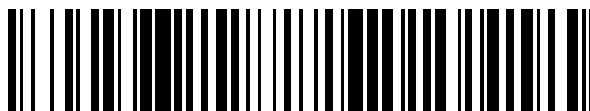


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 059**

51 Int. Cl.:

**B23K 9/095** (2006.01)

**B23K 9/10** (2006.01)

**B23K 9/32** (2006.01)

**G09B 19/24** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2014** **PCT/IB2014/000259**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014** **WO14140710**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2014** **E 14720216 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018** **EP 2973511**

54 Título: **Soldeo GTAW de realidad virtual y simulador y configuración de soldeo de tubería**

30 Prioridad:

**11.03.2013 US 201313792294**

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

**21.03.2019**

73 Titular/es:

**LINCOLN GLOBAL, INC. (100.0%)**  
**9160 Norwalk Boulevard**  
**Santa Fe Springs, CA 90670, US**

72 Inventor/es:

**WALLACE, MATTHEW, WAYNE;**  
**ZBORAY, DAVID, ANTHONY;**  
**ADITJANDRA, ANTONIUS;**  
**WEBB, ADAM, LEE;**  
**POSTLETHWAITE, DEANNA y**  
**LENKER, ZACHARY, STEVEN**

74 Agente/Representante:

**FERNÁNDEZ-VEGA FEIJOO, María Covadonga**

ES 2 705 059 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

Soldeo GTAW de realidad virtual y simulador y configuración de soldeo de tubería

### 5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

#### Campo técnico

10 La presente invención se refiere a sistemas para imitar un entorno de soldeo virtual, y más particularmente a entornos de soldeo virtual que imitan el soldeo por arco de wolframio en atmósfera de gas (GTAW o TIG por sus siglas en inglés), el soldeo de juntas de raíz abierta y tubería en tiempo real, y la configuración del mismo. Todavía más particularmente, la invención se refiere a un simulador y a un sistema para facilitar el soldeo virtual.

#### Antecedentes de la invención

15 Durante décadas, las empresas han estado enseñando capacitación en soldeo. Tradicionalmente, se ha enseñado sobre soldeo en una situación del mundo real, es decir, se ha enseñado sobre soldeo incidiendo realmente un arco con un electrodo sobre una pieza de metal. Los instructores, expertos en la técnica, supervisan el proceso de entrenamiento realizando correcciones en algunos casos a medida que un aprendiz realiza una soldadura. Mediante 20 instrucción y repetición, un nuevo aprendiz aprende cómo soldar usando uno o más procesos. Sin embargo, se incurre en gastos con cada soldadura realizada, lo que varía dependiendo del proceso de soldeo que esté enseñándose.

25 En los últimos tiempos, se han empleado sistemas con ahorro de costes para formar soldadores. Algunos sistemas incorporan un analizador de movimiento. El analizador incluye un modelo físico de un conjunto soldado, un electrodo de práctica y medios de detección que realizan un seguimiento del movimiento del electrodo de práctica. Se genera un informe que indica en qué medida avanza la punta del electrodo fuera de una amplitud de movimiento aceptable. Algunos sistemas más avanzados incorporan el uso de realidad virtual, que simula la manipulación de un electrodo de práctica en una situación virtual. De manera similar, estos sistemas realizan un seguimiento de la posición y 30 orientación. Tales sistemas solamente enseñan memoria muscular, pero no pueden enseñar la capacitación sobre soldeo más avanzada que requiere un soldador experto.

#### Breve resumen

35 Una realización proporciona un simulador para facilitar la actividad de soldeo virtual según se define en la reivindicación independiente 1.

#### Breve descripción de los dibujos

40 La figura 1 es una vista en perspectiva de un operario como usuario final que participa en la actividad de soldeo virtual con un simulador;

la figura 2 es una vista frontal de un simulador;

45 la figura 3a es un diagrama que muestra posiciones de soldeo de tubería;

la figura 3b es un diagrama que muestra posiciones de soldeo de placa;

50 la figura 4 es un diagrama de bloques esquemático a modo de ejemplo de una representación de una primera realización de un simulador;

la figura 5 es una vista en perspectiva lateral de una herramienta de soldeo de práctica;

55 la figura 6 es una vista en primer plano de una interfaz de usuario de soldeo;

la figura 6a es una vista en primer plano de un dispositivo de presentación visual de observador;

la figura 7a es una vista en perspectiva de un dispositivo de presentación visual personalizado;

60 la figura 7b es una vista en perspectiva de un dispositivo de presentación visual personalizado que lleva puesto un usuario final;

la figura 7c es una vista en perspectiva de un dispositivo de presentación visual personalizado montado en un casco para soldeo;

65 la figura 8 es una vista en perspectiva de un seguidor espacial;

la figura 9 es una vista en perspectiva de un soporte para sostener probetas de ensayo de soldeo;

la figura 9a es una vista en perspectiva de una probeta de ensayo de soldeo de tubería;

la figura 9b es una vista en perspectiva de una probeta de ensayo de soldeo de tubería montada en el soporte.

La figura 10 ilustra una realización de ejemplo de un diagrama de bloques de subsistema de un subsistema basado en procesador lógico;

la figura 11 ilustra una realización de ejemplo de un diagrama de bloques de una unidad de procesamiento gráfico (GPU, *graphics processing unit*) del subsistema basado en procesador lógico;

la figura 12 ilustra una realización de ejemplo de un diagrama de bloques funcional del simulador;

la figura 13 es un diagrama de flujo de una realización de un método de formación que usa el sistema de formación de realidad virtual;

las figuras 14a-14b ilustran el concepto de un mapa de desplazamiento de píxel de soldeo (*wexel*);

la figura 15 ilustra una realización de ejemplo de un espacio de probeta de ensayo y un espacio de soldadura de una probeta de ensayo de soldeo plana simulada en el simulador;

la figura 16 ilustra una realización de ejemplo de un espacio de probeta de ensayo y un espacio de soldadura de una probeta de ensayo de soldeo de esquina simulada en el simulador;

la figura 17 ilustra una realización de ejemplo de un espacio de probeta de ensayo y un espacio de soldadura de una probeta de ensayo de soldeo de tubería simulada en el simulador;

la figura 18 ilustra una realización de ejemplo de la probeta de ensayo de soldeo de tubería;

las figuras 19a-19c ilustran una realización de ejemplo del concepto de un modelo de charco de avance dual del simulador;

y la figura 20 ilustra una realización de ejemplo de un sistema de soldeo orbital tal como se usa en un entorno de soldeo orbital;

la figura 21 ilustra un tractor de soldeo para su uso con el sistema de soldeo orbital de la figura 20;

la figura 22 ilustra una fuente de alimentación y un controlador del sistema de soldeo orbital de la figura 20;

la figura 23 ilustra un elemento colgante para su uso con el sistema de soldeo orbital de la figura 20;

la figura 24 ilustra un diagrama de bloques esquemático de una representación a modo de ejemplo de una segunda realización de un simulador;

la figura 25 ilustra una realización a modo de ejemplo de un dispositivo de pedal usado en el simulador de la figura 24;

la figura 26 ilustra una realización a modo de ejemplo del simulador de la figura 24 que muestra el dispositivo de pedal de la figura 24;

la figura 27 ilustra una realización a modo de ejemplo de una actividad de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual; y

la figura 28 ilustra una realización a modo de ejemplo de una actividad de soldeo simulada, representativa de la actividad de soldeo virtual de la figura 27, que usa una herramienta de soldeo de práctica y un alambre de aportación de práctica que tiene sensores.

## Descripción detallada de la invención

Haciendo referencia ahora a los dibujos en los que las proyecciones tienen como propósito ilustrar realizaciones de la invención únicamente y no el propósito de limitar las mismas, las figuras 1 y 2 muestran un sistema para simular soldeo representado generalmente en 10, denominado en el presente documento el simulador 10 o sistema 10. El simulador 10 puede generar un entorno 15 virtual, que puede representar una situación de soldeo similar a la que hay en el mundo real, y puede conocerse como soldeo por arco de realidad virtual (VRAW, *virtual reality arc*

welding). Dentro del entorno 15 virtual, el simulador 10 facilita la interacción con uno o más usuario(s) 12 final(es). Está incluido un dispositivo 155 de entrada que permite que un usuario 12 final participe en una actividad del mundo real, de la que realiza un seguimiento el simulador 10 y se traduce en actividad virtual. Por tanto, el entorno 15 virtual comprende un entorno 15 de soldeo virtual interactivo. Está incluido un dispositivo 200 de presentación visual que proporciona acceso visual al interior del entorno 15 virtual y la actividad del usuario 12 final. En una realización, el simulador 10 puede incluir una pantalla 150 de presentación visual que pueden ver una pluralidad de usuarios 12 finales u otros observadores. Adicionalmente, el simulador 10 puede incluir un elemento 140 de presentación visual personalizado adaptado para su uso por un único usuario 12 final, que puede ser un usuario 12a aprendiz o un usuario 12b instructor. Se indica expresamente en este caso que la actividad del usuario 12 final en el mundo real se traduce en una actividad de soldeo virtual y se ve en uno o más elementos 140, 150 de presentación visual en tiempo real. Tal como se usa en el presente documento, el término "tiempo real" significa percibir y experimentar, en el tiempo, un entorno virtual del mismo modo que un usuario 12 final lo percibiría y experimentaría, en el tiempo, en una situación del mundo real.

Al generar un entorno 15 de soldeo virtual interactivo, el simulador 10 imita uno o más procedimientos de soldeo para una pluralidad de juntas de soldadura en diferentes posiciones de soldeo, y adicionalmente imita los efectos de diferentes clases de electrodos para la pluralidad de configuraciones de junta. En una realización particular, el simulador 10 genera un entorno 15 de soldeo virtual interactivo que imita el soldeo de tubería y/o el soldeo de juntas de raíz abierta. El sistema puede simular un charco de soldadura que tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real. El simulador 10 también puede modelar cómo afecta la actividad de soldeo virtual a la junta de soldadura, por ejemplo el material de base subyacente. De manera ilustrativa, el simulador 10 puede imitar el soldeo de una pasada de raíz y una pasada en caliente, así como pasadas de aportación y acabado posteriores, cada una con características semejantes a las de escenarios del mundo real. Cada pasada posterior puede soldar de modo significativamente diferente al de la pasada anterior como resultado de cambios en el material de base realizados durante la pasada anterior y/o como resultado de un electrodo seleccionado de diferente modo. La retroalimentación en tiempo real del modelado de charco permite que el usuario 12 final observe el procedimiento de soldeo virtual en el elemento 200 de presentación visual y ajuste o mantenga su técnica a medida que se realiza la soldadura virtual. Los ejemplos de las clases de indicadores virtuales observados pueden incluir: flujo del charco de soldadura, brillo del charco fundido, cambios en el color durante la solidificación del charco, velocidad de congelación del charco, gradientes de color de disipación de calor, sonido, formación del cordón, patrón oscilante, formación de escoria, mordedura, porosidad, salpicadura, atrapamiento de escoria, aportación excesiva, fugas y oclusiones por nombrar unos cuantos. Ha de entenderse que las características del charco dependen de, es decir responden a, el movimiento del usuario 12 final del dispositivo 155 de entrada. De esta manera, el charco de soldadura representado es representativo de un charco de soldadura del mundo real formado en tiempo real basándose en el procedimiento de soldeo seleccionado y en la técnica de soldeo del usuario 12 final. Además, "huellas de carreta" es la pista visual que dejan defectos de soldadura y escoria en los pies de la pasada de raíz realizada durante el soldeo de tubería usando el procedimiento SMAW. La segunda pasada en el soldeo de tubería, denominada pasada en caliente, debe estar lo suficientemente caliente como para volver a fundir las huellas de carreta de modo que se eliminan en el conjunto soldado final. Además, pueden retirarse las huellas de carreta mediante un procedimiento de rectificado. Tales huellas de carreta y la eliminación de las huellas de carreta se simulan de manera apropiada en el simulador 10 descrito en el presente documento, según una realización de la presente invención.

Con referencia continuada a las figuras 1 y 2 y ahora también a las figuras 3a y 3b, el simulador 10 puede imitar procedimientos de soldeo en diversas posiciones de soldeo y modela cómo reacciona el charco de soldadura en cada posición. Más específicamente, el simulador 10 puede imitar el soldeo de tubería en posiciones verticales, horizontales y/o inclinadas denominadas en la técnica respectivamente las posiciones 5G, 2G y 6G. Adicionalmente, el simulador 10 puede imitar el soldeo en una posición 1G que se refiere a la posición horizontal rotatoria de la tubería, o en una posición 4G que se refiere a soldeo sobre cabeza tal como puede estar asociado con una soldadura de ranura en placas unidas a tope. Otras posiciones de soldeo pueden referirse al soldeo de juntas de raíz abierta para diversas configuraciones de placa plana. Debe comprenderse que el simulador 10, que incluye un motor de modelado y análisis que va a describirse en detalle en párrafos posteriores, tiene en cuenta los efectos de la gravedad sobre el charco de soldadura. Por consiguiente, el charco de soldadura reacciona de modo diferente, por ejemplo, para una tubería de soldeo en una posición 5G con respecto a la de una posición 6G. Los ejemplos anteriores no han de interpretarse como limitativos, sino que se incluyen con propósitos ilustrativos. Los expertos en la técnica comprenderán fácilmente su aplicación a cualquier junta de soldadura, posición de soldeo o tipo de conjunto soldado incluyendo diferentes clases de material de base.

Con referencia ahora a las figuras 2 y 4, el simulador 10 incluye un subsistema 110 basado en procesador lógico, que puede ser programable y que puede hacerse funcionar para ejecutar instrucciones codificadas para generar el entorno 15 de soldeo virtual interactivo. El simulador 10 incluye además sensores y/o sistemas de sensor, que pueden componerse de un seguidor 120 espacial, conectado operativamente al subsistema 110 basado en procesador lógico. El simulador 10 también incluye una interfaz 130 de usuario de soldeo en comunicación con el subsistema 110 basado en procesador lógico para la configuración y el control del simulador 10. Tal como se hizo referencia anteriormente, están incluidos dispositivo(s) 200 de presentación visual, que puede(n) comprender un dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal y un dispositivo 150 de presentación visual de

observador conectados, cada uno, al subsistema 110 basado en procesador lógico que proporciona acceso visual al entorno 15 de soldeo virtual interactivo. Uno o más de los dispositivos 200 de presentación visual puede conectarse al seguidor 120 espacial para cambiar las imágenes que se ven en el dispositivo en respuesta a su posición y/o el movimiento del mismo, tal como se describe más adelante.

## DISPOSITIVO DE ENTRADA

Con referencia ahora a la figura 5, tal como se mencionó anteriormente, el simulador 10 incluye un dispositivo 155 de entrada que facilita la interacción con el usuario 12 final. En una realización, el dispositivo 155 de entrada comprende una herramienta 160 de soldeo de práctica. La herramienta 160 de soldeo de práctica puede diseñarse para que se asemeje a una herramienta de soldeo del mundo real, como por ejemplo, un portaelectrodo de soldeo manual o una pistola de soldadura que suministra una alimentación continua al electrodo, es decir herramientas de soldeo MIG, FCAW o GTAW. Todavía más, otras configuraciones de la herramienta 160 de soldeo de práctica pueden implementarse sin apartarse del alcance de cobertura pretendido de las realizaciones de la invención objeto. Con propósitos de análisis, las realizaciones de la invención objeto se describirán en el contexto del uso de una herramienta 160 de soldeo de práctica que se asemeja a un portaelectrodo 156 de soldeo manual. La herramienta 160 de soldeo de práctica puede asemejarse estrechamente a una herramienta de soldeo del mundo real. En una realización particular, la herramienta 160 de soldeo de práctica puede tener la misma forma, el mismo peso y tacto que una herramienta de soldeo del mundo real. De hecho, podría usarse una herramienta de soldeo real como la herramienta 160 de soldeo de práctica para proporcionar el tacto real de la herramienta en las manos del usuario, aunque, en el simulador 10, no se usará la herramienta de soldeo real para crear realmente un arco real. De esta manera, el usuario 12 final, que puede ser un usuario 12a aprendiz, se acostumbra a manipular una herramienta de soldeo del mundo real, potenciando de ese modo la experiencia de soldeo virtual. Sin embargo, la herramienta 160 de soldeo de práctica puede construirse de cualquier manera elegida con buen criterio.

De manera ilustrativa, la herramienta 160 de soldeo de práctica simula una herramienta de soldeo de varilla para el soldeo de tubería e incluye un portaelectrodo 161 y un electrodo 162 de varilla simulado que se extiende desde el mismo. El electrodo 162 de varilla simulado puede incluir una punta 163 resistiva de manera táctil para simular la retroalimentación resistiva que se produce durante el soldeo en una situación del mundo real. Si el usuario 12 final mueve el electrodo 162 de varilla simulado demasiado hacia atrás, hacia fuera de la raíz (descrito en detalle más adelante), el usuario 12 final podrá sentir o percibir la resistencia reducida obteniendo de ese modo una retroalimentación para su uso en el ajuste o mantenimiento del procedimiento de soldeo actual. Se contempla que la herramienta de soldeo de varilla puede incorporar un accionador, no mostrado, que retira el electrodo 162 de varilla simulado durante el procedimiento soldeo virtual. Es decir, que a medida que el usuario 12 final participa en la actividad de soldeo virtual, se reduce la distancia entre el portaelectrodo 161 y la punta del electrodo 162 de varilla simulado para simular el consumo del electrodo. La tasa de consumo, es decir la retirada del electrodo 162 de varilla, puede controlarse por el subsistema 110 basado en procesador lógico y más específicamente por instrucciones codificadas ejecutadas por el subsistema 110 basado en procesador lógico. La tasa de consumo simulada también puede depender de la técnica del usuario 12 final. Cabe mencionar en este caso que a medida que el simulador 10 facilita el soldeo virtual con diferentes tipos de electrodos, la tasa de consumo o reducción del electrodo 162 de varilla puede cambiar con el procedimiento de soldeo usado y/o la configuración del simulador 10.

El accionador de la herramienta 160 de soldeo de práctica puede impulsarse eléctricamente. La potencia para que actúe el accionador puede provenir del simulador 10, de una fuente de alimentación externa o de alimentación por baterías internas. En una realización, el accionador puede ser un dispositivo electromotor, tal como un motor eléctrico. Todavía más, puede usarse cualquier tipo de accionador o forma de fuerza motriz incluyendo, pero sin limitarse a: accionadores electromagnéticos, accionadores neumáticos, accionadores mecánicos o accionados por resorte, en cualquier combinación de los mismos.

Tal como se indicó anteriormente, la herramienta 160 de soldeo de práctica puede funcionar junto con el seguidor espacial para interactuar con el simulador 10. En particular, la posición y/o orientación de la herramienta 160 de soldeo de práctica pueden monitorizarse y seguirse por el seguidor 120 espacial en tiempo real. Por tanto, pueden comunicarse datos que representan la posición y orientación al subsistema 110 basado en procesador lógico y modificarse o convertirse para su uso según se requiera para interactuar con el entorno 15 de soldeo virtual.

## SEGUIDOR ESPACIAL

Haciendo referencia a la figura 8, se ilustra un ejemplo de un seguidor 120 espacial. El seguidor 120 espacial puede interconectarse con el subsistema 110 basado en procesador lógico. En una realización, el seguidor 120 espacial puede realizar un seguimiento de la herramienta 160 de soldeo de práctica magnéticamente. Es decir, que el seguidor espacial genera una envolvente magnética, que se usa para determinar la posición y orientación, así como la velocidad y/o cambios en la velocidad. Por consiguiente, el seguidor 120 espacial incluye una fuente 121 magnética y un cable de fuente, uno o más sensores 122, software de servidor en el disco 123, una fuente 124 de alimentación, cables 125 de USB y RS-232, una unidad 126 de seguimiento de procesador, y otros cables asociados. La fuente 121 magnética puede conectarse operativamente a la unidad 126 de seguimiento de procesador mediante cables, igual que el sensor 122. La fuente 124 de alimentación también puede conectarse

operativamente a la unidad 126 de seguimiento de procesador mediante un cable. La unidad 126 de seguimiento de procesador puede conectarse operativamente al subsistema 110 basado en procesador lógico mediante un cable 125 de USB o RS-232. El software de servidor en el disco 123 puede cargarse sobre el subsistema 110 basado en procesador lógico y permite una comunicación funcional entre el seguidor 120 espacial y el subsistema 110 basado en procesador lógico.

La fuente 121 magnética crea un campo magnético, o envolvente, que rodea la fuente 121 definiendo un espacio tridimensional dentro del que puede realizarse un seguimiento de la actividad del usuario 12 final para interactuar con el simulador 10. La envolvente establece un marco de referencia espacial. Los objetos usados dentro de la envolvente, por ejemplo la herramienta 160 de soldeo de práctica y el soporte de probeta de ensayo (descrito más adelante), pueden componerse de material no metálico, es decir no férreo y no conductor, de modo que no se distorsione el campo magnético creado por la fuente 121 magnética. El sensor 122 puede incluir múltiples bobinas de inducción alineadas en direcciones espaciales que se cruzan, que pueden estar sustancialmente alineadas de manera ortogonal. Las bobinas de inducción miden la intensidad del campo magnético en cada una de las tres direcciones proporcionando información a la unidad 126 de seguimiento de procesador. En una realización, el sensor 122 puede fijarse a la herramienta 160 de soldeo de práctica, lo que permite que se realice un seguimiento de la herramienta 160 de soldeo de práctica con respecto al marco de referencia espacial tanto en cuanto a la posición como a la orientación. Más específicamente, las bobinas de inducción pueden montarse en la punta del electrodo 162. De este modo, el simulador 10 puede determinar dónde se sitúa dentro de la envolvente tridimensional la herramienta 160 de soldeo de práctica. Pueden proporcionarse sensores 122 adicionales y fijarse operativamente al uno o más dispositivos 200 de presentación visual. Por consiguiente, el simulador 10 puede usar datos de sensor para cambiar la vista que ve el usuario 12 final que responde a los movimientos del usuario 12 final. Como tal, el simulador 10 capta y realiza un seguimiento de la actividad del usuario 12 final en el mundo real para su traducción al entorno 15 de soldeo virtual.

Según una realización alternativa de la presente invención, el/los sensor(es) 122 puede interconectarse de manera inalámbrica a la unidad 126 de seguimiento de procesador, y la unidad 126 de seguimiento de procesador puede interconectarse de manera inalámbrica al subsistema 110 basado en procesador lógico. Según otras realizaciones alternativas de la presente invención, pueden usarse otros tipos de seguidores 120 espaciales en el simulador 10 incluyendo, por ejemplo, un seguidor basado en acelerómetro/giroscopio, un seguidor óptico, un seguidor de infrarrojos, un seguidor acústico, un seguidor láser, un seguidor de radiofrecuencia, un seguidor inercial, un seguidor óptico activo o pasivo y un seguimiento basado en realidad aumentada. Todavía más, pueden usarse otros tipos de seguidores sin apartarse del alcance de cobertura pretendido de la realización de la invención objeto.

#### DISPOSITIVO DE PRESENTACIÓN VISUAL

Con referencia ahora a la figura 7a, se describirá a continuación un ejemplo del dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal. El dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal puede integrarse en un casco 900 para soldeo, tal como se muestra en la figura 7c o alternativamente puede montarse por separado tal como se muestra en la figura 7b. El dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal puede incluir dos microelementos de presentación visual de OLED 3D SVGA de alto contraste que pueden suministrar vídeo fluido de movimiento completo en los modos de vídeo de fotogramas secuenciales y 2D. Se proporcionan imágenes virtuales, por ejemplo vídeo, desde el entorno 15 de soldeo virtual y se presentan visualmente en el dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal. En una realización de la invención objeto, el subsistema 110 basado en procesador lógico proporciona vídeo estereoscópico al dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal, potenciando la percepción de profundidad del usuario. Pueden producirse imágenes estereoscópicas por una unidad de procesamiento lógica, que puede ser una unidad de procesamiento gráfico descrita en detalle más adelante. También puede proporcionarse un modo de zoom, por ejemplo, 2X, lo que permite que un usuario simule una placa de extensión. El dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal se conecta operativamente al subsistema 110 basado en procesador lógico y el seguidor 120 espacial mediante medios por cable o inalámbricos. Un sensor 122 del seguidor 120 espacial puede fijarse al dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal o al casco 900 para soldeo, permitiendo de ese modo que se realice un seguimiento del dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal con respecto al marco de referencia espacial 3D creado por el seguidor 120 espacial. De este modo, el movimiento del casco 900 para soldeo altera de manera reactiva la imagen que ve el usuario 12 final en una situación de realidad virtual tridimensional.

El dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal también puede funcionar para llamar y presentar visualmente elementos de menú similares a los del dispositivo 150 de presentación visual de observador, tal como se describe posteriormente. De esta manera, por tanto, un usuario final puede usar un control en la herramienta 160 de soldeo de práctica (por ejemplo, un botón o interruptor) para activar y seleccionar opciones del menú. Esto puede permitir que el usuario reinicie fácilmente una soldadura si comete un error, cambie determinados parámetros o retroceda para volver a realizar una porción de una trayectoria de cordón de soldadura, por ejemplo.

El dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal puede incluir además altavoces 910, lo que permite que el usuario escuche sonidos del entorno y relacionados con el soldeo simulados producidos por el

simulador 10. La funcionalidad de contenido de sonido y los sonidos de soldeo proporcionan tipos particulares de sonidos de soldeo que cambian dependiendo de si determinados parámetros de soldeo están dentro de la tolerancia o fuera de la tolerancia. Se adaptan los sonidos a los diversos procedimientos y parámetros de soldeo. Por ejemplo, en un procedimiento de soldeo por arco de pulverización MIG, se proporciona un sonido de crepitación cuando el usuario no tiene la herramienta 160 de soldeo de práctica situada correctamente, y se proporciona un sonido de silbido cuando la herramienta 160 de soldeo de práctica está situada correctamente. En un procedimiento de soldeo por arco corto, se proporciona un sonido de silbido cuando se produce mordedura. Estos sonidos imitan sonidos del mundo real correspondientes a una técnica de soldeo correcta e incorrecta.

Puede tomarse contenido de sonido de alta fidelidad de grabaciones del mundo real de soldeo verdadero usando una variedad de medios electrónicos y mecánicos. El volumen y la dirección percibidos del sonido se modifican dependiendo de la posición, orientación y distancia de la cabeza del usuario final, es decir el dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal, con respecto al arco simulado entre la herramienta 160 de soldeo de práctica y la probeta 175 de ensayo de soldeo. Puede proporcionarse sonido al usuario mediante altavoces 910, que pueden ser altavoces de auriculares o cualquier otro tipo de altavoces o dispositivo de generación de sonido, montado en el dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal o alternativamente montado en la consola 135 y/o el soporte 170. Todavía más, puede elegirse cualquier manera de presentación de sonido al usuario 12 final mientras participa en la actividad de soldeo virtual. También se indica en este caso que pueden comunicarse otros tipos de información de sonido a través de los altavoces 910. Los ejemplos incluyen instrucciones verbales procedentes del usuario 12b instructor, o bien en tiempo real o bien mediante mensajes pregrabados. Los mensajes pregrabados pueden activarse automáticamente por la actividad de soldeo virtual particular. Pueden generarse instrucciones en tiempo real *in situ* o desde una ubicación remota. Todavía más, puede transmitirse cualquier tipo de mensaje o instrucción al usuario 12 final.

## CONSOLA

Con referencia ahora a las figuras 2, 6 y 7, el simulador 10 puede incluir una consola 135 que aloja uno o más componentes del simulador 10. En una realización, puede construirse la consola 135 para que se asemeje a una fuente de alimentación de soldeo. Es decir, que la forma y el tamaño de la consola 135 pueden coincidir con los de un dispositivo del mundo real. Puede facilitarse el funcionamiento del simulador 10 mediante una interfaz 130 de unidad de soldeo, que puede diseñarse para que se asemeje a las perillas, diales y/o interruptores 133, 134 de una fuente de alimentación de soldeo. El simulador 10 puede incluir además un elemento de presentación visual, que puede ser el dispositivo 200 de presentación visual. Instrucciones codificadas, es decir software, configuradas en el simulador 10 pueden dirigir la interacción del usuario 12 final con el simulador 10 presentando visualmente instrucciones y/o opciones de menú en la pantalla 200 de presentación visual. La interacción con el simulador 10 puede incluir funciones relacionadas con: la configuración y activación de la simulación o actividad administrativa. Esto puede incluir la selección de un procedimiento de soldeo y tipo de electrodo particulares, así como la configuración parcial incluyendo la posición de soldeo. Las selecciones realizadas por medio de la interfaz 130 de unidad de soldeo se reflejan en el dispositivo 200 de presentación visual.

La figura 6 ilustra una realización a modo de ejemplo de la consola 135 y la interfaz 130 de usuario de soldeo. La interfaz 130 de unidad de soldeo puede incluir un conjunto de botones 131 correspondientes a las selecciones 153 de usuario usados durante la configuración y el funcionamiento del simulador 10. Los botones 131 pueden ser coloreados para corresponder a los colores de las selecciones 153 de usuario presentadas visualmente en el dispositivo 200 de presentación visual. Cuando se pulsa uno de los botones 131, se envía una señal al subsistema 110 basado en procesador lógico para activar la función correspondiente. La interfaz 130 de unidad de soldeo también puede incluir una palanca 132 de mando que puede usarse por parte de un usuario para seleccionar diversos parámetros y las selecciones se presentan visualmente en el dispositivo 200 de presentación visual. La interfaz 130 de unidad de soldeo incluye además un dial o una perilla 133, que de manera ejemplar, puede usarse para ajustar los amperios/la velocidad de alimentación de alambre, y otro dial o perilla 134 para ajustar los voltios/ajuste. La interfaz 130 de unidad de soldeo también incluye un dial o una perilla 136 para seleccionar un procedimiento de soldeo por arco. Según una realización de la presente invención, pueden seleccionarse tres procedimientos de soldeo por arco incluyendo soldeo por arco con alma de fundente (FCAW, *flux-cored arc welding*), soldeo por arco metálico en atmósfera de gas (GMAW, *gas metal arc welding*) y soldeo por arco metálico protegido (SMAW, *shielded metal arc welding*). La interfaz 130 de unidad de soldeo incluye además un dial o una perilla 137 para seleccionar una polaridad de soldeo. Según una realización de la presente invención, pueden seleccionarse tres polaridades de soldeo por arco incluyendo corriente alterna (CA), corriente continua positiva (CC+) y corriente continua negativa (CC-). Todavía más, otros procedimientos de soldeo y características de configuración pueden incorporarse en el simulador 10 sin apartarse del alcance de cobertura pretendido de las realizaciones de la invención objeto, incluyendo, pero sin limitarse a, soldeo TIG. A partir de lo mencionado anteriormente, se observará fácilmente que la configuración del simulador 10 es análoga a la configuración de un dispositivo del mundo real.

La funcionalidad 1213 de interfaz gráfica de usuario (véase la figura 12) permite que un usuario, que puede ver el dispositivo 150 de presentación visual de observador y usando la palanca 132 de mando de la interfaz 130 física de usuario, configure un escenario de soldeo. La configuración de un escenario de soldeo puede incluir seleccionar un idioma, introducir un nombre de usuario final, seleccionar una placa de práctica (por ejemplo, una probeta de ensayo

de soldeo, placa en T, placa plana), seleccionar un procedimiento de soldeo (por ejemplo, FCAW, GMAW, SMAW, TIG) y modo de transferencia de arco corto, pulsado o de pulverización axial asociado, seleccionar un tipo de gas y velocidad de flujo, seleccionar un tipo de electrodo de varilla (por ejemplo, E6010 o E7018), y seleccionar un tipo de alambre con alma de fundente (por ejemplo, de autoprotección, de protección con gas). La configuración de un escenario de soldeo también puede incluir configurar un soporte de probeta 170 de ensayo que va a analizarse en detalle más adelante. La configuración de un escenario de soldeo incluye además seleccionar un entorno (por ejemplo, un entorno de fondo en un espacio de realidad virtual), establecer una velocidad de alimentación de alambre, establecer un nivel de tensión, seleccionar una polaridad, y encender o apagar pistas visuales particulares. Se observa en este caso que en una realización pueden incorporarse limitaciones en el simulador 10, que pueden ser limitaciones de software, que impiden el funcionamiento de un escenario de soldeo dado hasta que se han introducido apropiadamente los ajustes para un procedimiento seleccionado. De este modo, se enseña a usuarios 12a aprendices o los mismos aprenden la amplitud apropiada de situaciones de soldeo del mundo real configurando escenarios de soldeo virtual.

Por consiguiente, el dispositivo 200 de presentación visual refleja la actividad correspondiente a las selecciones 153 del usuario final incluyendo menú, acciones, pistas visuales, nueva configuración de probeta de ensayo y puntuación. Estas selecciones de usuario pueden vincularse a botones de usuario en la consola 135. A medida que un usuario realiza diversas selecciones mediante el dispositivo 200 de presentación visual, las características presentadas visualmente pueden cambiar para proporcionar la información seleccionada y otras opciones al usuario. Sin embargo, el dispositivo 200 de presentación visual, que puede ser un dispositivo 150 de presentación visual de observador, puede tener otra función, es decir presentar visualmente imágenes virtuales que ve el usuario 12 final durante el funcionamiento del simulador 10, es decir mientras participa en la actividad de soldeo virtual. El dispositivo 200 de presentación visual puede configurarse para ver la misma imagen que ve el usuario 12 final. Alternativamente, el dispositivo 200 de presentación visual también puede usarse para presentar visualmente una vista diferente, o perspectiva diferente de la actividad de soldeo virtual.

En una realización, el dispositivo 150, 200 de presentación visual puede usarse para reproducir la actividad de soldeo virtual almacenada electrónicamente en dispositivos 300 de almacenamiento de datos, mostrados en la figura 10. Pueden almacenarse datos que representan la actividad de soldeo virtual del usuario 12 final para: reproducir y revisar, descargados con propósitos de archivado y/o transmitirse a ubicaciones remotas para verse y realizarse una crítica en tiempo real. Al reproducir la actividad de soldeo virtual, pueden representarse detalles tales como la fluidez del charco de soldadura, velocidad de avance, así como estados 152 de discontinuidad incluyendo, por ejemplo, tamaño de filete inapropiado, mala colocación del cordón, cordón cóncavo, excesiva convexidad, mordedura, porosidad, fusión incompleta, atrapamiento de escoria, salpicadura en exceso y fugas. También puede presentarse visualmente la mordedura, que es el resultado de un ángulo fuera de la tolerancia. Además, puede presentarse visualmente la porosidad provocada por el movimiento del arco demasiado lejos del conjunto soldado. De esta manera, el simulador 10 puede reproducir parte o la totalidad de una actividad de soldeo virtual particular, modelar todos los aspectos del escenario de soldeo virtual incluyendo oclusiones y defectos relacionados directamente con la actividad del usuario final.

Haciendo referencia a la figura 6a, el simulador 10 también puede analizar y presentar visualmente los resultados de la actividad de soldeo virtual. Analizar los resultados quiere decir que el simulador 10 puede determinar cuándo durante la pasada de soldeo y dónde a lo largo de las juntas de soldadura, el usuario 12 final se desvió de los límites aceptables del procedimiento de soldeo. Puede atribuirse una puntuación al desempeño del usuario 12 final. En una realización, la puntuación puede ser una función de la desviación en la posición, orientación y velocidad de la herramienta 160 de soldeo de práctica a través de los intervalos de tolerancias, que pueden extenderse desde una pasada de soldeo ideal hasta una actividad de soldeo marginal o inaceptable. Cualquier gradiente de intervalos puede incorporarse en el simulador 10 según se elija para puntuar el desempeño del usuario 12 final. La puntuación puede presentarse visualmente de manera numérica o alfanumérica. Adicionalmente, puede presentarse visualmente el desempeño del usuario 12 final mostrando gráficamente, en el tiempo y/o la posición a lo largo de la junta de soldadura, cómo de cerca atravesó la herramienta de soldeo de práctica la junta de soldadura. Parámetros tales como ángulo de avance, ángulo de trabajo, velocidad y distancia desde la junta de soldadura son ejemplos de lo que puede medirse, aunque puede analizarse cualquier parámetro con propósitos de puntuación. Los intervalos de tolerancia de los parámetros se toman de datos de soldeo del mundo real, proporcionando de ese modo una retroalimentación precisa en cuanto a cómo será el desempeño del usuario final en el mundo real. En otra realización, también puede incorporarse un análisis de los defectos correspondiente al desempeño del usuario 12 final y presentarse visualmente en el dispositivo 150, 200 de presentación visual. En esta realización, puede representarse un gráfico que indica qué tipo de discontinuidad resultó de la medición de los diversos parámetros monitorizados durante la actividad de soldeo virtual. Aunque las oclusiones pueden no ser visibles en el dispositivo 200 de presentación visual, todavía pueden haberse producido defectos como resultado del desempeño del usuario 12 final, cuyos resultados pueden todavía presentarse visualmente de manera correspondiente, es decir representarse gráficamente.

El dispositivo 200 de presentación visual también puede usarse para presentar visualmente información tutorial usada para formar a un usuario 12 final. Los ejemplos de información tutorial pueden incluir instrucciones, que pueden presentarse visualmente de manera gráfica tal como se representa mediante vídeo o imágenes.



Adicionalmente, pueden escribirse instrucciones o presentarse en formato de audio, mencionado anteriormente. Tal información puede almacenarse y mantenerse en los dispositivos 300 de almacenamiento de datos. En una realización, el simulador 10 puede presentar visualmente escenas de soldeo virtual que muestran diversos parámetros 151 de soldeo incluyendo la posición, distancia de punta de electrodo a pieza de trabajo (*tip to work*), ángulo de soldadura, ángulo de avance y velocidad de avance, denominados en el presente documento pistas visuales.

En una realización, pueden usarse comunicaciones remotas para proporcionar instrucciones virtuales por parte de personal exterior, es decir usuarios remotos, que trabajan desde dispositivos contruidos de manera similar o de manera diferente, es decir simuladores. La representación de un procedimiento soldeo virtual puede lograrse mediante una conexión en red incluyendo, pero sin limitarse a, Internet, LAN y otros medios de transmisión de datos. Pueden enviarse datos que representan una soldadura particular (incluyendo variables de desempeño) a otro sistema que puede presentar visualmente datos de soldadura y/o la imagen virtual. Debe observarse que los datos transmitidos sean suficientemente detallados como para permitir que usuario(s) remoto(s) analicen el desempeño del soldador. Pueden usarse los datos enviados a un sistema remoto para generar un entorno de soldeo virtual, recreando de ese modo un procedimiento de soldeo particular. Todavía más, puede implementarse cualquier modo de comunicación de daños de desempeño o la actividad de soldeo virtual a otro dispositivo sin apartarse del alcance de cobertura pretendido de las realizaciones de la invención objeto.

## PROBETA DE ENSAYO DE SOLDEO

Con referencia ahora a las figuras 1, 9a y 9b, el simulador 10 puede incluir una probeta 175 de ensayo de soldeo que se asemeja a secciones de tubería yuxtapuestas para formar una junta 176 de soldeo. La probeta 175 de ensayo de soldeo puede actuar junto con el simulador 10 que sirve como guía para el usuario 12 final mientras participa en la actividad de soldeo virtual. Puede usarse una pluralidad de probetas 175 de ensayo de soldeo, es decir intercambiarse para su uso en un ciclo dado de actividad de soldeo virtual. Los tipos de probetas de ensayo de soldeo pueden incluir secciones de tubería cilíndrica, segmentos de tubería en forma de arco, juntas de soldadura de placa plana y placa en T, sólo por nombrar unos cuantos. En una realización, cada una de las probetas de ensayo de soldeo puede incorporar juntas de raíz abierta o ranuras. Sin embargo, cualquier configuración de las juntas de soldadura puede incorporarse en una probeta de ensayo de soldeo sin apartarse del alcance de cobertura pretendido de las realizaciones de la invención objeto.

Las dimensiones de las probetas 175 de ensayo de soldeo pueden variar. Para una tubería cilíndrica, el intervalo de diámetros interiores puede extenderse desde 1,5 pulgadas (diámetro interior) hasta 18 pulgadas (diámetro interior). En una realización particular, el intervalo de diámetros interiores puede superar las 18 pulgadas. En otra realización, segmentos de tubería en forma de arco pueden tener un radio característico en el intervalo que se extiende desde 1,5 pulgadas (diámetro interior) hasta y por encima de 18 pulgadas (diámetro interior). Además, ha de interpretarse que puede utilizarse cualquier diámetro interior de la probeta 175 de ensayo de soldeo, tanto aquellos menores de 1,5 pulgadas como los que superan las 18 pulgadas. En un sentido práctico, puede usarse cualquier tamaño de la probeta 175 de ensayo de soldeo siempre que la probeta 175 de ensayo de soldeo, o una porción de la probeta 175 de ensayo de soldeo, encaje dentro de la envolvente generada por el seguidor 120 espacial. La placa plana también puede extenderse hasta y por encima de 18 pulgadas de longitud. Todavía más, debe comprenderse que los límites dimensionales superiores de una probeta 175 de ensayo de soldeo están restringidos únicamente por el tamaño y la intensidad del campo de detección generado por el seguidor 120 espacial y su capacidad para situarse con respecto a la probeta 175 de ensayo de soldeo. Ha de interpretarse que todas de tales variaciones se encuentran dentro del alcance de cobertura de las realizaciones de la invención objeto.

Tal como se mencionó anteriormente, la probeta 175 de ensayo de soldeo puede construirse de un material que no interfiere con el seguidor 120 espacial. Para los seguidores espaciales que generan un campo magnético, la probeta 175 de ensayo de soldeo puede construirse de material no ferroso y no conductor. Sin embargo, puede elegirse cualquier tipo de material que sea adecuado para su uso con el tipo de seguidor 120 espacial u otros sensores seleccionados.

Haciendo referencia a las figuras 9a y 9b, la probeta 175 de ensayo de soldeo puede construirse de modo que encaje en una mesa o un soporte 170, que funciona (al menos en parte) para mantener constante la probeta 175 de ensayo de soldeo con respecto al seguidor 120 espacial. Por consiguiente, la probeta 175 de ensayo de soldeo puede incluir una porción 177 de conexión o conector 177. La porción 177 de conexión puede extenderse desde un lado de la probeta 175 de ensayo de soldeo, que tal como se ilustra puede ser el lado inferior, y puede recibirse en un dispositivo de interbloqueo mecánico incluido con el soporte 170. Se apreciará que puede ser necesario que la orientación en la que la probeta 175 de ensayo de soldeo se inserta en el soporte 170 sea constante, es decir repetible, para coincidir estrechamente con el conjunto soldado virtual, es decir la tubería, creado dentro del entorno 15 de soldeo virtual. De esta manera, siempre que el simulador 10 conozca cómo ha cambiado la posición de la probeta 175 de ensayo de soldeo, pueden realizarse ajustes en el homólogo virtual en consecuencia. Por ejemplo, durante la configuración, el usuario 12 final puede seleccionar el tamaño de tubería que va a soldarse. El usuario 12 final puede insertar entonces la probeta 175 de ensayo de soldeo apropiada en el soporte 170, bloqueándola en su posición. Posteriormente, el usuario 12 final puede elegir una posición de soldeo deseada realizando la selección

mediante la interfaz 130 de usuario de soldeo. Tal como se describirá más adelante, el soporte 170 puede inclinarse entonces o ajustarse a la posición la probeta 175 de ensayo de soldeo en cualquiera de las posiciones de soldeo que reconoce el simulador 10. Naturalmente, se apreciará que el ajuste de la posición de la probeta 175 de ensayo de soldeo también ajusta la posición del seguidor 120 espacial, conservando de ese modo la posición relativa de la probeta 175 de ensayo de soldeo dentro del campo de seguimiento por sensores.

La figura 9 representa una realización del soporte 170. El soporte 170 puede incluir una mesa 171 ajustable, una base 172 de soporte, un brazo 173 ajustable y un poste 174 vertical. La mesa 171 y el brazo 173 se fijan respectivamente al poste 174 vertical. La mesa 171 y el brazo 173 pueden ajustarse cada uno a lo largo de la altura del poste 174 vertical, lo que puede incluir el movimiento ascendente, descendente y/o de rotación con respecto al poste 174 vertical. El brazo 173 se usa para sostener la probeta 175 de ensayo de soldeo, de manera que concuerde con lo analizado en el presente documento. La mesa 171 puede ayudar al usuario 12 final permitiendo que apoye sus brazos sobre la mesa 171 durante el uso. En una realización particular, el poste 174 vertical se indexa con información de posición de tal manera que un usuario puede saber exactamente dónde están situados el brazo 173 y la mesa 171. Esta información también puede introducirse en el simulador 10 por medio de la interfaz 130 de usuario de soldeo y el dispositivo 150 de presentación visual durante la configuración.

Se contempla una realización alternativa de la invención objeto en la que las posiciones de la mesa 171 y el brazo 173 se ajustan automáticamente en respuesta a selecciones realizadas durante la configuración del simulador 10. En esta realización, las selecciones realizadas mediante la interfaz 130 de usuario de soldeo pueden comunicarse al subsistema 110 basado en procesador lógico. Los accionadores y sensores de retroalimentación empleados por el soporte 170 pueden controlarse por el subsistema 110 basado en procesador lógico para situar la probeta 175 de ensayo de soldeo sin mover físicamente el brazo 173 o la mesa 171. En una realización, los accionadores y los sensores de retroalimentación pueden comprender servomotores impulsados eléctricamente. Sin embargo, puede usarse cualquier dispositivo locomotor para ajustar automáticamente la posición del soporte 170 según se elige con buen criterio de ingeniería. De esta manera, el procedimiento de configuración de la probeta 175 de ensayo de soldeo se automatiza y no requiere un ajuste manual por parte del usuario 12 final.

Otra realización de la invención objeto incluye el uso de dispositivos de inteligencia usados junto con la probeta 175 de ensayo de soldeo, denominados en el presente documento probetas 175 de ensayo "inteligentes". En esta realización, la probeta 175 de ensayo de soldeo incluye un dispositivo que tiene información sobre esa probeta 175 de ensayo de soldeo particular que puede detectarse por el soporte 170. En particular, el brazo 173 puede incluir detectores que leen datos almacenados en o dentro del dispositivo ubicado en la probeta 175 de ensayo de soldeo. Los ejemplos pueden incluir el uso de datos digitales codificados en un sensor, por ejemplo dispositivo microelectrónico, que pueden leerse de manera inalámbrica cuando se aproximan a los detectores. Otros ejemplos pueden incluir el uso de dispositivos pasivos como códigos de barras. Puede elegirse todavía cualquier manera de comunicar de modo inteligente información sobre la probeta 175 de ensayo de soldeo al subsistema 110 basado en procesador lógico con un buen criterio de ingeniería.

Los datos almacenados en la probeta 175 de ensayo de soldeo pueden indicar automáticamente, al simulador 10, la clase de probeta 175 de ensayo de soldeo que se ha insertado en el soporte 170. Por ejemplo, una probeta de ensayo de tubería de 2 pulgadas puede incluir información relacionada con su diámetro. Alternativamente, una probeta de ensayo de placa plana puede incluir información que indica la clase de junta de soldadura incluida en la probeta de ensayo, por ejemplo junta de soldadura de ranura o una junta de soldadura a tope, así como sus dimensiones físicas. De esta manera, puede usarse información sobre la probeta 175 de ensayo de soldeo para automatizar esa porción de la configuración del simulador 10 relacionado para seleccionar e instalar una probeta 175 de ensayo de soldeo.

La funcionalidad 1208 de calibración (véase la figura 12) proporciona la capacidad de hacer coincidir componentes físicos en el espacio del mundo real (marco de referencia 3D) con componentes visuales en el entorno 15 de soldeo virtual. Cada tipo diferente de probeta 175 de ensayo de soldeo se calibra en fábrica montando la probeta 175 de ensayo de soldeo en el brazo 173 del soporte 170 y tocando con la probeta 175 de ensayo de soldeo en puntos 179 predefinidos (indicados, por ejemplo, por tres alveolos 179 en la probeta 175 de ensayo de soldeo) con un lápiz de calibración conectado operativamente al soporte 170. El simulador 10 lee las intensidades de campo magnético en los puntos 179 predefinidos, proporciona información de posición al subsistema 110 basado en procesador lógico, y el subsistema 110 basado en procesador lógico usa la información de posición para realizar la calibración (es decir, la traducción del espacio del mundo real a un espacio de realidad virtual).

Cualquier parte del mismo tipo de la probeta 175 de ensayo de soldeo, por consiguiente, encaja en el brazo 173 del soporte 170 de mismo modo repetible dentro de tolerancias muy restrictivas. Por tanto, una vez que se calibra una probeta 175 de ensayo de soldeo de un tipo particular, no es necesaria la calibración repetida de probetas de ensayo similares, es decir la calibración de un tipo particular de probeta 175 de ensayo de soldeo es un evento único. Dicho de otro modo, las probetas 175 de ensayo de soldeo del mismo tipo son intercambiables. La calibración garantiza que la retroalimentación física percibida por el usuario durante un procedimiento de soldeo coincide con lo que se presenta visualmente al usuario en un espacio de realidad virtual, haciendo que la simulación parezca más real. Por ejemplo, si el usuario desliza la punta de una herramienta 160 de soldeo de práctica alrededor de la

esquina de una probeta 175 de ensayo de soldeo real, el usuario verá deslizarse la punta alrededor de la esquina de la probeta de ensayo de soldeo virtual en el dispositivo 200 de presentación visual ya que el usuario siente deslizarse la punta alrededor de la esquina real. Según una realización de la presente invención, la herramienta 160 de soldeo de práctica también puede colocarse en una plantilla situada previamente y calibrarse de manera similar, basándose en la posición de plantilla conocida.

Según otra realización de la invención objeto, las probetas de ensayo “inteligentes” pueden incluir sensores que permiten que el simulador 10 realice un seguimiento de un punto de calibración predefinido, o las esquinas de la probeta de ensayo “inteligente”. Los sensores pueden montarse en la probeta 175 de ensayo de soldeo en la ubicación precisa de los puntos de calibración predefinidos. Sin embargo, puede elegirse cualquier manera de comunicación de datos de calibración al simulador 10. Por consiguiente, el simulador 10 conoce de manera continua dónde está la probeta de ensayo “inteligente” en el espacio 3D del mundo real. Además, pueden proporcionarse claves de licencia para “desbloquear” probetas 175 de ensayo de soldeo. Cuando se adquiere una probeta 175 de ensayo de soldeo particular, puede proporcionarse una clave de licencia que permite que el usuario 12a, 12b final introduzca la clave de licencia en el simulador 10, desbloqueando el software asociado con esa probeta 175 de ensayo de soldeo particular. En una realización alternativa, pueden proporcionarse probetas de ensayo de soldeo no convencionales especiales basándose en dibujos CAD del mundo real de partes.

## SISTEMA BASADO EN PROCESADOR

Con referencia ahora a las figuras 2, 4 y 10, tal como se mencionó anteriormente, el simulador 10 incluye un subsistema 110 basado en procesador lógico, que puede comprender conjuntos 200 de circuitos electrónicos programables para ejecutar instrucciones codificadas usadas para generar el entorno 15 de soldeo virtual. Los conjuntos 200 de circuitos electrónicos programables pueden incluir uno o más procesadores 203 lógicos o sistemas 203 basados en procesador lógico, que pueden componerse de uno o más microprocesadores 204. En una realización particular, los conjuntos 200 de circuitos electrónicos programables pueden componerse de unidad(es) de procesamiento central (CPU) y unidad(es) de procesamiento gráfico (GPU), que van a analizarse adicionalmente más adelante. Pueden incluirse conjuntos de circuitos adicionales, como por ejemplo una memoria electrónica, es decir RAM, ROM, así como otros conjuntos de circuitos de soporte periféricos. Se indica que puede incluirse la memoria electrónica tanto para la CPU como para la GPU, pudiendo programarse cada una de las cuales por separado para su uso en la reproducción de aspectos del entorno 15 de soldeo virtual tal como se describe en el presente documento. Además, los conjuntos 200 de circuitos electrónicos programables pueden incluir y utilizar dispositivos 300 de almacenamiento de datos tales como unidades de disco duro, dispositivos de almacenamiento ópticos, memoria *flash* y similares. Todavía pueden incluirse otros tipos de conjuntos de circuitos electrónicos que facilitan la transferencia de datos entre dispositivos dentro del simulador 10 o entre diferentes simuladores 10. Esto puede incluir, por ejemplo, recibir datos de uno o más dispositivos 155 de entrada, por ejemplo el seguidor espacial o sensor, o transferir datos por una o más redes que pueden ser una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN) y/o Internet. Debe comprenderse que los dispositivos y procedimientos mencionados anteriormente son de naturaleza ejemplar y no deben interpretarse como limitativos. De hecho, cualquier forma de conjunto de circuitos programable, conjunto de circuitos de soporte, conjunto de circuitos de comunicación y/o almacenamiento de datos puede incorporarse en las realizaciones de la invención objeto según se elige con un buen criterio de ingeniería.

La figura 10 ilustra una realización de ejemplo de un diagrama de bloques de subsistema del subsistema 110 basado en procesador lógico del simulador 10. El subsistema 110 basado en procesador lógico puede incluir una unidad 111 de procesamiento central (CPU) y dos unidades 115 de procesamiento gráfico (GPU). Las dos GPU 115 pueden programarse para proporcionar simulación de realidad virtual de un charco de soldadura que tiene características de absorción y disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real.

Con referencia a la figura 11, se muestra un diagrama de bloques de la unidad 115 de procesamiento gráfico (GPU). Cada GPU 115 soporta la implementación de algoritmos paralelos de datos. Según una realización de la presente invención, cada GPU 115 proporciona dos salidas 118 y 119 de vídeo que pueden proporcionar dos vistas de realidad virtual. Dos de las salidas de vídeo pueden encaminarse al dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal, que reproduce el punto de vista del soldador, y puede encaminarse una tercera salida de vídeo al dispositivo 150 de presentación visual de observador, por ejemplo, que reproduce o bien el punto de vista del soldador o bien algún otro punto de vista. La cuarta salida de vídeo restante puede encaminarse a un proyector, por ejemplo, o usarse para cualquier otro propósito adecuado para simular un entorno 15 de soldeo virtual. Ambas GPU 115 pueden realizar los mismos cálculos de física de soldeo pero pueden reproducir el entorno 15 de soldeo virtual desde puntos de vista iguales o diferentes. La GPU 115 incluye una arquitectura 116 unificada de dispositivo de computación (CUDA) y un sombreador 117. La CUDA 116 es el motor de computación de la GPU 115 que es accesible para desarrolladores de software a través de lenguajes de programación convencionales de la industria. La CUDA 116 incluye núcleos paralelos y se usa para ejecutar el modelo físico de la simulación de charco de soldadura descrito en el presente documento. La CPU 111 proporciona datos de entrada de soldeo en tiempo real a la CUDA 116 en la GPU 115. En una realización particular, el sombreador 117 es responsable de dibujar y aplicar todos los elementos visuales de la simulación. Los elementos visuales de cordón y charco están dirigidos por el estado de un mapa de desplazamiento de *wexel* que se describe más adelante en el presente documento. Según

una realización de la presente invención, se ejecuta el modelo físico y se actualiza a una velocidad de aproximadamente 30 veces por segundo.

La figura 12 ilustra una realización de ejemplo de un diagrama de bloques funcional del simulador 10. Los diversos bloques funcionales del simulador 10 pueden implementarse principalmente mediante instrucciones de software y módulos que se ejecutan en el subsistema 110 basado en procesador lógico. Los diversos bloques funcionales del simulador 10 incluyen una interfaz 1201 física, modelos 1202 de soplete y pinza, modelos 1203 de entorno, funcionalidad 1204 de contenido de sonido, sonidos 1205 de soldeo, modelo 1206 de soporte/mesa, funcionalidad 1207 de arquitectura interna, funcionalidad 1208 de calibración, modelos 1210 de probeta de ensayo, física 1211 de soldeo, herramienta 1212 de ajuste de física interna (elemento de ajuste óptimo, *tweaker*), funcionalidad 1213 de interfaz gráfica de usuario, funcionalidad 1214 de representación gráfica, funcionalidad 1215 de informes de estudiante, elemento 1216 de reproducción, reproducción 1217 de cordón, texturas 1218 3D, funcionalidad 1219 de pistas visuales, funcionalidad 1220 de puntuación y tolerancia, editor 1221 de tolerancia y efectos 1222 especiales.

La funcionalidad 1207 de arquitectura interna proporciona la logística de software de nivel superior de los procedimientos del simulador 10 incluyendo, por ejemplo, cargar archivos, contener información, gestionar hilos, convertir el modelo físico y activar menús. La funcionalidad 1207 de arquitectura interna se ejecuta en la CPU 111, según una realización de la presente invención. Determinadas entradas en tiempo real en el subsistema 110 basado en procesador lógico incluyen ubicación del arco, posición de la pistola, posición del dispositivo de presentación visual montado de manera frontal o casco, estado de encendido/apagado de la pistola y estado de contacto realizado (sí/no).

Durante un escenario de soldeo simulado, la funcionalidad 1214 de representación gráfica recopila parámetros de desempeño de usuario y proporciona los parámetros de desempeño de usuario a la funcionalidad 1213 de interfaz gráfica de usuario para su presentación visual en formato gráfico (por ejemplo, en el dispositivo 150 de presentación visual de observador). Se alimenta información de seguimiento procedente del seguidor 120 espacial en la funcionalidad 1214 de representación gráfica. La funcionalidad 1214 de representación gráfica incluye un módulo de análisis simple (SAM, *simple analysis module*) y un módulo de análisis de latiguo/oscilación (WWAM, *whip/weave analysis module*). El SAM analiza parámetros de soldeo de usuario incluyendo ángulo de avance de soldeo, velocidad de avance, ángulo de soldadura, posición y distancia de punta de electrodo a pieza de trabajo comparando los parámetros de soldeo con datos almacenados en tablas de cordones. El WWAM analiza parámetros de latiguo de usuario incluyendo separación de cordón plano (*dime*), tiempo de latiguo y tiempo de charco. El WWAM también analiza parámetros de oscilación de usuario incluyendo anchura de oscilación, separación de oscilación y momento de oscilación. El SAM y el WWAM interpretan datos de entrada sin procesar (por ejemplo, datos de posición y orientación) para dar datos utilizables funcionalmente para representación gráfica. Para cada parámetro analizado por el SAM y el WWAM, se define una ventana de tolerancia mediante límites de parámetro alrededor de una entrada de punto de referencia óptimo o ideal en tablas de cordones usando el editor 1221 de tolerancia, y se realiza la funcionalidad 1220 de puntuación y tolerancia.

El editor 1221 de tolerancia incluye un aparato Weldometer que aproxima el uso de materiales, el consumo eléctrico y el tiempo de soldeo. Además, cuando determinados parámetros están fuera de la tolerancia, pueden producirse discontinuidades de soldeo (es decir, defectos de soldeo). El estado de cualquier discontinuidad de soldeo se procesa por la funcionalidad 1214 de representación gráfica y se presenta por la funcionalidad 1213 de interfaz gráfica de usuario en formato gráfico. Tales discontinuidades de soldeo incluyen tamaño de filete, mala colocación del cordón, cordón cóncavo, excesiva convexidad, mordedura, porosidad, fusión incompleta, atrapamiento de escoria y salpicadura en exceso. Según una realización de la presente invención, el nivel o la cantidad de una discontinuidad depende de cuánto se haya alejado un parámetro de usuario particular del punto de referencia óptimo o ideal.

Pueden predefinirse diferentes límites de parámetro para diferentes tipos de usuarios tales como, por ejemplo, aprendices de soldeo, expertos de soldeo y personas en una feria. La funcionalidad 1220 de puntuación y tolerancia proporciona puntuaciones numéricas dependiendo de cuánto se acerque al punto óptimo (ideal) un usuario para un parámetro particular y que depende del nivel de discontinuidades o defectos presentes en la soldadura. Puede usarse información de la funcionalidad 1220 de puntuación y tolerancia y de la funcionalidad 1214 gráfica por la funcionalidad 1215 de informes de estudiante para crear un informe de desempeño para un instructor y/o un estudiante.

La funcionalidad 1219 de pistas visuales proporciona retroalimentación inmediata al usuario presentando visualmente indicadores y colores recubiertos en el dispositivo 140 de presentación visual montado de manera frontal y/o el dispositivo 150 de presentación visual de observador. Se proporcionan pistas visuales para cada uno de los parámetros 151 de soldeo incluyendo posición, distancia de punta de electrodo a pieza de trabajo, ángulo de soldadura, ángulo de avance y velocidad de avance e indican visualmente al usuario si debe ajustarse algún aspecto de la técnica de soldeo del usuario basándose en las tolerancias o los límites predefinidos. También pueden proporcionarse pistas visuales para la técnica de latiguo/oscilación y la separación de "cordón plano" de soldadura, por ejemplo.

Según una realización de la presente invención, se logra la simulación de un charco o baño de soldadura en un espacio de realidad virtual en la que el charco de soldadura simulado tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real. En el núcleo de la simulación de charco de soldadura se encuentra la funcionalidad 1211 de física de soldeo (también conocida como el modelo físico) que puede ejecutarse en las GPU 115, según una realización de la presente invención. La funcionalidad de física de soldeo emplea una técnica de capa de desplazamiento doble para modelar de manera precisa la viscosidad/fluidez dinámica, solidez, gradiente de calor (absorción y disipación de calor), estela de charco y forma del cordón, y se describe en más detalle en el presente documento con respecto a la figura. 14a-14c.

La funcionalidad 1211 de física de soldeo se comunica con la funcionalidad 1217 de reproducción de cordón para reproducir un cordón de soldadura en todos los estados desde el estado fundido calentado hasta el estado solidificado enfriado. La funcionalidad 1217 de reproducción de cordón usa información de la funcionalidad 1211 de física de soldeo (por ejemplo, calor, fluidez, desplazamiento, separación de cordón plano) para reproducir de manera precisa y realista un cordón de soldadura en un espacio de realidad virtual en tiempo real. La funcionalidad 1218 de texturas 3D proporciona mapas de textura a la funcionalidad 1217 de reproducción de cordón para recubrir texturas adicionales (por ejemplo, chamuscado, escoria, grano) sobre el cordón de soldadura simulado. La funcionalidad 1216 de elemento de reproducción se usa para reproducir diversas características no específicas de charco usando información del módulo 1222 de efectos especiales incluyendo chispas, salpicadura, humo, incandescencia de arco, vapores, y determinadas discontinuidades tales como, por ejemplo, mordedura y porosidad.

La herramienta 1212 de ajuste de física interna es una herramienta de ajuste óptimo que permite que diversos parámetros de la física de soldeo se definan, actualicen y modifiquen para los diversos procedimientos de soldeo. Según una realización de la presente invención, la herramienta 1212 de ajuste de física interna se ejecuta en la CPU 111, y los parámetros ajustados o actualizados se descargan a las GPU 115. Los tipos de parámetros que pueden ajustarse mediante la herramienta 1212 de ajuste de física interna incluyen parámetros relacionados con probetas de ensayo de soldeo, parámetros de procedimiento que permiten que se cambie un procedimiento sin tener que reiniciar una probeta de ensayo de soldeo (permite realizar una segunda pasada), diversos parámetros globales que pueden cambiarse sin reiniciar toda la simulación, y otros parámetros diversos.

La figura 13 es un diagrama de flujo de una realización de un método 1300 de formación que usa el simulador 10 de formación de realidad virtual. En la etapa 1310, se mueve una herramienta de soldeo de práctica con respecto a una probeta de ensayo de soldeo según una técnica de soldeo. En la etapa 1320, se realiza un seguimiento de la posición y orientación de la herramienta de soldeo de práctica en un espacio tridimensional usando un sistema de realidad virtual. En la etapa 1330, se ve un elemento de presentación visual del sistema de soldeo de realidad virtual que muestra una simulación de realidad virtual en tiempo real de la herramienta de soldeo de práctica y la probeta de ensayo de soldeo en un espacio de realidad virtual a medida que la herramienta de soldeo de práctica simulada deposita un material de cordón de soldadura simulado sobre al menos una superficie simulada de la probeta de ensayo de soldeo simulada formando un charco de soldadura simulado en las proximidades de un arco simulado que se emite desde dicha herramienta de soldeo de práctica simulada. En la etapa 1340, se ven en el elemento de presentación visual, características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real del charco de soldadura simulado. En la etapa 1350, se modifica en tiempo real, al menos un aspecto de la técnica de soldeo en respuesta a que se ven las características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real del charco de soldadura simulado.

El método 1300 ilustra cómo puede ver un usuario un charco de soldadura en un espacio de realidad virtual y modificar su técnica de soldeo en respuesta a que ve diversas características del charco de soldadura simulado, incluyendo fluidez de metal fundido en tiempo real (por ejemplo, viscosidad) y disipación de calor. El usuario también puede ver y responder a otras características incluyendo estela de charco en tiempo real y separación de cordón plano. Viendo y respondiendo a características del charco de soldadura es cómo se realizan actualmente muchas operaciones de soldeo en el mundo real. El modelado de capa de desplazamiento doble de la funcionalidad 1211 de física de soldeo ejecutado en las GPU 115 permite que, para tales características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, se modelen de manera precisa y se representen para el usuario. Por ejemplo, la disipación de calor determina el tiempo de solidificación (es decir, cuánto tiempo lleva que un wexe/ solidifique por completo).

Además, un usuario puede realizar una segunda pasada sobre el material de cordón de soldadura usando una herramienta de soldeo de práctica, un electrodo de soldeo y/o procedimiento de soldeo iguales o diferentes (por ejemplo, un segundo). En tal escenario de una segunda pasada, la simulación muestra la herramienta de soldeo de práctica simulada, la probeta de ensayo de soldeo y el material de cordón de soldadura simulado original en un espacio de realidad virtual a medida que la herramienta de soldeo de práctica simulada deposita un segundo material de cordón de soldadura simulado que se fusiona con el primer material de cordón de soldadura simulado formando un segundo charco de soldadura simulado en las proximidades de un arco simulado que se emite desde la herramienta de soldeo de práctica simulada. Pueden realizarse pasadas posteriores adicionales usando herramientas o procedimientos de soldeo iguales o diferentes de manera similar. En cualquier segunda pasada o posterior, el material de cordón de soldadura anterior se fusiona con el nuevo material de cordón de soldadura que se deposita a medida que se forma un nuevo charco de soldadura en un espacio de realidad virtual a partir de la

combinación de cualquiera del material de cordón de soldadura anterior, el nuevo material de cordón de soldadura, y posiblemente el material de probeta de ensayo subyacente según determinadas realizaciones de la presente invención. Tales pasadas posteriores pueden realizarse para reparar un cordón de soldadura formado por una pasada anterior, por ejemplo, o puede incluir una pasada con calor y una o más pasadas de cierre de abertura después de una pasada de raíz tal como se realiza en el soldeo de tubería. Según diversas realizaciones de la presente invención, puede simularse que el material de cordón de base y soldadura incluya acero dulce, acero inoxidable y aluminio.

Según una realización de la presente invención, se simula soldeo con materiales de acero inoxidable en un entorno virtual en tiempo real. Se simula el aspecto de metal de base para proporcionar una representación realista de un conjunto soldado de acero inoxidable. Se proporciona la simulación del efecto visual para cambiar el espectro visual de la luz para adaptarse a la coloración del arco. También se simula sonido realista basándose en una velocidad, ignición y distancia de trabajo apropiadas. El aspecto del charco de arco y el aspecto de la deposición se simulan basándose en la zona afectada por el calor y el movimiento del soplete. Se proporciona la simulación de partículas rotas o escoria de películas de nitruro de aluminio u óxido de aluminio, que pueden dispersarse por la totalidad del cordón de soldadura. Se adaptan los cálculos relacionados con las zonas afectadas por calentamiento y enfriamiento para el soldeo de acero inoxidable. Se proporciona operaciones de discontinuidad relacionadas con salpicadura para simular de manera más próxima y precisa el aspecto del soldeo GMAW de acero inoxidable.

Según una realización de la presente invención, se simula soldeo con materiales de aluminio en un entorno virtual en tiempo real. Se simula la estela de cordón para que coincida de manera estrecha con el aspecto del soldeo de aluminio que se ve en el mundo real. Se simula el aspecto de metal de base para representar una representación realista de un conjunto soldado de aluminio. Se proporciona la simulación del efecto visual para cambiar el espectro visual de la luz para adaptarse a la coloración del arco. Se proporciona un cálculo de iluminación para crear reflectividad. Se adaptan los cálculos relacionados con las zonas afectadas por calentamiento y enfriamiento para el soldeo de aluminio. Se proporciona simulación de la oxidación para crear una "acción de limpieza" realista. También se simula sonido realista basándose en una velocidad, ignición y distancia de trabajo apropiadas. El aspecto del charco de arco y el aspecto de la deposición se simulan basándose en la zona afectada por el calor y el movimiento del soplete. Se simula el aspecto del alambre de aluminio en el soplete GMAW para proporcionar un aspecto realista y apropiado.

Según una realización de la presente invención, se simula soldeo GTAW en un entorno virtual en tiempo real. Se proporciona la simulación de parámetros operativos para soldeo GTAW incluyendo, pero sin limitarse a, velocidad de flujo, frecuencia de pulsación, anchura de pulso, control de tensión de arco, equilibrio de CA y control de frecuencia de salida. También se simulan la representación visual de la técnica de inmersión o "salpicadura" de charco y fusión del producto consumible de soldeo. Además, se reproducen visualmente y de manera audible representaciones de operaciones de soldeo autógeno (sin metal de aportación) y GTAW con metal de aportación, en el charco de soldeo. Puede simularse la implementación de variaciones con metal de aportación adicional incluyendo, pero sin limitarse a, acero al carbono, acero inoxidable, aluminio y Chromoly. Puede proporcionarse una implementación seleccionable de un pedal externo para su funcionamiento durante el soldeo.

#### MOTOR PARA MODELADO

Las figuras 14a-14b ilustran el concepto de un mapa 1420 de desplazamiento de elemento de soldeo (*wexel*), según una realización de la presente invención. La figura 14a muestra una vista lateral de una probeta 1400 de ensayo de soldeo plana que tiene una superficie 1410 superior plana. La probeta 1400 de ensayo de soldeo existe en el mundo real como, por ejemplo, una parte de plástico, y también existe en un espacio de realidad virtual como una probeta de ensayo de soldeo simulada. La figura 14b muestra una representación de la superficie 1410 superior de la probeta 1400 de ensayo de soldeo simulada descompuesta en una cuadrícula o matriz de elementos de soldeo, denominados "*wexels*" que forman un mapa 1420 de *wexel*. Cada *wexel* (por ejemplo, el *wexel* 1421) define una pequeña porción de la superficie 1410 de la probeta de ensayo de soldeo. El mapa de *wexel* define la resolución de la superficie. Se asignan valores de parámetro de canal cambiantes a cada *wexel*, permitiendo que cambien de manera dinámica los valores de cada *wexel* en tiempo real en el espacio de soldadura de realidad virtual durante un procedimiento de soldeo simulado. Los valores de parámetro de canal cambiantes corresponden a los canales Charco (desplazamiento de viscosidad/fluidez de metal fundido), Calor (absorción/disipación de calor), Desplazamiento (desplazamiento de sólido) y Adicional (diversos estados adicionales, por ejemplo, escoria, grano, chamuscado, metal virgen). Estos canales cambiantes se denominan en el presente documento PHED para Charco (*puddle*), Calor (*heat*), Adicional (*extra*) y Desplazamiento (*displacement*), respectivamente.

La figura 15 ilustra una realización de ejemplo de un espacio de probeta de ensayo y un espacio de soldadura de la probeta 1400 de ensayo de soldeo plana de la figura 14 simulada en el simulador 10 de las figuras 1 y 2. Los puntos O, X, Y y Z definen el espacio de probeta de ensayo 3D local. En general, cada tipo de probeta de ensayo define el mapeo del espacio de probeta de ensayo 3D al espacio de soldadura de realidad virtual 2D. El mapa 1420 de *wexel* de la figura 14 es una matriz bidimensional de valores que se mapean en el espacio de soldadura en realidad virtual. Un usuario va a soldar desde el punto B hasta el punto E tal como se muestra en la figura 15. Se muestra una línea de trayectoria desde el punto B hasta el punto E tanto en el espacio de probeta de ensayo 3D como en el espacio de

soldadura 2D en la figura 15.

Cada tipo de probeta de ensayo define la dirección de desplazamiento para cada ubicación en el mapa de *wexel*. Para la probeta de ensayo de soldeo plana de la figura 15, la dirección de desplazamiento es la misma en todas las ubicaciones en el mapa de *wexel* (es decir, en la dirección Z). Las coordenadas de textura del mapa de *wexel* se muestran como S, T (denominadas a veces U, V) tanto en el espacio de probeta de ensayo 3D como en el espacio de soldadura 2D, para clarificar el mapeo. Se mapea el mapa de *wexel* en y representa la superficie 1410 rectangular de la probeta 1400 de ensayo de soldeo.

La figura 16 ilustra una realización de ejemplo de un espacio de probeta de ensayo y un espacio de soldadura de una probeta 1600 de ensayo de soldeo de esquina simulada en el simulador 10. La probeta 1600 de ensayo de soldeo de esquina tiene dos superficies 1610 y 1620 en el espacio de probeta de ensayo 3D que se mapean en el espacio de soldadura 2D tal como se muestra en la figura 16. De nuevo, los puntos O, X, Y, y Z definen el espacio de probeta de ensayo 3D local. Las coordenadas de textura del mapa de *wexel* se muestran como S, T tanto en el espacio de probeta de ensayo 3D como en el espacio de soldadura 2D, para clarificar el mapeo. Un usuario va a soldar desde el punto B hasta el punto E tal como se muestra en la figura 16. Se muestra una línea de trayectoria desde el punto B hasta el punto E tanto en el espacio de probeta de ensayo 3D como en el espacio de soldadura 2D en la figura 16. Sin embargo, la dirección de desplazamiento es hacia la línea X'-O' tal como se muestra en el espacio de probeta de ensayo 3D, hacia la esquina opuesta.

La figura 17 ilustra una realización de ejemplo de un espacio de probeta de ensayo y un espacio de soldadura de una probeta 1700 de ensayo de soldeo de tubería simulada en el simulador 10. La probeta 1700 de ensayo de soldeo de tubería tiene una superficie 1710 curva en el espacio de probeta de ensayo 3D que se mapea en el espacio de soldadura 2D. Los puntos O, X, Y, y Z definen una vez más el espacio de probeta de ensayo 3D local. Las coordenadas de textura del mapa de *wexel* se muestran como S, T tanto en el espacio de probeta de ensayo 3D como en el espacio de soldadura 2D, para clarificar el mapeo. Un usuario 12 final va a soldar desde el punto B hasta el punto E a lo largo de una trayectoria curva tal como se muestra en la figura 17. Se muestran una línea y curva de trayectoria desde el punto B hasta el punto E en el espacio de probeta de ensayo 3D y el espacio de soldadura 2D, respectivamente. La dirección de desplazamiento es alejándose de la línea Y-O (es decir, alejándose del centro de la tubería). La figura 18 ilustra una realización de ejemplo de la probeta 1700 de ensayo de soldeo de tubería de la figura 17. La probeta 1700 de ensayo de soldeo de tubería está compuesta por un plástico no férreo, no conductor y simula dos piezas 1701 y 1702 de tubería que se unen para formar una junta 1703 de raíz. También se muestra una pieza 1704 de fijación para su fijación al brazo 173 del soporte 170.

De manera similar que un mapa de textura puede mapearse en un área de superficie rectangular de una geometría, un mapa de *wexel* soldable puede mapearse en una superficie rectangular de una probeta de ensayo de soldeo. Cada elemento del mapa soldable se denomina un *wexel* en el mismo sentido que cada elemento de una imagen se denomina un píxel (una contracción de elemento de imagen, *picture element*). Un píxel contiene canales de información que definen un color (por ejemplo, rojo, verde, azul, etc.). Un *wexel* contiene canales de información (por ejemplo, P, H, E, D) que definen una superficie soldable en un espacio de realidad virtual.

Según una realización de la presente invención, se resume el formato de un *wexel* como canales PHED (Charco, Calor, Adicional, Desplazamiento) que contienen cuatro números de coma flotante. El canal Adicional se trata como un conjunto de bits que almacenan información lógica sobre el *wexel* tal como, por ejemplo, si hay o no cualquier escoria en la ubicación del *wexel*. El canal Charco almacena un valor de desplazamiento para cualquier metal licuado en la ubicación del *wexel*. El canal Desplazamiento almacena un valor de desplazamiento para el metal solidificado en la ubicación del *wexel*. El canal Calor almacena un valor que proporciona la magnitud del calor en la ubicación del *wexel*. De este modo, la parte soldable de la probeta de ensayo puede mostrar desplazamiento debido a un cordón soldado, un "charco" de superficie brillante debido a metal líquido, color debido a calor, etc. Todos estos efectos se logran mediante los sombreadores de vértice y píxel aplicados a la superficie soldable.

Según una realización de la presente invención, se usan un mapa de desplazamiento y un sistema de partícula en el que las partículas pueden interaccionar entre sí y colisionar con el mapa de desplazamiento. Las partículas son partículas de fluido dinámico virtual y proporcionan el comportamiento como líquido del charco de soldadura pero no se reproducen directamente (es decir, visualmente no se ven directamente). Más bien, solamente se ven visualmente los efectos de partícula en el mapa de desplazamiento. La entrada de calor en un *wexel* afecta al movimiento de partículas cercanas. Hay dos tipos de desplazamiento implicados en la simulación de un charco de soldeo que incluyen Charco y Desplazamiento. Charco es "temporal" y solamente dura en el tiempo en que hay presentes partículas y calor. Desplazamiento es "permanente". El desplazamiento de charco es el metal líquido de la soldadura que cambia rápidamente (por ejemplo, brilla) y puede pensarse que está "en la delantera" del Desplazamiento. Las partículas recubren una porción de un mapa de desplazamiento de superficie virtual (es decir, un mapa de *wexel*). El Desplazamiento representa el metal sólido permanente incluyendo tanto el metal de base inicial como el cordón de soldadura que ha solidificado.

Según una realización de la presente invención, el procedimiento de soldeo simulado en un espacio de realidad virtual actúa de la siguiente manera: las partículas se separan del emisor (emisor de la herramienta 160 de soldeo

de práctica simulada) formando un cono delgado. Las partículas entran en contacto en primer lugar con la superficie de la probeta de ensayo de soldeo simulada en la que la superficie está definida por un mapa de *wexel*. Las partículas interaccionan entre sí y el mapa de *wexel* y se acumulan en tiempo real. Se añade más calor cuanto más cerca está un *wexel* del emisor. Se modela el calor en dependencia de la distancia desde el punto de arco y la cantidad de tiempo en que se introduce calor desde el arco. Determinados elementos visuales (por ejemplo, color, etc.) están dirigidos por el calor. Se dibuja o reproduce un charco de soldadura en un espacio de realidad virtual para *wexels* que tienen suficiente calor. Siempre que está lo suficientemente caliente, el mapa de *wexel* se licua, provocando que se “eleve” el desplazamiento de charco para las ubicaciones de esos *wexel*. Se determina el desplazamiento de charco tomando muestras de las partículas “más altas” en cada ubicación de *wexel*. A medida que se mueve el emisor a lo largo de la trayectoria de soldadura, se enfrían las ubicaciones de *wexel* que se dejan atrás. Se retira calor de una ubicación de *wexel* a una velocidad particular. Cuando se alcanza un umbral de enfriamiento, se solidifica el mapa de *wexel*. Como tal, el desplazamiento de charco se convierte gradualmente en Desplazamiento (es decir, un cordón solidificado). El desplazamiento añadido es equivalente a Charco retirado de tal manera que la altura global no cambia. Se ajustan o ajustan de modo óptimo las duraciones de vida de las partículas para que persistan hasta que se completa la solidificación. Determinadas propiedades de partícula que se modelan en el simulador 10 incluyen atracción/repulsión, velocidad (relacionada con calor), amortiguación (relacionada con disipación de calor), dirección (relacionada con la gravedad).

Las figuras 19a-19c ilustran una realización de ejemplo del concepto de un modelo de charco de desplazamiento dual (desplazamiento y partículas) del simulador 10. Se simulan probetas de ensayo de soldeo en un espacio de realidad virtual que tiene al menos una superficie. Las superficies de la probeta de ensayo de soldeo se simulan en un espacio de realidad virtual como capa de desplazamiento doble que incluye una capa de desplazamiento de sólido y una capa de desplazamiento de charco. La capa de desplazamiento de charco puede modificar la capa de desplazamiento de sólido.

Tal como se describe en el presente documento, “charco” está definido por un área del mapa de *wexel* en la que el valor de Charco se ha elevado por la presencia de partículas. Se representa el procedimiento de toma de muestras en las figuras 19a-19c. Se muestra una sección de un mapa de *wexel* que tiene siete *wexels* adyacentes. Los valores de Desplazamiento actuales se representan mediante barras 1910 rectangulares no sombreadas de una altura dada (es decir, un desplazamiento dado para cada *wexel*). En la figura 19a, las partículas 1920 se muestran como puntos redondos no sombreados que colisionan con los niveles de Desplazamiento actuales y se apilan. En la figura 19b, se toman muestras de las alturas “más altas” de la partícula 1930 en cada ubicación de *wexel*. En la figura 19c, los rectángulos 1940 sombreados muestran cuánto Charco se ha añadido en la delantera del Desplazamiento como resultado de las partículas. La altura del charco de soldadura no se establece instantáneamente en los valores tomados como muestra puesto que se añade Charco a una velocidad de licuación particular basándose en el Calor. Aunque no se muestra en las figuras 19a-19c, es posible visualizar el procedimiento de solidificación como que el charco (rectángulos sombreados) se contrae gradualmente y el Desplazamiento (rectángulos no sombreados) crece gradualmente desde abajo para ocupar el lugar exactamente del charco. De esta manera, se simulan de manera precisa características de fluidez de metal fundido en tiempo real. A medida que un usuario practica un procedimiento de soldeo particular, el usuario puede observar las características de fluidez de metal fundido y las características de disipación de calor del charco de soldadura en tiempo real en un espacio de realidad virtual y usar esta información para ajustar o mantener su técnica de soldeo.

El número de *wexels* que representan la superficie de una probeta de ensayo de soldeo es fijo. Además, las partículas de charco que se generan por la simulación para modelar la fluidez son temporales, tal como se describe en el presente documento. Por tanto, una vez que se genera un charco inicial en un espacio de realidad virtual durante un procedimiento de soldeo simulado usando el simulador 10, el número de *wexels* más las partículas de charco tiende a permanecer relativamente constante. Esto es debido a que el número de *wexels* que se procesan es fijo y el número de partículas de charco que existen y se procesan durante el procedimiento de soldeo tienden a permanecer relativamente constante porque las partículas de charco se crean y “destruyen” a una velocidad similar (es decir, las partículas de charco son temporales). Por tanto, la carga de procesamiento del subsistema 110 basado en procesador lógico permanece relativamente constante durante una sesión de soldeo simulada.

Según una realización alternativa de la presente invención, pueden generarse partículas de charco dentro de o por debajo de la superficie de la probeta de ensayo de soldeo. En tal realización, puede modelarse que el desplazamiento es positivo o negativo con respecto al desplazamiento de superficie original de una probeta de ensayo virgen (es decir, no soldada). De esta manera, las partículas de charco pueden acumularse no sólo en la superficie de una probeta de ensayo de soldeo, sino también pueden penetrar en la probeta de ensayo de soldeo. Sin embargo, el número de *wexels* es todavía fijo y las partículas de charco que se crean y se destruyen es todavía relativamente constante.

Según realizaciones alternativas de la presente invención, en vez de modelar partículas, puede proporcionarse un mapa de desplazamiento de *wexel* que tiene más canales para modelar la fluidez del charco. O bien, en vez de modelar partículas, puede modelarse un mapa de vóxel denso. O bien, en vez de un mapa de *wexel*, pueden modelarse sólo partículas de las que se toman muestras y nunca desaparecen. Tales realizaciones alternativas pueden no proporcionar una carga de procesamiento relativamente constante para el sistema, sin embargo.



Además, según una realización de la presente invención, se simula una fuga o un ojo de cerradura retirando material. Por ejemplo, si un usuario mantiene un arco en la misma ubicación durante demasiado tiempo, en el mundo real, el material se quemaría produciendo un agujero. Tal fuga del mundo real se simula en el simulador 10 mediante técnicas de decimación de *wexel*. Si el simulador 10 determina que la cantidad de calor absorbido por un *wexel* es demasiado alta, ese *wexel* puede etiquetarse o designarse como quemado y reproducirse como tal (por ejemplo, reproducirse como un agujero). Posteriormente, sin embargo, puede producirse la reconstitución de *wexel* para determinado procedimiento de soldeo (por ejemplo, el soldeo de tubería) en el que se añade material de vuelta después de quemarse inicialmente. En general, el simulador 10 simula la decimación de *wexel* (retirando material) y la reconstitución de *wexel* (es decir, añadiendo material de vuelta).

Además, la retirada de material en el soldeo con pasada de raíz se simula de manera apropiada en el simulador 10. Por ejemplo, en el mundo real, el rectificado de la pasada de raíz puede realizarse antes de pasadas de soldeo posteriores. De manera similar, el simulador 10 puede simular una pasada de rectificado que retira material de la junta de soldadura virtual. Se apreciará que el material retirado se modela como desplazamiento negativo en el mapa de *wexel*. Es decir, que la pasada de rectificado retira material que se modela por el simulador 10 que da como resultado un contorno de cordón alterado. La simulación de la pasada de rectificado puede ser automática, es decir que el simulador 10 retira un grosor predeterminado de material, que puede ser con respecto a la superficie del cordón de soldadura con pasada de raíz. En una realización alternativa, puede simularse que una herramienta de rectificado real, o rectificador, se enciende y se apaga mediante la activación de la herramienta 160 de soldeo de práctica u otro dispositivo de entrada. Se indica que puede simularse la herramienta de rectificado para que se asemeje a una rectificadora del mundo real. En esta realización, el usuario hace maniobrar la herramienta de rectificado a lo largo de la pasada de raíz para retirar material que responde al movimiento de la misma. Se comprenderá que puede permitirse que el usuario retire demasiado material. De manera similar a lo descrito anteriormente, pueden resultar agujeros u ojos de cerradura, u otros defectos (descritos anteriormente) si el usuario "elimina por rectificado" demasiado material. Todavía más, pueden implementarse topes o límites duros, es decir programarse, para impedir que el usuario retire demasiado material o indicar cuando está retirándose demasiado material.

Además de las partículas de "charco" no visibles descritas en el presente documento, el simulador 10 también usa otros tres tipos de partículas visibles para representar los efectos de arco, llama y chispa, según una realización de la presente invención. Estos tipos de partículas no interactúan con otras partículas de cualquier tipo sino que sólo interactúan con el mapa de desplazamiento. Aunque estas partículas sí que colisionan con la superficie de soldadura simulada, no interactúan entre sí. Únicamente interactúan entre sí las partículas de charco, según una realización de la presente invención. La física de las partículas de charco se configura de tal manera que las partículas de chispa rebotan por los alrededores y se representan como puntos incandescentes en un espacio de realidad virtual.

La física de las partículas de arco se configura de tal manera que las partículas de arco inciden sobre la superficie de la probeta de ensayo simulada o el cordón de soldadura y permanecen ahí durante cierto tiempo. Las partículas de arco se reproducen como punto de color blanco azulado tenue más grandes en un espacio de realidad virtual. Se requiere que se superpongan muchos de tales puntos para formar cualquier clase de imagen visual. El resultado final es un nimbo incandescente blanco con bordes azules.

La física de las partículas de llama se modela para que se eleve lentamente hacia arriba. Las partículas de llama se reproducen como puntos de color amarillo rojizo tenue de tamaño medio. Se requiere que se superpongan muchos de tales puntos para formar cualquier clase de imagen visual. El resultado final son manchas de llamas de color rojo anaranjado con bordes rojos que se elevan hacia arriba y se desvanecen. Pueden implementarse otros tipos de partículas distintas de charco en el simulador 10, según otras realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, pueden modelarse partículas de humo y simularse de manera similar a las partículas de llama.

Las etapas finales en la visualización simulada se manejan por los sombreadores de vértice y píxel proporcionados por los sombreadores 117 de las GPU 115. Los sombreadores de vértice y píxel aplican Charco y Desplazamiento, así como reflectividad y colores de superficie alterados debido al calor, etc. El canal Adicional (E) del formato de *wexel* PHED, tal como se analizó previamente en el presente documento, contiene toda la información adicional usada por *wexel*. Según una realización de la presente invención, la información adicional incluye un bit no virgen (verdadero = cordón, falso = acero virgen), un bit de escoria, un valor de mordedura (cantidad de mordedura en este *wexel* en el que cero equivale a ausencia de mordedura), un valor de porosidad (cantidad de porosidad en este *wexel* en el que cero equivale a ausencia de porosidad) y un valor de estela de cordón que codifica el tiempo en el que el cordón solidifica. Hay un conjunto de mapas de imagen asociados con diferentes elementos visuales de probeta de ensayo incluyendo acero virgen, escoria, cordón y porosidad. Estos mapas de imagen se usan tanto para mapeo topológico como para mapeo de textura. La cantidad de mezcla de estos mapas de imagen se controla mediante las diversas banderas y valores descritos en el presente documento.

Se logra un efecto de estela de cordón usando un mapa de imagen 1D y un valor de estela de cordón por *wexel* que codifica el tiempo en el que un bit de cordón dado se solidifica. Una vez que ya no está lo suficientemente caliente

una ubicación de *wexel* de charco caliente como para denominarse “charco”, se ahorra un tiempo en esa ubicación y se denomina “estela de cordón”. El resultado final es que el código de sombreador puede usar el mapa de textura 1D para dibujar las “ondas” que proporcionan a un cordón su aspecto único que refleja la dirección en la que se dispuso el cordón. Según una realización alternativa de la presente invención, el simulador 10 puede simular, en un espacio de realidad virtual, y presentar visualmente un cordón de soldadura que tiene una característica de estela de cordón de soldadura en tiempo real que resulta de una transición de fluidez a solidificación en tiempo real del charco de soldadura simulado, a medida que se mueve el charco de soldadura simulado a lo largo de una trayectoria de soldadura.

Según una realización alternativa de la presente invención, el simulador 10 puede enseñar a un usuario cómo solucionar problemas en una máquina de soldeo. Por ejemplo, un modo de resolución de problemas del sistema puede formar a un usuario para asegurarse de que configura el sistema correctamente (por ejemplo, velocidad de flujo de gas correcta, cable de potencia conectado correcto, etc.) Según otra realización alternativa de la presente invención, el simulador 10 puede grabar y reproducir una sesión de soldeo (o al menos una porción de una sesión de soldeo, por ejemplo, N fotogramas). Puede proporcionarse una bola de seguimiento para desplazarse por fotogramas de vídeo, permitiendo que un usuario o instructor realice una crítica de una sesión de soldeo. Puede proporcionarse reproducción a velocidades seleccionables también (por ejemplo, a toda velocidad, la mitad de la velocidad, un cuarto de la velocidad). Según una realización de la presente invención, puede proporcionarse reproducción en pantalla dividida, permitiendo que se vean una junto a otra dos sesiones de soldeo, por ejemplo, en el dispositivo 150 de presentación visual de observador. Por ejemplo, puede verse una sesión de soldeo “buena” junto a una sesión de soldeo “mala” con propósitos de comparación.

El soldeo automatizado también es un aspecto de la presente invención. Un ejemplo ilustrativo de soldeo automatizado es soldeo orbital, que se usa a menudo para la unión de tubos o tuberías de diversos tipos de materiales. Por ejemplo, puede usarse un soplete de soldeo TIG (GTAW) para orbitar alrededor de las tuberías que van a soldarse juntas mediante un sistema mecánico automatizado. La figura 20 ilustra una realización de ejemplo de un sistema de soldeo orbital tal como se usa en un entorno de soldeo orbital. Un sistema de soldeo orbital incluye un tractor de soldeo que se desplaza alrededor de las tuberías o los tubos, un controlador y una fuente de alimentación de soldeo, y un elemento colgante que proporciona control por parte del operario. La figura 21 muestra el tractor 2010 de soldeo del sistema de soldeo orbital de la figura 20, conectado operativamente a dos tuberías que van a soldarse. La figura 22 muestra una fuente de alimentación y un controlador 2020 del sistema de soldeo orbital de la figura 20, y la figura 23 muestra un elemento 2030 colgante del sistema de soldeo orbital de la figura 20.

Aunque el análisis anterior se ha centrado en la simulación de realidad virtual de procedimientos, incluyendo soldeo orbital, las realizaciones de la invención no se limitan a ese aspecto e incluyen aspectos de enseñanza y retroalimentación de las características de desempeño y configuración reales asociadas con soldaduras realizadas según una configuración definida por el usuario. Tal como se analizó anteriormente, el soldeo GTAW/GMAW requiere formación para garantizar que el operario entiende los controles que están disponibles para la práctica de este procedimiento. Existe el malentendido de que la automatización asociada con sistemas de soldeo orbital elimina la necesidad de formación, puesto que la máquina realiza el soldeo. El soldeo orbital automatizado requiere formación para garantizar que el operario entiende el soldeo, y todas las habilidades de configuración e implementación únicas para controlar cordones TIG. Esto incluye corrección de errores, el soldeo de tuberías de mayor diámetro, la utilización de cámaras remotas, y la evaluación y corrección apropiadas de errores. Los programas de formación ofrecen una cobertura inconstante o insuficiente de enseñanza de una buena situación de soldadura, una mala situación de soldadura y los mecanismos para realizar, reaccionar a o corregir cada una. Es difícil encontrar instructores para este tipo de solución nicho con suficiente formación y/o conocimientos y experiencia en la industria. Solamente a través de una formación de calidad enseñada por instructores certificados pueden adquirir los operarios de equipos de soldeo orbital las complejas habilidades necesarias para satisfacer los estrictos criterios de aceptación en el entorno de soldeo actual. Adicionalmente, en proyectos con circunferencias grandes con largas juntas de soldadura, la dificultad para mantener la atención y estar centrado representa un problema importante.

En el procedimiento GTAW, se mantiene un arco eléctrico entre el electrodo de wolframio no consumible y la pieza de trabajo. El electrodo soporta el calor del arco y el metal de la pieza de trabajo se funde y forma el charco de soldadura. El metal fundido de la pieza de trabajo y el electrodo deben protegerse frente al oxígeno en la atmósfera, normalmente empleando de ese modo un gas inerte tal como argón como gas de protección. Si se usa la adición de un metal de aportación, el alambre de aportación puede alimentarse al charco de soldadura, donde se funde debido a la energía suministrada por el arco eléctrico. Según una realización de la invención, se proporciona un sistema de soldeo de realidad virtual que incorpora tecnología relacionada con la visualización de una operación de soldeo GTAW/GMAW automatizado, usando un elemento colgante (real o virtual) o control remoto cuando se refiere a soldeo automatizado, que identifica discontinuidades de soldeo basándose en combinaciones de parámetro de soldeo elegidas, y que corrige selecciones de operario y combinaciones de parámetros a través del uso de pantallas de usuario para comprender la interacción de diversos parámetros y su impacto sobre la calidad de soldadura con terminología y elementos visuales apropiados relacionados con el soldeo automatizado.

Al implementar una formación sobre GTAW orbital en un entorno virtual, pueden abordarse varios problemas. Por

ejemplo, la industria y la experiencia en soldeo orbital se basan en los conocimientos de la empresa desarrolladora y, por tanto, concuerda y está actualizada con respecto a la última tecnología y normas disponibles, lo que se realiza fácilmente mediante actualización de software en un entorno virtual. El instructor se convierte en un facilitador con respecto al programa y no es necesario que sea un experto en GTAW orbital. Ayudas de formación adicionales, tales como pistas de seguimiento de trayecto o superposiciones visuales, mejoran la transferencia de formación en un entorno virtual. No es necesario adquirir equipos de GTAW orbital, que pueden volverse obsoletos. Puede usarse el sistema de realidad virtual en un entorno de formación individual o un tipo de situación de aula.

El uso de un marco virtual permite que se simulen múltiples elementos colgantes con un dispositivo de formación. Al implementar GTAW orbital en realidad virtual, un elemento colgante puede producirse como dispositivo físico o como elemento colgante virtual. Con el dispositivo físico, el estudiante puede interactuar con los controles y “familiarizarse” con el control. Con un elemento colgante virtual, en el que los controles están disponibles y se interactúa con ellos en una pantalla táctil, el usuario puede elegir fácilmente una variedad de elementos colgantes para su control, ya sean personalizados o dependientes de la empresa. Un elemento colgante virtual también permite que se habiliten diferentes tipos de controles o palancas para su uso por parte del estudiante dependiendo de los niveles de aprendizaje o controles disponibles basándose en su sector industrial (que refleja la experiencia de trabajo de campo). A diferencia de la formación tradicional, pueden implementarse fallos aleatorizados (por ejemplo, jerarquización de alambres) que proporcionan al usuario una experiencia más detallada y completa sin daño de los equipos o una configuración que lleva mucho tiempo.

Forma parte de la interacción de aprendizaje la comprensión de parámetros de soldeo apropiados basándose en la junta, preparación, tipo de material, etc. Según una realización, en realidad virtual, pueden habilitarse pantallas habilitadas por la teoría para indicar a un usuario conocimientos con respecto a la elección apropiada que debe realizarse. Pueden habilitarse pantallas o tablas adicionales para indicar a un usuario conocimientos sobre lo que ha de introducir, pero también pueden habilitarse cuando se selecciona una opción errónea para destacar lo que se eligió y por qué era incorrecto, identificándose las selecciones apropiadas. Este tipo de agente inteligente puede garantizar que el estudiante no tiene un desempeño incorrecto y se frustra por el resultado final, siendo la clave un aprendizaje y refuerzo positivos. Una realización de la invención también permitirá que el sistema o instructor realice un cuestionario sobre los conocimientos del usuario y adapte las pruebas y el currículum formativo a los puntos débiles del usuario individual. Una realización de la presente invención emplea inteligencia artificial (AI, *artificial intelligence*) y un sistema de gestión de aprendizaje (LMS, *learning management system*) para ayudar a la instrucción en áreas necesitadas, reforzar los conocimientos y proporcionar ayuda en el aprendizaje.

Los parámetros de configuración pueden incluir, pero no se limitan a: gas inerte (por ejemplo, argón, helio); ignición de arco; corriente de soldeo (por ejemplo, pulsada frente a no pulsada); funcionalidad de pendiente descendente para evitar la formación de cráteres al final de la soldadura; velocidad de avance de rotación de soplete; características de alimentación de alambre (por ejemplo, formas de onda pulsadas); selección de diámetro de alambre; tensión de arco; distancia entre electrodo y pieza de trabajo; control de oscilación de soldeo; control remoto; características de enfriamiento del circuito de enfriamiento con agua de bucle cerrado generalmente integrado; y programación del ciclo de soldadura (a menudo con cuatro ejes), etc.

La inspección y revisión de la soldadura es otro aspecto del procedimiento de aprendizaje. El estudiante puede ver la soldadura e identificar qué es correcto o qué incorrecto y, basándose en estas elecciones, recibir una puntuación para identificar si tenían razón y recibir además una entrada sobre lo qué es correcto o incorrecto basándose en normas industriales. Esto puede potenciarse además para identificar cómo corregir estas situaciones. Por ejemplo, con el amperaje y la velocidad correctos (identificados), la soldadura puede ser una buena soldadura basándose en una norma industrial particular.

Tal como se describió anteriormente, puede proporcionarse un elemento colgante de enseñanza físico o un dispositivo de control portátil para la selección de entrada en soldeo de realidad virtual. Alternativamente, puede proporcionarse un dispositivo colgante de enseñanza virtual para controlar la selección de entrada para soldeo de realidad virtual. Las interacciones con el dispositivo portátil o virtual que dependen del papel en la industria o el nivel de aprendizaje del estudiante pueden habilitarse en el dispositivo. Pueden proporcionarse interacciones o controles restrictivos basados en el usuario para potenciar objetivos de aprendizaje o reforzar interacciones del papel en la industria, según una realización.

Puede proporcionarse la interacción o reacciones de enseñanza basadas en cambios visuales, audibles o físicos para garantizar que el usuario conoce la configuración apropiada o la eliminación de errores. Además, pueden proporcionarse interacción o reacciones de enseñanza basadas en cambios visuales, audibles o físicos para garantizar que el usuario conoce los cambios apropiados en los controles necesarios basados en la realización de cambios específicos de soldadura o del entorno. Pueden habilitarse tablas o calculadores virtuales que permiten la entrada y proporcionan una salida basándose en los valores introducidos. Pueden proporcionarse resultados habilitados por un agente inteligente basándose en elecciones o parámetros de configuración incorrectos para reforzar normas industriales correctas. Además, puede proporcionarse una entrada habilitada por un agente inteligente para identificar cuál tenía que ser la entrada de los controles apropiados, basándose en los indicadores visuales, de audio o físicos actuales. Según una realización, puede proporcionarse la simulación de sistemas

basados en cámara junto con la creación de sistemas determinativos de trayecto y de seguimiento de trayecto basados en un sistema basado en controlador de lógica difusa. Por ejemplo, pueden proporcionarse múltiples reproducciones simulando dos vistas de cámara de tal manera que las vistas de cámara pueden moverse durante la simulación. Según una realización, puede sonar una alarma cuando se desvía del trayecto deseado, basándose en la lógica difusa, por ejemplo. Puede proporcionarse la visualización de un charco de soldadura TIG simulado mediante tamaños de píxel que son lo suficientemente pequeños como para proporcionar una visualización apropiada del charco de soldadura TIG. También puede proporcionarse la simulación de la ampliación del charco de soldadura TIG, para una mejor visualización por parte del usuario.

Pueden proporcionarse múltiples niveles de experiencia para el usuario que se adaptan al nivel de habilidades, ritmo de aprendizaje y estilo de aprendizaje del usuario (compatible con LMS). También puede proporcionarse inducción de errores basada en inteligencia artificial (AI) para someter a prueba la capacidad del usuario para detectar, corregir y eliminar esos problemas. Puede proporcionarse la simulación de condiciones inseguras, configuración de máquina y defectos de materiales. Además, puede proporcionarse un sistema compatible en múltiples idiomas, que permite la armonización de la formación para un mercado global, según una realización. Una realización de la presente invención puede proporcionar un entorno de simulación virtual que permite que dos o más usuarios (múltiples individuos) creen una soldadura virtual, tal como en determinados escenarios de soldeo orbital.

#### SOLDEO TIG SIMULADO POTENCIADO

Una realización proporciona un simulador para facilitar la actividad de soldeo virtual. El simulador incluye un subsistema basado en procesador lógico que puede hacerse funcionar para ejecutar instrucciones codificadas para generar un entorno de soldeo interactivo en un espacio de realidad virtual que imita la actividad de soldeo en una probeta de ensayo de soldeo virtual, en el que el entorno de soldeo interactivo simula un charco de soldadura virtual en la probeta de ensayo de soldeo virtual, que tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, de manera dinámica, que responde a la realización de la actividad de soldeo virtual en tiempo real. Los términos “subsistema basado en procesador lógico” y “subsistema basado en procesador programable” pueden usarse de manera intercambiable en el presente documento. El término “virtual” tal como se usa en el presente documento puede referirse a elementos que se simulan en un entorno de realidad virtual mediante las instrucciones informáticas del simulador. Pueden presentarse visualmente algunos elementos virtuales a un usuario mediante medios de presentación visual tal como se describe en el presente documento, por ejemplo.

El simulador incluye además un dispositivo de pedal en comunicación operativa con el subsistema basado en procesador lógico y configurado para afectar a al menos una característica del charco de soldadura virtual en tiempo real, que responde al control por parte del usuario del dispositivo de pedal. El simulador también incluye medios de presentación visual conectados operativamente al subsistema basado en procesador lógico y configurados para representar visualmente el entorno de soldeo interactivo, incluyendo el charco de soldadura virtual en la probeta de ensayo de soldeo virtual, en tiempo real. El dispositivo de pedal puede estar en comunicación operativa con el subsistema basado en procesador lógico mediante uno de un medio por cable o un medio inalámbrico. La al menos una característica del charco de soldadura virtual puede ser una o más de la anchura del charco de soldadura virtual y la altura del charco de soldadura virtual.

El dispositivo de pedal puede ser un dispositivo de pedal de práctica que simula un dispositivo de pedal del mundo real, o el dispositivo de pedal puede ser un dispositivo de pedal del mundo real que puede usarse con un sistema de soldeo del mundo real así como con el simulador. El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado para simular el cambio de un parámetro de soldeo tal como uno de un nivel de corriente de salida de soldeo simulado o la velocidad de aportación de alambre simulada en respuesta al control por parte del usuario del dispositivo de pedal, afectando de ese modo a la al menos una característica del charco de soldadura virtual. El simulador puede incluir una probeta de ensayo de soldeo de práctica representativa de la probeta de ensayo de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual. El término “de práctica” tal como se usa en el presente documento puede referirse a elementos que se simulan en el mundo real, no en un espacio de realidad virtual, para que sean representativos de elementos del mundo real. Por ejemplo, una herramienta de soldeo de práctica puede estar compuesta por plástico y tener uno o más sensores y puede estar configurada para aproximarse al aspecto y tacto de una herramienta de soldeo del mundo real para un usuario a medida que el usuario maneja y manipula la herramienta de soldeo de práctica.

El simulador también puede incluir una herramienta de soldeo de práctica, representativa de una herramienta de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual, para realizar la actividad de soldeo virtual en la probeta de ensayo de soldeo virtual en tiempo real a medida que un usuario manipula la herramienta de soldeo de práctica con respecto a la probeta de ensayo de soldeo de práctica. El simulador puede incluir un subsistema de seguimiento espacial conectado operativamente al subsistema basado en procesador lógico. El simulador puede incluir además uno o más sensores configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de la herramienta de soldeo de práctica en tiempo real comunicando datos sobre la posición temporalmente cambiante de la herramienta de soldeo de práctica al subsistema de seguimiento espacial. Puede simularse que la herramienta de soldeo de práctica y la herramienta de soldeo virtual correspondiente incluyen uno de un electrodo de wolframio no consumible, un electrodo de varilla consumible o un electrodo de alambre consumible, por ejemplo. El dispositivo de pedal puede estar configurado para

proporcionar retroalimentación háptica al usuario que indica que la presente posición de pedal del dispositivo de pedal está fuera de una amplitud determinada para un soldeo apropiado.

La figura 24 ilustra un diagrama de bloques esquemático de una representación a modo de ejemplo de una segunda realización de un simulador 2400. El simulador 2400 es similar al simulador 100 de la figura 4, excepto en que el simulador 2400 incluye un dispositivo 2410 de pedal e incluye una herramienta 160 de soldeo de práctica que tiene un selector 2420 de flujo de gas seleccionable. El dispositivo 2410 de pedal se conecta operativamente al PPS 110, o bien mediante un medio por cable (por ejemplo, un cable electrónico) o bien mediante un medio inalámbrico (por ejemplo, una conexión por Bluetooth™). Según una realización, el dispositivo 2410 de pedal puede usarse por un operario (usuario) para ajustar, por ejemplo, una corriente de salida de soldeo simulado o la velocidad de aportación de alambre simulada. Por ejemplo, durante una sesión de soldeo TIG simulado, el operario puede pulsar el dispositivo 2410 de pedal para aumentar el tamaño de un charco de soldadura virtual indicando efectivamente al simulador que aumente el nivel de corriente de salida de soldeo efectivo. De manera similar, el operario puede pulsar el dispositivo 2410 de pedal para disminuir el tamaño de un charco de soldadura virtual indicando efectivamente al simulador que disminuya el nivel de corriente de salida de soldeo efectivo. Pueden afectarse en tiempo real uno o más de la longitud, anchura y altura del charco de soldadura virtual. Según una realización, el dispositivo de pedal puede ajustarse de manera continua por una amplitud determinada por el operario. Según otra realización, el dispositivo de pedal puede ajustarse de manera gradual por una amplitud determinada.

La figura 25 ilustra una realización a modo de ejemplo de un dispositivo 2410 de pedal usado en el simulador 2400 de la figura 24. La figura 26 ilustra una realización a modo de ejemplo del simulador 2400 de la figura 24 que muestra el dispositivo 2410 de pedal de la figura 25. El dispositivo 2410 de pedal puede ser un dispositivo de pedal de práctica, configurado específicamente para su funcionamiento con el simulador para simular un dispositivo de pedal "real". Alternativamente, el dispositivo 2410 de pedal puede ser un dispositivo de pedal "real" configurado para su uso con un sistema de soldeo "real". Sin embargo, según una realización, el simulador 2400 puede estar configurado para ser compatible con el dispositivo de pedal "real". Por ejemplo, un dispositivo de pedal "real" puede ser un dispositivo inalámbrico que emite de manera inalámbrica datos que son indicativos de la posición de pedal del dispositivo de pedal. El subsistema basado en procesador lógico (PPS 110) puede estar configurado para recibir de manera inalámbrica los datos emitidos desde el dispositivo de pedal igual que está configurado un sistema de soldeo real, para el que está destinado originariamente el dispositivo de pedal.

Durante el desempeño de una actividad de soldeo virtual por un operario del simulador, la probeta 180 de ensayo de soldeo de práctica se representa como una probeta de ensayo de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual. La herramienta 160 de soldeo de práctica se representa como una herramienta de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual y se usa para la realización de la actividad de soldeo virtual en la probeta de ensayo de soldeo virtual en tiempo real a medida que el operario manipula la herramienta de soldeo de práctica con respecto a la probeta de ensayo de soldeo de práctica. Según una realización, uno o más sensores 122 están configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de la herramienta de soldeo de práctica en tiempo real comunicando datos sobre la posición temporalmente cambiante de la herramienta de soldeo de práctica al subsistema 120 de seguimiento espacial. El seguidor 120 espacial (ST, *spatial tracker*) puede formar parte del subsistema 110 basado en procesador lógico y realiza las funciones de seguimiento, según una realización. Los términos "seguidor espacial" y "subsistema de seguimiento espacial" pueden usarse de manera intercambiable en el presente documento. Alternativamente, el subsistema 120 de seguimiento espacial se conecta operativamente al subsistema 110 basado en procesador lógico, realiza las funciones de seguimiento, y proporciona información de seguimiento al subsistema 110 basado en procesamiento lógico. Puede simularse que la herramienta de soldeo de práctica y la herramienta de soldeo virtual correspondiente incluyen uno de un electrodo de wolframio no consumible, un electrodo de varilla consumible o un electrodo de alambre consumible, por ejemplo.

Según una realización, el dispositivo 2410 de pedal está configurado para proporcionar retroalimentación háptica al operario, que indica que la presente posición de pedal del dispositivo de pedal está fuera de una amplitud determinada para un soldeo apropiado. Por ejemplo, el dispositivo 2410 de pedal puede vibrar (en el que la vibración es la retroalimentación háptica) cuando la presente posición de pedal del dispositivo de pedal está fuera de una amplitud determinada para un soldeo apropiado. Alternativamente, el dispositivo 2410 de pedal puede vibrar (en el que la vibración es la retroalimentación háptica) cuando la presente posición de pedal del dispositivo de pedal está dentro de una amplitud determinada para un soldeo apropiado. También pueden proporcionarse otros indicadores de retroalimentación. Por ejemplo, puede proporcionarse un mensaje presentado visualmente al operario o puede proporcionarse algún otro indicador visible (por ejemplo, luz parpadeante) o audible (por ejemplo, un pitido), que indica una condición en el intervalo o fuera del intervalo con respecto a la presente posición de pedal del dispositivo de pedal.

Una realización proporciona un simulador para facilitar la actividad de soldeo virtual. El simulador incluye una probeta de ensayo de soldeo de práctica representada en un espacio de realidad virtual por una probeta de ensayo de soldeo virtual, y una herramienta de soldeo de práctica representada en un espacio de realidad virtual por una herramienta de soldeo virtual. El simulador incluye además un subsistema basado en procesador lógico que puede hacerse funcionar para ejecutar instrucciones codificadas para generar un entorno de soldeo interactivo en un espacio de realidad virtual que imita la actividad de soldeo en la probeta de ensayo de soldeo virtual mediante la

herramienta de soldeo virtual, en el que el entorno de soldeo interactivo simula un charco de soldadura virtual en la probeta de ensayo de soldeo virtual, que tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, de manera dinámica, que responde a la realización de la actividad de soldeo virtual en tiempo real.

El simulador incluye un subsistema de seguimiento espacial conectado operativamente al subsistema basado en procesador lógico. El simulador también incluye uno o más primeros sensores configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de al menos una punta de la herramienta de soldeo de práctica en tiempo real comunicando datos sobre la posición temporalmente cambiante de la herramienta de soldeo de práctica al subsistema de seguimiento espacial. El subsistema basado en procesador lógico está configurado para aceptar información de seguimiento procedente del subsistema de seguimiento espacial y determinar cuándo la punta de la herramienta de soldeo virtual, correspondiente a la punta de la herramienta de soldeo de práctica, interseca una superficie del charco de soldadura virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual, y en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado además para generar una indicación, que va a proporcionarse a un usuario, de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido a la intersección.

El simulador puede incluir además un alambre de aportación de práctica o varilla de aportación de práctica representados en un espacio de realidad virtual por un alambre de aportación virtual o una varilla de aportación virtual. Los términos "alambre de aportación" y "varilla de aportación" pueden usarse de manera intercambiable en el presente documento. El simulador también puede incluir uno o más segundos sensores configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de al menos una punta del alambre de aportación de práctica en tiempo real comunicando datos sobre la posición temporalmente cambiante del alambre de aportación de práctica al subsistema de seguimiento espacial lógico. El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado para aceptar información de seguimiento procedente del subsistema de seguimiento espacial y determinar cuándo la punta del alambre de aportación virtual, correspondiente a la punta del alambre de aportación de práctica, toca la herramienta de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual. El subsistema basado en procesamiento lógico puede estar configurado además para generar una indicación, que va a proporcionarse a un usuario, de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido al toque.

El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado además para determinar cuándo la punta del alambre de aportación virtual penetra en el charco de soldadura virtual, y modificar al menos la altura del charco de soldadura virtual debido a la penetración. El simulador también puede incluir un dispositivo de pedal conectado operativamente al subsistema basado en procesador lógico y configurado para cambiar al menos una característica del charco de soldadura virtual en tiempo real, que responde al control por parte del usuario del dispositivo de pedal. La al menos una característica del charco de soldadura virtual puede ser una o más de la anchura del charco de soldadura virtual y la altura del charco de soldadura virtual.

El simulador puede incluir además medios de presentación visual conectados operativamente al subsistema basado en procesamiento lógico para representar visualmente el entorno de soldeo interactivo, en los que los medios de presentación visual representan el charco de soldadura virtual en la probeta de ensayo de soldeo virtual en tiempo real. El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado para convertir el charco de soldadura virtual en un cordón de soldadura virtual durante la actividad de soldeo virtual, en el que la indicación de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido a la intersección corresponde a la representación del cordón de soldadura virtual en los medios de presentación visual como que tiene uno o más defectos.

Puede simularse que la herramienta de soldeo de práctica y la herramienta de soldeo virtual correspondiente incluyen uno de un electrodo de wolframio no consumible. Puede ajustarse la posición sobresaliente de la herramienta de soldeo de práctica por un usuario. El simulador también puede incluir un selector de flujo de gas seleccionable por el usuario montado en la herramienta de soldeo de práctica y configurado para comunicar al subsistema basado en procesador lógico que un flujo de gas simulado hacia fuera de la herramienta de soldeo virtual está apagado cuando está en una primera posición, y que el flujo de gas simulado está encendido cuando está en una segunda posición. El simulador puede incluir además una pluralidad de copas de flujo de gas de práctica configuradas, cada una, para fijarse a y separarse de la herramienta de soldeo de práctica, en el que cada una de las copas de flujo de gas de práctica de la pluralidad de copas de flujo de gas de práctica está configurada para simular un direccionamiento único del flujo de gas hacia fuera de la herramienta de soldeo de práctica.

El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado para simular el establecimiento de un arco entre la punta de la herramienta de soldeo virtual y la probeta de ensayo de soldeo virtual cuando un usuario toca con la punta de la herramienta de soldeo de práctica la probeta de ensayo de soldeo de práctica y retira la punta de la herramienta de soldeo de práctica de la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera. El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado para simular el establecimiento de un arco entre la punta de la herramienta de soldeo virtual y la probeta de ensayo de soldeo virtual cuando un usuario arrastra la punta de la herramienta de soldeo de práctica por una superficie de la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera. El subsistema basado en procesador lógico puede estar configurado para simular el establecimiento de un arco entre la punta de la herramienta de soldeo virtual y la probeta de ensayo de soldeo virtual cuando un usuario mueve la punta de la herramienta de soldeo de práctica hacia la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera, sin tocar la probeta de ensayo de soldeo de práctica con la punta de la herramienta

de soldeo de práctica.

En el mundo real, cuando se contamina un electrodo de wolframio no consumible, el usuario ha de cesar el soldeo y o bien reemplazar el electrodo contaminado o bien limpiar y volver a preparar el electrodo contaminado. Esto lleva tiempo y da como resultado una sesión de soldeo ineficiente. Por tanto, cuando se forma a un usuario para realizar un procedimiento de soldeo GTAW usando el simulador del presente documento, el usuario es consciente de cuándo ha contaminado el electrodo. Un usuario puede contaminar un electrodo haciendo descender la punta o el extremo del electrodo en el charco de soldadura, tocando con el alambre de aportación el electrodo, o empujando el charco de soldadura con el alambre de aportación, provocando que el charco de soldadura se eleve y toque la punta o el extremo del electrodo. Enseñar a un usuario a no contaminar el electrodo es un aspecto importante del soldeo GTAW.

La figura 27 ilustra una realización a modo de ejemplo de una actividad de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual. Tal actividad de soldeo virtual puede presentarse visualmente en el dispositivo 150 de presentación visual, por ejemplo. La actividad de soldeo mostrada en la figura 27 es una actividad de soldeo GTAW simulada. Se muestran una herramienta 2710 de soldeo virtual y un alambre 2720 de aportación virtual que crean un charco 2730 de soldadura virtual en una probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual durante un procedimiento de soldeo GTAW simulado. La herramienta 2710 de soldeo virtual simula un electrodo 2711 de wolframio no consumible, un tubo 2712 de contacto y un cabezal 2713 de GTAW en un espacio de realidad virtual. La actividad de soldeo mostrada en la figura 27 también ilustra un arco 2714 eléctrico virtual y un gas 2715 de protección virtual en un espacio de realidad virtual.

La figura 28 ilustra una realización a modo de ejemplo de una actividad de soldeo simulada, representativa de la actividad de soldeo virtual de la figura 27, usando una herramienta 2810 de soldeo de práctica y un alambre 2820 de aportación de práctica que puede manipularse por un usuario durante la actividad de soldeo simulada con respecto a una probeta 2830 de ensayo de soldeo de práctica. La herramienta 2810 de soldeo de práctica, el alambre 2820 de aportación de práctica y la probeta 2830 de ensayo de soldeo de práctica se representan, respectivamente, en un espacio de realidad virtual mediante la herramienta 2710 de soldeo virtual, el alambre 2720 de aportación virtual y la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual. La representación de la actividad de soldeo en un espacio de realidad virtual tal como se muestra en la figura 27 responde a las acciones de los usuarios con respecto a la herramienta 2810 de soldeo de práctica, el alambre 2820 de aportación de práctica y la probeta 2830 de ensayo de soldeo de práctica.

La herramienta 2810 de soldeo de práctica incluye un electrodo 2811 de wolframio no consumible de práctica. Según una realización, la punta del electrodo 2811 de wolframio no consumible de práctica tiene uno o más sensores 2812 para facilitar el seguimiento de la posición de la punta del electrodo 2811 de práctica por el subsistema 120 de seguimiento espacial. De manera similar, la punta del alambre 2820 de aportación de práctica tiene uno o más sensores 2821 para facilitar el seguimiento de la posición de la punta del alambre 2820 de aportación de práctica por el subsistema 120 de seguimiento espacial. Según una realización, los sensores 2812 y 2821 pueden ser similares a los sensores 122 y pueden tener múltiples bobinas de inducción alineadas en direcciones espaciales que se cruzan cuando el subsistema 120 de seguimiento espacial es un subsistema de seguimiento magnético tal como se describe en el presente documento, lo que permite que se realice un seguimiento de las puntas respectivas del electrodo 2811 de práctica y el alambre 2820 de aportación de práctica en un espacio tridimensional a medida que un usuario mueve la herramienta 2810 de soldeo de práctica y el alambre 2820 de aportación de práctica durante una actividad de soldeo simulada. Pueden usarse otros tipos de sensores en otras realizaciones que usan otros métodos de seguimiento (por ejemplo, seguimiento basado en infrarrojos, seguimiento basado en cámara, seguimiento basado en acelerómetro).

De nuevo, la herramienta 2810 de soldeo de práctica se representa en un espacio de realidad virtual como la herramienta 2710 de soldeo virtual y la probeta 2830 de ensayo de soldeo de práctica se representa en un espacio de realidad virtual como la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual. El subsistema 110 de procesador de base lógica puede hacerse funcionar para ejecutar instrucciones codificadas para generar el entorno de soldeo interactivo en un espacio de realidad virtual que imita la actividad de soldeo en la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual mediante la herramienta 2710 de soldeo virtual. El uso del alambre 2820 de aportación de práctica es opcional y, por tanto, el alambre 2820 de aportación de práctica puede usarse o no durante una actividad de soldeo simulada.

El entorno de soldeo interactivo simula el charco 2730 de soldadura virtual en la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual. Se simula que el charco 2730 de soldadura virtual tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, de manera dinámica, que responde a que el usuario realiza la actividad de soldeo simulada en tiempo real. Cuando se simula el charco de soldadura virtual, se tienen en cuenta todos los efectos del arco 2714 virtual, el gas 2715 de protección virtual y el alambre 2720 de aportación virtual. En soldeo GTAW (TIG), es importante que el electrodo de wolframio no consumible no toque el charco de soldadura o el alambre de aportación. Si no, el electrodo de wolframio no consumible puede contaminarse, lo que puede afectar adversamente al cordón de soldadura resultante. Por ejemplo, un electrodo contaminado puede provocar que el cordón de soldadura resultante contenga diversos tipos de defectos que se conocen bien en la técnica.

Según una realización, el subsistema 110 basado en procesador lógico acepta información de seguimiento procedente del subsistema 120 de seguimiento espacial y determina cuándo la punta del electrodo 2711 virtual de la herramienta 2710 de soldeo virtual, correspondiente a la punta del electrodo 2811 de práctica de la herramienta 2810 de soldeo de práctica, interseca una superficie del charco 2730 de soldadura virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual, contaminando por tanto virtualmente el electrodo. El electrodo puede intersecar la superficie del charco de soldadura debido a que el usuario hace descender la punta o el extremo del electrodo en el charco de soldadura, o al empujar el charco de soldadura con el alambre de aportación, provocando que se eleve el charco de soldadura y toque la punta o el extremo del electrodo. Según una realización, el subsistema 110 basado en procesador lógico determina cuándo la punta del alambre 2720 de aportación virtual penetra en el charco 2730 de soldadura virtual y modifica, por ejemplo, la altura del charco 2730 de soldadura virtual debido a la penetración. Además, según una realización, el dispositivo 2410 de pedal puede usarse, tal como se describió previamente en el presente documento, para afectar al charco 2730 de soldadura virtual en tiempo real. Por ejemplo, puede cambiarse la altura o la anchura del charco de soldadura virtual accionando el dispositivo de pedal. El accionamiento inapropiado del pedal también puede dar como resultado la contaminación del electrodo. De manera similar, el subsistema 110 basado en procesador lógico acepta información de seguimiento procedente del subsistema 120 de seguimiento espacial y determina cuándo la punta del alambre 2720 de aportación virtual, correspondiente a la punta del alambre 2820 de aportación de práctica, toca virtualmente el electrodo 2711 virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual, contaminando por tanto virtualmente el electrodo.

Según una realización, el subsistema 110 basado en procesador lógico tiene en cuenta la contaminación del electrodo y cómo afecta el electrodo contaminado al charco de soldadura y, por tanto, al cordón de soldadura resultante. Además, el subsistema 110 basado en procesador lógico puede estar configurado para generar una indicación, que ha de proporcionarse al usuario, de que el electrodo de la herramienta de soldeo se ha contaminado, en sentido virtual. La indicación puede ser en forma de un indicador visible (por ejemplo, una luz parpadeante) y/o un indicador audible (por ejemplo, un pitido). Alternativamente, o además, puede proporcionarse un mensaje presentado visualmente al operario que indica que el electrodo se ha contaminado. Según una realización, el usuario no puede continuar con la actividad de soldeo simulada hasta que el usuario indica al simulador que el electrodo de wolframio se ha limpiado o reemplazado. Esto puede lograrse mediante una secuencia de entrada introducida en la interfaz de usuario del simulador de soldeo por parte del usuario, por ejemplo. La introducción de la secuencia de entrada de usuario puede ser justamente lo suficientemente inconveniente como para motivar al usuario para evitar contaminar el electrodo.

Según una realización, puede ajustarse la posición sobresaliente del electrodo 2811 de wolframio no consumible de práctica. Por tanto, un usuario puede ajustar la cantidad en que sobresale el electrodo 2811 de práctica en la herramienta 2810 de soldeo de práctica, por ejemplo, para ayudar a impedir una contaminación virtual del electrodo 2711 virtual correspondiente por el usuario. El ajuste de la posición sobresaliente puede lograrse de cualquiera de diversos modos incluyendo, por ejemplo, una conexión ajustable al tubo 2813 de contacto de práctica fijo. Tal ajuste puede realizarse enroscando o desenroscando el electrodo 2811 de práctica una distancia deseada en/del tubo 2813 de contacto de práctica, por ejemplo. También son posibles otros métodos de ajuste, según otras realizaciones diversas.

Durante una actividad de soldeo simulada, la herramienta 2710 de soldeo virtual proporciona un gas 2715 de protección simulado hacia fuera del extremo de la herramienta 2710 de soldeo virtual para simular, por ejemplo, el gas de protección proporcionado en un procedimiento de soldeo GTAW. Haciendo referencia a la figura 24, la herramienta 160 de soldeo de práctica (o 2810 en la figura 28) puede incluir un selector 2420 de flujo de gas de práctica seleccionable montado en la herramienta de soldeo de práctica. El selector 2420 de flujo de gas de práctica está configurado para comunicar al subsistema 110 basado en procesador lógico (mediante medios por cable o inalámbricos) que un flujo de gas simulado hacia fuera de la herramienta de soldeo virtual está "apagado" cuando está en una primera posición, y que el flujo de gas simulado está "encendido" cuando está en una segunda posición. El selector 2420 de flujo de gas de práctica puede ser una perilla rotatoria o un interruptor, por ejemplo, según diversas realizaciones. Para un procedimiento de soldeo GTAW, es importante que el usuario "encienda" el flujo de gas para proporcionar el gas de protección durante el procedimiento de soldeo. El no "encender" el flujo de gas en la simulación puede dar como resultado que se simule que el cordón de soldadura tiene uno o más tipos de defectos.

Según una realización, el simulador puede proporcionar una pluralidad de copas de flujo de gas de práctica configuradas, cada una, para fijarse a y separarse de la herramienta de soldeo de práctica. Cada una de las copas de flujo de gas de práctica puede estar configurada para simular un direccionamiento único del flujo de gas hacia fuera de la herramienta de soldeo de práctica. Se muestra un ejemplo de una copa 2805 de flujo de gas de práctica separable en la figura 28. Según una realización, la copa 2805 de flujo de gas de práctica encaja en un cabezal 2801 de GTAW de práctica de la herramienta 2810 de soldeo de práctica. También son posibles otros medios de fijación de una copa de flujo de gas de práctica a una herramienta de soldeo de práctica, según otras realizaciones diversas. La forma del extremo de salida de la copa 2805 de flujo de gas de práctica cerca de la punta del electrodo 2811 de práctica imita la forma de una copa de flujo de gas real que determina la dirección de flujo de gas real hacia fuera de una herramienta de soldeo. Cada una de las copas de flujo de gas de práctica de la pluralidad de copas de flujo de



gas de práctica puede tener un extremo de salida de diferente forma, representativo de diferentes copas de flujo de gas reales que proporcionan diferentes flujos de gas direccionales. En el entorno de soldeo simulado, un usuario puede seleccionar una copa de flujo de gas de práctica para fijarla a la herramienta de soldeo de práctica.

5 Según una realización, cuando se fija una copa 2805 de flujo de gas de práctica a la herramienta 2810 de soldeo de práctica por el usuario, el usuario puede introducir, en el simulador mediante la interfaz de usuario 130, un  
 10 identificador de la copa de flujo de gas de práctica. Como tal, el subsistema 110 basado en procesador lógico tiene en cuenta la copa de flujo de gas de práctica fijada particular y simula flujo de gas direccional hacia fuera de la herramienta 2810 de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual basándose en la copa de flujo de gas de práctica identificada. Como resultado, la simulación del charco de soldadura virtual y el cordón de soldadura virtual  
 resultante pueden verse afectados por la copa de flujo de gas de práctica fijada.

Según otra realización, cuando se fija una copa de flujo de gas de práctica a la herramienta de soldeo de práctica, pueden proporcionarse automáticamente datos de identificación al subsistema 110 basado en procesador lógico  
 15 mediante medios por cable o inalámbricos. Por ejemplo, la copa de flujo de gas de práctica puede estar codificada (por ejemplo, mediante códigos de barras o identificación por radiofrecuencia) con un código de identificación que puede leer el simulador. En tal realización, un dispositivo 2430 de exploración o lectura (por ejemplo, un dispositivo de exploración de códigos de barras o un dispositivo de lectura de identificación por radiofrecuencia) puede estar  
 20 conectado operativamente al subsistema 110 basado en procesador lógico y configurado para explorar o leer el código de identificación en la copa de flujo de gas de práctica fijada. También son posibles otros medios de comunicación de manera inmediata de un código de identificación de una copa de flujo de gas de práctica al subsistema 110 basado en procesador lógico, según otras realizaciones.

Según una realización, el subsistema 110 basado en procesador lógico está configurado para simular el  
 25 establecimiento de un arco 2714 entre la punta del electrodo 2711 virtual de la herramienta 2710 de soldeo virtual y la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual al inicio de un procedimiento de soldeo simulado cuando un usuario toca con la punta del electrodo 2811 de práctica de la herramienta 2810 de soldeo de práctica la probeta 2830 de ensayo de soldeo de práctica y retira la punta de la probeta 2830 de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera. Tal realización simula un “inicio por elevación” para un procedimiento de soldeo GTAW, por ejemplo. Se realiza un  
 30 seguimiento de la posición de la punta del electrodo de práctica por el simulador con respecto a la probeta de ensayo de soldeo de práctica, usando las técnicas de seguimiento descritas en el presente documento, para lograr el establecimiento del “inicio por elevación” del arco simulado. Alternativamente, la punta del electrodo de soldeo de práctica puede estar dotada de un sensor de presión (por ejemplo, un sensor piezoeléctrico) de tal manera que, cuando la punta del electrodo de soldeo de práctica toca la probeta de ensayo de práctica, el sensor de presión  
 35 genera una señal eléctrica que puede proporcionarse al subsistema basado en procesador lógico, por ejemplo, para indicar el toque. Según otra realización alternativa, la punta del electrodo de soldeo de práctica y la probeta de ensayo de soldeo de práctica pueden estar configuradas para completar un trayecto eléctricamente conductor (o al menos parcialmente conductor), que indica al simulador que la punta ha tocado la probeta de ensayo.

Según una realización, el subsistema 110 basado en procesador lógico está configurado para simular el  
 40 establecimiento de un arco 2714 entre la punta del electrodo 2711 virtual de la herramienta 2710 de soldeo virtual y la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual al inicio de un procedimiento de soldeo simulado cuando un usuario arrastra la punta del electrodo de soldeo de práctica por una superficie de la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera. Tal realización simula un “inicio por raspado” para un procedimiento de soldeo  
 45 GTAW, por ejemplo. De nuevo, se realiza un seguimiento de la posición de la punta del electrodo de práctica por el simulador con respecto a la probeta de ensayo de soldeo de práctica, usando las técnicas de seguimiento descritas en el presente documento, para lograr el establecimiento del “inicio por raspado” del arco simulado. Alternativamente, la punta del electrodo de soldeo de práctica puede estar dotada de un sensor de presión (por ejemplo, un sensor piezoeléctrico) de tal manera que, cuando se arrastra la punta del electrodo de soldeo de práctica por la probeta de ensayo de práctica, el sensor de presión genera una señal eléctrica que puede  
 50 proporcionarse al subsistema basado en procesador lógico, por ejemplo, para indicar el arrastre. Según otra realización alternativa, la punta del electrodo de soldeo de práctica y la probeta de ensayo de soldeo de práctica pueden estar configuradas para completar un trayecto eléctricamente conductor (o al menos parcialmente conductor), que indica al simulador que la punta toca y está arrastrándose por la probeta de ensayo.

Según una realización, el subsistema 110 basado en procesador lógico está configurado para simular el  
 establecimiento de un arco 2714 entre la punta del electrodo 2711 virtual de la herramienta 2710 de soldeo virtual y la probeta 2740 de ensayo de soldeo virtual al inicio de un procedimiento de soldeo simulado cuando un usuario  
 60 mueve la punta de la herramienta de soldeo de práctica hacia la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera, sin tocar la probeta de ensayo de soldeo de práctica con la punta de la herramienta de soldeo de práctica. Tal realización puede simular un “inicio de alta frecuencia” para un procedimiento de soldeo GTAW, por ejemplo. El simulador simula que usa una salida de alta frecuencia a medida que la herramienta de soldeo de práctica se aproxima a la probeta de ensayo de soldeo de práctica al inicio de un procedimiento de soldeo simulado. El arco 2714 virtual se establece una vez que la punta del electrodo de la herramienta de soldeo de práctica alcanza una determinada distancia desde la superficie de la probeta de ensayo de soldeo de práctica. Según una realización,  
 65 el dispositivo 2410 de pedal puede usarse por un usuario para entrar y salir en el modo de funcionamiento de alta

frecuencia.

Según una realización, los medios 150 de presentación visual pueden estar configurados como dispositivo de pantalla táctil que puede usarse como interfaz de usuario de soldeo. El dispositivo de pantalla táctil puede permitir que un usuario seleccione una interfaz de usuario que modela la interfaz de usuario de una máquina de soldeo del mundo real. Un usuario puede tener la capacidad de seleccionar a partir de una pluralidad de interfaces de usuario representativas de una pluralidad de máquinas de soldeo del mundo real. Como resultado, un usuario puede tener la capacidad de usar la interfaz de usuario presentada visualmente en el dispositivo de pantalla táctil para configurar una actividad de soldeo simulada para un tipo de máquina de soldeo seleccionado. De esta manera, un usuario puede familiarizarse con la interfaz de usuario de diversos tipos de máquinas de soldeo del mundo real usando el simulador. Además, una vez que se selecciona un tipo de máquina de soldeo, el simulador puede adaptarse automáticamente para simular ese tipo particular de máquina de soldeo, por ejemplo, en cuanto a cómo funciona la fuente de alimentación de soldeo y los tipos de formas de onda de soldeo que están disponibles.

Según una realización, el simulador permite que un usuario seleccione un tipo de electrodo de wolframio para usarlo durante una actividad de soldeo simulada. Los tipos seleccionables de electrodo de wolframio pueden incluir, por ejemplo, wolframio puro, el 2% de wolframio ceriado, el 1,5% de wolframio lantanado y el 2% de wolframio toriado. También pueden seleccionarse otros tipos de electrodos de wolframio, según otras realizaciones diversas. Si un usuario selecciona un tipo incorrecto de electrodo de wolframio para una actividad de soldeo simulada particular, el simulador puede indicar al usuario que se ha realizado tal selección incorrecta. De esta manera el simulador puede enseñar al usuario qué tipos de electrodos de wolframio son apropiados para qué tipos de actividad de soldeo. Además, basándose en el tipo de electrodo de wolframio seleccionado, la simulación de la actividad de soldeo puede modificarse para tener en cuenta el tipo de electrodo de wolframio. Por ejemplo, puesto que se sabe que el tipo de electrodo de wolframio puede afectar al aspecto del arco, el simulador puede adaptar el aspecto del arco basándose en el tipo de electrodo de wolframio seleccionado.

Según una realización, el simulador puede estar configurado para permitir que un usuario vea e inspeccione un cordón de raíz en el interior de una tubería virtual después de la realización de una actividad de soldeo de tubería simulada. Incluso después de que se haya creado un buen cordón de raíz usando el simulador, pasadas con calor sucesivas pueden degradar el cordón de raíz si no se realizan apropiadamente. Según una realización, el simulador está configurado para modificar una soldadura de cordón de raíz virtual basándose en una soldadura por pasadas con calor sucesivas empleando los métodos de simulación de charco de soldadura y cordón de soldadura descritos en el presente documento. El simulador puede presentar visualmente el interior de una tubería soldada simulada como si el usuario estuviese mirando el interior de la tubería con una luz parpadeante, por ejemplo, después de la realización de una actividad de soldeo de tubería. Alternativamente, el simulador puede invertir eficazmente la tubería simulada para presentar visualmente el interior de la tubería simulada como si apareciese en el exterior, y viceversa.

En resumen, se da a conocer un sistema de soldeo de realidad virtual en tiempo real que incluye un subsistema basado en procesador programable (también conocido como un subsistema basado en procesador lógico), un seguidor espacial conectado operativamente al subsistema basado en procesador programable, al menos una herramienta de soldeo de práctica de la que puede realizarse un seguimiento espacial por el seguidor espacial, y al menos un dispositivo de presentación visual conectado operativamente al subsistema basado en procesador programable. El subsistema basado en procesador lógico puede hacerse funcionar para generar un entorno de soldeo interactivo en un espacio de realidad virtual que imita la actividad de soldeo simulando un charco de soldadura virtual que tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, de manera dinámica, que responde a la realización de una actividad de soldeo simulada en tiempo real. El sistema puede presentar visualmente además el charco de soldadura simulado en el dispositivo de presentación visual en tiempo real. El sistema puede incluir un dispositivo de pedal en comunicación operativa con el subsistema basado en procesador lógico y configurado para afectar a una característica del charco de soldadura virtual en tiempo real, que responde al control por parte del usuario del dispositivo de pedal. El sistema puede estar configurado para realizar un seguimiento de los movimientos de una herramienta de soldeo de práctica y un alambre de aportación de práctica y determinar la interacción entre el charco de soldadura virtual, una herramienta de soldeo virtual correspondiente y un alambre de aportación correspondiente en un espacio de realidad virtual que daría como resultado que se contaminase la herramienta de soldeo.

La invención se ha descrito en el presente documento con referencia a las realizaciones dadas a conocer. Obviamente, se les ocurrirán a otras personas modificaciones y alteraciones tras una lectura y comprensión de esta memoria descriptiva. Se pretende incluir todas de tales modificaciones y alteraciones en la medida en que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas o equivalentes de las mismas.

#### Números de referencia:

10 sistema/simulador

12 usuario(s) final(es)

	12a usuario aprendiz
	12b usuario instructor
5	15 entorno
	100 simulador
10	110 subsistema
	111 unidad de procesamiento central
	115 unidades de procesamiento gráfico
15	116 arquitectura unificada de dispositivo de computación
	117 sombreador
20	118 salida de vídeo
	119 salida de vídeo
	120 seguidor espacial
25	121 fuente magnética
	122 sensores
30	123 disco
	124 fuente de alimentación
	125 cables
35	126 unidad de seguimiento de procesador
	130 interfaz de usuario de soldeo
40	131 botones
	132 palanca de mando
	133 dial/interruptor/perilla
45	134 dial/interruptor/perilla
	135 consola
50	136 dial/perilla
	1203 modelos de entorno
	1204 funcionalidad de contenido de sonido
55	1205 sonidos de soldeo
	1206 modelo de soporte/mesa
60	1207 funcionalidad de arquitectura interna
	1208 funcionalidad de calibración
	137 dial/perilla
65	140 elemento de presentación visual personalizado

	150 pantalla de presentación visual
5	153 selecciones de usuario
	155 dispositivo de entrada
	156 portaelectrodo de soldeo
10	160 herramienta de soldeo de práctica
	161 portaelectrodo
15	162 electrodo de varilla simulado
	163 punta resistiva
	170 soporte
20	171 mesa ajustable
	172 base de soporte
	173 brazo ajustable
25	174 poste vertical
	175 probeta de ensayo de soldeo
30	176 junta de soldeo
	177 porción de conexión
	179 puntos/alveolos predefinidos
35	200 dispositivo de presentación visual
	203 procesadores lógicos
40	204 microprocesador
	300 dispositivos de almacenamiento de datos
45	900 casco para soldeo
	910 altavoces
	1201 interfaz física de usuario
50	1202 modelos de pinza
	1600 probeta de ensayo de soldeo de esquina
55	1610 superficie
	1620 superficie
	1700 probeta de ensayo de soldeo de tubería
60	1701 pieza de tubería
	1702 pieza de tubería
	1210 modelos de probeta de ensayo
65	1211 física de soldeo

	1212 elemento de ajuste óptimo
	1213 funcionalidad de interfaz de usuario
5	1214 funcionalidad de representación gráfica
	1215 funcionalidad de informes de estudiante
10	1216 elemento de reproducción
	1217 reproducción de cordón
	1218 texturas 3D
15	1219 funcionalidad de pistas visuales
	1220 funcionalidad de tolerancia
20	1221 editor de tolerancia
	1222 efectos especiales
	1300 método
25	1310 etapa
	1320 etapa
30	1330 etapa
	1340 etapa
	1350 etapa
35	1400 probeta de ensayo de soldeo plana
	1410 superficie superior plana
40	1420 mapa de desplazamiento
	1421 <i>wexel</i>
	2811 electrodo de wolframio de práctica
45	2812 sensores
	2813 tubo de contacto de práctica
50	2820 alambre de aportación de práctica
	2821 sensores
	2830 probeta de ensayo de soldeo de práctica
55	1703 junta de raíz
	1704 pieza de fijación
60	1710 superficie curva
	1910 barras rectangulares
	1920 partículas
65	1930 alturas de partícula

	1940 rectángulos sombreados
	2400 simulador
5	2410 dispositivo de pedal
	2420 selector de flujo de gas
10	2430 dispositivo de lectura
	2710 herramienta de soldeo virtual
	2711 electrodo de wolframio
15	2712 tubo de contacto
	2713 cabezal de GTAW
20	2714 arco eléctrico virtual
	2715 gas de protección virtual
	2720 alambre de aportación virtual
25	2730 charco de soldadura virtual
	2740 probeta de ensayo de soldeo virtual
30	2801 cabezal de GTAW de práctica
	2805 copa de flujo de gas de práctica
	2810 herramienta de soldeo de práctica
35	B punto
	E punto
40	O punto
	X punto
	Y punto
45	Z punto

# REIVINDICACIONES

1. Simulador (10, 2400) para facilitar el soldeo virtual, comprendiendo dicho simulador: un subsistema basado en procesador lógico que puede hacerse funcionar para ejecutar instrucciones codificadas para generar un entorno de soldeo interactivo en un espacio de realidad virtual que imita la actividad de soldeo en una probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual, en el que el entorno de soldeo interactivo simula un charco (2730) de soldadura virtual en la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual, que tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, de manera dinámica, que responde a la realización de la actividad de soldeo virtual en tiempo real;  
medios (140, 150, 200) de presentación visual conectados operativamente al subsistema basado en procesador lógico y configurados para representar visualmente el entorno de soldeo interactivo, incluyendo el charco (2730) de soldadura virtual en la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual, en tiempo real; caracterizado por:  
un alambre de aportación de práctica representado en un espacio de realidad virtual por un alambre (2720) de aportación virtual; y  
uno o más segundos sensores (2812, 2821) configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de al menos una punta del alambre de aportación de práctica en tiempo real comunicando datos sobre una posición temporalmente cambiante del alambre de aportación de práctica al subsistema de seguimiento espacial,  
en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado para aceptar información de seguimiento procedente del subsistema de seguimiento espacial y determinar cuándo la punta del alambre (2720) de aportación virtual, correspondiente a la punta del alambre de aportación de práctica, toca la herramienta de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual, y  
en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado además para generar una indicación, que va a proporcionarse a un usuario, de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido al toque.
2. Simulador según la reivindicación 1, que comprende un dispositivo (2410) de pedal en comunicación operativa con el subsistema basado en procesador lógico y configurado para afectar al menos a una característica del charco (2730) de soldadura virtual en tiempo real, que responde al control por parte del usuario del dispositivo de pedal;
3. Simulador según la reivindicación 2, en el que el dispositivo (2410) de pedal está en comunicación operativa con el subsistema basado en procesador lógico mediante uno de un medio por cable o un medio inalámbrico.
4. Simulador según la reivindicación 2 ó 3, en el que el dispositivo (2410) de pedal es un dispositivo de pedal de práctica que simula un dispositivo de pedal del mundo real, o en el que el dispositivo (2410) de pedal es un dispositivo de pedal del mundo real que puede usarse con un sistema de soldeo del mundo real.
5. Simulador según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el dispositivo (2410) de pedal está configurado para proporcionar retroalimentación háptica al usuario que indica que la presente posición de pedal del dispositivo de pedal está fuera de una amplitud determinada para un soldeo apropiado.
6. Simulador según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la al menos una característica del charco (2730) de soldadura virtual es una o más de la anchura del charco (2730) de soldadura virtual y la altura del charco (2730) de soldadura virtual.
7. Simulador según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado para simular el cambio de al menos un parámetro de soldeo simulado en respuesta al control por parte del usuario del dispositivo (2410) de pedal, afectando de ese modo a la al menos una característica del charco (2710) de soldadura virtual, en el que el al menos un parámetro de soldeo es preferiblemente al menos uno del nivel de corriente de salida de soldeo simulado o la velocidad de alimentación de alambre simulada.
8. Simulador según una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además:  
una probeta (2740) de ensayo de soldeo de práctica representativa de la probeta de ensayo de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual;

una herramienta (2810) de soldeo de práctica, representativa de una herramienta de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual, para realizar la actividad de soldeo virtual en la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual en tiempo real a medida que un usuario manipula la herramienta (2810) de soldeo de práctica con respecto a la probeta (2740) de ensayo de soldeo de práctica;

un subsistema de seguimiento espacial conectado operativamente al subsistema basado en procesador lógico; y

uno o más sensores (2812, 2821) configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de la herramienta (2810) de soldeo de práctica en tiempo real comunicando datos sobre una posición temporalmente cambiante de la herramienta (2810) de soldeo de práctica al subsistema de seguimiento espacial; en el que preferiblemente se simula que la herramienta (2810) de soldeo de práctica y la herramienta de soldeo virtual correspondiente incluyen uno de un electrodo (2811) de wolframio no consumible, un electrodo de varilla consumible o un electrodo de alambre consumible.

9. Sistema (10) para facilitar la actividad de soldeo virtual, que comprende en particular el simulador según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por:

una probeta (2830) de ensayo de soldeo de práctica representada en un espacio de realidad virtual por una probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual;

una herramienta (2810) de soldeo de práctica representada en un espacio de realidad virtual por una herramienta de soldeo virtual;

un subsistema basado en procesador lógico que puede hacerse funcionar para ejecutar instrucciones codificadas para generar un entorno de soldeo interactivo en un espacio de realidad virtual que imita la actividad de soldeo en la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual mediante la herramienta de soldeo virtual, en el que el entorno de soldeo interactivo simula un charco (2730) de soldadura virtual en la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual, que tiene características de disipación de calor y fluidez de metal fundido en tiempo real, de manera dinámica, que responde a la realización de la actividad de soldeo virtual en tiempo real;

un subsistema de seguimiento espacial conectado operativamente al subsistema basado en procesador lógico; y

uno o más primeros sensores (2812, 2821) configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de al menos una punta de la herramienta (2810) de soldeo de práctica en tiempo real comunicando datos sobre una posición temporalmente cambiante de la herramienta (2810) de soldeo de práctica al subsistema de seguimiento espacial,

en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado para aceptar información de seguimiento procedente del subsistema de seguimiento espacial y determinar cuándo la punta de la herramienta de soldeo virtual, correspondiente a la punta de la herramienta (2810) de soldeo de práctica, interseca una superficie del charco (2730) de soldadura virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual, y en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado además para generar una indicación, que va a proporcionarse a un usuario, de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido a la intersección.

10. Sistema según la reivindicación 9, que comprende además;

un alambre de aportación de práctica representado en un espacio de realidad virtual por un alambre (2720) de aportación virtual; y

uno o más segundos sensores (2812, 2821) configurados para facilitar el movimiento de seguimiento de al menos una punta del alambre de aportación de práctica en tiempo real comunicando datos sobre una posición temporalmente cambiante del alambre de aportación de práctica al subsistema de seguimiento espacial,

en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado para aceptar información de seguimiento procedente del subsistema de seguimiento espacial y determinar cuándo la punta del alambre (2720) de aportación virtual, correspondiente a la punta del alambre de aportación de práctica, toca la herramienta de soldeo virtual en un espacio de realidad virtual durante la actividad de soldeo virtual, y en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado además para generar una indicación, que va a proporcionarse a un usuario, de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido al toque.



11. Sistema según la reivindicación 10, en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado además para:  
  
5            determinar cuándo la punta del alambre (2720) de aportación virtual penetra en el charco (2730) de soldadura virtual; y  
  
              modificar al menos la altura del charco (2730) de soldadura virtual debido a la penetración.
12. Sistema según una de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende además un dispositivo (2410) de pedal  
10            conectado operativamente al subsistema basado en procesador lógico y configurado para cambiar al menos una característica del charco (2730) de soldadura virtual en tiempo real, que responde al control por parte del usuario del dispositivo (2410) de pedal, en el que la al menos una característica del charco (2730) de soldadura virtual es preferiblemente una o más de la anchura del charco (2730) de soldadura virtual y la altura del charco (2730) de soldadura virtual.
13. Sistema según una de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende además medios de presentación visual  
15            conectados operativamente al subsistema basado en procesador lógico para representar visualmente el entorno de soldeo interactivo, en el que dichos medios de presentación visual representan el charco (2730) de soldadura virtual en la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual en tiempo real; en el que preferiblemente el subsistema basado en procesador lógico está configurado para convertir el charco (2730) de soldadura virtual en un cordón de soldadura virtual durante la actividad de soldeo virtual, en el que la indicación de que la herramienta de soldeo virtual se ha contaminado debido a la intersección corresponde a la representación del cordón de soldadura virtual en los medios de presentación visual como que tiene uno o más defectos.  
20
14. Sistema según una de las reivindicaciones 9 a 13, en el que se simula que la herramienta (2810) de soldeo de práctica y la herramienta de soldeo virtual correspondiente incluyen un electrodo de wolframio no consumible; y/o en el que puede ajustarse la posición sobresaliente de la herramienta de soldeo de práctica; y/o que comprende además un selector de flujo de gas seleccionable por el usuario montado en la  
25            herramienta de soldeo de práctica y configurado para comunicar al subsistema basado en procesador lógico que un flujo de gas simulado hacia fuera de la herramienta de soldeo virtual está apagado cuando está en una primera posición, y que el flujo de gas simulado está encendido cuando está en una segunda posición; y/o que comprende además una pluralidad de copas (2805) de flujo de gas de práctica configuradas, cada una, para fijarse a y separarse de la herramienta (2810) de soldeo de práctica, en el que  
30            cada una de las copas (2805) de flujo de gas de práctica de la pluralidad de copas (2805) de flujo de gas de práctica está configurada para simular un direccionamiento único del flujo de gas hacia fuera de la herramienta (2810) de soldeo de práctica.  
35
15. Sistema según una de las reivindicaciones 1 a 15, en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado para simular el establecimiento de un arco entre la punta de la herramienta de soldeo virtual y la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual cuando un usuario toca con la punta de la  
40            herramienta (2810) de soldeo de práctica la probeta de ensayo de soldeo de práctica y retira la punta de la herramienta de soldeo de práctica de la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera; y/o en el que el subsistema basado en procesador lógico está configurado para simular el establecimiento de un arco entre la punta de la herramienta de soldeo virtual y la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual cuando un usuario arrastra la punta de la herramienta (2810) de soldeo de práctica por una superficie de la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera; y/o en el que el subsistema basado en  
45            procesador lógico está configurado para simular el establecimiento de un arco entre la punta de la herramienta de soldeo virtual y la probeta (2740) de ensayo de soldeo virtual cuando un usuario mueve la punta de la herramienta (2810) de soldeo de práctica hacia la probeta de ensayo de soldeo de práctica de determinada manera, sin tocar la probeta de ensayo de soldeo de práctica con la punta de la herramienta (2810) de soldeo de práctica.  
50

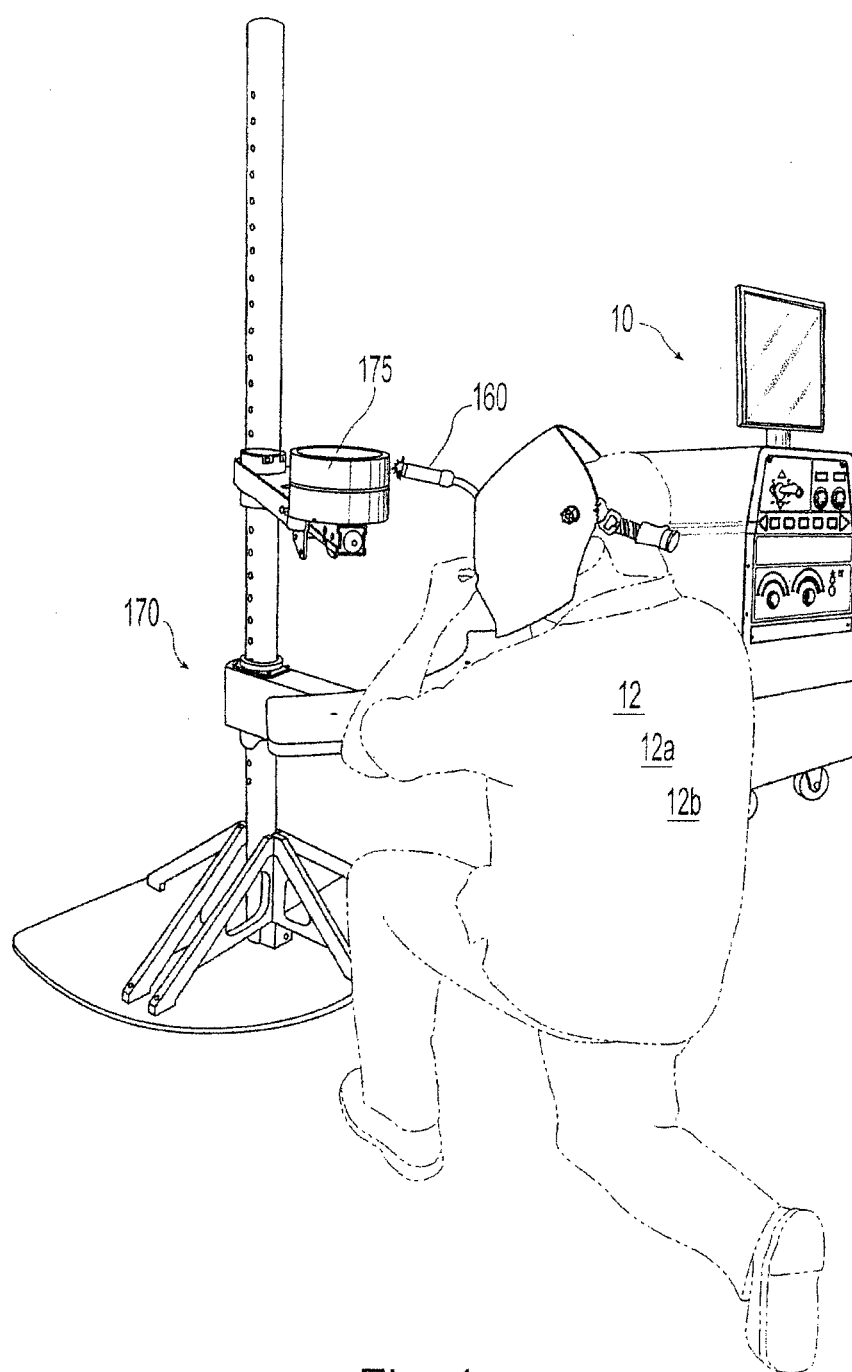


Fig. 1

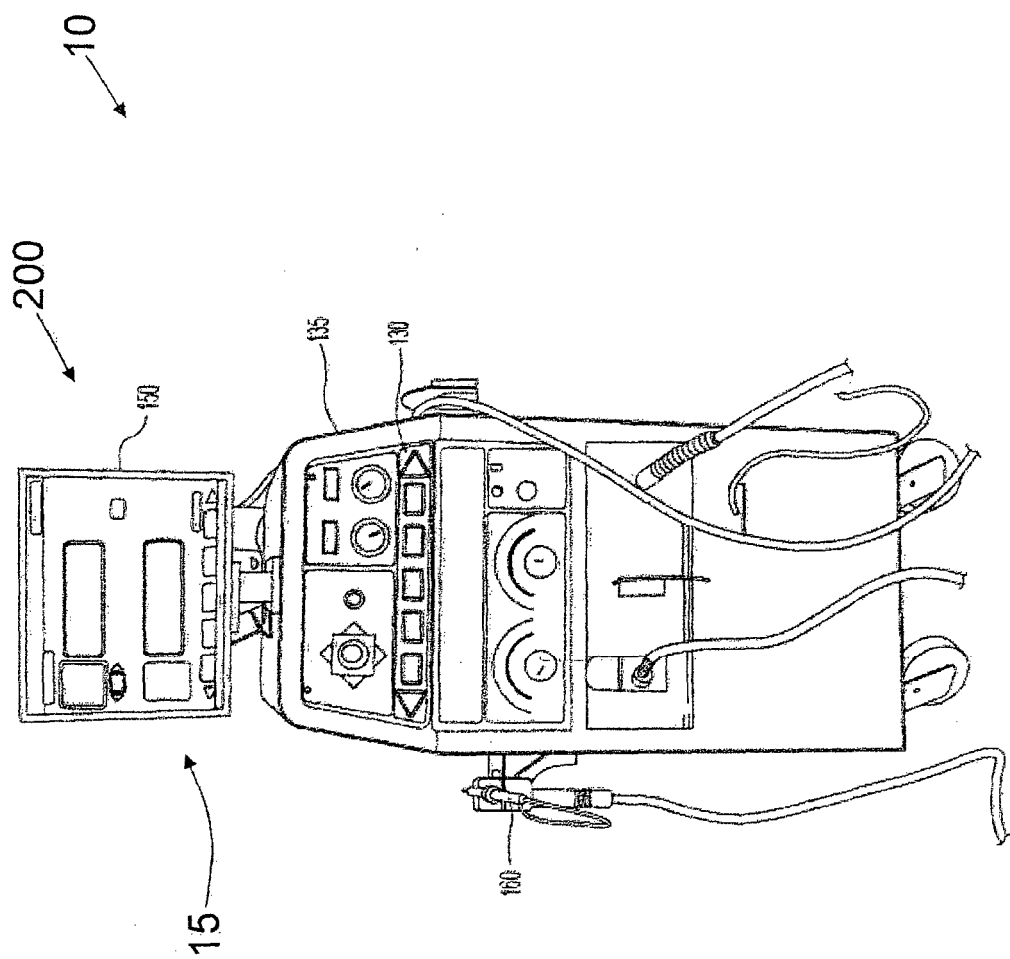
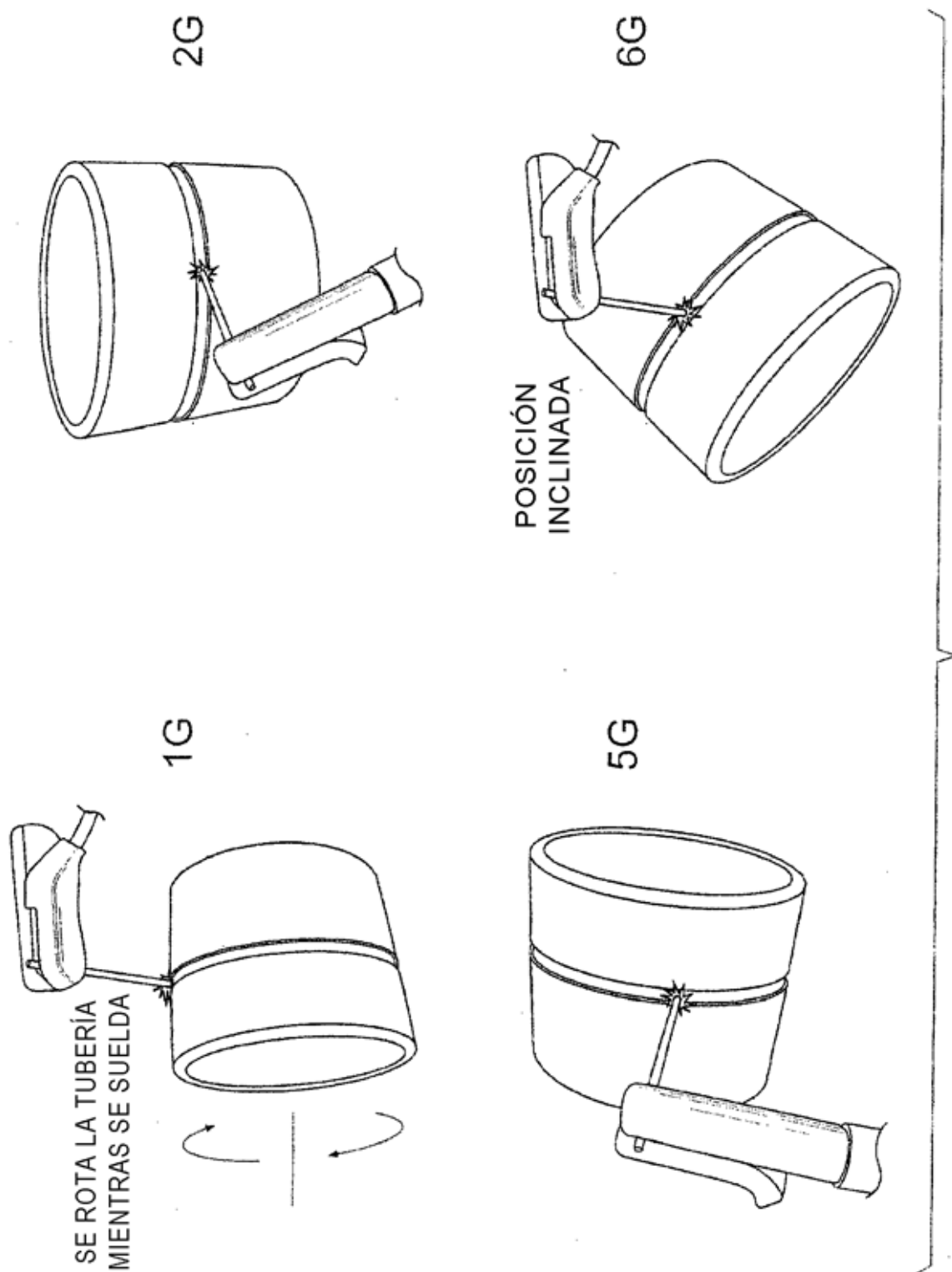


Fig. 2



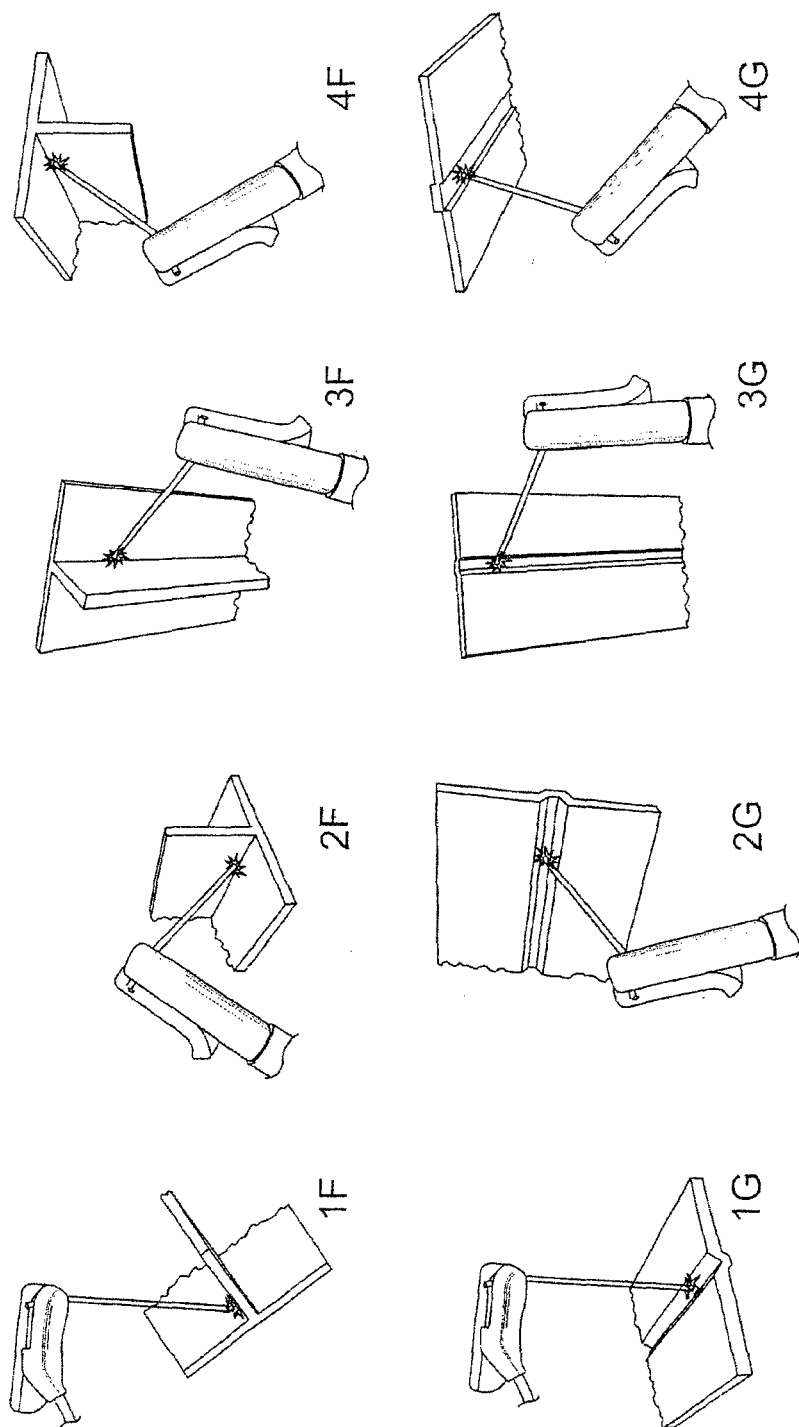
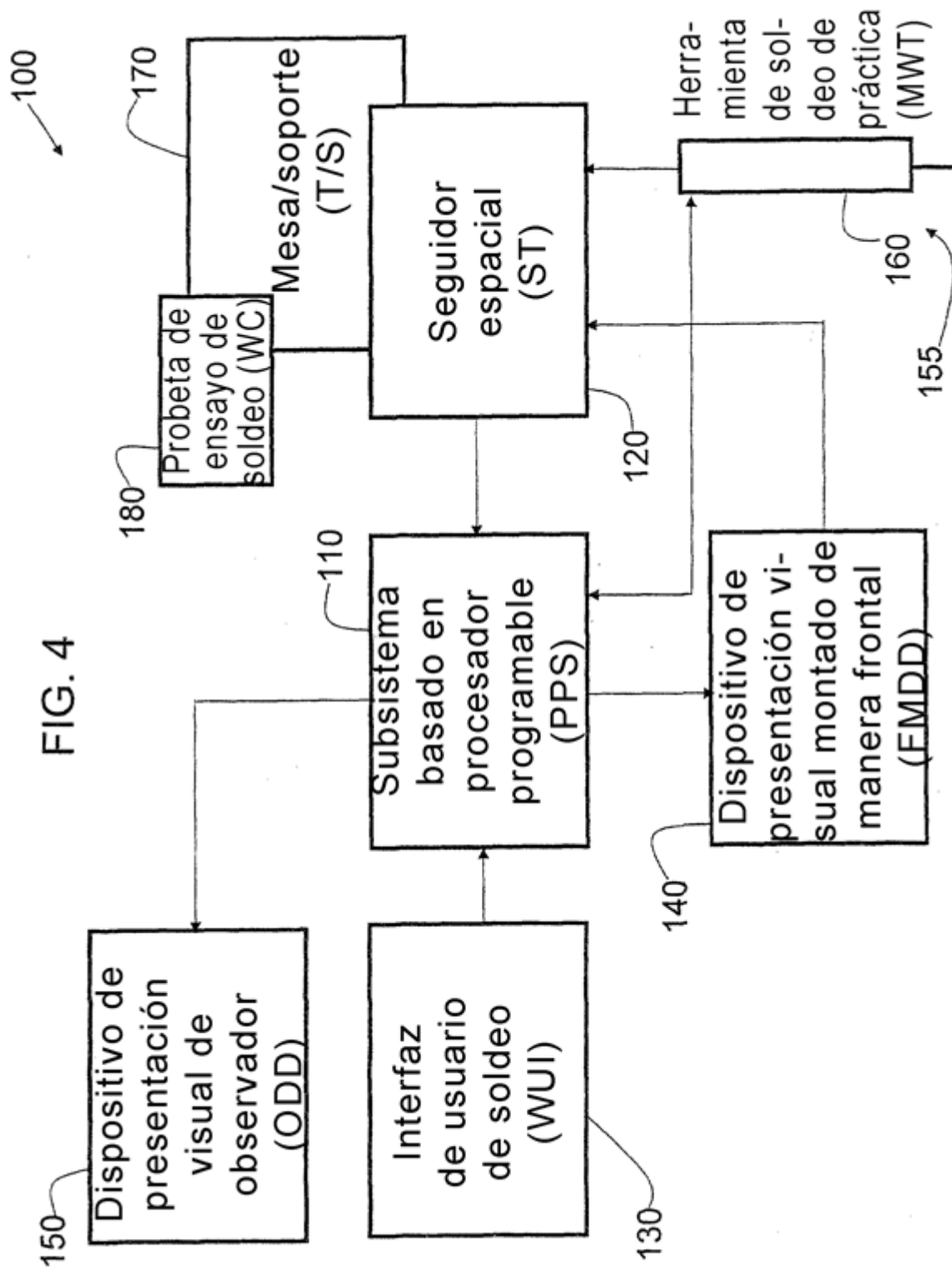


Fig. 3b



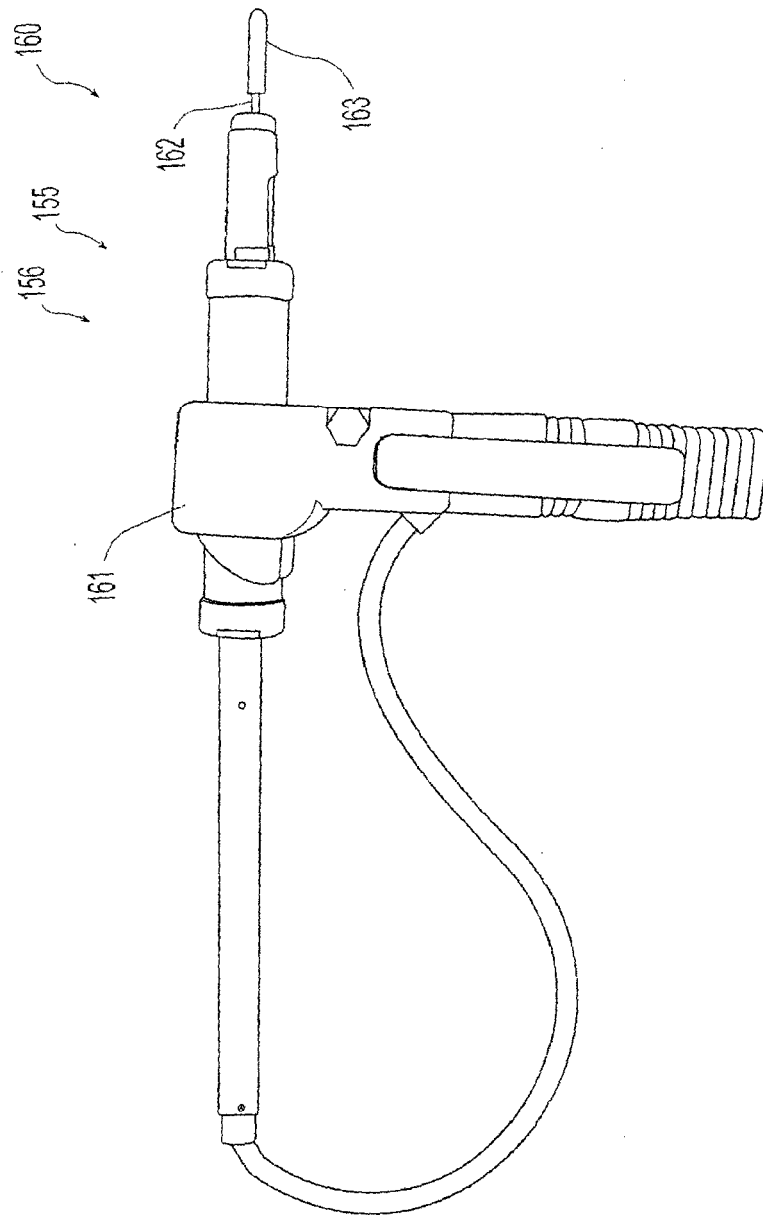


Fig. 5

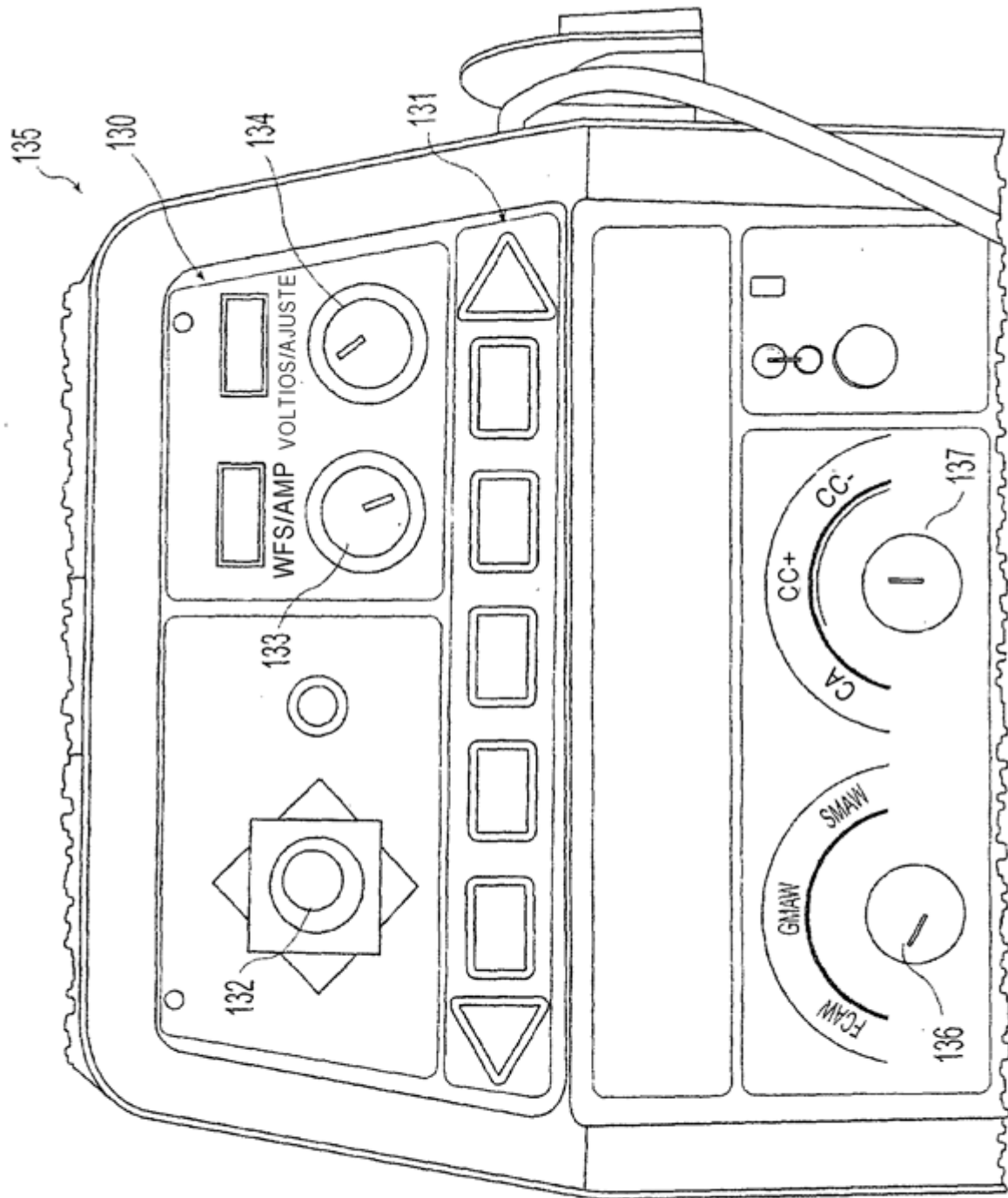
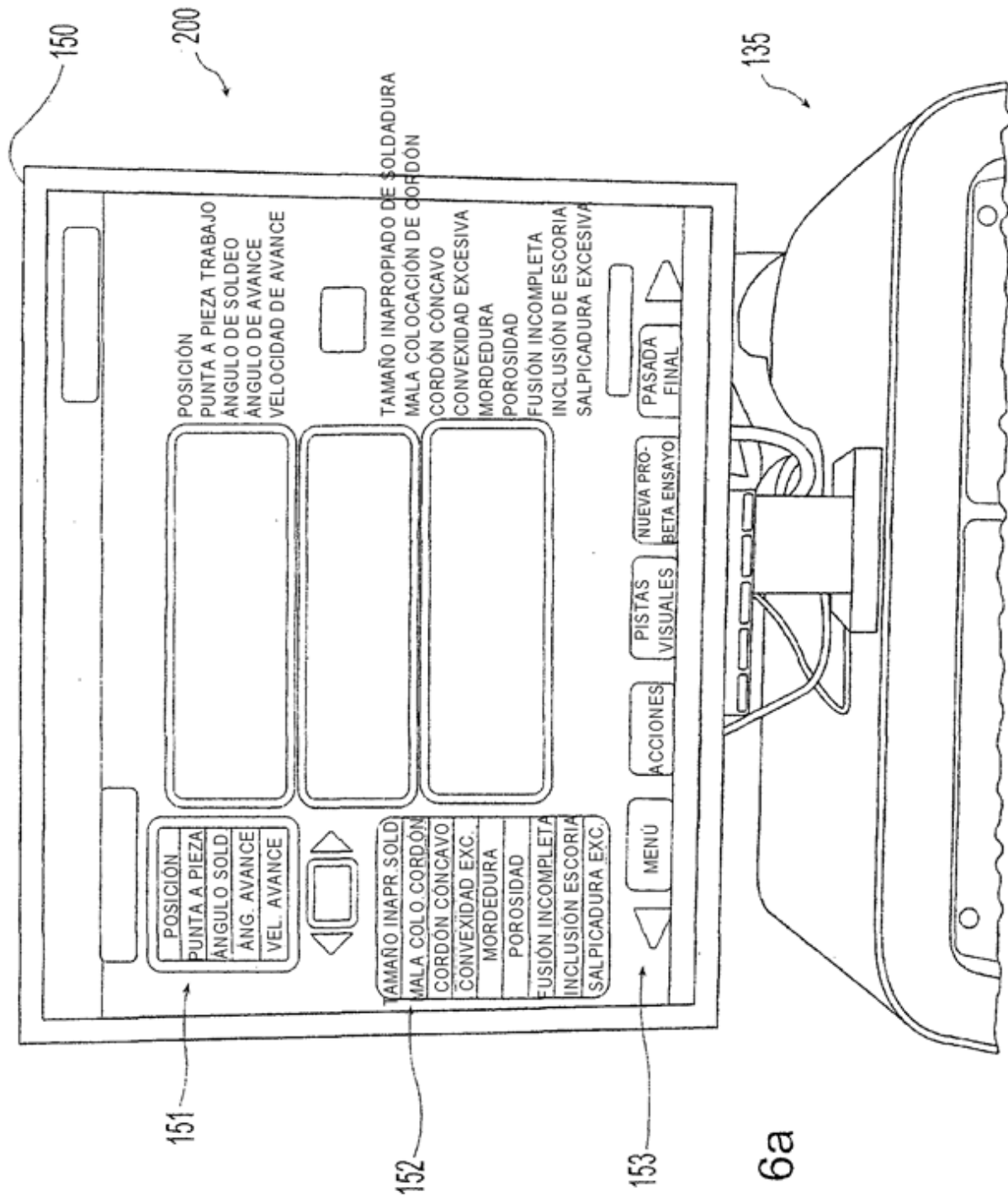
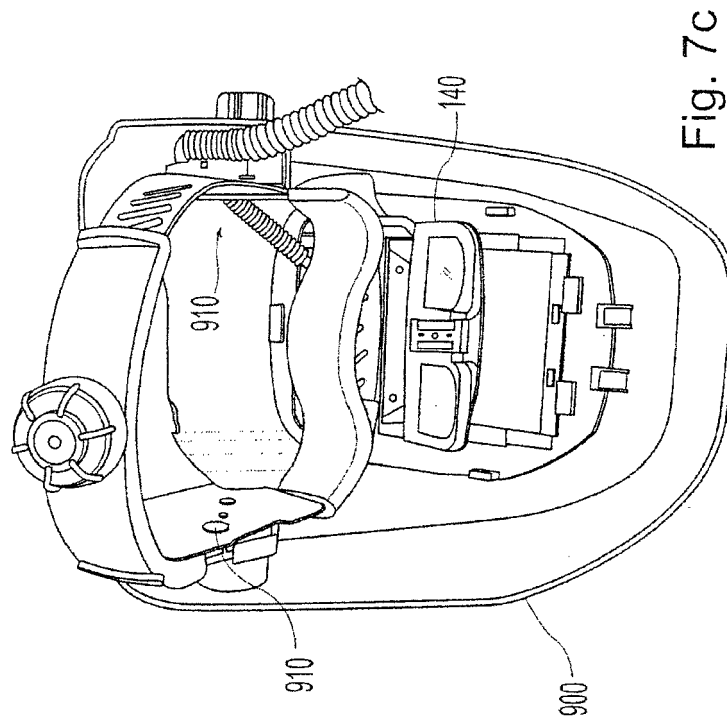
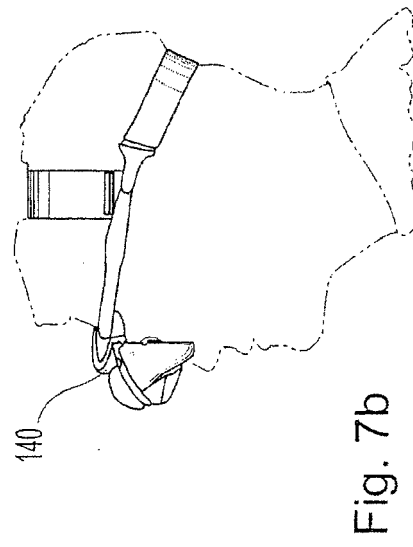
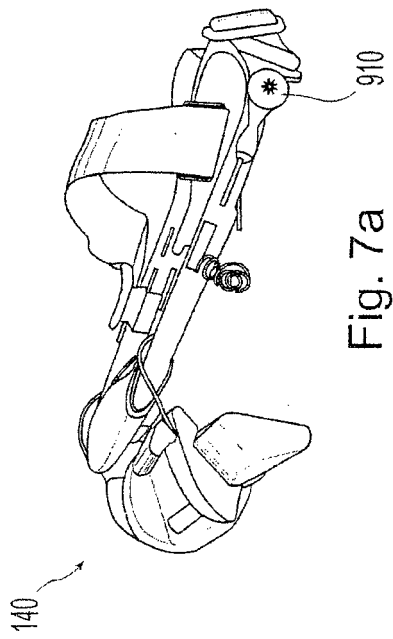


Fig. 6







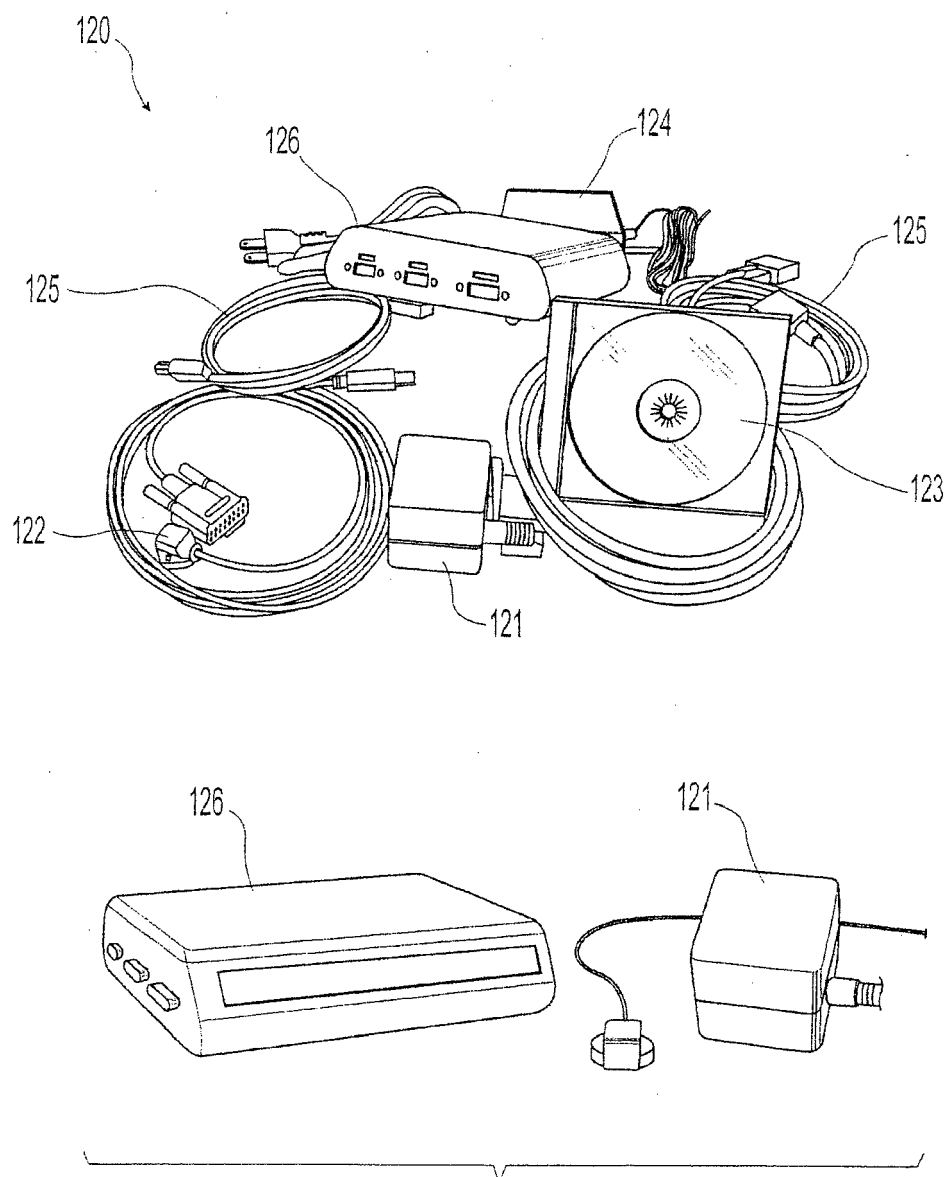


Fig. 8

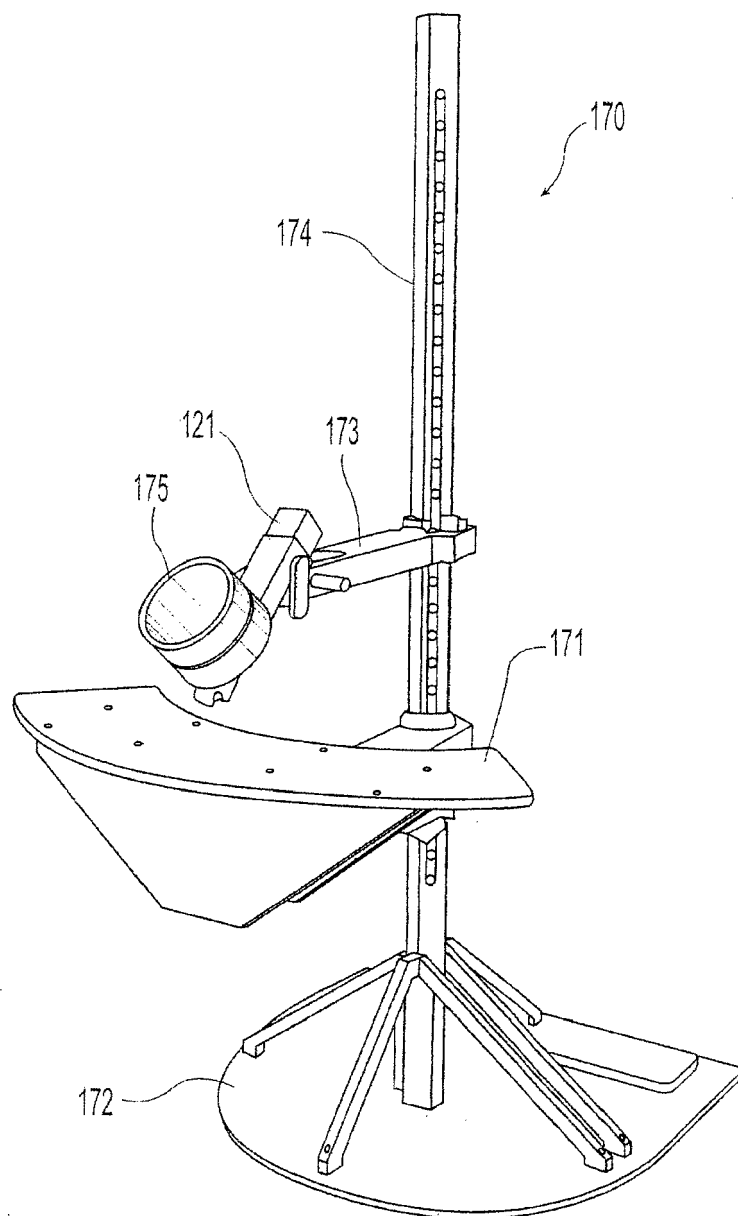


Fig. 9

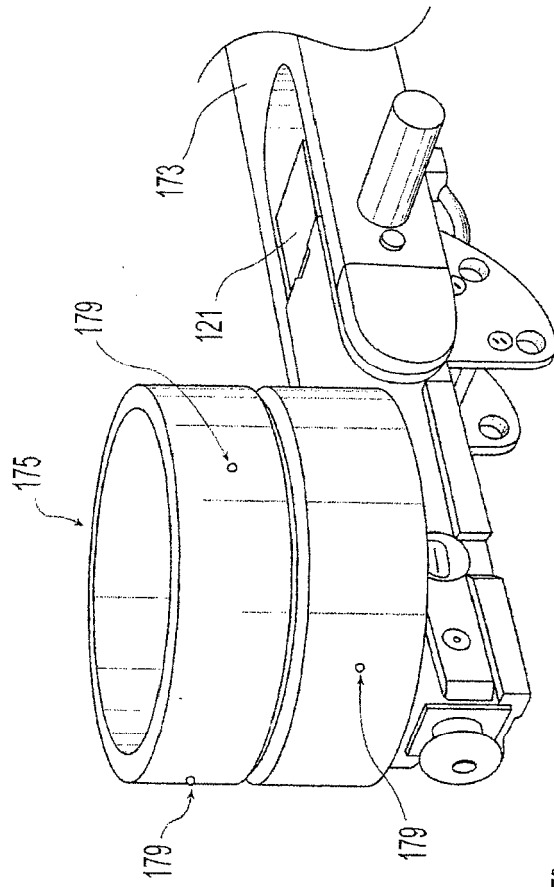


Fig. 9b

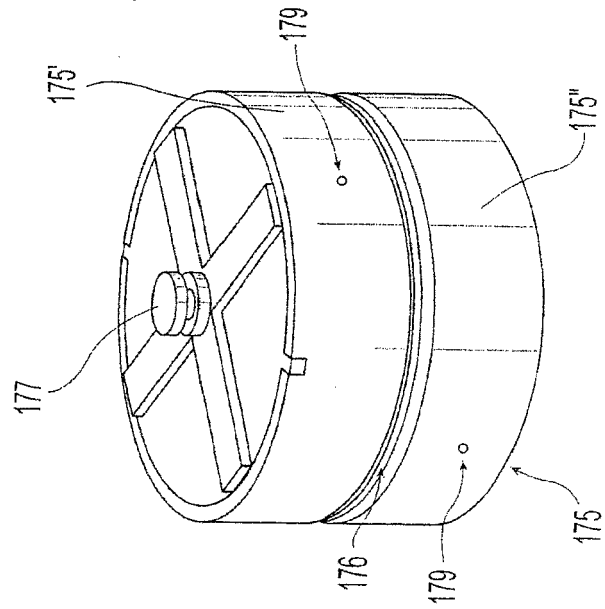


Fig. 9a

FIG. 10

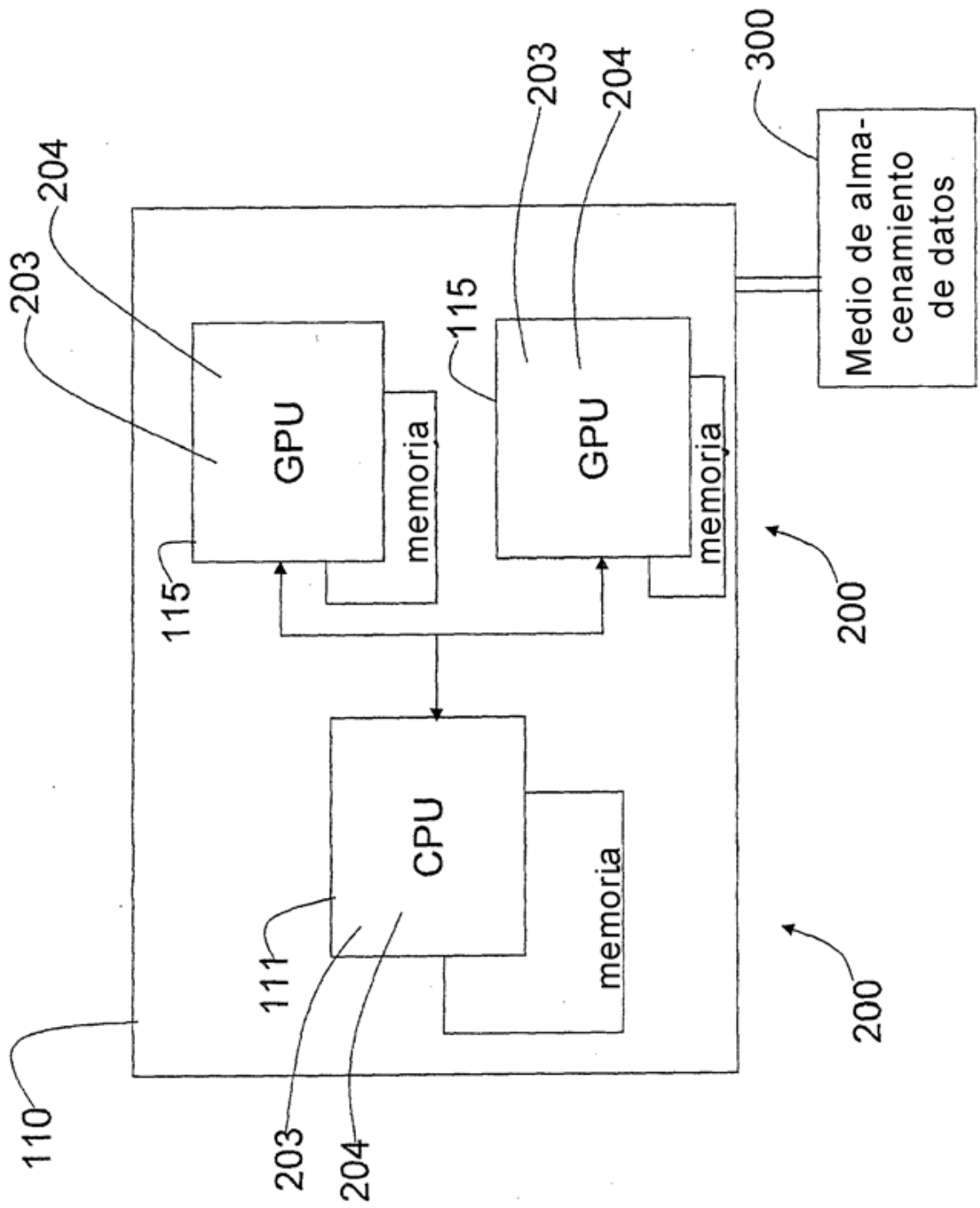
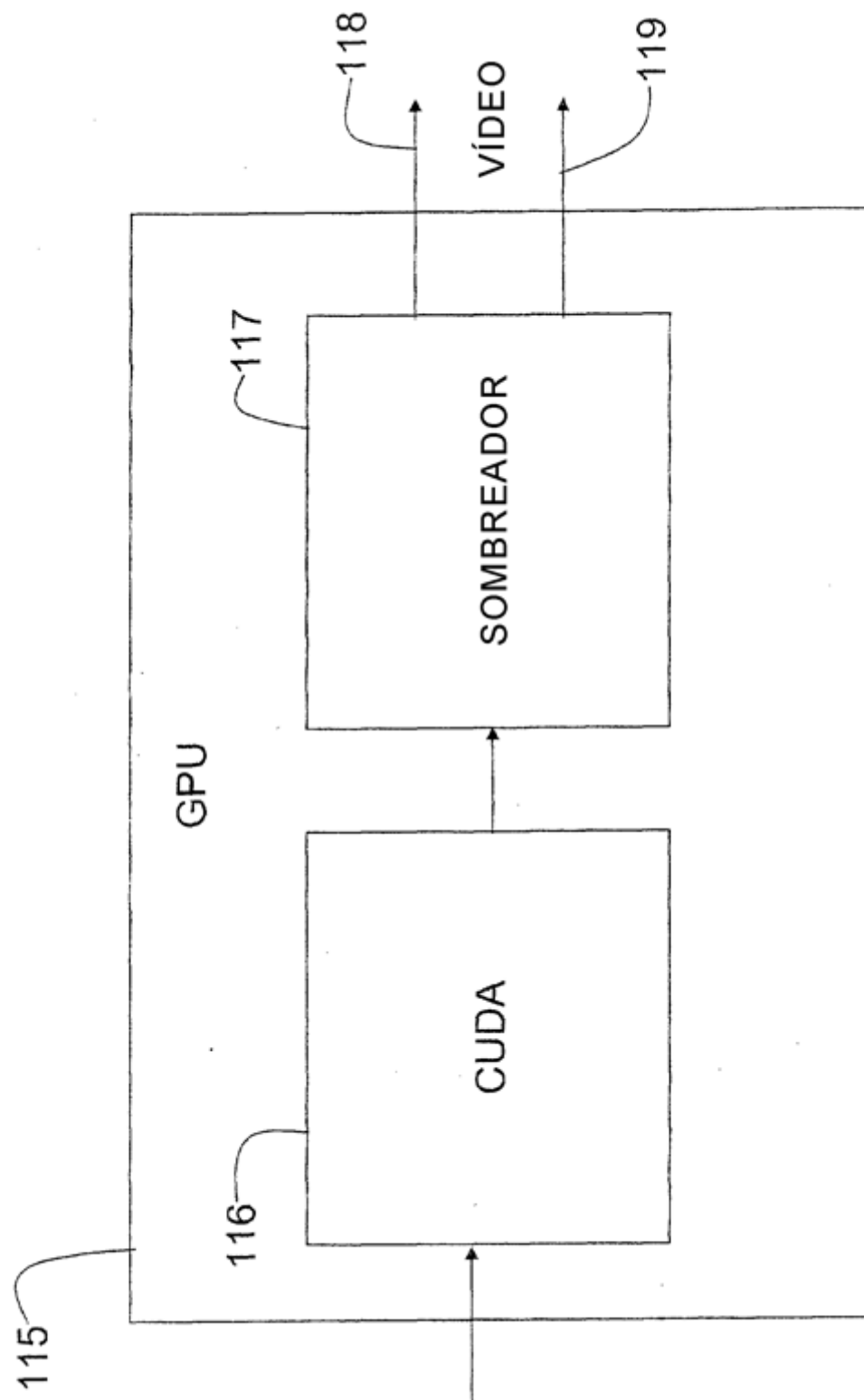


FIG. 11



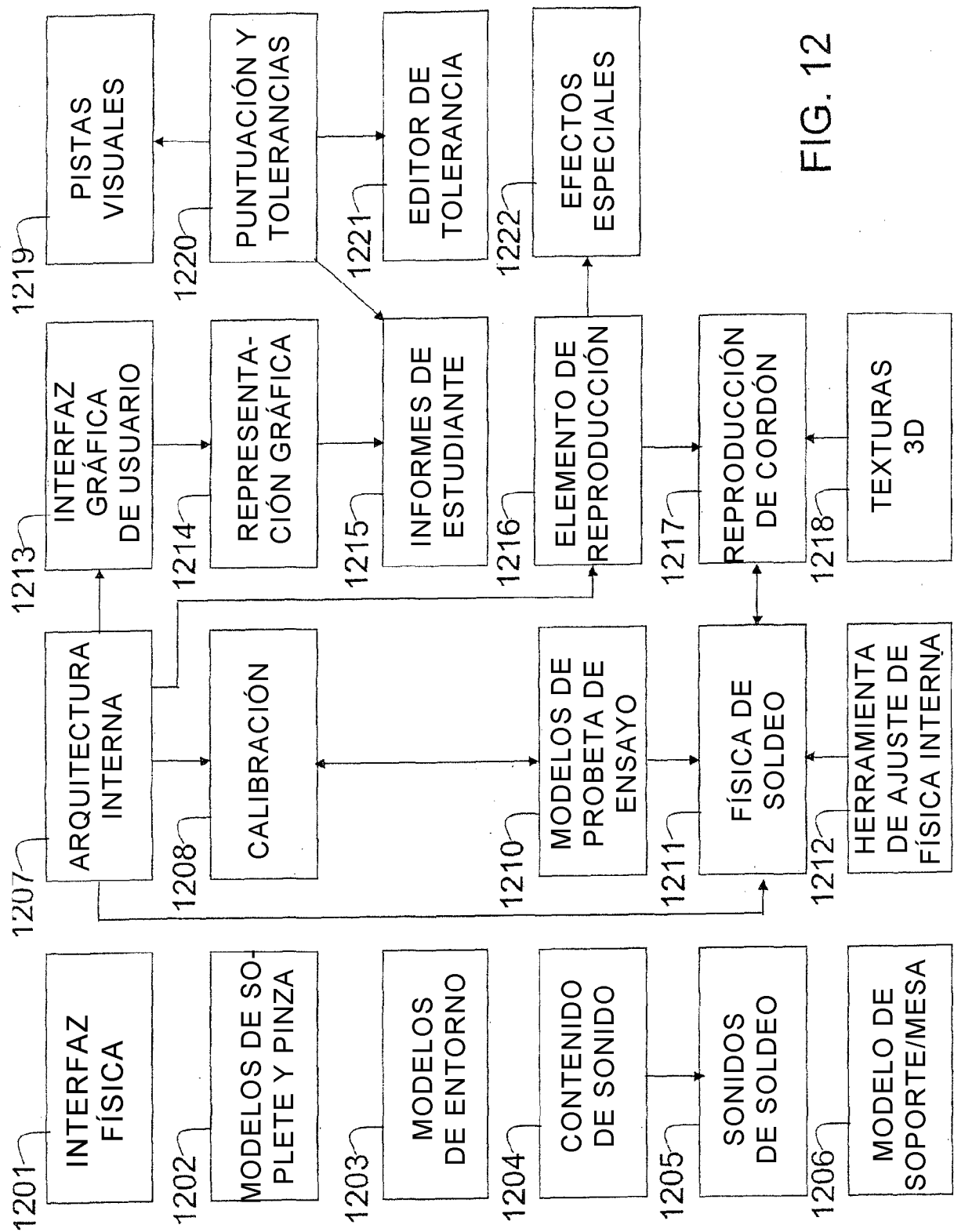
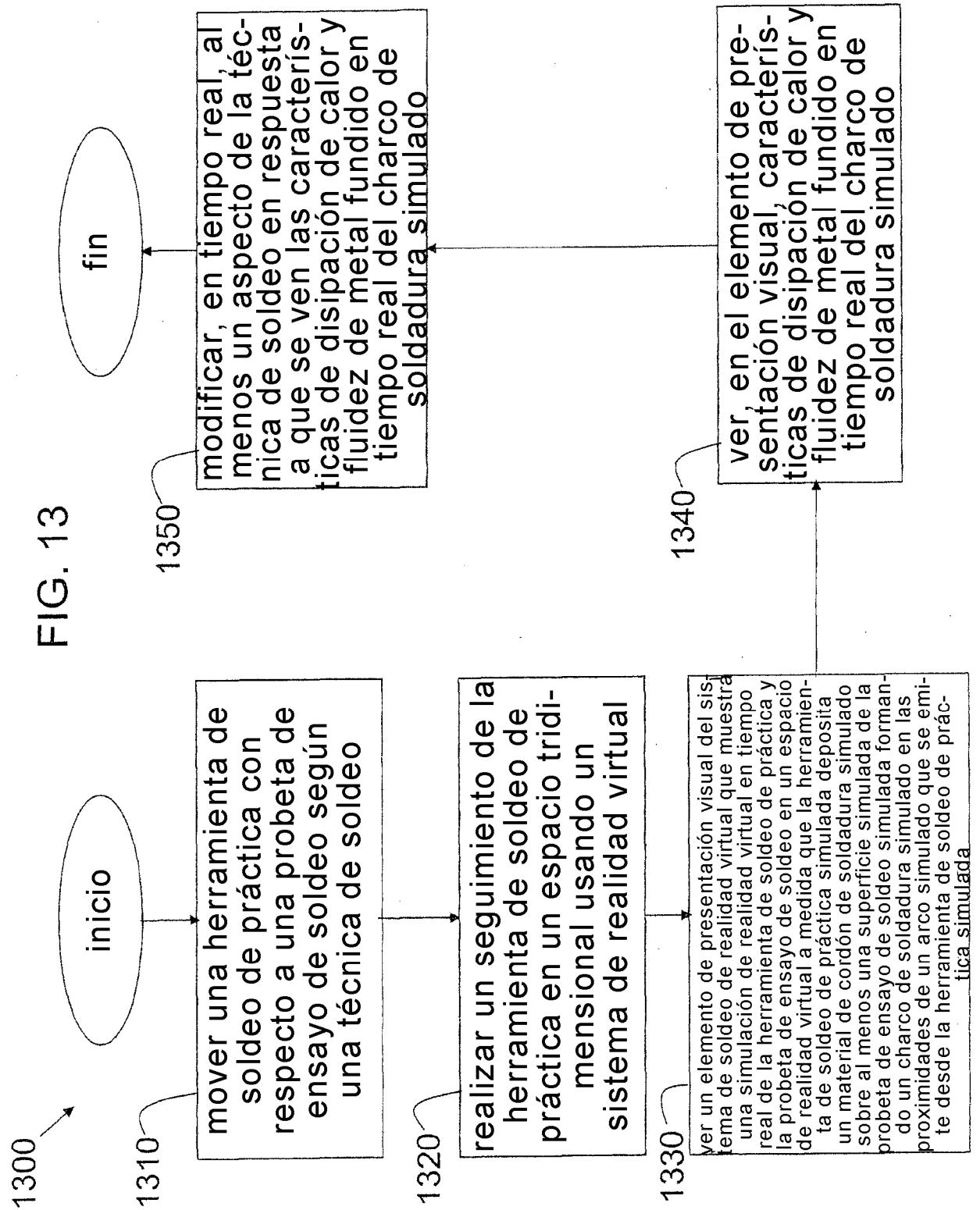


FIG. 12





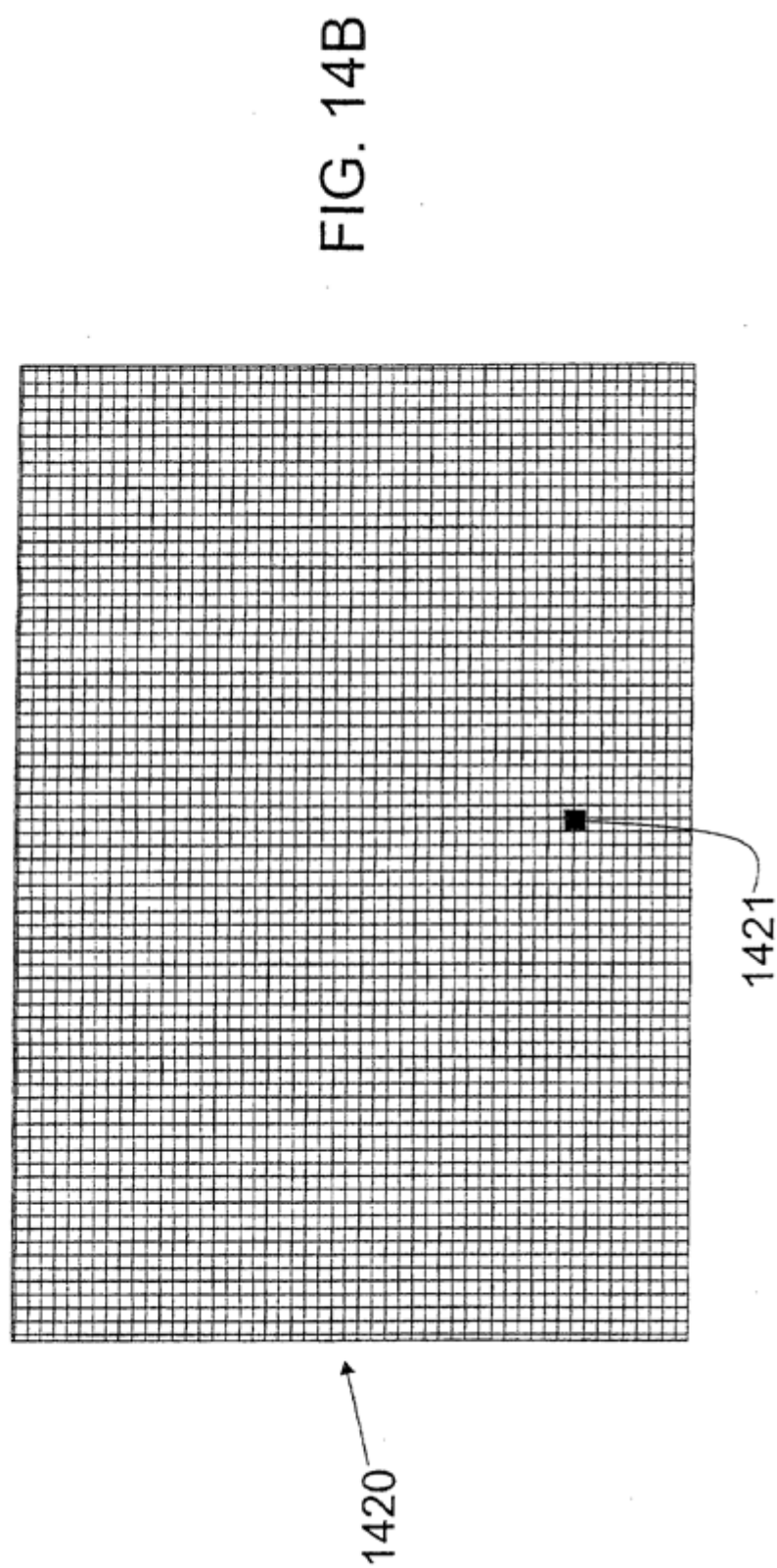
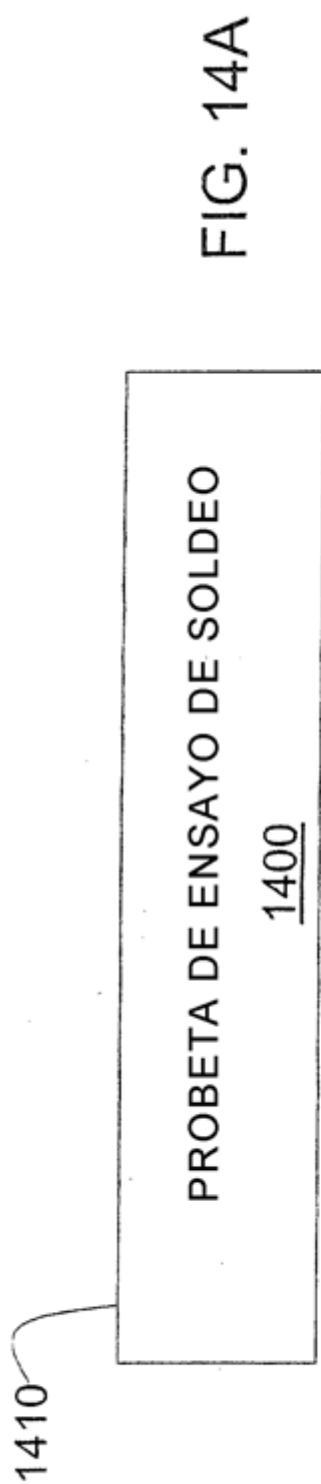
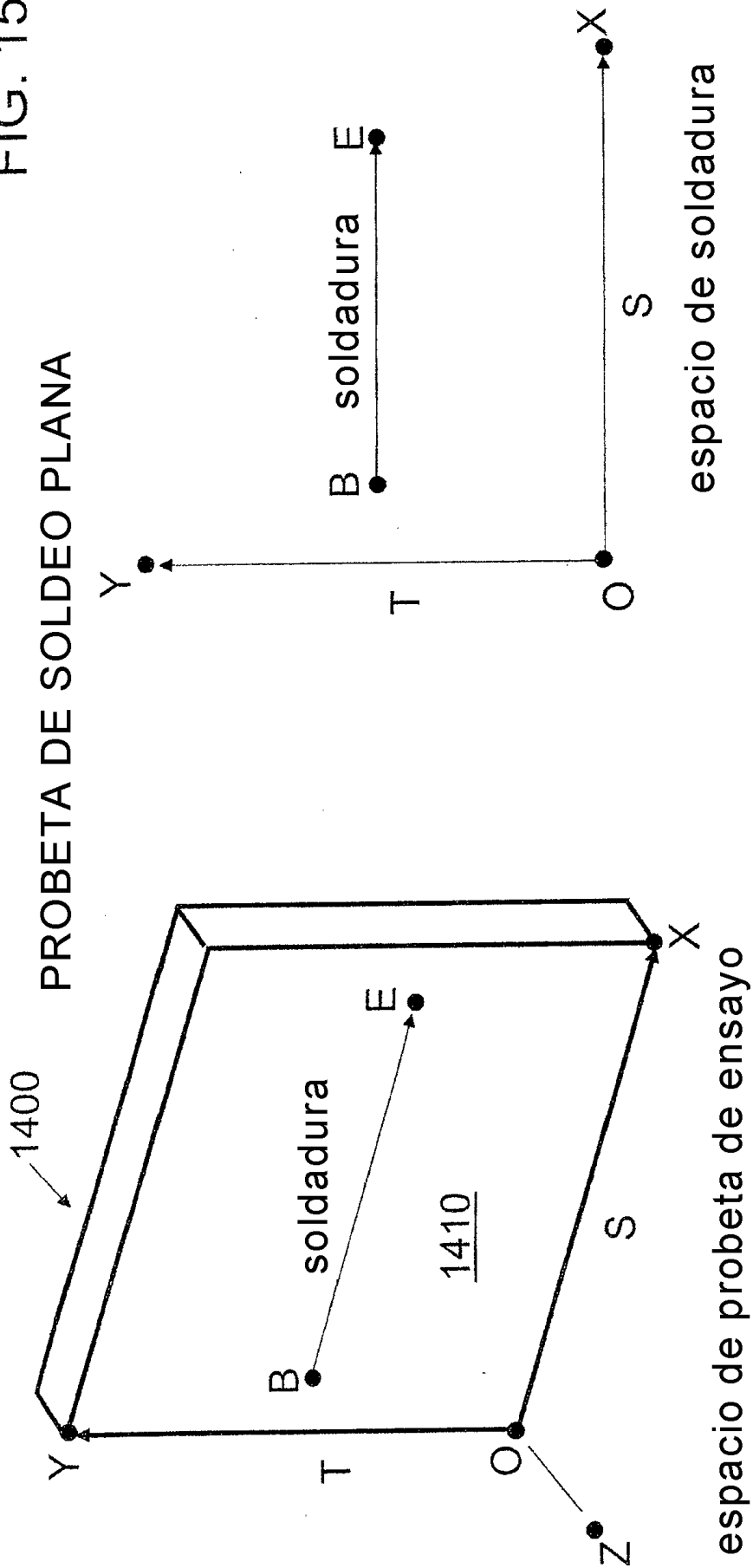


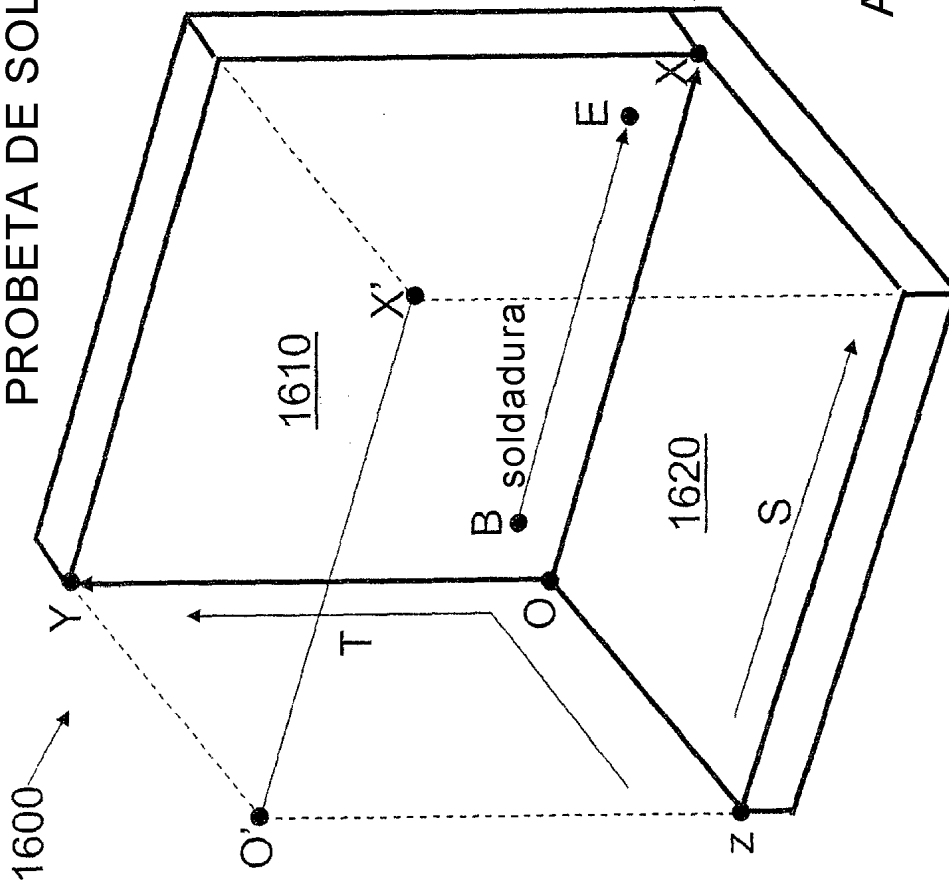
FIG. 15



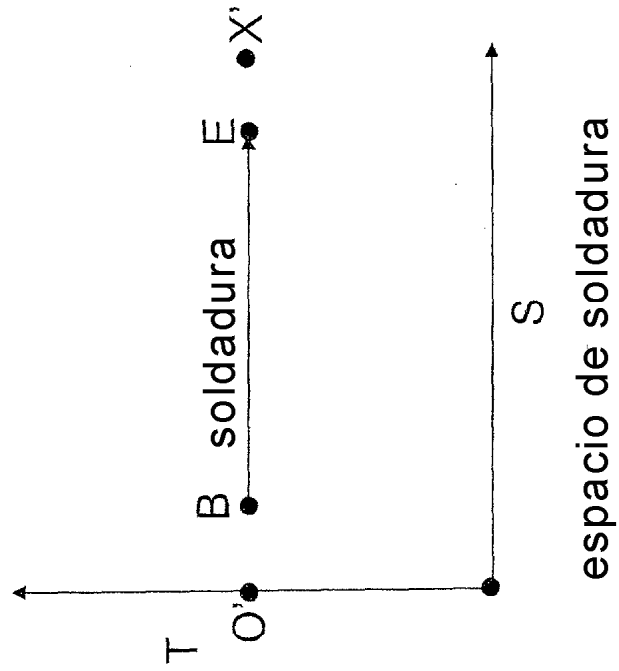
$$\begin{aligned} \text{Anchura} &= |X-O| \\ \text{Altura} &= |Y-O| \\ \text{Desplazamiento} &= |Z-O| \end{aligned}$$

FIG. 16

PROBETA DE SOLDEO DE ESQUINA



espacio de probeta de ensayo



espacio de soldadura

$$\text{Anchura} = |X-O|$$

$$\text{Altura} = |Y-O| + |Z-O|$$

$$O' = Z + Y - O$$

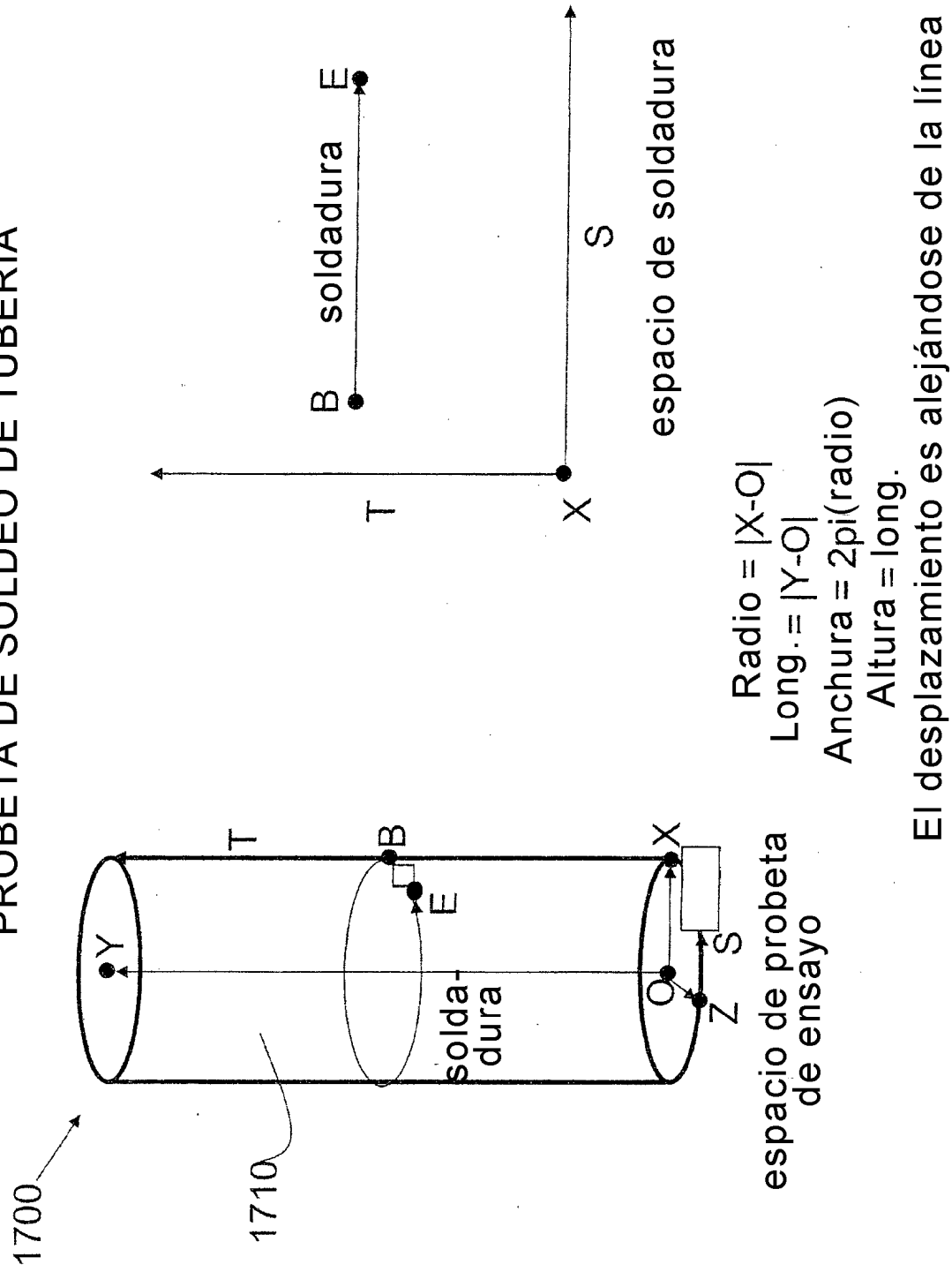
$$X' = O' + X - O$$

El desplazamiento es hacia la línea

$$\overline{X'-O'}$$

# PROBETA DE SOLDEO DE TUBERÍA

FIG. 17



$$\overline{Y-O}$$

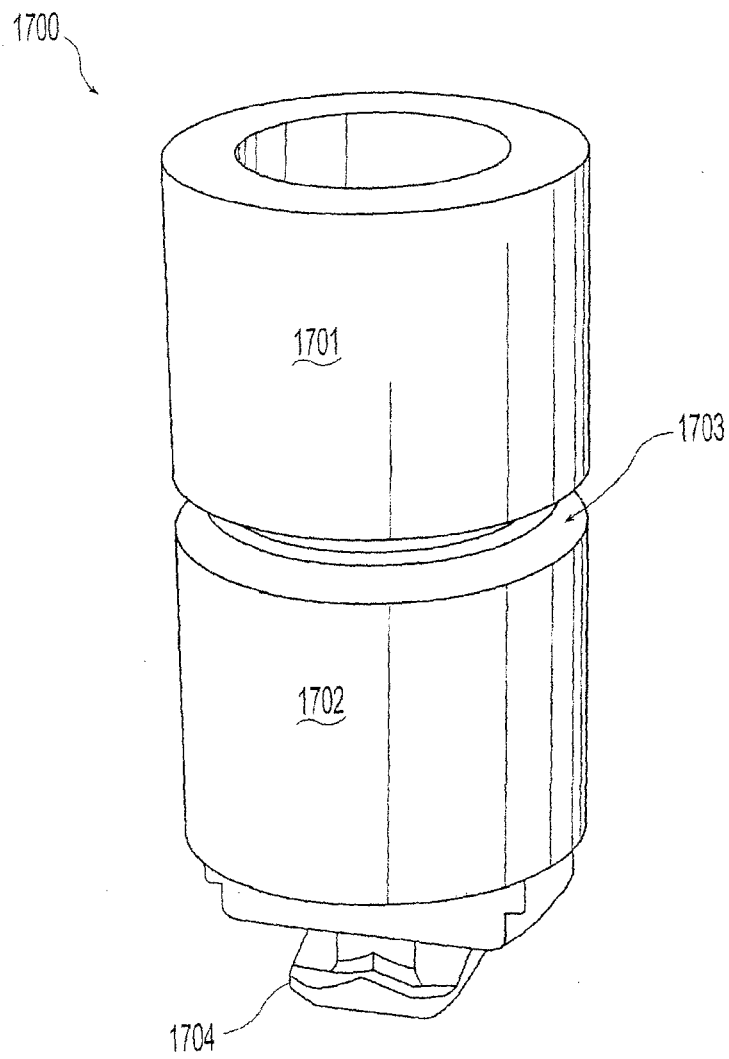


Fig. 18

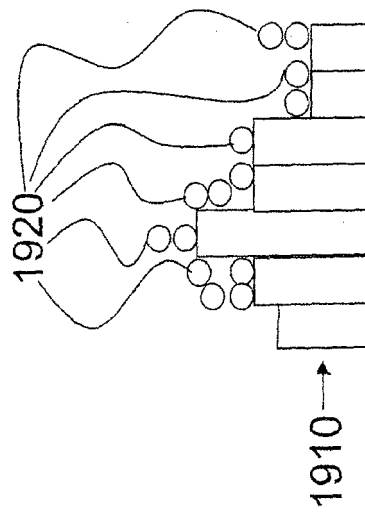


FIG. 19A

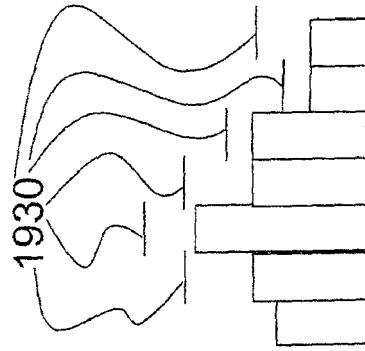


FIG. 19B

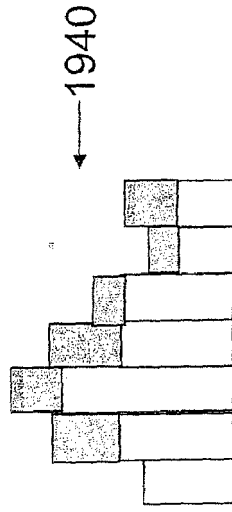


FIG. 19C

2000

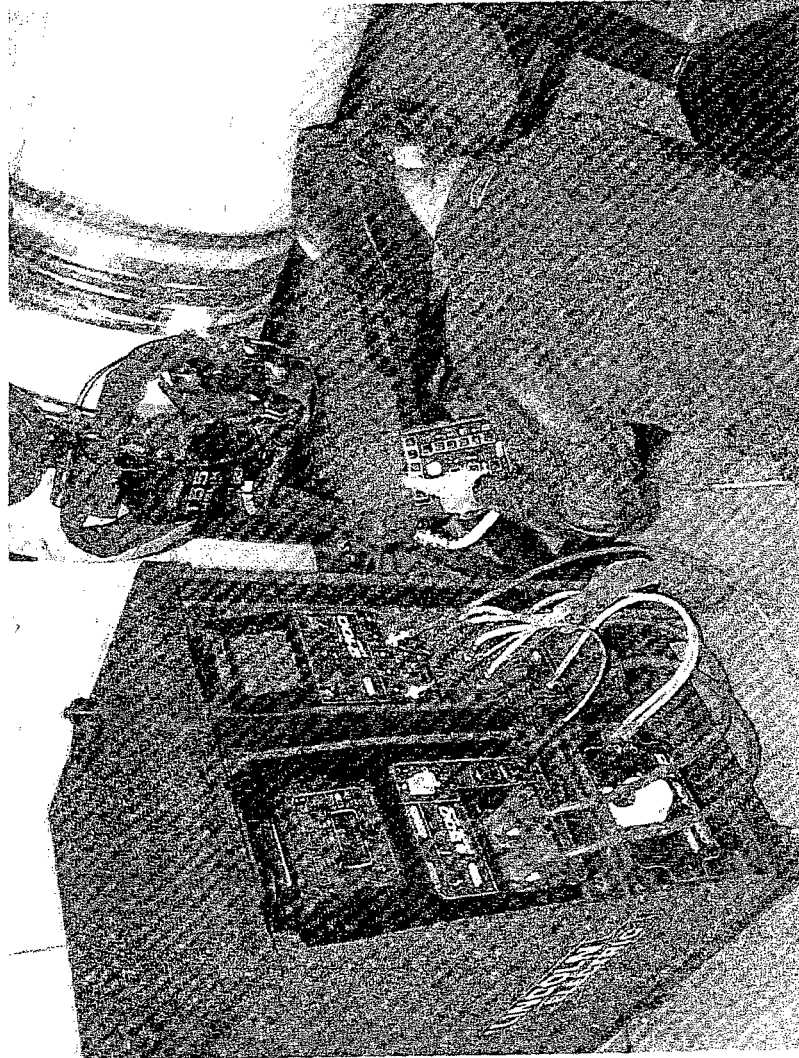


FIG. 20



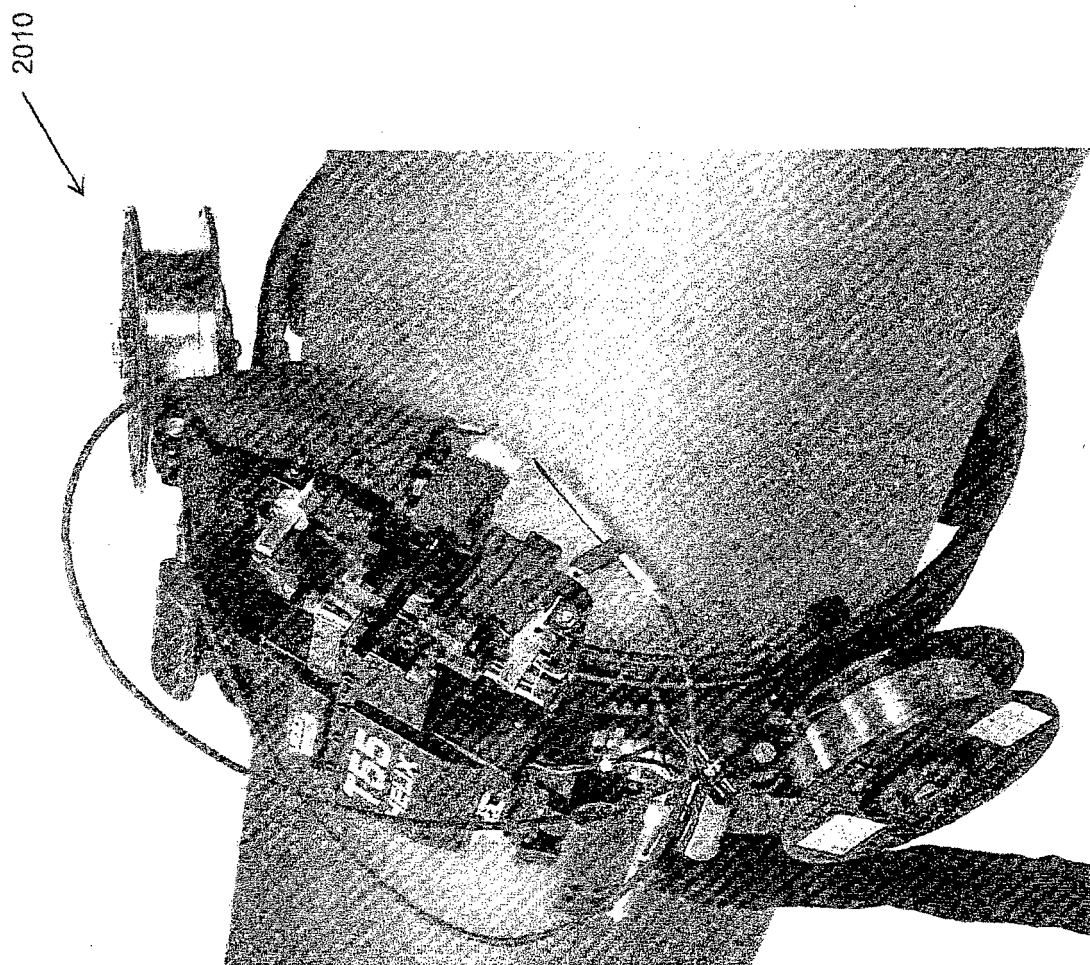
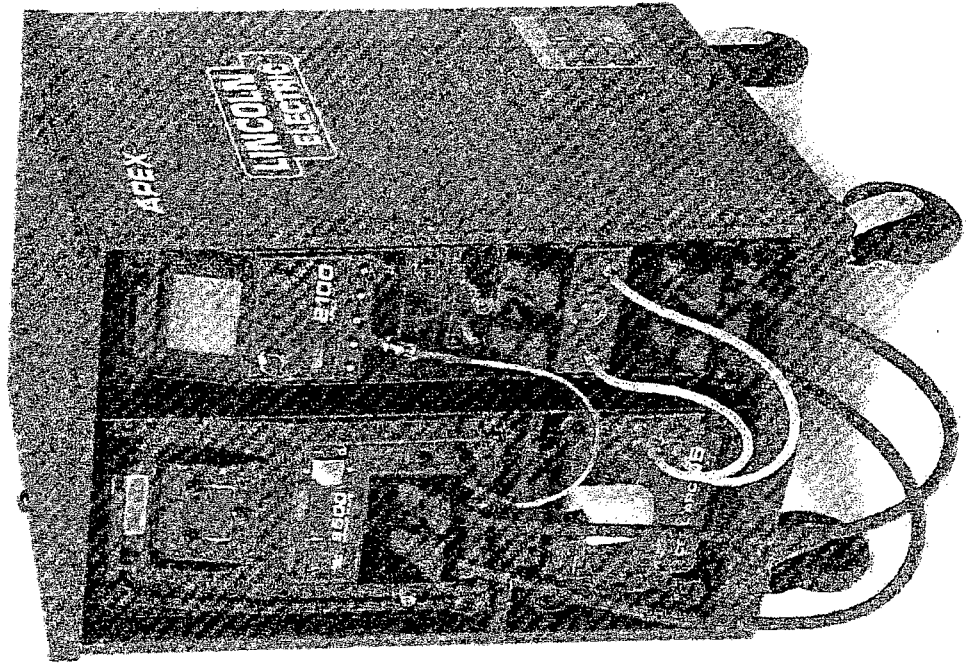


FIG. 21

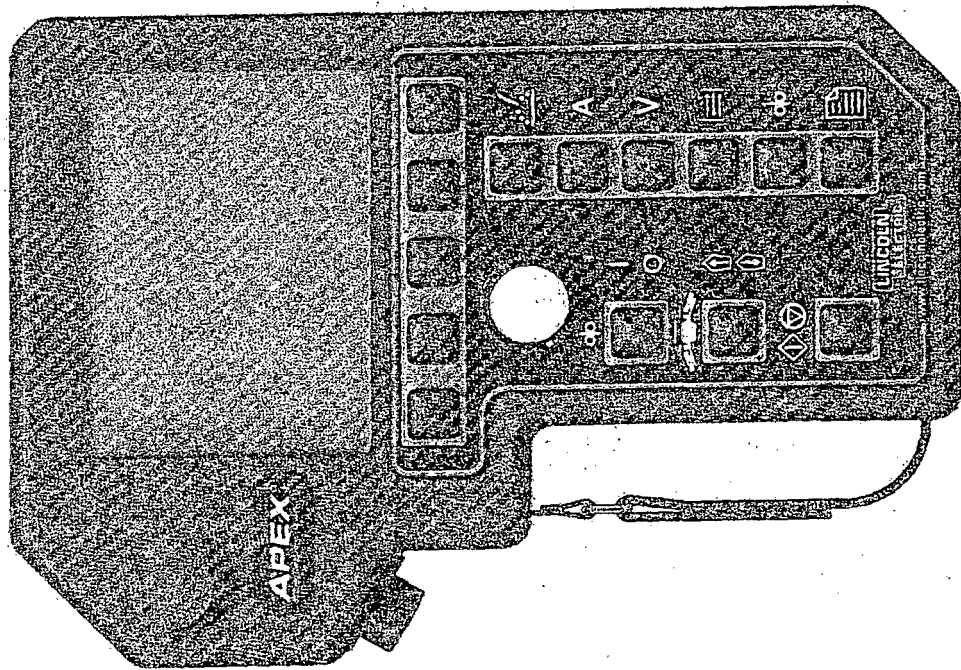
2020  
↙

FIG. 22



2030

FIG. 23



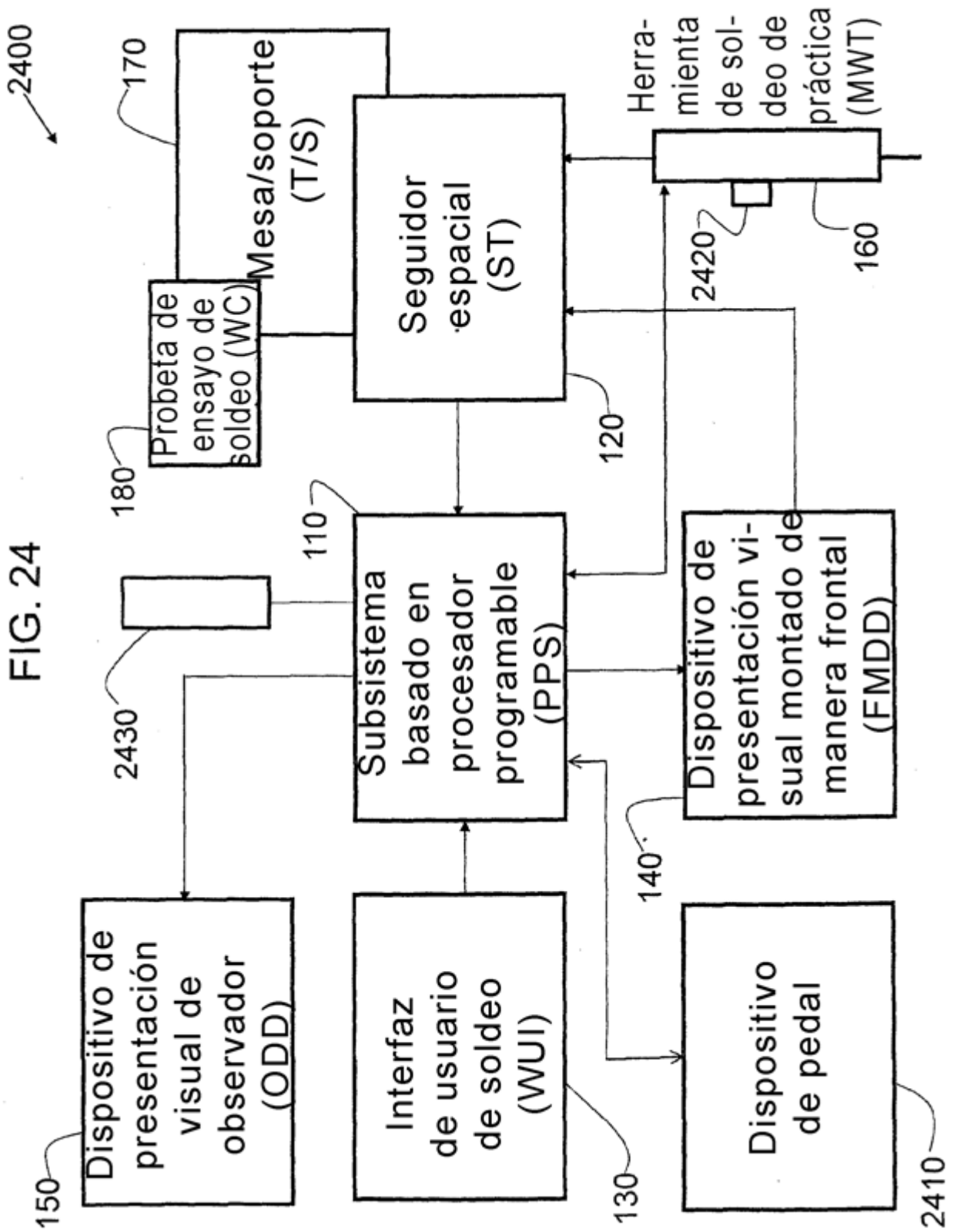
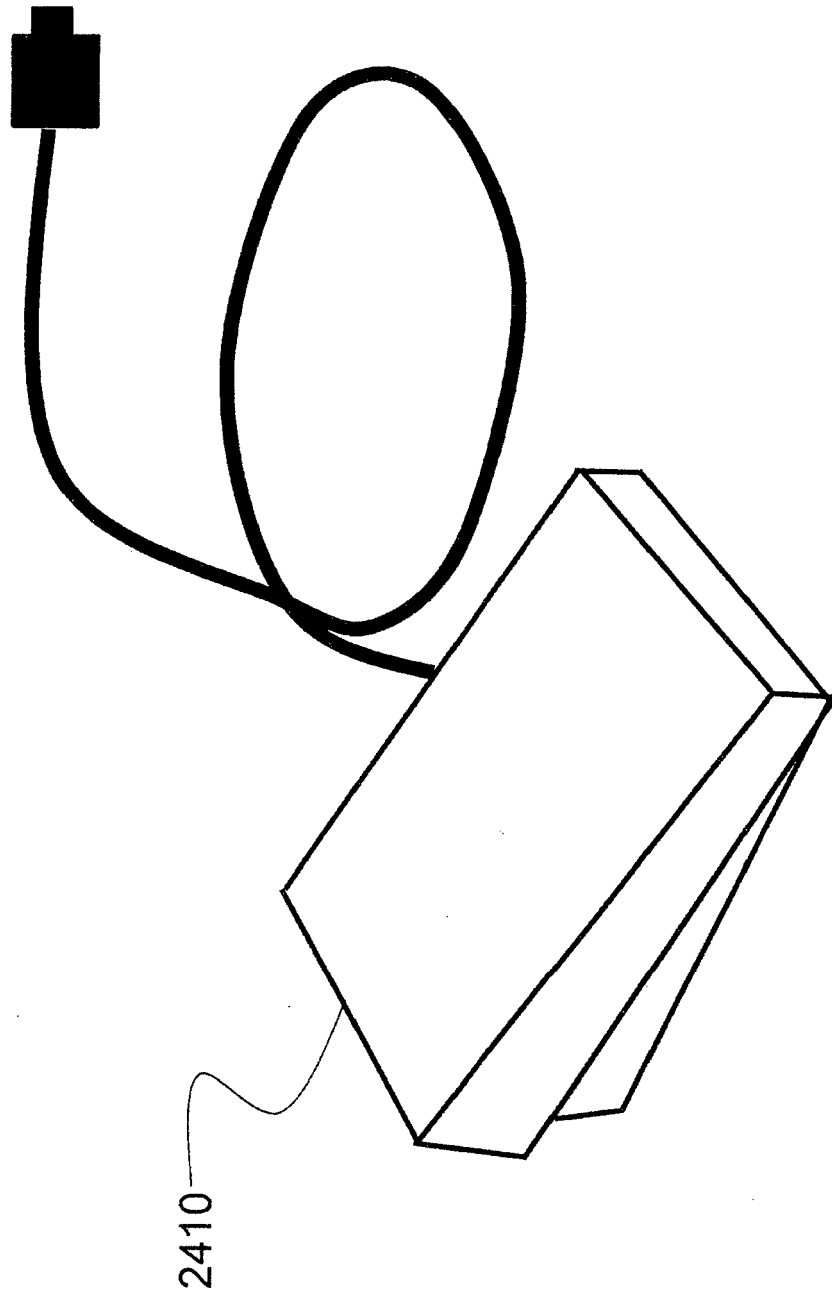


FIG. 25



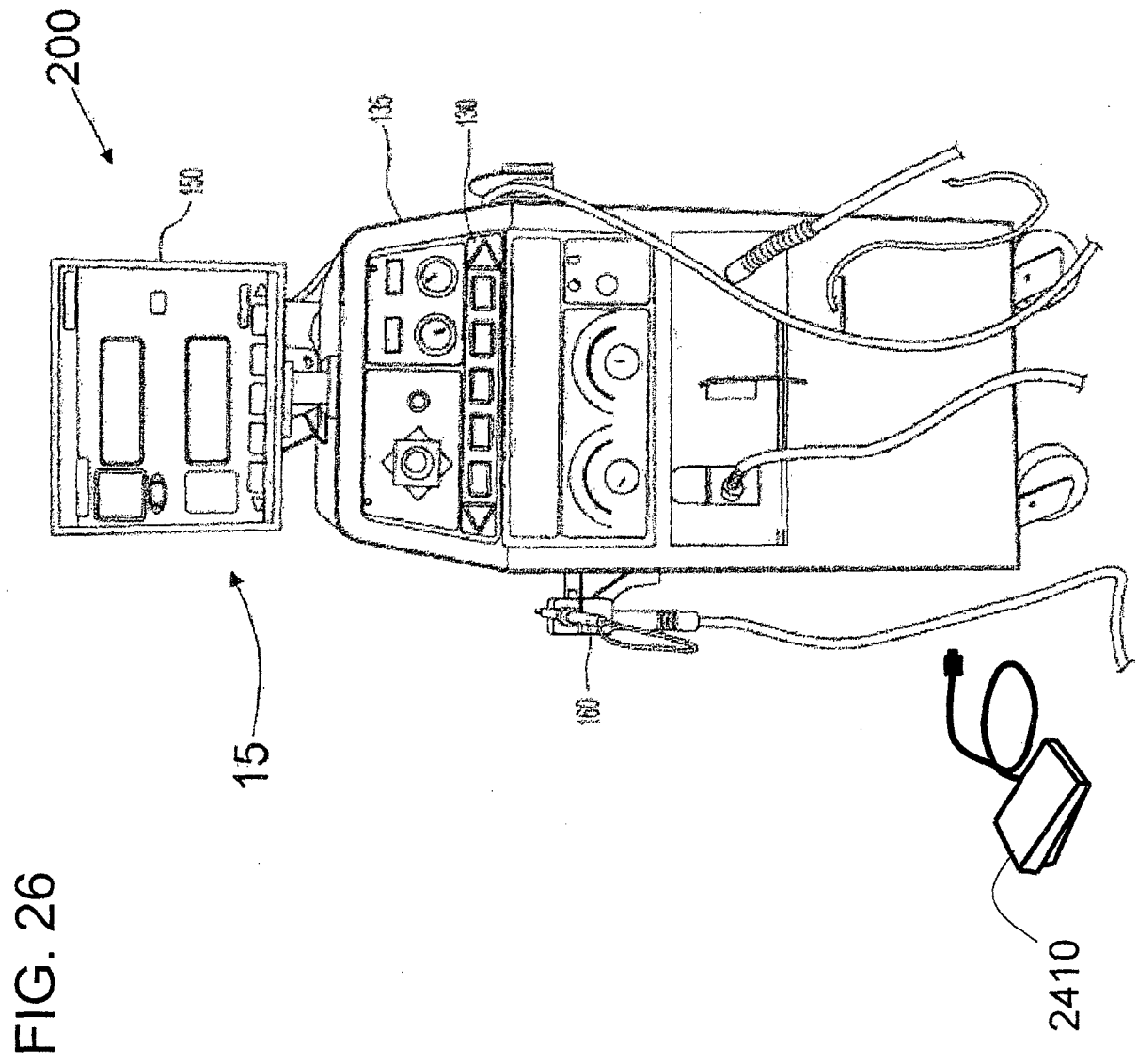


FIG. 27

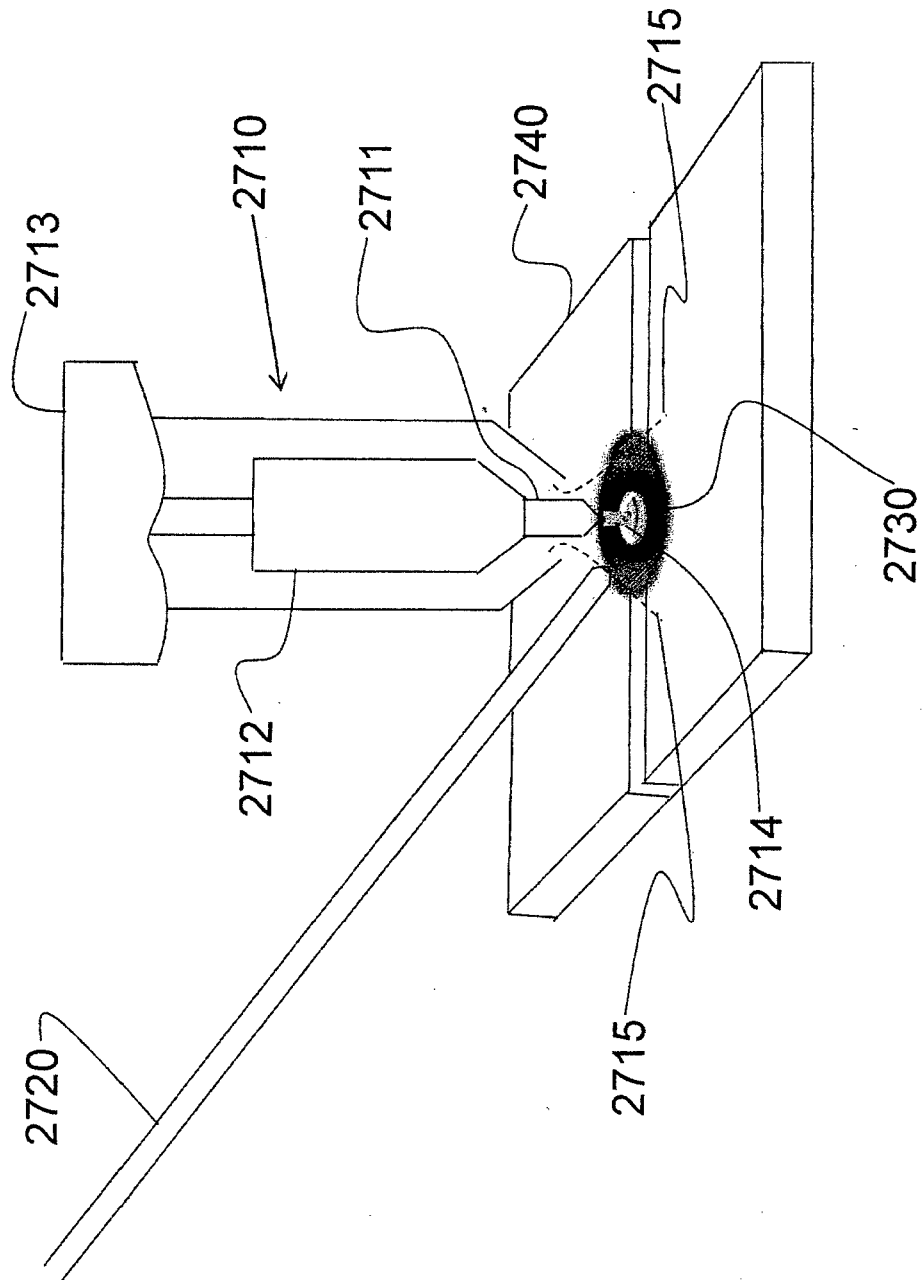


FIG. 28

