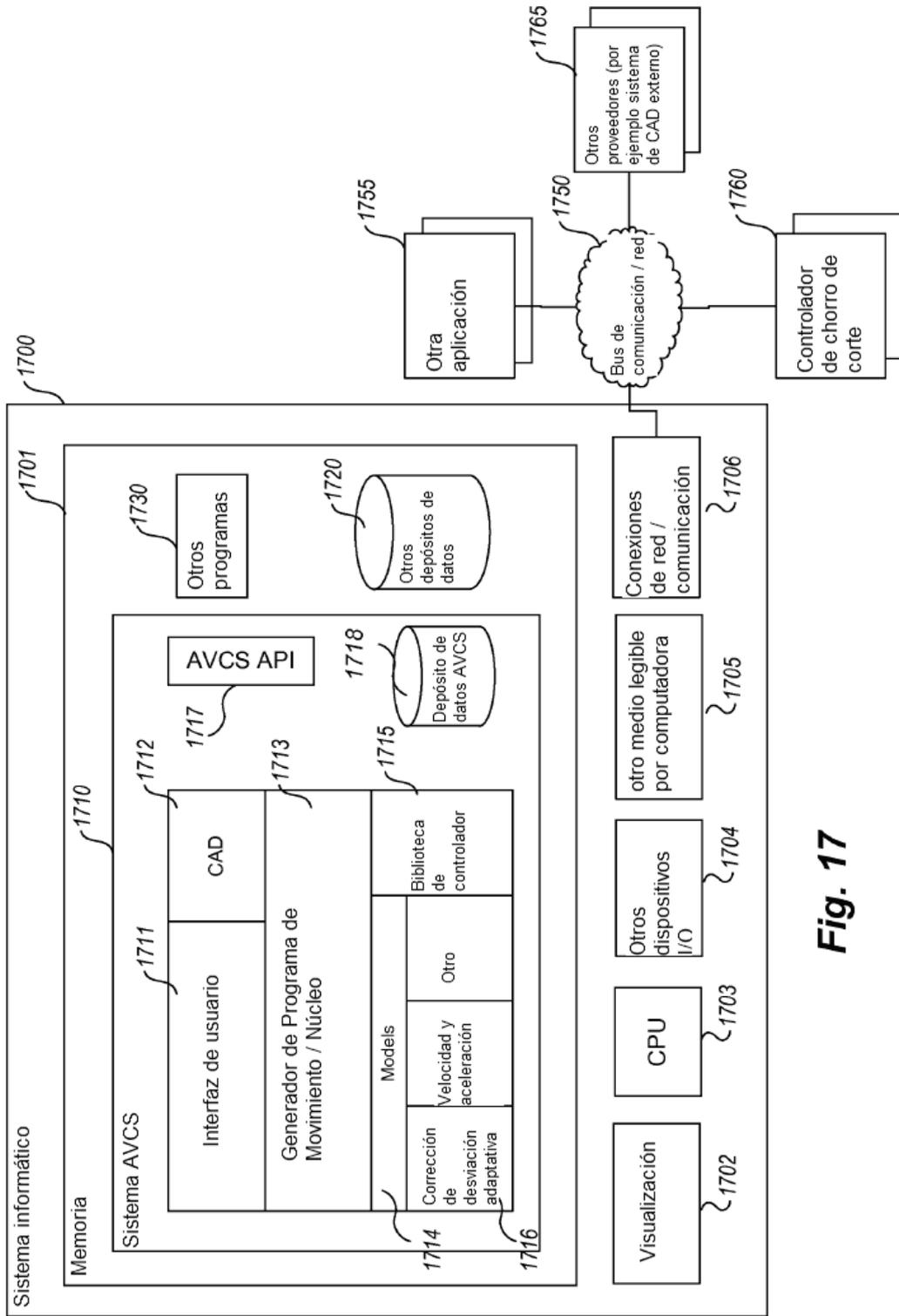
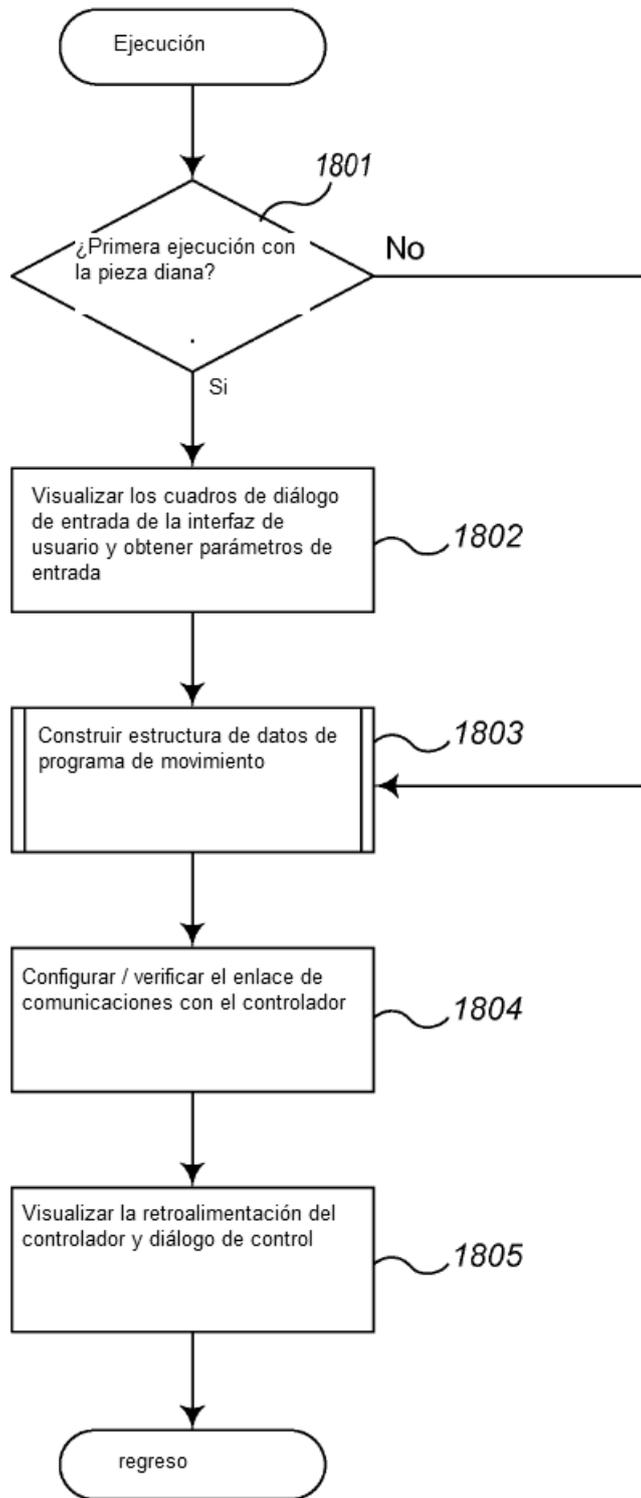
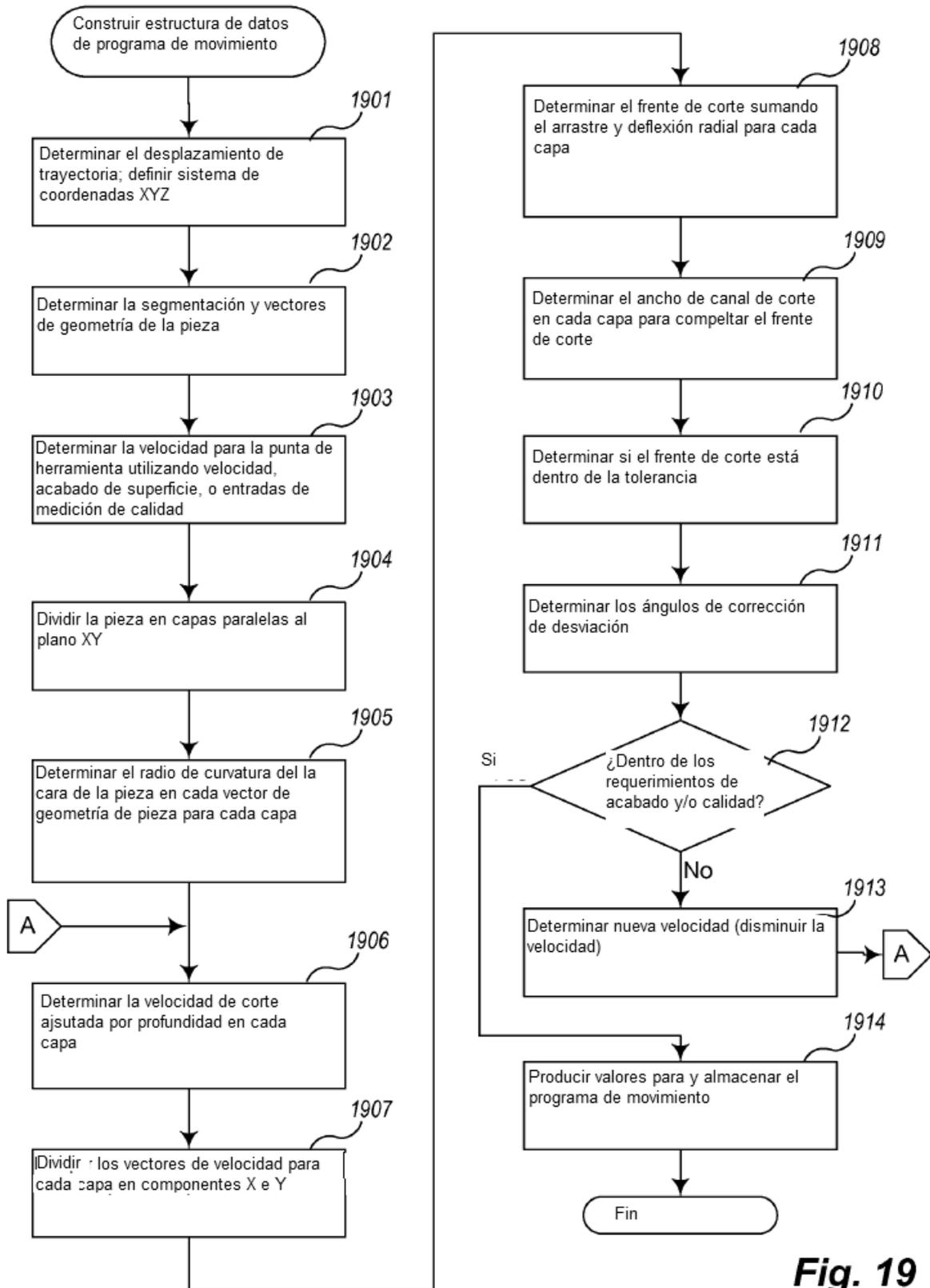


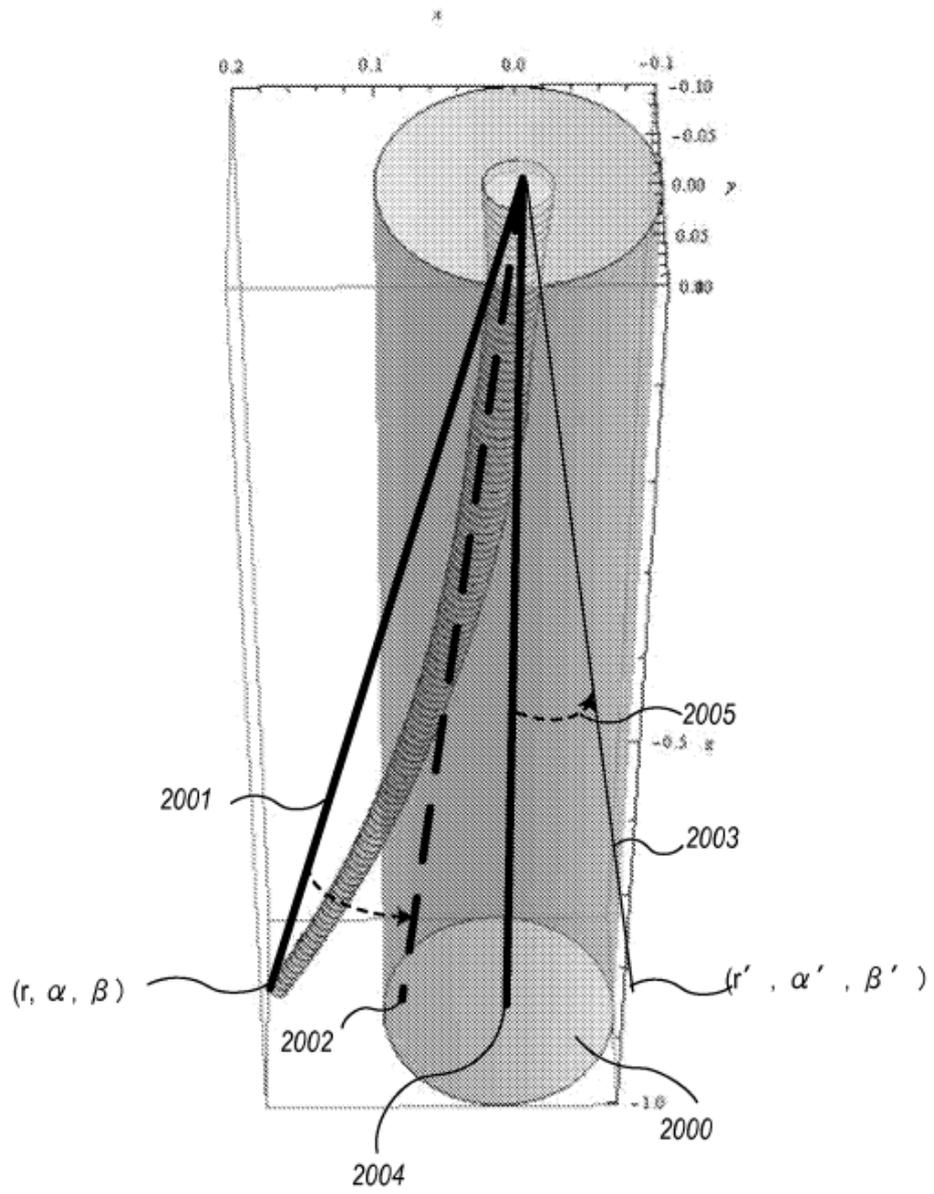
Fig. 17



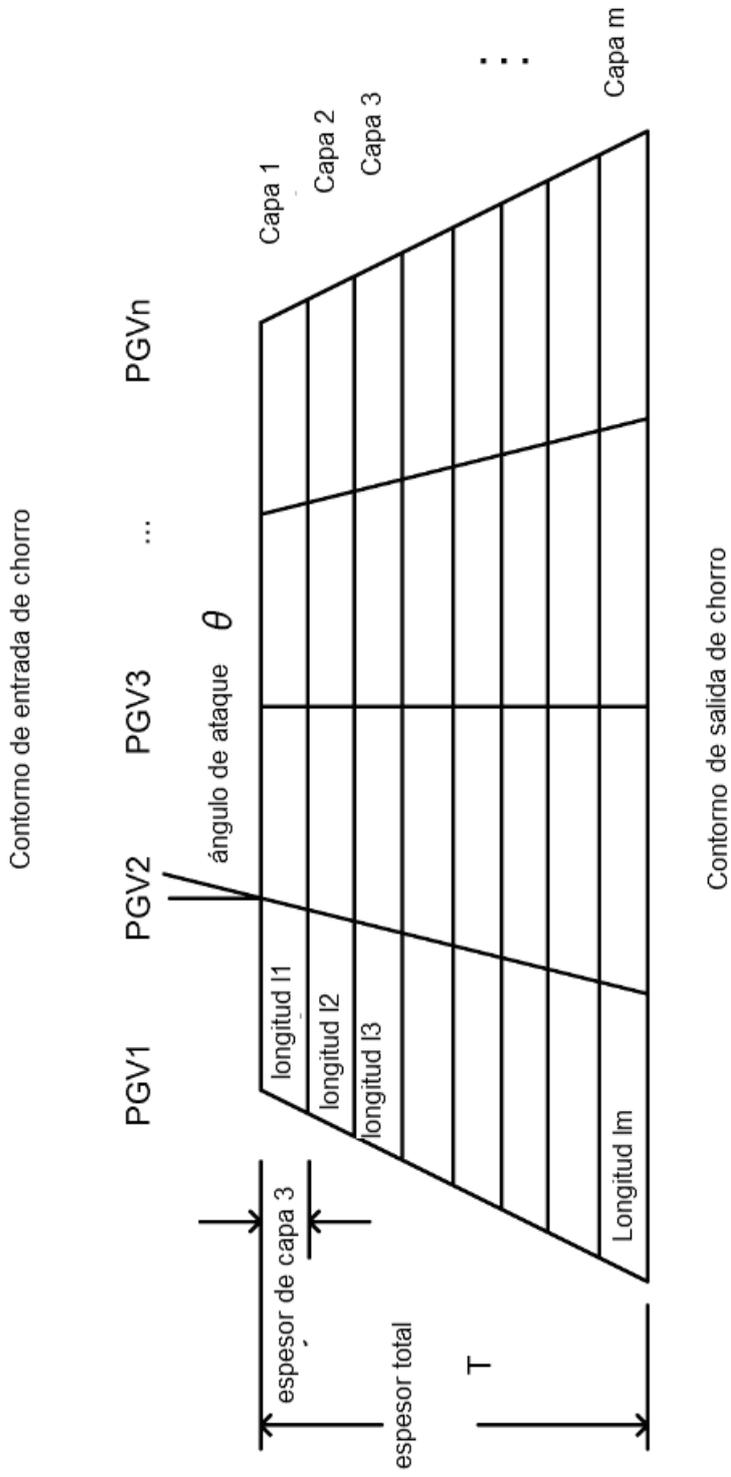
**Fig. 18**



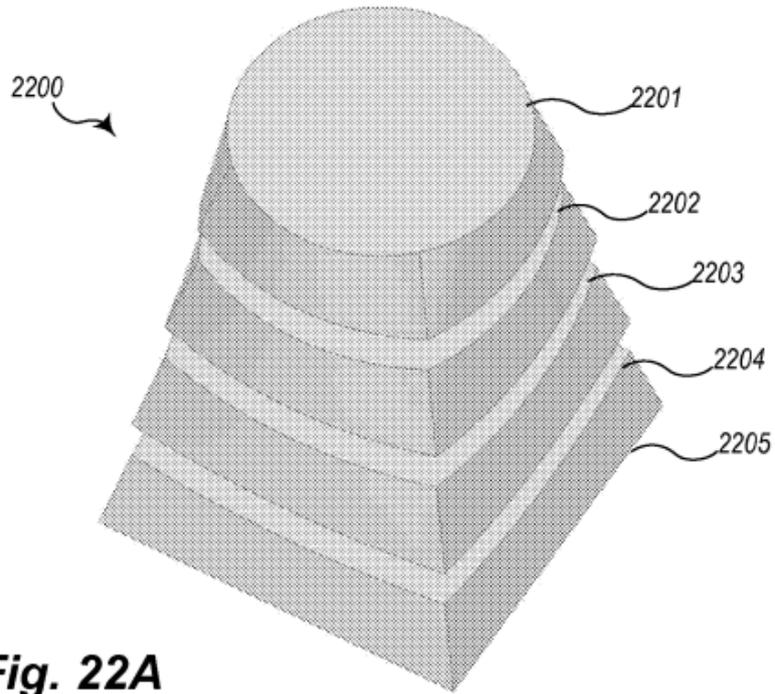
**Fig. 19**



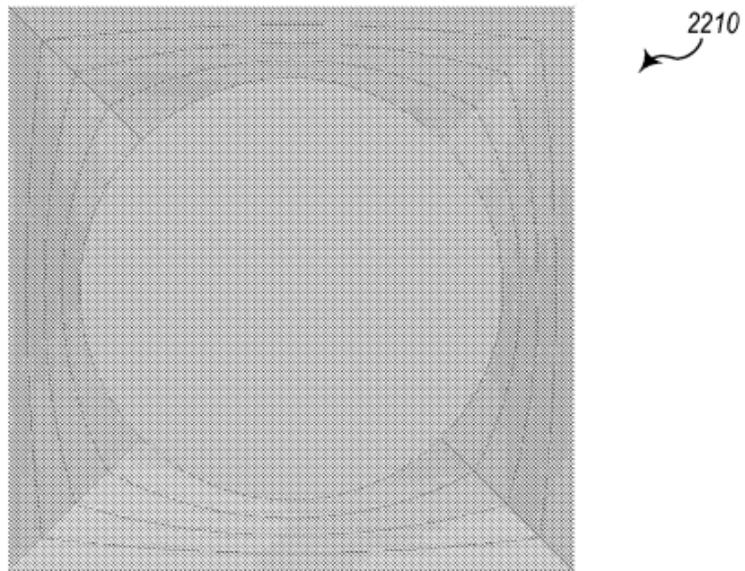
**Fig. 20**



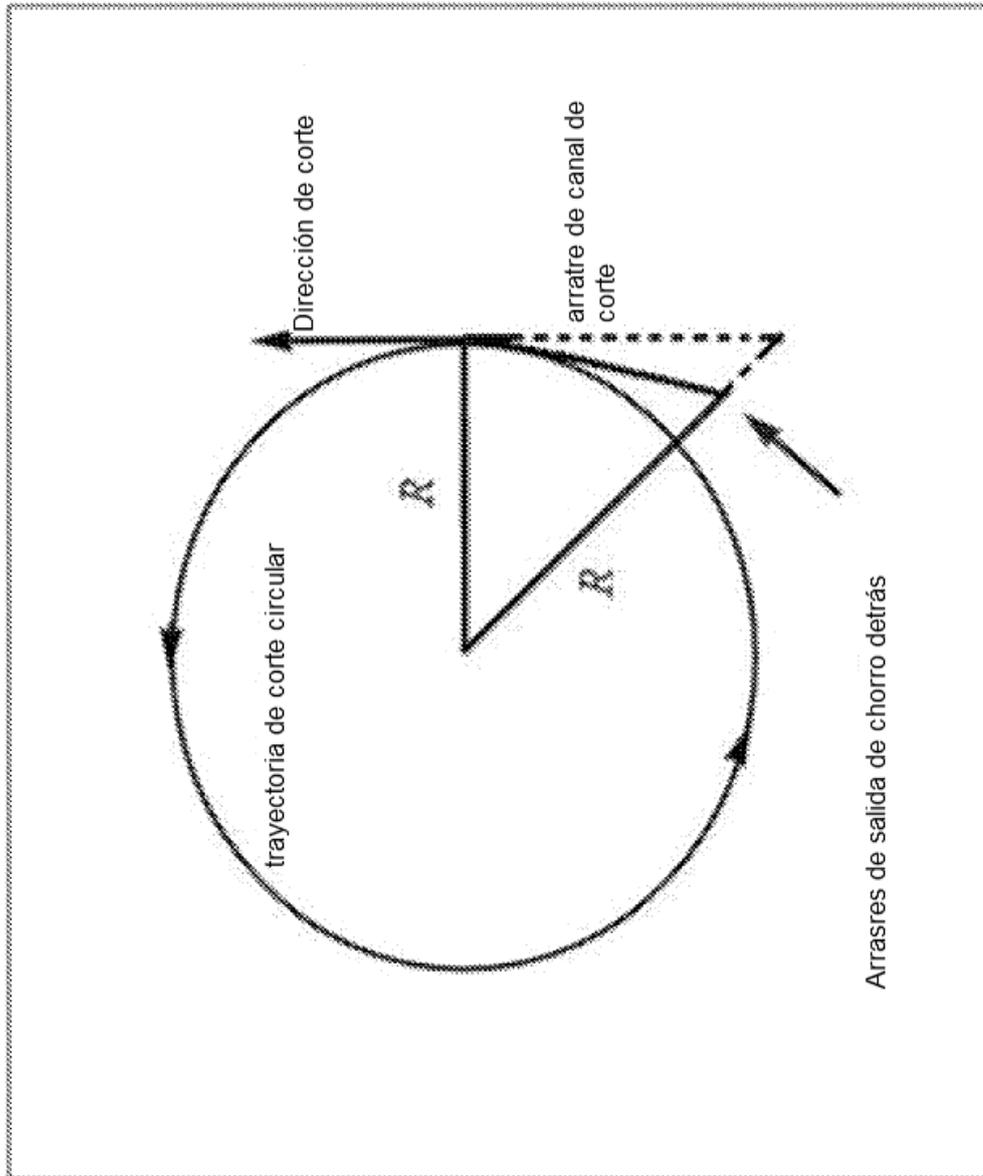
**Fig. 21**



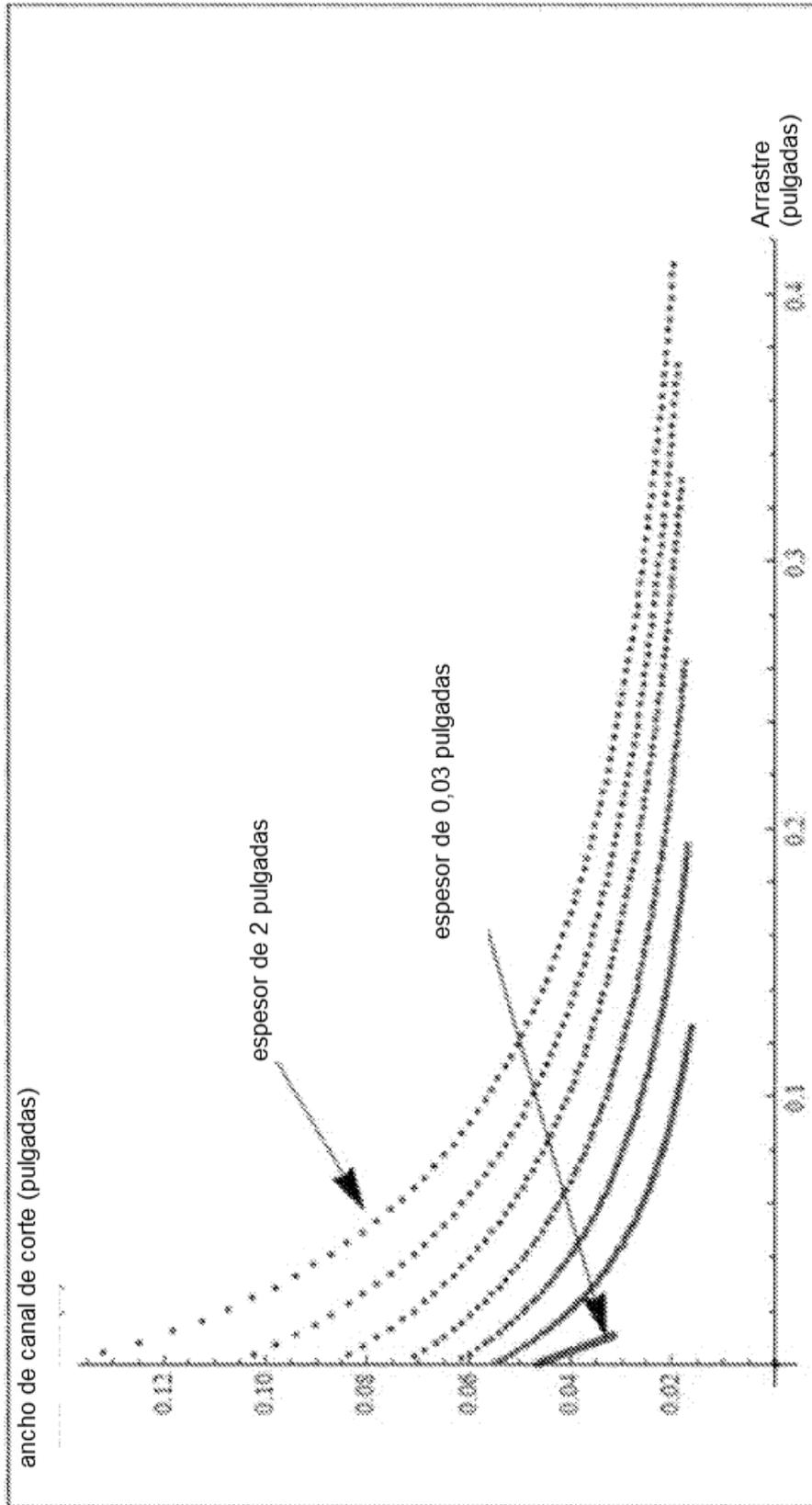
**Fig. 22A**



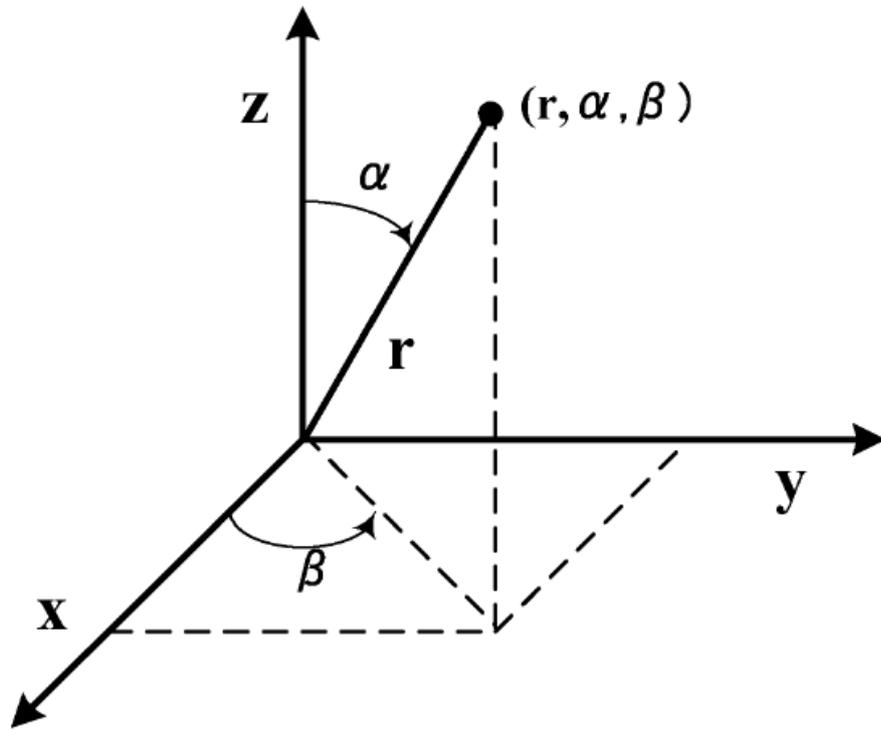
**Fig. 22B**



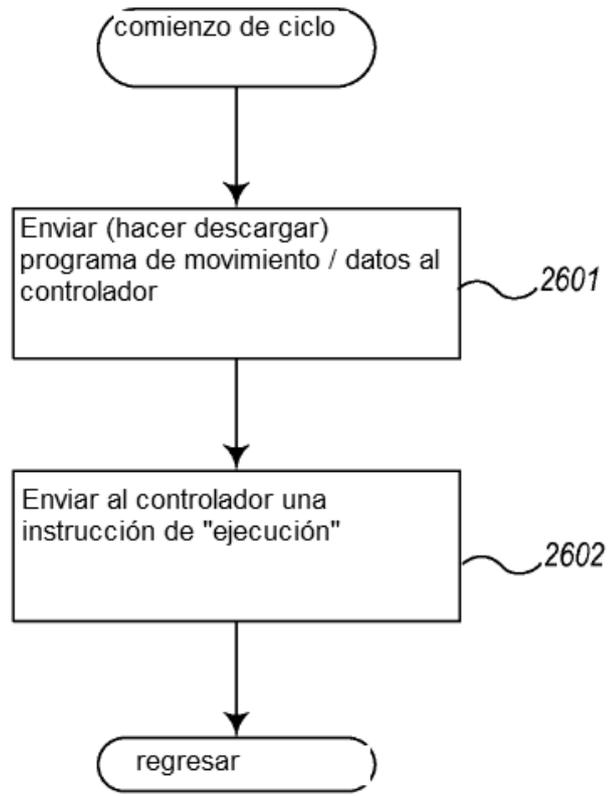
**Fig. 23**



**Fig. 24**



**Fig. 25**



**Fig. 26**