

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 793**

51 Int. Cl.:

G05D 7/06 (2006.01)

G01M 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2013 E 13170717 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017 EP 2672246**

54 Título: **Métodos y sistemas para el ensayo de fugas**

30 Prioridad:

05.06.2012 US 201261655624 P

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

24.10.2017

73 Titular/es:

**SCIOMETRIC INSTRUMENTS INC. (100.0%)
100-359 Terry Fox Drive
Kanata Ontario K2K 2E7, CA**

72 Inventor/es:

**BRINE, RICHARD y
SHEAFF, NATHAN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 638 793 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

Métodos y sistemas para el ensayo de fugas

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al ensayo de fugas o escapes y más concretamente a la mejora de la precisión, la velocidad y la detección del defecto.

Antecedentes de la invención

10 La comprobación del régimen de fugas es un reto de ingeniería en el que por una parte, los ingenieros deben cumplir normas de régimen de fuga estrictas en una amplia gama de productos y sistemas desde paquetes semiconductores a el empaquetamiento del producto médico en vasos de almacenamiento químico y sistemas de manipulación de líquido / gas. Por otra parte, tienen que realizar el proceso de comprobación de fugas a bajo coste e independiente del operador, aunque en muchas aplicaciones realizando el proceso automático y rápido dado que esta etapa puede convertirse, en caso contrario, en un cuello de botella de la fabricación. Para afrontar estas demandas en conflicto los ingenieros deben entender todos los aspectos de los procesos de ensayo de fugas. También es importante que se entienda qué es una fuga de producto. Este término común no está siempre bien definido pero es básicamente un flujo de material procedente o sobre un producto (un volumen de control) dentro de un periodo predeterminado de tiempo que supera un límite permisible. Las fugas de producto son causadas típicamente por trayectorias de flujo abiertas, tales como agujeros pequeños, juntas de obturación rotas o porosidad del material y en la mayoría de los casos la fuga de producto es un flujo muy pequeño. Este proceso de cuantificación de una fuga de producto y eliminación de productos en base a la fuga medida se conoce como ensayo de fugas. En las industrias farmacéuticas, médicas y de alimentación, se denomina ensayo de integridad del envase o de la junta de obturación.

25 El ensayo de fugas requiere la medida precisa de caudales muy pequeños de gas o líquido dentro de lo que puede en algunos casos estar compuesto por un gran volumen o en otros rápidamente. Típicamente medido como un caudal, tal como centímetros cúbicos estándar por minuto (sccm) o centímetros cúbicos de helio por segundo (cc/s He) y milibar litros por segundo (mbar.l / s) y puede, de acuerdo con la solicitud, estar comprendido entre 10^{-3} y 10^{-12} mbar.l / s. En algunos casos, el caudal de fuga es correlacionado con un "agujerito virtual" para cuantificar el tamaño de los defectos potenciales. Por ejemplo, para evitar la contaminación, un envase médico esterilizado debe ser sellado de manera que el "agujerito virtual" en el producto sea menor que el tamaño del microorganismo más pequeño (normalmente 0,2 μm de diámetro). Esta dimensión teórica de agujerito y el caudal de fuga son correlacionados entre sí.

35 Independientemente del componente, dispositivo, producto y / o sistema real del que está siendo comprobada su fuga, el equilibrio de velocidad, precisión y coste existe. Aunque la velocidad incrementada (tiempo reducido) de la comprobación de fugas reduce el coste por unidad, una correspondiente reducción en la precisión de ésta puede dar lugar a costes incrementados de la producción (ya que pueden realmente haber pasado rechazos con un ensayo de precisión incrementada) y / o fallos de productos e impactos al consumidor (como productos que llegan al consumidor que fueron incorrectamente pasados, teniendo impacto en la producción, satisfacción del consumidor, y en los casos críticos puede conducir directamente a daños reclamables al fabricante. Por consiguiente existe un considerable beneficio para los fabricantes en incrementar la precisión, incrementar la velocidad e incrementar la detección del defecto en el ensayo de fugas de fabricación.

40 Adicionalmente, algunos escenarios presentan cuestiones adicionales, tales como por ejemplo ensayo de fugas de gran volumen. El ensayo de fugas con volúmenes de parte grandes en los 30 L (\approx 7,9 galones) y rangos superiores crea retos adicionales que incluyen la sensibilidad a la temperatura y la sensibilidad a la presión. Tomando como ejemplo una parte de 77 L, aproximadamente 19 galones, a continuación un ensayo de fuga basado en flujo convencional utilizaría un medidor de flujo en serie con un regulador de presión tal como el mostrado en la Figura 1. El Regulador de Presión de Ensayo R2 115 mantiene la presión neumática en la presión de ensayo deseada y el Sensor de Flujo F1 130 mide el flujo al Dispositivo bajo Ensayo (DUT) 140. El regulador de presión de ensayo 115 está típicamente ventilado a la atmosfera y éste forma la base para la presión de ensayo. Por ejemplo, si la presión atmosférica es de 14,7 psi y el regulador está ajustado a 7,5 psi la presión de ensayo absoluta es $(14,7 + 7,5) = 22,2$ psi. Por consiguiente cuando la presión atmosférica varía así lo hace que la presión de salida absoluta del regulador.

50 Haciendo referencia a la Tabla 1, se muestra la velocidad de flujo resultante si el volumen de parte es de 77 L y la presión atmosférica varía en 0,002 psi. El medidor de flujo tendría que permitir que 6,9 cc fluyan con el fin de permitir que la presión de cámara de ensayo cambie. Esto es un gran error si el objetivo es medir a caudales de 2 sccm de forma fiable.

55

Descripción	Valor	Unidad
Cambio de Presión Atmosférica	0,002	psi
Volumen de Parte	77	L
Presión de Ensayo	7,5	psi
P absoluta	14,7	psi
Cambio de Volumen debido al Cambio de Presión Atmosférica	6,9	Cc

Tabla 1: Cálculo del Cambio de Volumen debido al Cambio de Presión Atmosférica

5 Como se muestra en la Figura 1, el Regulador de Presión de Ensayo R2 115 y el Sensor de Flujo F1 130 forman parte de un circuito neumático completo con en DUT 140. El aire es conectado desde una fuente, comúnmente referido como aire de taller, filtrado con el filtro 105 y la presión regulada con el Regulador R1 110 antes de ser conectada al Regulador de Presión de Ensayo R2 115. La salida del Regulador de Presión de Ensayo R2 115 está conectada al Sensor de Flujo F1 130 a través de la Válvula de Suministro V3 120 y la Válvula de Ensayo de Flujo 125 y en la misma después del Sensor de Flujo 130 al DUT 140 en donde un sensor de Presión Absoluta P1 135 está también conectado junto con un Orificio de Calibración 145 que permite que la calibración sea realizada a través de una válvula de no retorno. La salida de la Válvula de Suministro V3 120 también está conectada a la 10 Válvula de Llenado V1 150 y a la Válvula de Escape V2 155 que está también conectada con la salida del Sensor de Flujo 130 y el Escape 160.

15 Por consiguiente, a través de la secuenciación apropiada de estas válvulas el DUT 140 se puede llenar, presurizar y ensayar antes de ser vaciado al aire para el desacoplamiento y otro DUT 140 unido. Haciendo referencia a la Figura 2, la salida de flujo resultante (scmm) y la presión ambiental (x2000 y DC retirada) se muestran para tal DUT con volumen de 77 L durante un periodo de 2000 segundos.

20 Tales asuntos combinados con el accionamiento continuado para resultados de ensayo de fugas más preciso, debido a la atención aumentada a la calidad, significa que nuevas técnicas de control / medida son requeridas. Por consiguiente, las realizaciones de la invención se dirigen a los requisitos de fabricación proporcionando flujos de elevada presión en base a los ensayos de fugas de volumen grandes, proporcionando técnicas adaptativas para utilizar durante el ensayo, proporcionando técnicas de modelización de circuito equivalentes que permiten la optimización y extracción de parámetros que sean simuladas antes de la responsabilidad de fabricación y que proporcionan la puesta a punto automática de los parámetros de ajuste.

25 El documento US 2008/0006040 describe sistemas de bombas de calor activadas por calor y métodos relacionados que incluyen un ciclo de energía conectado a un ciclo de refrigeración de compresión de vapor utilizando ambos el mismo fluido de trabajo. El documento US 2001/0003917 describe un método de ensayo de fugas aplicando una presión de referencia al dispositivo y en el mismo determinando un flujo de gas que surge de una fuga. El documento US 2009/0165534 describe un ensayo de fugas un pasaje de tubería midiendo el caudal y la presión junto con la presión de gas y midiendo la elevación de presión durante la presurización para determinar la caída de volumen y presión internos de DUT para determinar el régimen de fuga.

30 Tales temas combinados con el accionamiento continuado para unos resultados de ensayos de fugas más precisos debido a la creciente atención a la calidad, significa que se requieren nuevas técnicas de control/medida. Por consiguiente, las realizaciones de la invención se dirigen a los requisitos de fabricación proporcionando ensayos de fugas basados en la elevada precisión de flujo de volúmenes grandes, proporcionando técnicas adaptativas para utilizar durante los ensayos, proporcionando técnicas de modelización de circuito equivalente que permiten que la optimización y extracción de parámetros sean simuladas antes de la responsabilidad de fabricación, y 35 proporcionando la puesta a punto automática de los parámetros de ajuste.

Otros aspectos y características de la presente invención resultarán evidentes para los expertos en la técnica después de la revisión de la siguiente descripción de las realizaciones específicas de la invención en combinación con las figuras adjuntas.

40 **Sumario de la Invención**

Es un objetivo de la presente invención mejorar los ensayos de fugas y más concretamente mejorar la precisión, velocidad y detección del defecto.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención se proporciona un método de fugas ensayando un dispositivo bajo ensayo (DUT) de acuerdo con la reivindicación 1.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de fuga ensayando un dispositivo

bajo ensayo (DUT) de acuerdo con la reivindicación 2.

Otros aspectos y características de la presente invención se harán evidentes para los expertos en la técnica después de la revisión de la siguiente descripción de las realizaciones específicas de la invención en combinación con las figuras adjuntas.

5 **Breve descripción de los dibujos**

Las realizaciones de la presente invención se describirán a continuación, solo a modo de ejemplo, con referencia a las Figuras adjuntas, en las que:

la Fig. 1 muestra un sistema de ensayo de régimen de fugas de gran volumen de acuerdo con la técnica anterior;

10 la Fig. 2 muestra una salida de flujo (sccm) y presión ambiente (x2000 y DC eliminada) para una parte de ensayo de 77 L durante un periodo de 2000 segundos;

la Fig. 3 muestra un sistema de ensayo de régimen de fugas de volumen grande de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 4 muestra un sistema neumático de acuerdo con una realización de la invención que emplea control de presión de múltiples etapas;

15 la Fig. 5 muestra un modelo paramétrico a modo de ejemplo de un circuito de fuga para establecer los parámetros de ensayo de régimen de fuga de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 6 muestra un gráfico del error de ensayo de fugas en función del tiempo de inicio de fase iniciando la determinación de un tiempo de inicio óptimo para los ensayos de régimen de fugas de acuerdo con las realizaciones de la invención;

20 las Figs. 7A y 7B muestran esquemas de un ciclo de ensayo de régimen de fugas completo para la disminución de presión y ensayo de flujo respectivamente;

la Fig. 8 muestra una imagen de una pantalla de un sistema de régimen de fugas automático de acuerdo con una realización de la invención;

25 la Fig. 9 muestra la aplicación del análisis de firma a una medida de régimen de fugas de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 10 muestra un régimen de fugas corregido y los regímenes de fugas medidos originales como resultado de la compensación de temperatura de acuerdo con una realización de la invención;

las Figs. 11A y 11B muestran el establecimiento de una temperatura de DUT a partir del régimen de cambio de flujo en una curva de disminución de presión de acuerdo con una realización de la invención;

30 la Fig. 12 muestra una presión en función de la onda de tiempo como está aprovechada por un medidor de fugas de análisis de curva completa de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 13 muestra un esquema de un sistema para aplicar análisis de firma a un proceso de comprobación de fugas de acuerdo con una realización de la invención;

35 la Fig. 14 muestra la aplicación de análisis de firma al inicio de la curva de presión para detectar defectos del medidor de fugas único y el DUT como ruido de sensor y desplazamiento de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 15 muestra la aplicación del análisis de firma a una parte de la curva de presión para detectar defectos de DUT único como el movimiento de la junta de obturación de acuerdo con una realización de la invención;

40 la Fig. 16 muestra el encaje de un modelo en la parte de llenado de la curva de presión de acuerdo con una realización de la invención;

la Fig. 17 muestra la expulsión de DUT temprana con análisis de firma de acuerdo con una realización de la invención; y

las Figs. 18A y 18B muestran la reducción de estabilización utilizando sobrepresión, mostrando las curvas de presión y flujo respectivamente de acuerdo con una realización de la invención.

45 **Descripción detallada**

La presente invención está dirigida a ensayos de fugas y más concretamente a mejorar la precisión, velocidad y detección del defecto.

La siguiente descripción proporciona realización(es) solo a modo de ejemplo, y no está destinada a limitar el campo, aplicabilidad o configuración de la invención. En su lugar, la siguiente descripción de la realización(es) a modo de ejemplo proporcionará a los expertos en la técnica una descripción posible para implementar una realización a modo de ejemplo. Se entenderá se pueden hacer diversos cambios en la función y configuración de los elementos sin que se salgan del espíritu y el alcance como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

Un "dispositivo bajo ensayo" (DUT) como se ha utilizado aquí y a través de toda esta descripción, se refiere a un artículo que está siendo ensayado para una fuga. Esto incluye, pero no se limita a, dispositivos, componentes, paquetes, envases, recipientes, sistemas de tuberías, elementos individuales, sub-sistemas y sistemas que requieren que aislen el interior del ambiente exterior. Un DUT puede o no estar destinado a formar parte de un sistema hidráulico, neumático o de fluidos.

Un "ensayo de fugas" como se ha utilizado aquí y en toda esta memoria, se refiere a un proceso y/o método para determinar si un DUT tiene una fuga que puede, por ejemplo, comprender la colocación del DUT bajo una presión positiva relativa a su ambiente y determinar atributos de presión / flujo para determinar el régimen de fuga del DUT. Sin embargo, los ensayos de fugas como se han utilizado en la presente no se limitan a ensayos de presión positiva y pueden incluir, pero no limitarse a, ensayos de fugas de presión negativa en donde los DUTs no pueden ser colocados bajo presión positiva y ensayos de fugas de helio. Tal ensayo se puede realizar con un fluido que incluye por ejemplo aire, nitrógeno, helio y otros gases así como agua, silicona, y otros líquidos.

Tradicionalmente, el ensayo de fugas era realizado utilizando ensayos de inmersión o detección de gases. En el primero, el DUT sería sumergido en un líquido y las fugas inidentificadas observando las burbujas. Tales ensayos eran buenos para fugas groseras en sistemas mecánicos pero estaban limitados cuando se requerían regímenes de fugas muy bajos ya que tales regímenes de fugas implican la formación de burbujas muy grandes. Adicionalmente en muchos casos un material inerte tendría que ser empleado con el fin de no dañar sólo componentes reales bajo ensayo. La detección de gases por el contrario comprendía la presurización del DUT con un material no presente en el ambiente habitual, típicamente gas helio, y la utilización de un sensor para identificar la presencia de helio externo en el DUT. Sin embargo, esto de nuevo era generalmente cualitativo y para sistemas grandes requería un operador para mover físicamente el detector de escapes a lo largo y alrededor del DUT. Para paquetes pequeños, tales como dentro de elementos electrónicos y opto-electrónicos, las variaciones de esto implicaban medir el helio dentro de una cámara sometida a vacío con el DUT dentro.

Tales ensayos de régimen de fuga de helio entran dentro de la categoría de ensayos comúnmente conocidos como "cantidad de métodos de fuga" que incluye entrada / salida de vacío fuerte; salida / entrada de vacío fuerte; acumulación, gas portador; flujo de masa, y Análisis de Gas Residual que proporcionan juntos regímenes de fuga medibles tan bajos como 10^{-9} std. cc/seg aunque algunos tales como el flujo de masa proporcionan rangos dinámicos limitados a aproximadamente 10^{-2} std. cc/seg cuando se comparan con otros tales como el vacío fuerte. Otra categoría de técnicas son los "métodos efecto y fuga" que implican medir el efecto que la fuga tiene en alguna cantidad o cantidades físicas dentro o alrededor del DUT. En la mayoría de los casos esta cantidad es presión. Tales técnicas incluyen disminución de presión, diferencial de presión, aumento de presión, y disminución de vacío y ofrecen regímenes de fugas medibles hasta aproximadamente 10^{-3} std, cc/seg.

Dentro de las siguientes secciones diferentes enfoques para mejorar la precisión, velocidad de detección del defecto para ensayos de régimen de fugas se identifican de acuerdo con las realizaciones de la invención. Aunque estos enfoques se pueden describir con respecto a una metodología de ensayo de régimen de fuga particular será evidente para los expertos en la técnica que tales enfoques se pueden aplicar a otras metodologías sin que se salgan del campo de la invención.

1. CORRECCIÓN DE SOFTWARE: Las medidas de las características de los sensores se realizan y emplean dentro de un algoritmo para computar la onda correctora y / o el coeficiente de corrección utilizado para determinar el flujo cierto y eliminar errores inducidos por diversos factores presentes dentro del sistema de medida. Por ejemplo, un método de acuerdo con una realización de la invención puede comprender las etapas de:

1. Medir la presión con un sensor de presión absoluta con elevada resolución para generar una onda de presión absoluta;
2. Calcular la derivada de la onda de presión absoluta;
3. Calcular un flujo efectivo debido a la onda de cambio de presión absoluta utilizando los datos obtenidos del sensor de presión absoluta dependientes del volumen y presión absoluta del DUT, véase por ejemplo la Ecuación (1);
4. Restar este flujo efectivo de la onda de flujo medida;
5. Medir el flujo corregido, real, debido a fuga(s).

$$Flow_{CORR} = \frac{Vol}{P_A} \times \frac{\delta P_A}{\delta t}$$

(1)

2. **CONTROL DE PRESIÓN ABSOLUTA:** De acuerdo con esta realización de la invención, un método de control del flujo para mantener la presión absoluta constante en donde un controlador de retroalimentación, tal como un controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID), se emplea para controlar activamente el flujo que entra en el DUT para mantener la presión absoluta constante. El valor de flujo resultante es el régimen de fugas cierto del DUT.

Un ejemplo de un circuito eléctrico neumático que proporciona tal control activo de acuerdo con una realización de la invención se muestra en la Figura 3. Siendo los elementos principales de este circuito:

1. Sensor de presión de ensayo absoluta P1 335;

2. Alimentación de la salida del sensor de presión de ensayo absoluta P1 335 en un circuito de entrada de adquisición de datos de ruido bajo de alta resolución con un software basado en el procesamiento, mostrados como Filtrado y Procesamiento de Alta Resolución 345;

3: Un controlador de flujo y sensor de flujo de alta presión 315 sustituye el medidor de flujo, típicamente con flujo limitado; y

4. Un controlador PID 350 controla el controlador de flujo de alta precisión con el sensor de flujo 315 para controlar el flujo en base a la salida procesada del sensor de presión absoluta 335.

Por consiguiente, una secuencia de proceso de ensayo de fugas de fabricación a modo de ejemplo que utiliza el circuito eléctrico neumático de la Figura 3 funcionaría como sigue:

1. Llenar el DUT con el Regulador R2 a través del Llenado V1 355 para obtener la parte de la presión de ensayo deseada;

2. Esperar un periodo de tiempo predeterminado para permitir que el DUT se estabilice;

3. Realizar una medida de alta resolución de la presión de ensayo absoluta utilizando el sensor de presión de ensayo absoluta P1 335 y utilizar ésta como punto de ajuste para las siguientes etapas;

4. Cerrar el Llenado V1 355;

5. Conectar el controlador PID 350 para cerrar el bucle y mantener la presión de ensayo en el valor determinado en la etapa 3 dentro de la precisión del circuito electrónico que comprende Filtrado y Procesamiento de Alta Resolución 345 y el controlador PID 350;

6. Medir la señal de flujo de control resultante y determinar la fuga del DUT a partir de este valor con cualquier procesamiento de señal requerido.

Las realizaciones de Filtrado y Procesamiento de Alta resolución 345 por los inventores consiguen una resolución de aproximadamente 25×10^{-6} psi con lo que se permite que el controlador PID 350 cierre el bucle de retroalimentación y mantenga la presión constante dentro de esta resolución.

Eliminación de la Etapa de Estabilización: uno de los retrasos más largos en los ensayos de fugas es la fase de estabilización. En esta fase el calor que ha sido añadido al aire adiabáticamente a través de la compresión del aire dentro del DUT durante la parte de llenado del ensayo de fugas se disipa en la superficie interior del DUT. Dado que este aire dentro del DUT se enfría de nuevo hasta la temperatura de la superficie interior, la presión en el DUT disminuye en un ensayo de disminución de presión o un flujo creciente es medido en un ensayo basado en el flujo. Este proceso puede llevar tiempo y es controlado por las características físicas del interior del DUT que incluyen el volumen de aire, área superficial interior, geometría superficial interior y acabado superficial interior.

Un asunto relacionado con la regulación de presión es la relación entre la señal y el ruido ya que cualquiera que disminuya esto ayudará a disminuir la estabilidad de la presión absoluta y de este modo la estabilidad y precisión de los resultados del ensayo de fugas. La resolución más elevada se puede obtener utilizando un transductor de presión diferencial entre el vaso de referencia y el DUT. En un método de acuerdo con una realización de la invención, el volumen de referencia sería llenado a la misma presión que la presión de ensayo de DUT después sellado. El algoritmo de control, por ejemplo PID, actuaría entonces para cerrar el bucle de regulación de presión en base a la diferencia entre este volumen de referencia y el DUT. Por consiguiente, el sensor de presión diferencial puede tener un rango de escala total muy bajo, por ejemplo 0,1 psi con lo que se proporciona a los componentes electrónicos de control una relación entre la señal y el ruido grande y que da lugar a una estabilidad incrementada de establecimiento de una presión absoluta.

Una secuencia a modo de ejemplo de los eventos de acuerdo con una realización de la invención consiste en:

1. Utilizar un regulador de llenado rápido de medida para llenar el DUT y el volumen de referencia a la misma presión.

2. Sellar el volumen de referencia de manera que no cambie la presión.

5 3. Emplear un sensor de presión diferencial de escala total baja que mida la diferencia de presión entre el volumen de referencia y el DUT.

4. Conmutar el control a un regulador fino que esté por debajo de un bucle de control con el sensor de presión diferencial y la entrada de retroalimentación y un valor de cero como punto de ajuste.

5. Ahora el algoritmo de control tiene una relación de entrada entre el ruido y la señal grande y se puede controlar la presión con una mayor precisión.

10 3. CONTROL DE PRESIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS PARA OPTIMIZAR EL TIEMPO DE LLENADO

Entre los factores que afectan al coste total del ensayo de fugas están la utilización del equipo en donde la reducción del tiempo de ensayo total aumenta esta métrica para una etapa de proceso de fabricación. Por consiguiente, un algoritmo de control activo de múltiples etapas de acuerdo con las realizaciones de la invención permite una optimización de proceso de llenado que puede ser dividido por ejemplo en una etapa de llenado rápida, una etapa de estabilización adiabática, y el tiempo de ensayo. Cada fase se beneficia de parámetros de control únicos que pueden variar de acuerdo con las características del DUT.

De acuerdo con las realizaciones de la invención, tal llenado de múltiples etapas puede emplear, tal como se ha descrito anteriormente, múltiples controladores de flujo con sensores de flujo que están controlados desde los controladores PID que cada uno ejecuta algoritmos PID individuales conectados desde los circuitos de procesamiento digitales, tales como el Filtrado y Procesamiento de Alta Resolución 345, que reciben la salida de un sensor de presión de ensayo absoluta. Alternativamente, los controladores PID múltiples pueden recibir sus entradas desde un circuito de procesamiento digital o un controlador PID único y un controlador de flujo con el sensor de flujo puede ser utilizado en el que el algoritmo PID cambia para cada etapa en base a que se cumplan las condiciones predeterminadas. Por consiguiente, cada algoritmo PID permite ajustar de forma efectiva las ganancias óptimas únicas para cada fase del ensayo de fugas.

Eliminación de la Etapa de Estabilización: Como se ha descrito anteriormente con respecto a la Sección 2 uno de los retrasos más largos en el ensayo de fugas es la fase de estabilización. De acuerdo con una realización de la invención la presión de llenado se modifica para aumentar el régimen al que el calor es transferido fuera del aire dentro del DUT a la superficie interior del DUT. El tiempo que dura la fase de estabilización es el tiempo que dura la eliminación de todo el calor añadido debido a los procesos adiabáticos. Incrementando temporalmente la presión en el DUT durante un periodo de tiempo, la velocidad de transferencia de calor se puede incrementar, reduciendo de este modo el tiempo total para terminar la fase de estabilización. Haciendo referencia a la Figura 18A se muestran varias tiempos de esta etapa de sobrepresión desde 20 segundos a 30 segundos. La Figura 18B muestra las curvas de flujo resultante. Haciendo referencia a la curva 1215100084 entonces se muestran un tiempo de 29,5 segundos en donde el flujo es estable a 195 segundos otro si la sobrepresión ni se utiliza la estabilización dura más de 255 segundos.

Método 1: Una secuencia a modo de ejemplo de los eventos pueden por tanto incluir:

1. Llenar hasta desbordar a una presión que sea mayor que la presión de ensayo final requerida.

2. Mantener esta presión más elevada hasta que todo el calor requerido a la presión inferior haya sido transferido, esto se puede determinar mediante la experimentación o automáticamente a través de algoritmos automáticos tales como los descritos dentro de esta memoria.

3. Reducir la presión a la presión de ensayo requerida.

4. Esperar el periodo más corto de tiempo para la estabilización final.

5. Medir la fuga ahora en el punto más temprano en el tiempo.

Método 2: Similar al método 1 anterior pero la presión de llenado se modifica dinámicamente en un bucle adaptativo que monitoriza la velocidad adiabática actual de la transferencia de calor y modifica la presión dinámicamente en un bucle de control para conseguir la estabilización más rápida. El algoritmo de control establecería la presión elevada después del monitoreo del caudal efectivo de cambio, por ejemplo, y después de modificar la presión para llegar a caudal cero de cambio a la presión de ensayo deseada con la estabilización completa en donde el flujo sea estable y no cambie.

Una secuencia a modo de ejemplo de los eventos pueden por tanto incluir:

1. Llenar hasta desbordamiento la parte a una presión que sea mayor que la presión de ensayo final requerida.

2. En un monitoreo de bucle de control la velocidad de cambio del flujo debido a la transferencia de calor de estabilización, ajusta la presión desde la presión de llenado a la presión de ensayo utilizando el flujo de estabilización como entrada.

3. Controlar la presión para llegar a la presión de ensayo con un caudal de cambio de cero.

5 4. Esperar un periodo más corto de tiempo para la estabilización final.

5. Medir la fuga ahora en el tiempo más temprano

10 4. REGULACIÓN DE PRESIÓN ABSOLUTA: Las técnicas de ensayo de fugas basadas en el flujo de acuerdo con reguladores de presión de medición de aprovechamiento de la técnica anterior en donde la presión de salida absoluta del regulador varía con la presión atmosférica absoluta. De acuerdo con las realizaciones de la invención, tales reguladores de presión de medida son sustituidos por reguladores de presión absoluta de manera que la precisión de detección de fugas en base al aumento de flujo se obtiene eliminado el error inducido en el ensayo de fugas debido a los cambios de presión atmosférica.

15 5. CONTROL DE PRESIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS: De acuerdo con esta realización de la invención la precisión incrementada y el tiempo de detección reducido se proporciona a través de la aplicación de una metodología de control de presión de múltiples etapas. Tal enfoque es beneficioso para conseguir elevada precisión de fugas en ensayos de fugas de volumen grande.

20 Por consiguiente, los reguladores de presión electrónicos de múltiples etapas, tales como por ejemplo los descritos anteriormente y con respecto a la Fig. 3 que emplean controladores PID, se emplean para llenar el DUT rápidamente y después mantener la presión absoluta constante. Tal enfoque requiere controladores de flujo elevado único y de flujo fino que utilicen bucles de control PID. Por consiguiente, un regulador de flujo elevado cierra su bucle en base al sensor de presión de medición para llenar el DUT rápidamente a una presión de ensayo de medida ajustada. A continuación, un controlador de flujo fino cierra un bucle PID en base al sensor de presión absoluta en donde el punto establecido del Regulador de flujo fino está ajustado en la presión absoluta resultante que alcanza el regulador de flujo elevado. Esto permite el uso de una capacidad de flujo baja, pero regulador de flujo preciso.

25 Mediante la implementación y el diseño apropiados para afrontar los factores que inciden en los bucles de control de múltiples etapas tales como los bucles de tierra y las fuentes de ruido por ejemplo, los inventores han establecido sistemas de control de presión de múltiples etapas que reducen la ondulación en la presión absoluta a niveles muy bajos (< 0,0001 psia por ejemplo). El regulador de flujo fino es implementado con un diseño que tiene un tamaño de válvula óptimo para baja ondulación mientras que el controlador PID proporciona un circuito de ganancia que integra los circuitos de reducción de ruido.

Haciendo ahora referencia a la Figura 4 se muestra un ejemplo de un enfoque de control de presión de múltiples etapas de acuerdo con una realización de la invención. Empleando este circuito eléctrico neumático para proporcionar el ensayo de fugas requerido se puede seguir la siguiente secuencia de etapas:

35 1. Iniciar el llenado rápido del DUT con el Regulador de Llenado Rápido R2 435 a una presión de medida más elevada para superar la resistencia de la manguera;

2. Reducir la presión utilizando el Regulador de Llenado Rápido R2 435 hasta la presión de ensayo de medida final;

3. La presión del DUT actual es medida de forma precisa utilizando el sensor de presión absoluta 485;

4. Establecer el punto de ajuste para el Regulador de Presión de Ensayo R1 de regulador absoluto de control muy fino 450;

40 5. Iniciar el relleno de bypass fino del DUT utilizando el Regulador de Presión de Ensayo R1 450 y el Llenado V5 445.

6. Conmutar a ensayo de flujo a través del Ensayo de Flujo V3 460 ahora el Regulador de Presión de Ensayo R1 450 de regulador fino controla la presión y asegura la ondulación extremadamente baja en la presión absoluta.

7. El flujo puede ser medido utilizando el medidor de flujo F1 455.

45 6. GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELO PARAMÉTRICO DE CIRCUITO DE FUGA: Tradicionalmente la configuración de los muchos parámetros ajustables dentro de un ensayo de fugas que puede incluir tiempo de llenado rápido, presión de llenado rápida, tiempo de llenado, tiempo de estabilización, tiempo de ensayo y tiempo de escape, por ejemplo, ha sido realizada mediante prueba y error. Los diferentes valores han sido probados y ajustados manualmente en base a la experiencia del operario de ensayo de fugas o a análisis limitados. Algunas de estas direcciones se muestran en diferentes zonas mostradas en las Figs. 7A y 7B. En muchos ambientes de fabricación los ensayos de fugas de línea de producción tienden a ser uno de los ensayos más largos que se realizan. Esto ejerce presión para encontrar el ajuste óptimo de los parámetros de ensayo de fugas para conseguir los resultados deseados con respecto a la precisión etc., con el mínimo tiempo de ensayo total.

El método de ajuste manual es propenso a imprecisiones por muchas razones. El resultado depende de la experiencia de la persona que ajusta el ensayo de fugas. Lleva tiempo mantener ensayando diversos ajustes, y después reunir los datos estadísticos para determinar la repetitividad para cada ajuste. Hay tantos parámetros que ajustar de manera simultánea y todos tienen interacciones complejas que supone un importante reto alcanzar la configuración óptima que produzca la precisión deseada en la menor cantidad de tiempo.

De acuerdo con las realizaciones de la invención, un sistema de ensayo de fugas determina automáticamente estos parámetros para la precisión óptima con el mínimo tiempo de ensayo. Diversas técnicas de análisis de firma de onda completa se pueden utilizar junto con diferentes operaciones y secuencias de ensayo de fugas para determinar un modelo matemático del medidor, parte bajo ensayo y el hinchamiento neumático crítico. Este modelo se utiliza después para determinar el ajuste de parámetros de ensayo óptimo que producirá la precisión deseada en el tiempo más rápido posible. Por consiguiente, el circuito neumático puede ser modelizado como un circuito eléctrico tal como se muestra mediante el circuito equivalente 500 en la Fig. 5 en donde los elementos de restricción de flujo tales como válvulas, mangueras, acoples, medidores de flujo, resistencia de fuente de reguladores, están modelizados como resistencias, el DUT, las mangueras y otros elementos del sistema con volumen están típicamente modelizados como condensadores, los cambios atmosféricos y la presión de regulador de entrada están modelizados como fuentes de voltaje, los aspectos térmicos están modelizados como resistencias y condensadores que representan la resistencia térmica y la capacitancia. Aplicando múltiples y variadas excitaciones del sistema total, los parámetros del modelo pueden ser calculados a partir de las respuestas de sistemas resultantes.

Ejemplos de excitaciones que se pueden aplicar y variar pueden incluir, pero no limitarse a, ciclos de llenado, cambios de presión, control de flujo, y cambios de temperatura. El modelo puede incluir elementos tales como regulador, válvulas, mangueras, DUT, fugas, procesos adiabáticos, y constantes de tiempo térmicas por ejemplo. Tales excitaciones se pueden generar automáticamente y los caudales resultantes, presiones, etc., de manera similar pueden ser medidos automáticamente, en donde estas medidas pueden ser empleadas como entradas de algoritmos que pueden ser aplicadas a los datos para establecer automáticamente parámetros para elementos diferentes dentro del sistema de ensayo de fugas. Por ejemplo, el volumen de un DUT se puede establecer para diferentes elementos dentro del sistema de ensayo de fugas. Por ejemplo, el volumen de un DUT puede ser establecido utilizando los dos procesos identificados más adelante de manera que se puede emplear el volumen físico real del DUT en lugar de una válvula de diseño con lo que se incrementa la precisión de las medidas.

Proceso A:

1. Obtener P_A con un sensor de presión absoluta;
2. Calcular $\delta^2 P_A$, la derivada segunda de P_A ;
3. Calcular δF , la derivada del flujo;
4. Determinar la correlación entre $\delta^2 P_A$ y δF ;
5. Calcular las pendientes de mínimos cuadrados
6. Eliminar la parte de presión absoluta y con ello deducir el volumen del DUT.

Proceso B

1. Cambiar la P_A para el DUT;
2. Medir el caudal F ;
3. Calcular el flujo neto, \dot{F} , y utilizar éste junto con la presión absoluta para con ello deducir el volumen del DUT.

7. CALCULAR LOS PARÁMETROS DE ENSAYO ÓPTIMOS A PARTIR DEL MODELO PARAMÉTRICO: Una vez, que un modelo paramétrico equivalente del sistema de ensayo de fugas ha sido establecido, tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Sección 6 y a la Fig. 5 asociada, entonces el modelo paramétrico deducido puede ser simulado utilizando uno o más algoritmos predeterminados para determinar la respuestas del modelo paramétrico y con ello la respuesta del circuito neumático real para la operación simulada. Por consiguiente, el modelo paramétrico se puede utilizar para determinar las duraciones del sistema óptimas para diferentes aspectos del proceso de ensayo de fugas incluyendo por ejemplo el llenado rápido, el llenado, la estabilización, el ensayo, y el escape dentro de los parámetros de funcionamiento totales deseados tales como el tiempo de ensayo total y la repetitividad y reproducibilidad de las mediciones.

Por consiguiente, un proceso de autoajuste comprende las siguientes etapas;

- A) Controlar el sistema de ensayo con los distintos ajustes y analizar las curvas resultantes con el análisis de firma para determinar el modelo matemático, utilizando equivalentes eléctricos, por ejemplo del sistema de ensayo con la parte de ensayo;

B) Determinar a partir del modelo matemático la configuración de ensayo óptima para la precisión y o requisitos de tiempo requeridos por el sistema. Esto incluye la presión de llenado rápido y el tiempo, tiempo de llenado, tiempo de estabilización, tiempo de ensayo y tiempo de escape.

5 C) Elegir el ajuste de sistema ideal utilizando el modelo para optimizar la precisión y reducir el tiempo del ensayo de fugas

D) Determinar la fuga de la parte.

10 En muchas configuraciones dentro de la técnica anterior determinar la fuga estaba basado en las suposiciones y mejores escenarios prácticos en lugar de los datos experimentales. De acuerdo con las realizaciones de la invención, las medidas y ajustes de parámetros de los DUTs para el régimen de fugas pueden ser totalmente automatizados lo que permite el ajuste rápido en el DUT medido en una estación de ensayo de fugas dentro de un ambiente de producción así como optimizar el tiempo de ensayo y las determinaciones de ensayo.

15 *Determinación de la Fuga de DUT:* Normalmente un medidor de fugas es periódicamente comprobado utilizando una unidad de régimen de fugas maestra para asegurar que la unidad está dentro de la calibración. Sin embargo, si la unidad maestra de régimen de fugas está conectada permanentemente al sistema de ensayo de fugas entonces una medida inicial de la unidad de maestra de régimen de fugas para una etapa de verificación puede ser incluida dentro del ensayo para asegurar los tiempos de asentamiento y calentamiento adiabáticas han transcurrido. La medida del régimen de fuga indicará entonces la fuga del sistema como un todo incluyendo el DUT. La fuga del comprobador se conoce de manera que se pueden encontrar la fuga del DUT y las mangueras.

20 *Determinación del Volumen de DUT:* Los sistemas son típicamente calibrados con un estándar de fuga conocido como se ha descrito anteriormente, periódicamente, para la verificación de la calibración. Sin embargo, de acuerdo con las realizaciones de la invención esta unidad maestra de régimen de fugas se puede utilizar para encontrar el volumen del DUT permitiendo con ello que el volumen real de la parte que va a ser determinada y empleada en las determinaciones de régimen de fuga en lugar de utilizar un valor de diseño deducido de la parte ingenieril.

25 *Eliminación de la Etapa de Estabilización:* Como se ha observado anteriormente, la etapa de estabilización de los procesos de ensayo de fugas puede constituir una parte significativa del tiempo de ciclo de proceso de ensayo de fuga total. Si este efecto es consistente, entonces el modelo de esta curva puede ser desarrollado y puede ser restado del flujo original o caída de presión para producir las curvas de disminución de flujo o presión que son solo debidas a la fuga de la parte sin incluir los procesos adiabáticos. Por consiguiente, esto debería permitir una determinación de régimen de fuga más rápida permitiendo que sea ésta sea realizada antes sin requerir la estabilización en la que la determinación se puede hacer por ejemplo en un punto predeterminado en el tiempo o después de que se haya cumplido una condición particular. Un ejemplo de una secuencia de proceso de acuerdo con una realización de la invención sería:

1. Ejecutar una parte representativa varias veces en un fila que captura todas las curvas de presión y / o flujo.
2. Alinear las curvas utilizando atributos significativos, por ejemplo un umbral que cruza un cierto valor por ejemplo, para eliminar cualesquiera variaciones de temporización.
3. Realizar el procesamiento matemático para desarrollar una curva nominal en base a un análisis estadístico punto a punto.
4. Guardar la curva nominal en la memoria.
5. Durante los posteriores ensayos de fugas realizar el proceso de alineación con los datos de ensayo nuevos.
- 40 6. Restar la curva nominal de los nuevos datos de ensayo.
7. Determinar el régimen de fuga a partir de los datos de ensayo ajustados.

8. **CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA EN EL SISTEMA DE FUGAS DE DEPÓSITO A DEPÓSITO:** En un sistema de fugas de base de depósito a depósito la fuente de aire es un depósito sellado que fue llenado a la misma presión que el DUT en donde el medidor de flujo está dispuesto entre el depósito y la parte. Por consiguiente, si en el DUT se producen fugas algo de aire sale del DUT y por tanto algo sale del depósito de suministro. El medidor de flujo mide solo la salida de flujo del depósito que es una parte de la fuga de parte real. Para conocer la fuga de parte real de la medida del medidor de flujo, el volumen del DUT necesita ser conocido.

50 Por consiguiente, el empleo de los métodos paramétricos automáticos descritos anteriormente con respecto a las realizaciones de la invención entonces si éstos son aplicados a cada ciclo para determinar el volumen del DUT entonces el régimen de fuga real se puede conocer sin tener que conocer el volumen del DUT antes de las medidas. Esto por tanto hace el ensayo de fugas que uso el método de deposito a depósito uno de reducida complejidad, precisión aumentada y elimina los requisitos de una calibración y de acuerdo con el tiempo de calibración para cada tipo de DUT.

9. CALCULAR LOS PARÁMETROS DE ENSAYO ÓPTIMOS A PARTIR DE LOS DATOS DE MUESTRA:

Típicamente un ensayo de fugas comprende una serie de etapas, tales como por ejemplo, llenado, estabilización, ensayo y escape. Típicamente los valores de éstas se establecen en base a las valoraciones subjetivas de las características o simulaciones de medida. Sin embargo, los inventores han encontrado que algunos aspectos del ensayo se pueden determinar a partir del análisis estadístico de múltiples experimentos tales como por ejemplo el tiempo de estabilización y el tiempo del ensayo. De acuerdo con una realización de la invención, un ensayo de fugas ha sido establecido teniendo un tiempo de final conocido de 2,7 segundos en donde se ha ejecutado el siguiente procedimiento:

1. Tomar varias muestras de datos para un ensayo de fugas;
2. Variar la zona de ensayo desde el final del tiempo de llenado (0,5 segundos) hasta el final del ensayo (2,5 segundos)
3. Calcular la fuga media y la desviación estándar en cada punto;
4. Graficar los resultados
5. Elegir el punto que tenga la desviación estándar más pequeña para el tiempo para iniciar la zona de ensayo.

Un gráfico a modo de ejemplo de tal protocolo se muestra en la Fig. 6 en la que el gráfico presenta la desviación estándar de un ensayo con un tiempo de ensayo total fijo en función del tiempo de inicio de ensayo indicando que existe un mínimo en aproximadamente 1,1 segundos en el que el tiempo de ensayo se puede observar como parte del proceso total en la Fig. 7A.

10 ENCAJAR LAS CURVAS AL PERFIL DE FUGA: En muchos casos, los ensayos de régimen de fuga se realizan en un punto discreto en el tiempo o después de un predeterminado periodo de tiempo en el que se realizan múltiples medidas con el posterior cálculo del promedio. Sin embargo, los inventores han establecido medidores de fugas con elevada precisión y rápida adquisición de datos de manera que los datos pueden ser extraídos del ensayo a velocidades de datos elevadas con lo que se permite que se haga seguimiento del perfil de fuga en tiempo real de manera que se puede encajar una curva definida matemáticamente en el perfil de fuga envolvente con lo que se incrementa la precisión, se reducen los tiempos de ensayo y se permite que sean dichos los datos de fuga finales.

Por ejemplo, la Figura 7B muestra los resultados de un sistema de ensayo de fugas de acuerdo con una realización de la invención tal como se han mostrado anteriormente con respecto a las Figuras 3 y 4 en las que se muestra una curva de flujo en función del tiempo, en donde un modelo matemático, por ejemplo un exponencial, se aplica a los datos para determinar los parámetros mediante encaje de la curva de la ecuación utilizando los datos sin tratar. Por consiguiente, estos parámetros se pueden utilizar entonces por ejemplo para incrementar la precisión o predecir el régimen de fuga antes de la estabilización.

11. COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA USANDO LA VELOCIDAD DE CAMBIO DE FLUJO/PRESIÓN: Dentro del ensayo de régimen de fuga los cambios de temperatura del DUT pueden incidir directamente en el ensayo tal como por ejemplo si el DUT fue calentado en un proceso anterior, es decir, lavado a alta temperatura, esto da lugar resultados a un calentamiento del DUT, de manera que el posterior enfriamiento produce un flujo en el DUT que es medido y atribuido incorrectamente a una fuga dentro del DUT. Por consiguiente, los inventores han establecido un protocolo para determinar los efectos sobre la curva de fuga, debidos a la velocidad de cambio de temperatura del DUT a partir solo de la curva de velocidad de cambio de la disminución de flujo o presión. A medida que el DUT se enfría, la velocidad de cambio de la temperatura del DUT se reduce, de manera que con medidas de medidor de fugas de velocidad elevadas se puede hacer que se permita que esta velocidad de cambio sea determinada y en ella a partir de esta temperatura de DUT se puede establecer. La duración sobre la cual el flujo y / o la presión son muestreadas se establece lo suficientemente larga para que esto sea determinado.

Haciendo referencia a la Fig. 10, se muestra un gráfico de velocidades de fuga corregidas en función del valor de fuga original en base a un cambio de temperatura medida mientras que la Fig. 11 muestra un gráfico de curvas de presión en función del tiempo para temperaturas de DUT iniciales diferentes. El cambio de pendiente se pone de relieve para un DUT con una pendiente de presión inicial 1110 y una pendiente de presión final 1120.

Las pendientes de mínimos cuadrados pueden, por ejemplo, ser utilizadas para determinar la velocidad del cambio de presión. La velocidad del cambio de la pendiente de presión (derivada segunda) es proporcional a la diferencia de temperatura entre el DUT y la temperatura atmosférica o del lugar del ensayo. Cuanto mayor es la diferencia de temperatura mayor es la diferencia de velocidad del cambio de pendiente de la presión. Este valor se puede utilizar para determinar la temperatura de parte y eliminar el efecto de temperatura como se muestra en los valores de régimen de fuga corregido resultante en la Fig. 10. Haciendo referencia a la Fig. 11B la velocidad de cambio de la pendiente de presión en función del tiempo para un DUT se muestra como velocidad de cambio presión sin tratar 1130 junto con las velocidades de cambio de presión calculadas inicial y final 1140 1150 utilizando ajustes de mínimos cuadrados a las partes inicial y final de la velocidad de cambio de presión si tratar 1130.

12 ANÁLISIS DE FIRMA DE LA CURVA DE FUGAS COMPLETA: Dentro de la técnica anterior, un ensayo de fugas es realizado una vez que una serie de etapas previas habían sido completadas, tales como el llenado y la estabilización*n. Sin embargo, los inventores han establecido un proceso para analizar científicamente toda la curva de presión-tiempo de una disminución de presión o ensayo de fuga de flujo con análisis de firma con el fin de extraer toda la información que se pueda obtener de cada parte única de la onda y utilizando tantos puntos continuamente muestreados como sea posible. La Fig. 12 muestra ejemplos de algunos de los parámetros que son el resultado del análisis de onda completo y se puede explicar no solo a ensayos de fugas como una etapa de cualificación son también posteriormente recuperados en el caso de posterior análisis de defectos del DUT o posteriores conjuntos y / o sistemas que aprovechan el DUT.

5
10
15
Por ejemplo, en lugar de medir solo la presión inicial y final durante el tiempo de ensayo, la invención utiliza una cadena continua de medidas tomadas durante el tiempo de ensayo. La información procedente de todos estos puntos se utiliza para calcular una determinación mucho más fiable del régimen de fugas. Esto da lugar a ensayos de fugas más rápidos y de mayor precisión. Por consiguiente, las realizaciones de la invención aplican análisis de firma a todas las partes de la curva de tiempo presión para obtener información adicional acerca de la cámara de ensayo y el aparato de ensayo tal como el estado de los reguladores de aire, válvulas, transductor de presión, conexión a la cámara de ensayo etc. Por ejemplo, el estado de las mangueras conectadas a la cámara de ensayo se puede determinar midiendo la velocidad a la que escapa del DUT el aire que estaba en el ensayo de presión a través de las válvulas de escape.

20
25
30
Por ejemplo, haciendo referencia de nuevo a la Figura 7A, un ensayo de fugas de disminución de presión dentro de la técnica anterior se realiza llenado un DUT con aire y después midiendo la presión en dos puntos diferentes en instantes diferentes, P_1 y P_2 . El tamaño de la fuga en el DUT debería entonces ser deducida por la diferencia entre estas dos presiones medidas y el tiempo entre ellas. Ejemplos de tal enfoque de la técnica anterior son Delatorre et al en la Patente de Estados Unidos 3.800.586 y Martin et al en la Patente de Estados Unidos 5.847.264. Sin embargo, este tipo de análisis padece un problema de medida común consistente en que la lectura práctica de los transductores eléctricos tiene cierto grado de incertidumbre, debido al ruido eléctrico y a otras imprecisiones, de manera que dos simples puntos de medida son propensos al error. También, hay información adicional en toda la onda o curva que no está siendo utilizada y dentro de cada zona del perfil de ensayo de fuga total mostrado en las Figs. 7A y 7B respectivamente la información está presente con respecto a diferentes trayectorias para el aire dentro del circuito de ensayo de fugas neumático y por consiguiente cada zona y combinaciones de zonas pueden proporcionar información adicional y diferente relacionada con el ensayo y el estado del sistema de ensayo de fugas.

35
40
Por consiguiente las realizaciones de la invención se refieren a analizar científicamente toda la curva de presión - tiempo de una disminución de presión o ensayo de fugas de flujo con varias combinaciones de técnicas de análisis de firma para toda la información que se puede obtener a partir de cada parte única de la onda y utilizando tanto puntos continuamente muestreados como sea posible para cada análisis. Dentro de la siguiente descripción, el enfoque del análisis de forma para todo el ciclo de ensayo de fugas desde el principio hasta el fin (referido como la curva de fuga completa) es presentado con respecto a un ajuste del medidor de fugas a modo de ejemplo mostrado en la Fig. 13 que muestra un ajuste de ensayo de fugas de disminución de presión típico con suministro de aire 1305, regulador de presión 1310, disposición de válvula doble que comprende la Válvula 1 1315 y la válvula 2 1320, transductor de presión 1325 y el DUT 1330. Haciendo referencia a la Fig. 7A, cada zona representa diferentes estados de la cámara de ensayo y las válvulas de control en donde el estado de cada elemento dentro de Medidor de Fugas - Circuito Neumático está presentado

Estado	Zona	Válvula 1	Válvula 2	DUT
Comprobación del Sistema	0	A	A	A Atmosférica
Llenar	1	B	B	Llenado
Estabilizar	2	A	A	A presión de ensayo / Fuga
Ensayo	3	A	A	A presión de ensayo / Fuga
Escape	4	A	B	Escape

Tabla 2: Tabla de estado del sistema

45
12 A. *Comprobación del Sistema*: Antes del ciclo de llenado incluso antes de que algunas comprobaciones se puedan realizar para validar el estado de los sensores en el mismo, las salidas de los traductores son recogidas durante un periodo de tiempo pequeño y después analizadas utilizando el Medidor de Fugas - Circuito Controlador 1300B que comprende por ejemplo un circuito de medida analógico 1335, un ordenador 1340, interfaz de usuario 1345, y software de aplicación 1350. Por consiguiente la Fig. 14 muestra la zona de comprobación del sistema antes de la zona de llenado en dónde dentro de esta realización a modo de ejemplo la variación de pico a pico, $PPZ0$, y el promedio de la onda, $APZ0$ son medidos. La variación de pico a pico $PPZ0$ puede indicar sensores excesivamente

ruidosos, excitación de sensores fallida, mal cableado o problemas de válvula por ejemplo. El promedio *APZO* puede indicar un sensor dañado, es decir, uno que ha sido sometido a rango excesivo, o válvulas defectuosas que no asientan adecuadamente. Inicialmente los umbrales para estos parámetros se pueden establecer durante la ejecución de las secuencias de excitación paramétricas múltiples tales como las descritas anteriormente con respecto a las Secciones 6 y 7 por ejemplo. Alternativamente, estos umbrales pueden estar basados en la información del fabricante relacionada con sensores(es) particulares dentro del sistema de ensayo de fugas.

Se pueden realizar otras comprobaciones utilizando un medidor de fugas totalmente automatizado durante la ejecución de un ciclo de ensayo que incluye por ejemplo el análisis relacionado con la máxima presión de llenado, presión de inicio de zona de ensayo real y presión de escape final, por ejemplo. La máxima presión de llenado y la presión de inicio de zona de ensayo real pueden por ejemplo indicar ajustes(s) incorrecto(s) para la presión de llenado rápida o la presión de llenado, presión de línea de suministro incorrecta, asuntos de funcionalidad de regulador, integridad de la manguera de línea de suministro, defectos groseros, parte errónea, etc. La presión de extremo de zona de escape puede indicar residuos en las mangueras, mangueras de puerto de ensayo retorcidas o malfuncionamiento de las válvulas por ejemplo.

12B. Zona de Llenado - Vibración de Presión: Sería evidente que ciertos DUTs que se van a ensayar tienen sub-componentes internos y / o subconjuntos que se pueden mover en los cuales este movimiento no es deseable. Por ejemplo, un DUT que esté siendo ensayado puede tener juntas de obturación dentro de él para formar las obturaciones en las que estas juntas de obturación pueden girar durante la parte de llenado del ciclo cuando se producen diferenciales de presión y aumentos de presión durante esta parte de llenado. Cuando esto sucede existe una reducción intensa en la presión de llenado debido al movimiento repentino de las juntas de obturación. Otros DUTs pueden tener válvulas de carrete que son ejemplos de un sub-componente en movimiento que se puede mover pero en este caso se mueve de forma suave. Si se adhiere, el movimiento será rápido y no uniforme. Otros ejemplos pueden ser residuos que se llegan a obturar durante el ciclo de llenado o las obturaciones de cara del aparato de fugas se van deteriorando por sí mismas. Sin embargo, tal información no está presente en un ensayo de fugas de la técnica anterior pero está presente en un análisis de curva completa. Por consiguiente, para detectar estos cambios repentinos por discontinuidades se puede procesar la onda de la parte de llenado de la disminución de presión en función del tiempo para generar una indicación del cambio dinámico en la presión en función del tiempo. Por consiguiente esta nueva onda de puede procesar con el fin de determinar los valores de pico-pico máximos por ejemplo que pueden ser entonces empleados para indicar sin se ha producir el movimiento dentro del DUT durante el llenado.

$$\frac{dP_n}{dt} = \frac{P_n - P_{n-1}}{\Delta t} \quad (2)$$

La derivada de presión determinada a partir de la Ecuación (2) es una nueva onda que es generada tomando la diferencia entre dos muestras de presión adyacentes y dividiendo ésta por el intervalo de muestreo. Si el mínimo de esta onda derivada de presión es tomado después éste puede representar la cantidad de movimiento de las partes dentro de la cámara de ensayo. Esto se designa como *CPZ1* para la Presión de Vibración en la Zona 1 en el perfil de curva total presentado en el Fig. 12. Haciendo referencia a la Fig. 15, se puede observar cómo la derivada de presión claramente identifica tal vibración dentro del DUT con relación a la presión sin tratar en función de los datos de tiempo. El procesamiento aplicado a la derivada de presión resultante puede ser tan simple como los límites alto / bajo con desencadenadores para determinar si el DUT tiene movimiento aceptable o no. Incluso cuando los límites no se puedan establecer inicialmente excepto a través de la prueba y error o sean establecidos en base a los datos de campo de los DUTs, entonces tales datos se pueden obtener para cada parte de pieza para establecer una base de datos a partir de la cual los límites pueden ser deducidos o en donde los límites son determinados posteriormente para identificar los DUTs particulares para un monitoreo o retirada adicional por ejemplo.

12C. Llenado/Escape- Pendiente: Las partes de llenado y escape de la curva se pueden analizar también para detectar cualesquiera anomalías en la parte, tal como las mangueras retorcidas, volumen reducido/expandido, partes perdidas, obturaciones en los DUTs, por ejemplo alojamiento de transmisión, y fugas groseras, por ejemplo. Alguna parte de las curvas se puede modelizar mediante aumento o disminución exponencial de manera que un encaje de curva de mínimos cuadrados a un exponencial puede producir buenos resultados. La ecuación (3) muestra la forma básica de la ecuación y la Fig. 16 muestra un ejemplo de cómo encaja en la zona de llenado. Los reguladores y dispositivos neumáticos presentan efectos no lineales pero éstos pueden ser moldeados utilizando elementos básicos de combinación. Esto representa un factor combinado del volumen de ensayo, la resistencia de conexión al volumen de ensayo, y cualesquiera fugas del sistema y parte. El volumen de ensayo está en combinación con el volumen de puerto de ensayo del medidor de fugas, volumen de conexión de mangueras a la parte y al volumen de la parte bajo ensayo. La resistencia al llenado es una combinación de su resistencia de fuente de aire, regulador, válvulas, tubos y tuberías asociadas con la obtención de aire en el interior de la cámara. La resistencia para el escape es una combinación de las mangueras de conexión, válvulas y las trayectorias de escape que conducen el aire fuera de la parte a la atmósfera.

$$P_{fall}(t) = P_{start} * e^{-t/\tau} \quad (3)$$

en donde P(t) es la presión en el instante t, P_{FINAL} es la presión final, y τ es la constante de tiempo del proceso de llenado.

5 Esta pendiente o constante de tiempo τ estará afectada por cualquiera de los defectos o cuestiones anteriormente mencionados. Por ejemplo, si el DUT es una línea de freno para un vehículo y la manguera está retorcida la presión medida por el medidor se elevará más rápido que para un DUT bueno. La presión en la parte será elevada más lentamente, pero el medidor está midiendo la presión antes de del bloqueo, de forma que verá una elevación más rápida en la presión que si no estuviera retorcida. Los límites se pueden establecer ensayando poblaciones iniciales de partes buenas conocidas y partes malas y notificando el cambio en estas características de pendiente.

10 12D. Zona de Ensayo - Pendiente: Como se ha observado anteriormente, un ensayo de fugas de acuerdo con la técnica anterior durante la parte de ensayo de la curva de presión mide dos puntos, uno al inicio y uno al final, y con ello se calcula un régimen de fuga. Sin embargo, con análisis de firma de onda completa se realiza el muestreo continuado a lo largo de la parte de ensayo de la curva y estos puntos de datos se pueden utilizar para desarrollar una mejor pendiente exponencial de encaje utilizando una técnica de mínimos cuadrados en base al perfil de presión será una disminución exponencial desde la presión de inicio a la presión ambiente (véanse la Figura 17). Este procesamiento matemático mejora la precisión de las medidas filtrando el ruido de la medida y mejora los ensayos reducidos como se describe más adelante en la Sección 12E. El procesamiento puede emplear la misma ecuación (3) anterior.

20 12 E. Zona de Ensayo - Expulsión temprana: Típicamente el medidor de fugas de acuerdo con la técnica anterior debe esperar el tiempo de ensayo prescrito y después realizar el cálculo en base a las presiones de inicio y fin de la zona de ensayo para determinar el estado de paso / fallo del DUT. Sin embargo, con el análisis de firma de onda completo es acometido el muestreo continuo y estos puntos adicionales son todos utilizados de manera que la precisión se incrementa pero también la predicción temprana de precisión incrementada se hace posible. De acuerdo con una realización de la invención, el sistema de ensayo de fugas puede extraer periódicamente la parte de la onda de presión de ensayo que está disponible en ese punto y ejecutar el procesamiento matemático en el, con lo que se genera un predicción en el resultado final como se muestra en la Fig. 17. Esta predicción de resultado final así como la parte de datos actual de la zona de ensayo se compara con los límites predeterminados. Por consiguiente, en base a las muestras tempranas se puede determinar una predicción de un fallo probable que alcanzando un nivel predeterminado de confianza dé lugar a que el DUT sea considerado como un fallo en ese momento, ahorrando de este modo un valioso tiempo de producción dado que no se requiere el ciclo completo. Alternativamente, las partes también pueden ser consideradas para pasar en instantes de ensayo más tempranos en donde los niveles de confianza de los predicamentos son elevados. De esta manera sólo partes con regímenes de fuga que son esencialmente de línea límite requieren finalización del elemento de zona de ensayo completo del perfil.

35 Se proporcionan detalles específicos en la descripción anterior para proporcionar un perfecto entendimiento de las realizaciones. Sin embargo, se entiende que las realizaciones se pueden llevar a la práctica sin estos detalles específicos. Por ejemplo, los circuitos se pueden mostrar en diagramas en bloque con el fin de no oscurecer las realizaciones con detalles incensarios. En otros casos, circuitos, procesos, algoritmos, estructuras y técnicas bien conocidas se pueden mostrar sin detalles innecesarios para evitar oscurecer las realizaciones.

40 La implementación de las técnicas, bloques, etapas y medios descritos anteriormente se pueden hacer de diversas formas. Por ejemplo, estas técnicas, bloques, etapas, y medios pueden ser implantados en algunos casos como circuitos electrónicos que pueden comprender hardware, software o una combinación de los mismos. Para una implementación de hardware, las unidades de procesamiento pueden ser implementadas dentro de uno o más circuitos integrados específicos de aplicación (ASICs), procesadores de señal digitales (DSPs), dispositivos de procesamiento de señal digital (DSPDs), dispositivos lógicos programables (PLDs), configuraciones de puerta programables de campo (FPGAs), procesadores, controladores, microcontroladores, microprocesadores, otras unidades electrónicas para realizar las funciones descritas anteriormente y/o una combinación de los mismos.

50 También, se observa que las realizaciones pueden ser descritas como un proceso que se muestra como un gráfico de flujo, un diagrama de flujo, un diagrama de flujo de datos, un diagrama de estructura, o un diagrama de bloques. Aunque un gráfico de flujo puede describir las operaciones como un proceso secuencial, muchas de las operaciones se pueden realizar en paralelo o de forma concurrente. Además, el orden de las operaciones se puede reconfigurar. Un proceso se termina cuando sus operaciones son completadas, pero podría tener etapas adicionales no incluidas en la figura. Un proceso puede corresponder a un método, una función, un procedimiento, una subrutina, un subprograma, etc. Cuando un proceso corresponde a una función, su terminación corresponde a un retorno de la función a la función de llamada o la función principal.

Además, las realizaciones se pueden implementar mediante hardware, software, lenguajes de escritura, firmware, middleware, microcódigos, lenguajes de descripción de hardware y/o cualquier combinación de los mismos. Cuando se implementan en software, firmware, middleware, lenguaje de escritura y/o microcódigo, el código de programa o

- segmentos de código para realizar las tareas necesarias pueden ser almacenados en un medio leíble por una máquina, tal como un medio de almacenamiento. Un segmento de código una instrucción ejecutable con una máquina puede representar un procesamiento, una función, un subprograma, un programa, una rutina, una subrutina, un módulo, un paquete de software, una escritura, una clase, o cualquier combinación de instrucciones, estructuras de datos y/o segmentos de programa. Un segmento de código puede estar conectado a otro segmento de código o un circuito de hardware pasando y/o recibiendo información, datos, argumentos, parámetros y/o contenidos de memoria. La información, argumentos, parámetros, datos, etc., pueden pasar, ser enviados o transmitidos a través de cualesquiera medios adecuados incluyendo, compartir memoria, paso de mensajes, paso de señal, transmisión de red, etc.
- 5
- 10 Para una implementación de firmware y/o software, las metodologías pueden ser implementadas con módulos (por ejemplo, procedimientos, funciones, etcétera) que realicen las funciones descritas aquí. Cualesquiera instrucciones que encarnen tangiblemente un medio leíble por una máquina se pueden utilizar en la implementación de las metodologías descritas aquí. Por ejemplo, códigos de software se pueden almacenar en una memoria. La memoria puede estar implementada dentro del procesador o externa al procesador y puede variar en implementación cuando la memoria se emplea en el almacenamiento de códigos de software para la posterior ejecución a la de cuando la memoria se emplea en la ejecución de códigos de software. Como se ha utilizado aquí, el término "memoria" se refiere a cualquier tipo de medio de almacenamiento de largo plazo, corto plazo, volátil, no volátil y otros medios de almacenamiento y no se limita a ningún tipo particular de memoria o número de memoria, o tipo de medio en el que se almacene la memoria.
- 15
- 20 Además, como se ha descrito aquí, la expresión "medio de almacenamiento" puede representar uno o más dispositivos para almacenar datos, que incluyen memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), RAM magnética, memoria de núcleo, medios de almacenamiento de disco magnético, medios de almacenamiento ópticos, dispositivos de memoria temporal y/o otros medios leíbles por una máquina para almacenar información. La expresión "medio leíble por una máquina" incluye, pero no se limita a dispositivos de almacenamiento fijos, dispositivos de almacenamiento ópticos, canales inalámbricos y/o diversos otros medios capaces de almacenar, contener o transportar instrucción(es) y/o datos.
- 25
- Las metodologías descritas aquí son, en una o más realizaciones, realizables mediante una máquina que incluye uno o más procesadores que aceptan segmentos de código que contienen instrucciones. Para cualquiera de los métodos descritos aquí, cuando las instrucciones son ejecutadas por la máquina, la máquina realiza el método. Cualquier máquina capaz de ejecutar un conjunto de instrucciones (secuencial o de otro modo) que especifique acciones a tomar por esa máquina, están incluidas. De este modo, una máquina típica puede tener como ejemplo un sistema de procesamiento típico que incluye uno o más procesadores. Cada procesador puede incluir una o más CPU, una unidad de procesamiento de gráficos, una unidad DSP programable. El sistema de procesamiento puede incluir un subsistema de memoria que incluye RAM principal y/o RAM estática, y/o ROM. Un subsistema de bus puede estar incluido para la comunicación entre los componentes. Si el sistema de procesamiento requiere una pantalla, tal pantalla se puede incluir, por ejemplo una pantalla de cristal líquido (LCD). Si se requiere entrada de datos manual, el sistema de procesamiento incluye también un dispositivo de entrada tal como uno o más de una unidad de entrada alfanumérica como un teclado, un dispositivo de control de puntero, tal como un ratón, etcétera.
- 30
- 35
- 40 La memoria incluye segmentos de código leíbles por una máquina (por ejemplo, software o código de software) que incluye instrucciones para realizar, cuando se ejecutan por el sistema de procesamiento, uno o más de los métodos descritos aquí. El software puede residir totalmente en la memoria, o puede residir también, completamente o al menos parcialmente, dentro de la RAM y/o dentro de procesador durante la ejecución del mismo por el sistema de ordenador. De este modo, la memoria y el procesador constituyen también un sistema que comprende un código leíble por una máquina.
- 45
- 50 En las realizaciones alterativas, la máquina funciona como un dispositivo independiente o puede estar conectada, por ejemplo en red con otras máquinas, en un despliegue de red, la máquina pueden operar en la capacidad de un servidor o una máquina de cliente en el ambiente de red de servidor de cliente, o como máquina de iguales, en un ambiente de red de igual a igual o distribuida. La máquina puede ser, por ejemplo, un ordenador, un servidor, un grupo de servidores, un grupo de ordenadores, un aparato de web, un entorno de ordenador distribuidor, un entorno de ordenador de nube, una máquina capaz de ejecutar un conjunto de instrucciones (secuenciales o de otro modo) que especifiquen acciones a ser realizadas por esa máquina. El término máquina también puede ser tomado para incluir cualquier colección de máquinas que individualmente o conjuntamente ejecuten un conjunto (o múltiples conjuntos) de instrucciones para realizar cualquiera uno o más de las metodologías descritas aquí.
- 55
- La descripción anterior de las realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención ha sido presentada con fines de ilustración y descripción. No está destinada a ser exhaustiva no a limitar la invención a las formas precisas descritas. Muchas variaciones y modificaciones de las realizaciones descritas aquí resultarán evidentes para los expertos en la técnica a la luz de las
- 60
- Además, en la descripción de las realizaciones representativas de la presente invención, la memoria ha presentado el método y/o proceso de la presente invención como una secuencia particular de etapas. Sin embargo, dado que el método o proceso no se basa en un orden particular de etapas presentadas aquí, el método o proceso no se limita a

5 la secuencia particular de etapas descritas. Como apreciará un experto en la técnica, son posibles otras secuencias de etapas. Por lo tanto, el orden particular de las etapas expuestas en la memoria no debe constituir limitación de las reivindicaciones. Además, las reivindicaciones dirigidas al método y/o proceso de la presente invención no se deben limitar a la ejecución de las etapas en el orden escrito, y un experto en la técnica apreciará fácilmente que las secuencias pueden ser modificadas y todavía permanecer dentro del espíritu y campo de la presente invención como están definidos por las reivindicaciones adjuntas.

10

REIVINDICACIONES

1. Un método de ensayo de fugas para un dispositivo bajo ensayo (DUT) que comprende las etapas de:
- 5 a) llenar el DUT con un fluido a una presión predeterminada utilizando un primer regulador (R2) (435) y una primera válvula V1 (440) (440) dispuestos en serie entre una fuente de fluido y el DUT;
- b) realizar una medida, la medida hecha midiendo con un sensor de flujo F1 (455) una onda de flujo medida y caracterizada por que comprende al menos una de:
- 10 A) realizar las etapas de
- (i) medir la presión con un sensor de presión absoluta P2 (485) para generar una onda de presión absoluta, el sensor de presión absoluta P2 (485) dispuesto para medir la presión entre el sensor de flujo F1 (455) y el DUT;
- 15 ii) calcular con el microprocesador una derivada de la onda de presión absoluta;
- iii) calcular con el microprocesador un flujo efectivo debido a la onda de cambio de presión absoluta utilizando los datos obtenidos a partir del sensor de presión absoluta P2 (485) dependiendo del volumen de DUT conocido y la presión absoluta; y
- 20 iv) restar este flujo efectivo de la onda de flujo medida para generar una onda de flujo real corregida;
- B) realizar las etapas de
- 25 i) medir con un sensor de flujo F1 (455) la onda de flujo medida;
- ii) esperar un periodo de tiempo predeterminado;
- 30 iii) realizar una medida de la presión de ensayo absoluta utilizando un sensor de presión absoluta P2 (485);
- iv) utilizar la medida de la presión de ensayo absoluta como un punto de ajuste;
- 35 v) cerrar la válvula de llenado V1 (440);
- vi) acoplar el bucle de retroalimentación entre el sensor de presión absoluta P2 (485) y el controlador de flujo;
- vii) medir la señal de flujo de control resultante a partir del controlador de flujo;
- 40 C) realizar las etapas de:
- (i) establecer un bucle de retroalimentación entre el sensor de presión absoluta P2 (485) y un controlador de flujo, comprendiendo el bucle de retroalimentación:
- 45 (a) proporcionar un sensor de presión absoluta P2 (485) dispuesto para medir la presión de ensayo absoluta entre el sensor de flujo F1 (455) y el DUT;
- (b) proporcionar un circuito de filtrado y procesamiento para procesar la medida de la presión de ensayo absoluta; y
- 50 (c) proporcionar un controlador de tipo proporcional-integración-derivativo para controlar el sensor de flujo F1 (455) en base a la salida del circuito de filtrado y procesamiento; y
- D) determinar si pasa el DUT que comprende las etapas de:
- 55 (i) establecer un encaje matemático de los datos relacionados con el ajuste del controlador de flujo durante un periodo de tiempo predeterminado;
- (ii) proyectar el encaje matemático a un punto predeterminado en el tiempo;
- 60 (iii) determinar si el resultado proyectado cumple un criterio predeterminado;
- (iv) asociar una confianza al resultado proyectado dependiendo de al menos uno de los resultados proyectados, el periodo de tiempo predeterminado, y el punto de tiempo predeterminado; y
- 65 (v) pasar el DUT cuando el resultado proyectado cumple un criterio predeterminado con una confianza predeterminada; y

E) realizar las etapas de:

(i) llenar un volumen de referencia a la misma presión que el DUT;

(ii) medir con un sensor de flujo F1 (455) una onda de flujo medida, en donde el proceso de medida comprende además:

(a) sellar el volumen de referencia;

(b) emplear un sensor de presión diferencial de escala total baja para medir la diferencia de presiones entre el volumen de referencia y el DUT;

(c) controlar usando un bucle de control, el sensor de flujo F1 (455), tendiendo el bucle de control la salida del sensor de presión diferencial como entrada de retroalimentación y un valor cero como punto de ajuste, de manera que el bucle de control tiene una entrada de relación entre la señal y el ruido grande; y

c) calcular con un microprocesador un régimen de fuga para el DUT dependiente de al menos la onda de flujo medida.

2. Un método de ensayo de fugas de un dispositivo bajo ensayo (DUT) que comprende las etapas de:

a) llenar el DUT con un fluido a una presión predeterminada utilizando un primer regulador R2 (435) y una primera válvula V1 (440) dispuestos en serie entre la fuente del fluido y el DUT;

b) medir o un sensor de flujo F1 (455) una onda de flujo de medida; y

c) calcular con un microprocesador un régimen de fugas para el DUT dependiendo de al menos la onda de flujo medida, y caracterizado porque comprende al menos uno de:

(A) en donde la etapa (a) comprende:

(i) llenar hasta desbordamiento el DUT a una presión inicial más alta que la presión de ensayo final requerida;

(ii) mantener el DUT a la presión inicial hasta que el calor equivalente haya sido transferido al DUT, siendo el calor equivalente el calor que sería transferido al DUT cuando se llenase a la presión de ensayo requerida final cuando se estabilice;

(iii) reducir la presión a la presión de ensayo final requerida;

(B) en donde la etapa (a) comprende:

(i) llenar hasta desbordamiento el DUT a una presión inicial más elevada que la presión de ensayo final requerida;

(ii) monitorear el régimen adiabático actual del calor transferido;

(iii) ajustar la presión de DUT desde la presión inicial sobre la presión de llenado a la presión de ensayo final requerida utilizando el régimen adiabático de transferencia de calor como la entrada; y

(iv) controlar la presión de manera que la presión de ensayo final requerida sea alcanzada con un régimen adiabático de transferencia de calor por debajo de un umbral predeterminado;

(C) en donde al menos una de:

(a) al menos un regulador de presión de ensayo R1 (450) unido a una entrada para recibir el fluido y el primer regulador R2 (435) dispuesto entre de la primera válvula V1 (440) es un regulador de presión absoluta con lo que se reduce el error debido a cambios de presión atmosférica absoluta; y

(b) el régimen de fugas calculado en la etapa c) para el DUT es corregido por un factor de corrección establecido dependiendo de al menos la temperatura del DUT, siendo la temperatura del DUT establecida dependiendo de un régimen calculado de cambio de pendiente de presión medido

con un sensor de presión absoluta P2 (485) dispuesto para medir la presión entre el sensor de flujo F1 (455) y el DUT; y

(D) en donde la etapa (a) comprende además:

- 5
- (i) llenar el DUT con un regulador de llenado R2 (435) a través de una válvula de llenado V1 (440) a una presión mas elevada que la presión de ensayo requerida final;
- 10
- (ii) reducir la presión del DUT utilizando el regulador de llenado R2 (435) a la presión de ensayo requerida final;
- (iii) medir la presión de DUT utilizando un sensor de presión absoluta P2 (485);
- 15
- (iv) establecer un punto de ajuste de control de un regulador de presión de ensayo absoluta R1 dependiendo de la presión de DUT medida;
- (v) llenar el DUT utilizando el regulador de presión de ensayo R1 (450) a través de la válvula de llenado V5 después de cerrar la válvula de llenado V1 (440); y
- 20
- (vi) conmutar a ensayo de flujo con el sensor de flujo F1 (455) a través de la válvula de ensayo de flujo V3 después de cerrar la válvula de llenado V5.

3. El método de ensayo de fugas de un dispositivo bajo ensayo (DUT) de acuerdo con la reivindicación 2, que además comprende la etapa (D), y además comprende al menos una de:

- 25
- las etapas (i) a (iii) se realizan dos veces utilizando diferentes pares de regulador de llenado R2 (435) y válvula de llenado V1 (440); y
- 30
- las etapas (i) a (v) se realizan dos veces utilizando diferentes conjuntos de regulador de llenado R2 (435), válvula de llenado (440), regulador de presión de ensayo absoluta R1 (450) y válvula de llenado V5 (445).

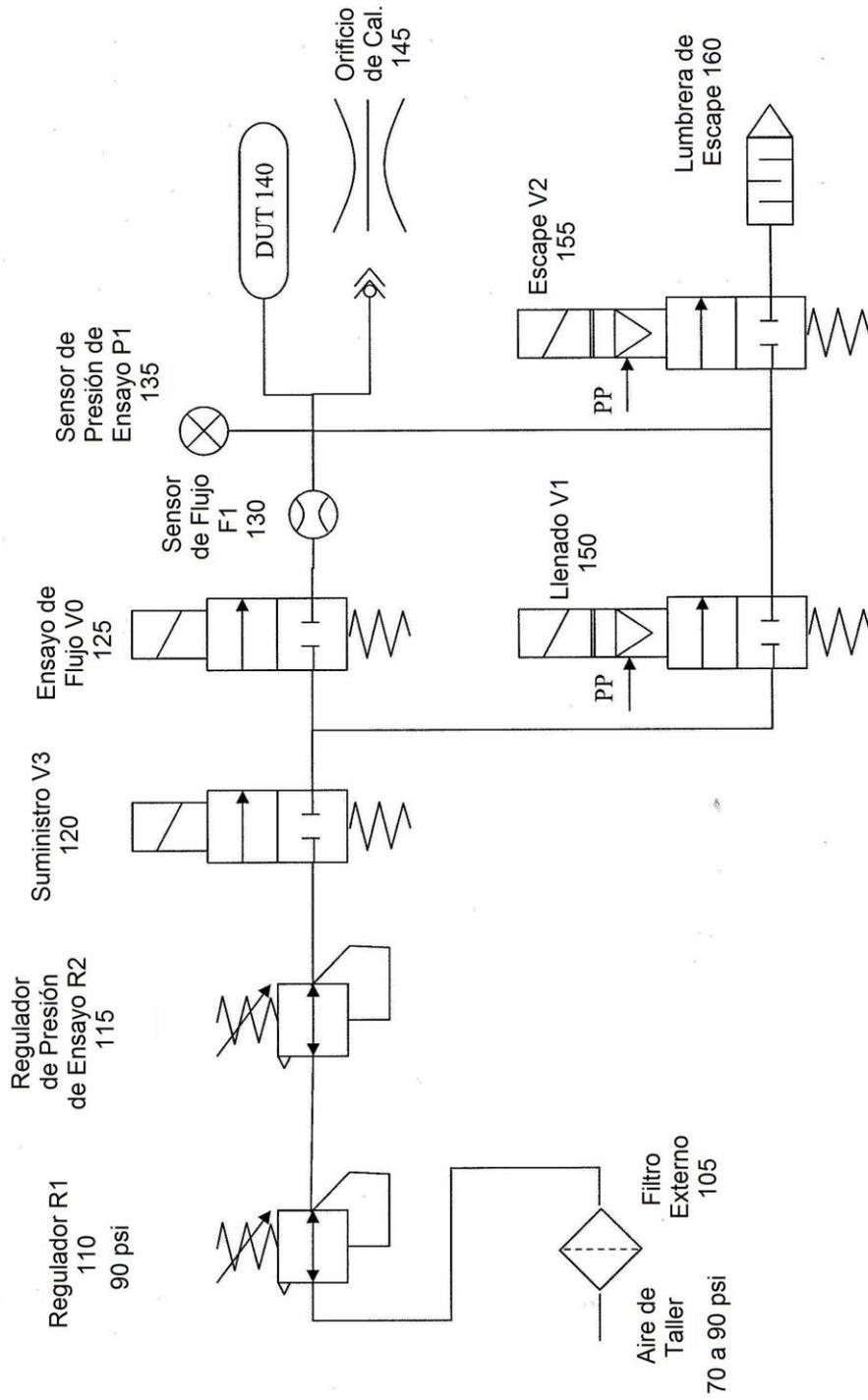


Figura 1

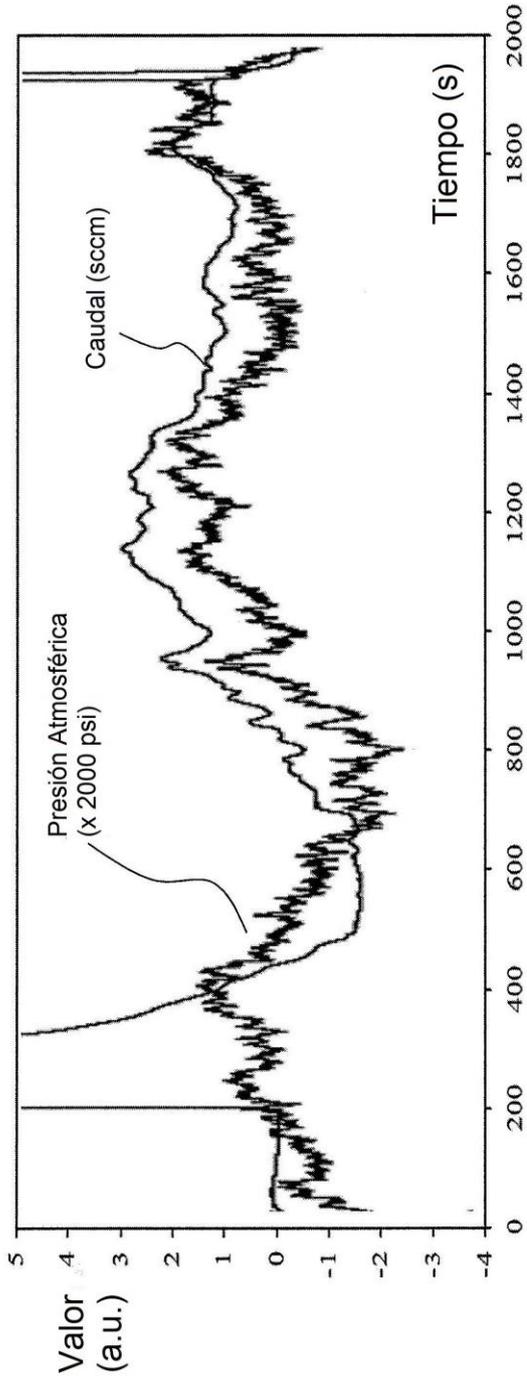


Figura 2

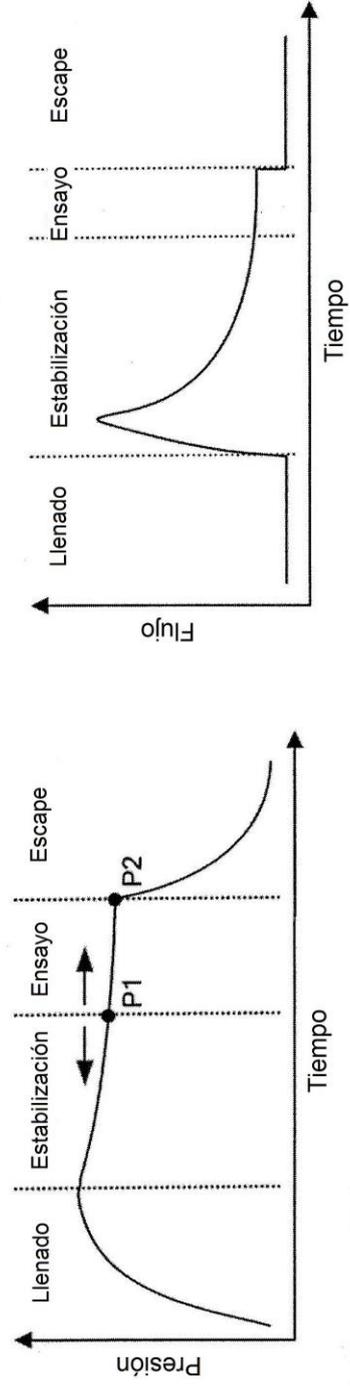


Figura 7A

Figura 7B

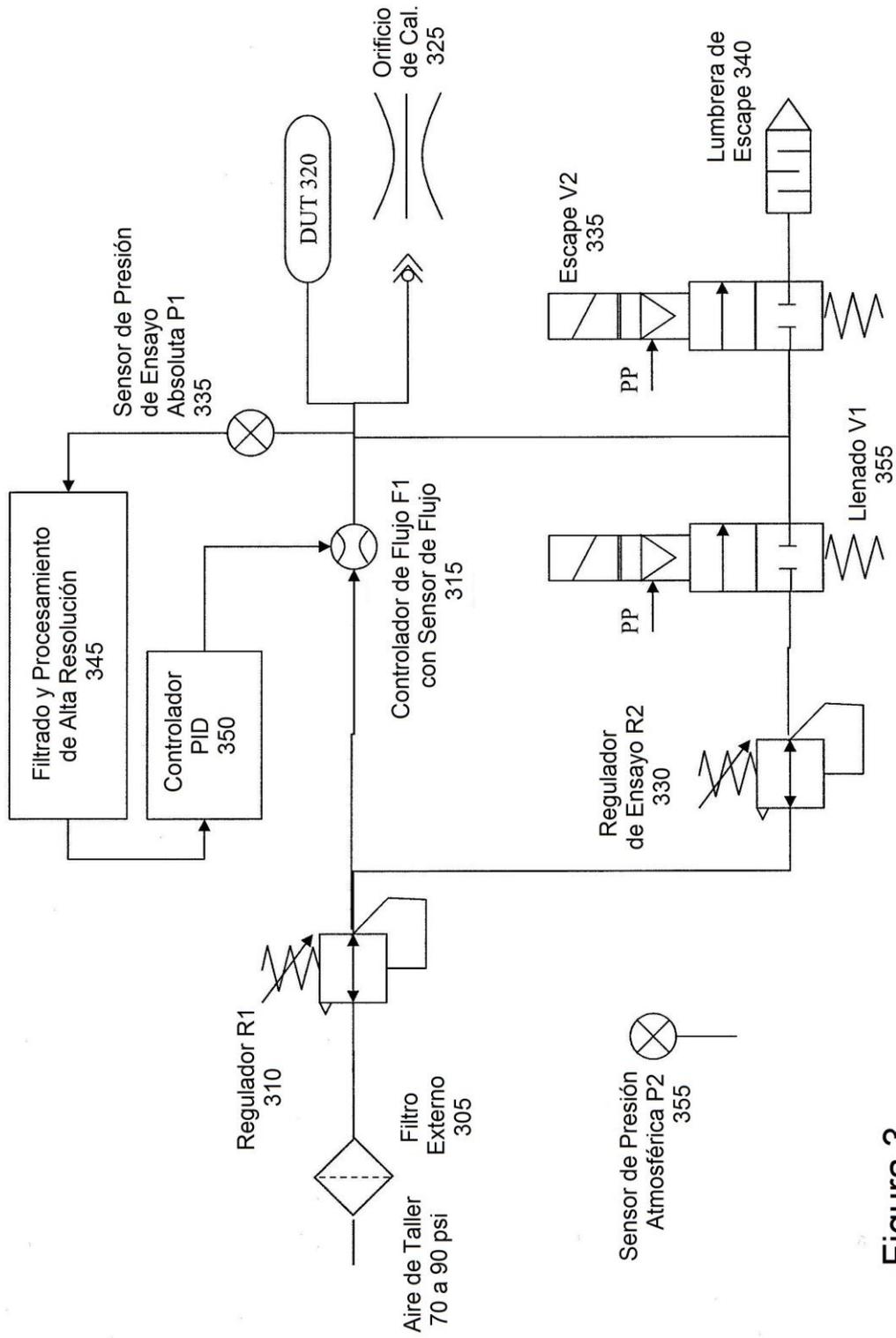


Figura 3

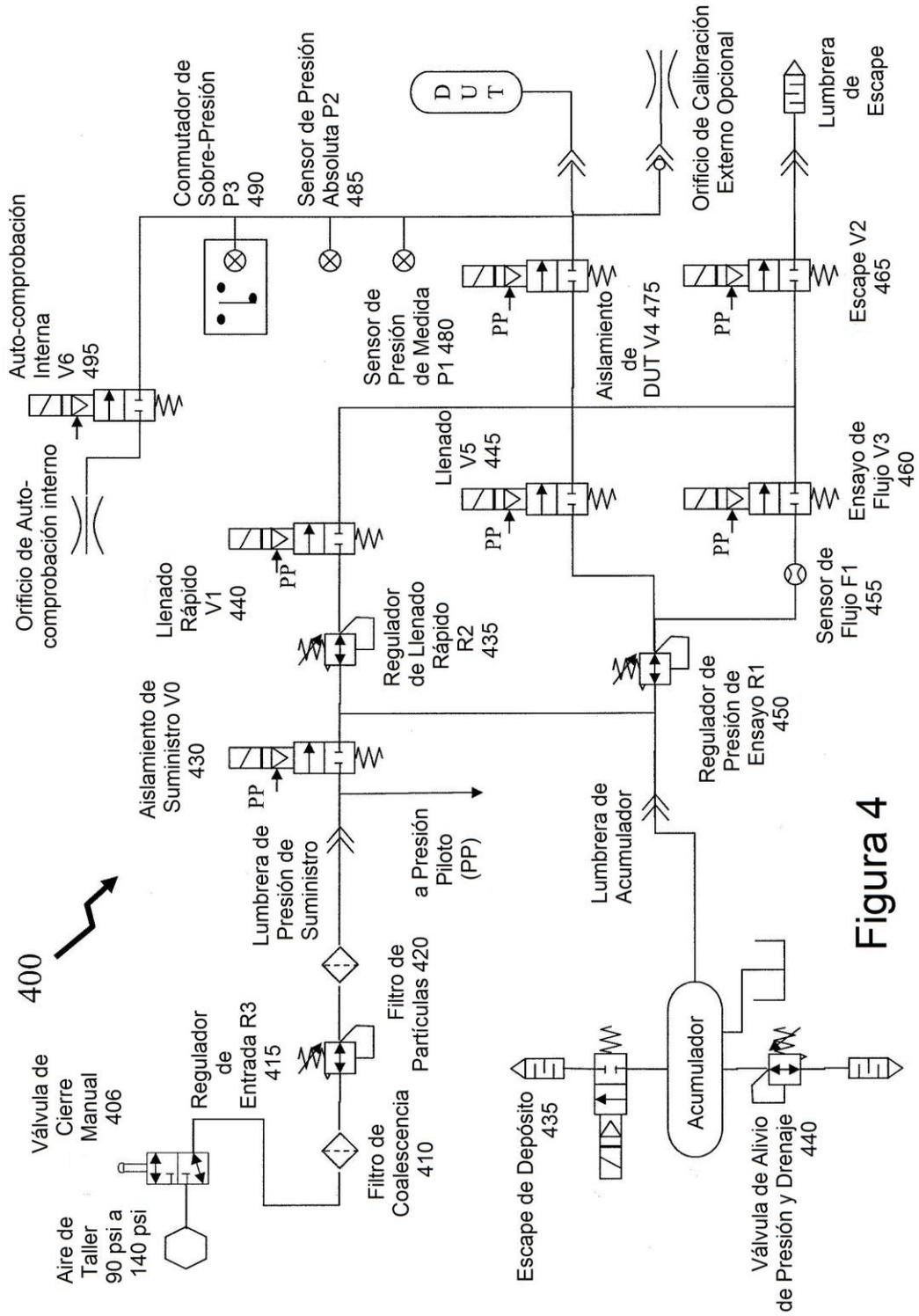


Figura 4

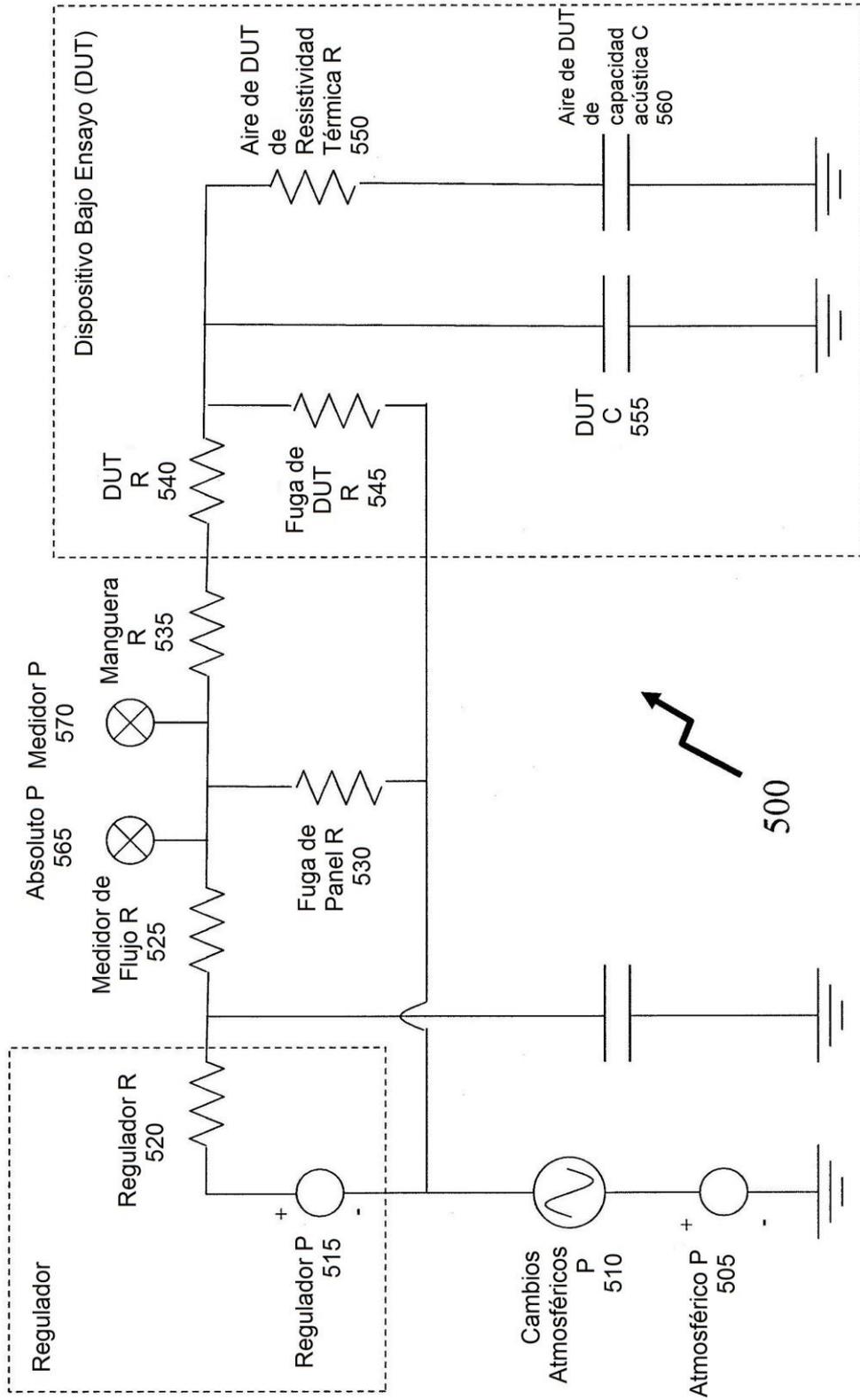


Figura 5

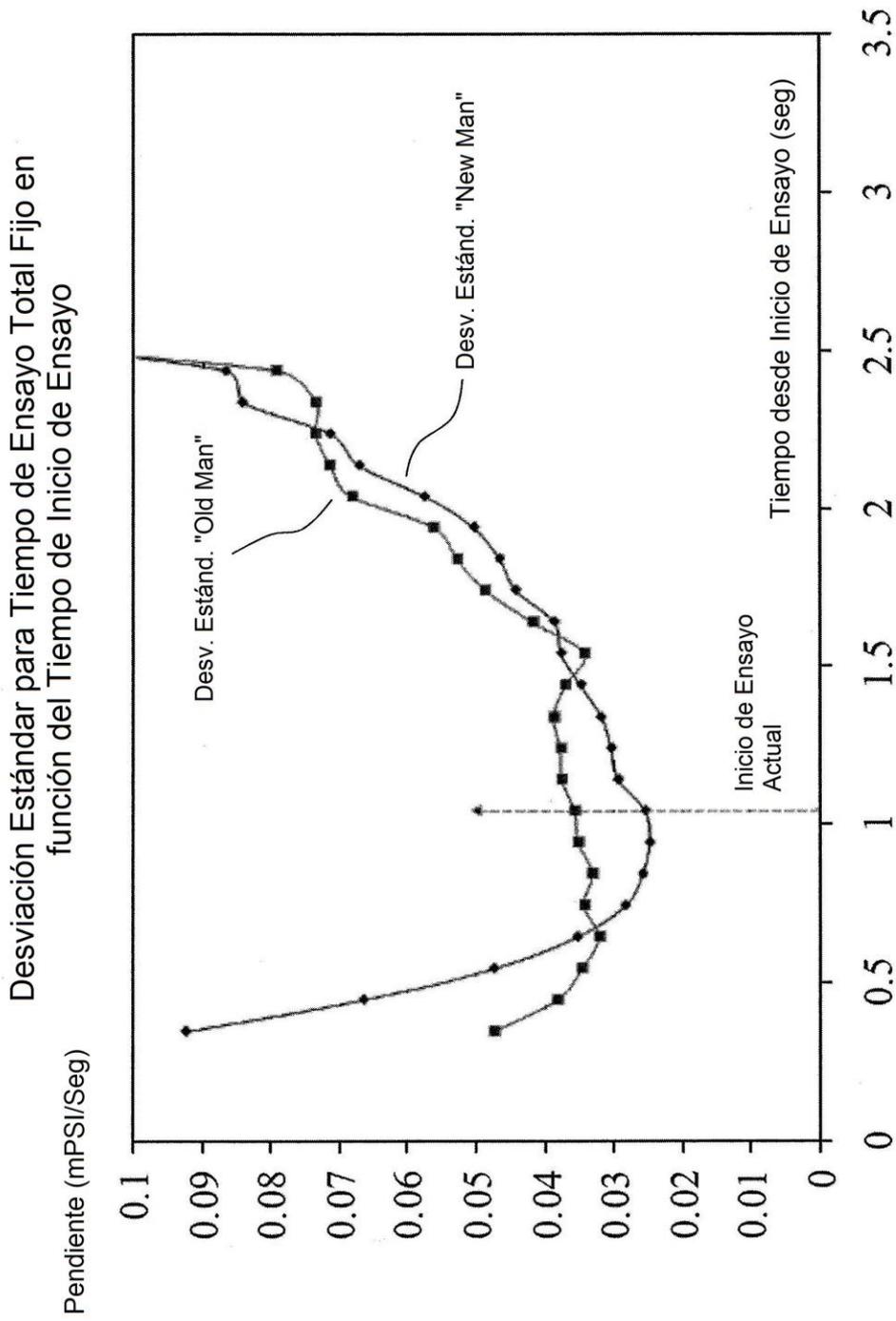


Figura 6

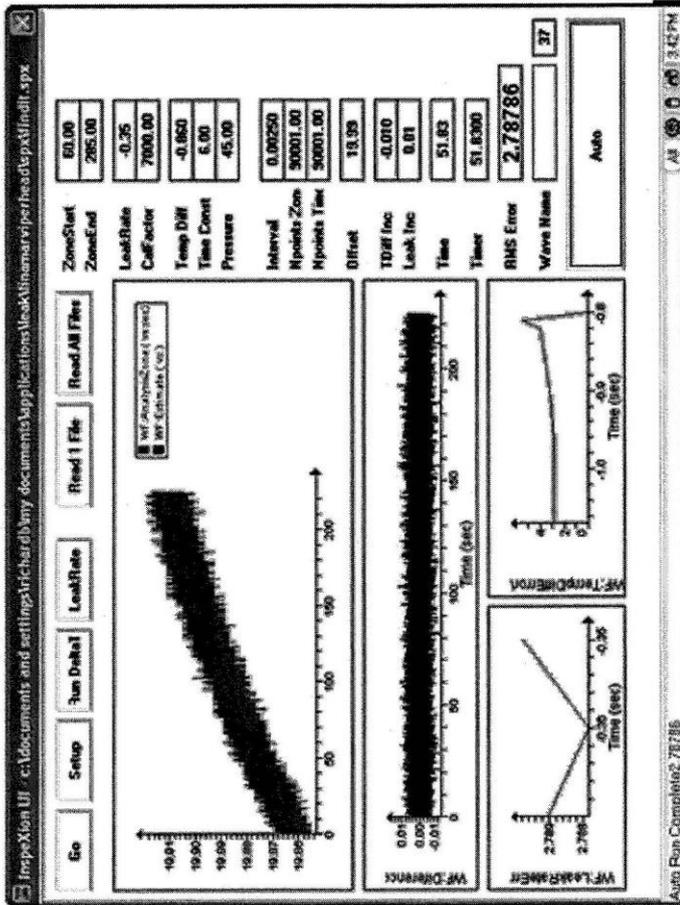


Figura 8

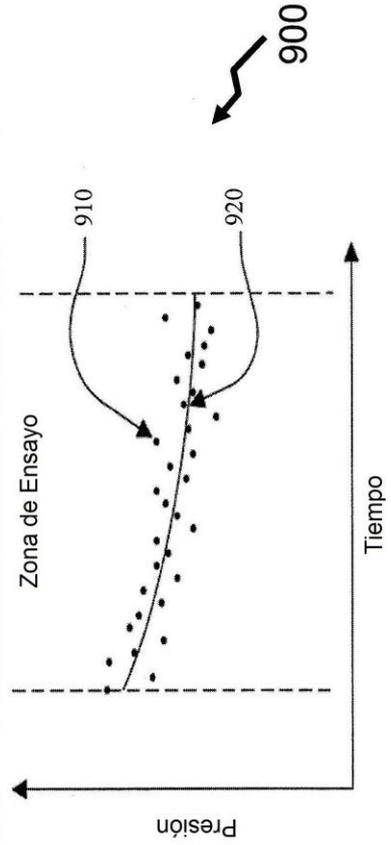


Figura 9

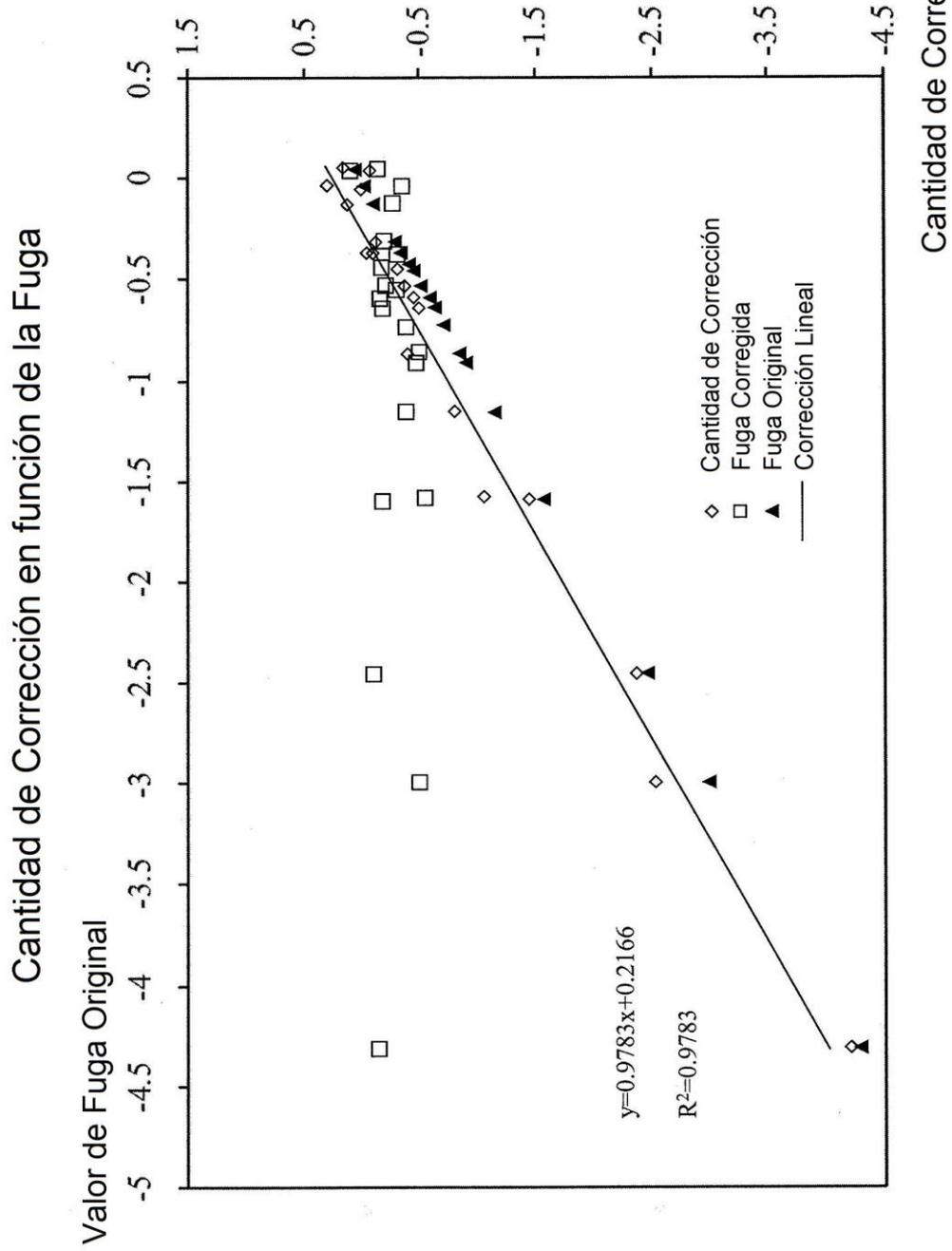


Figura 10

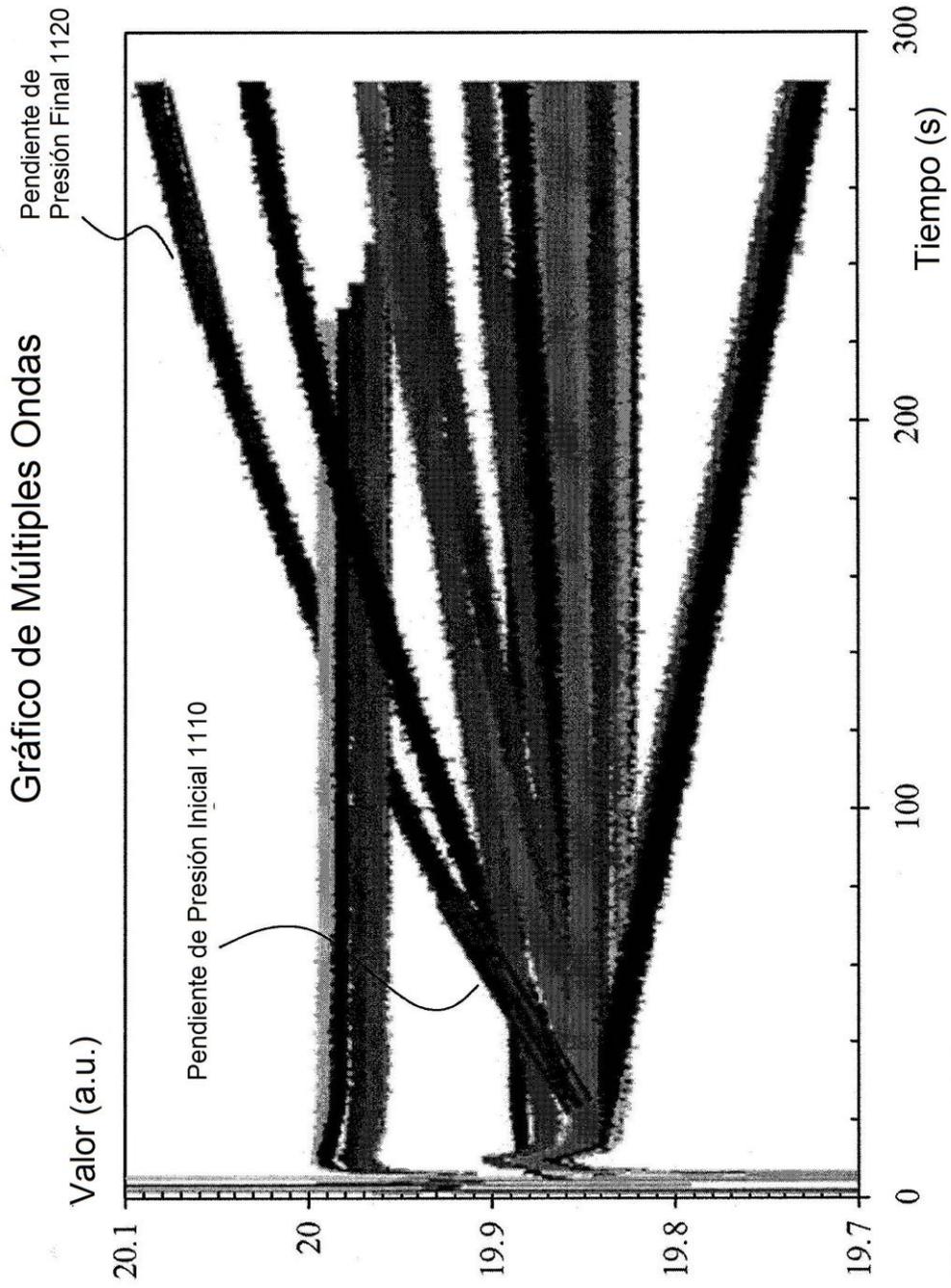


Figura 11A

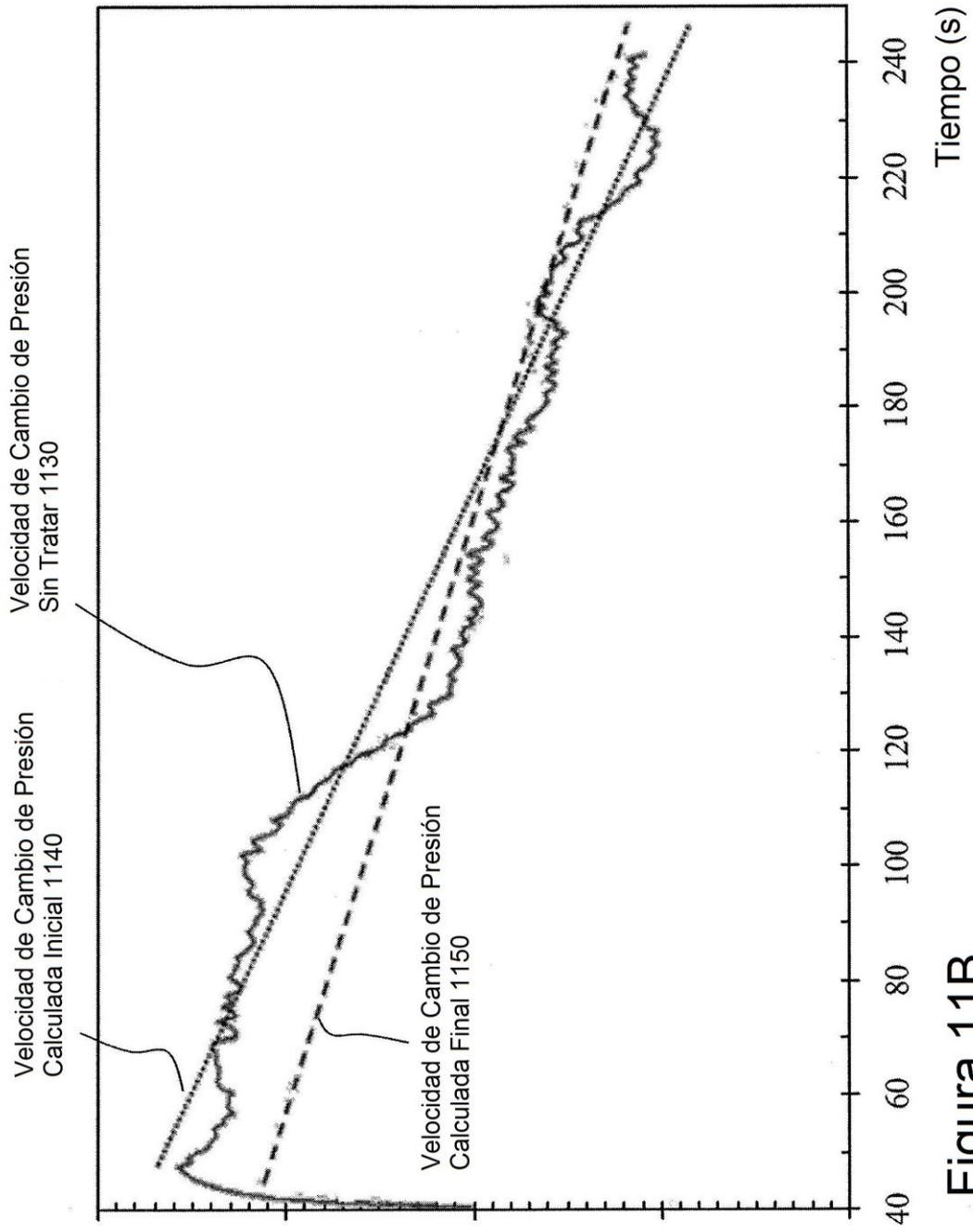
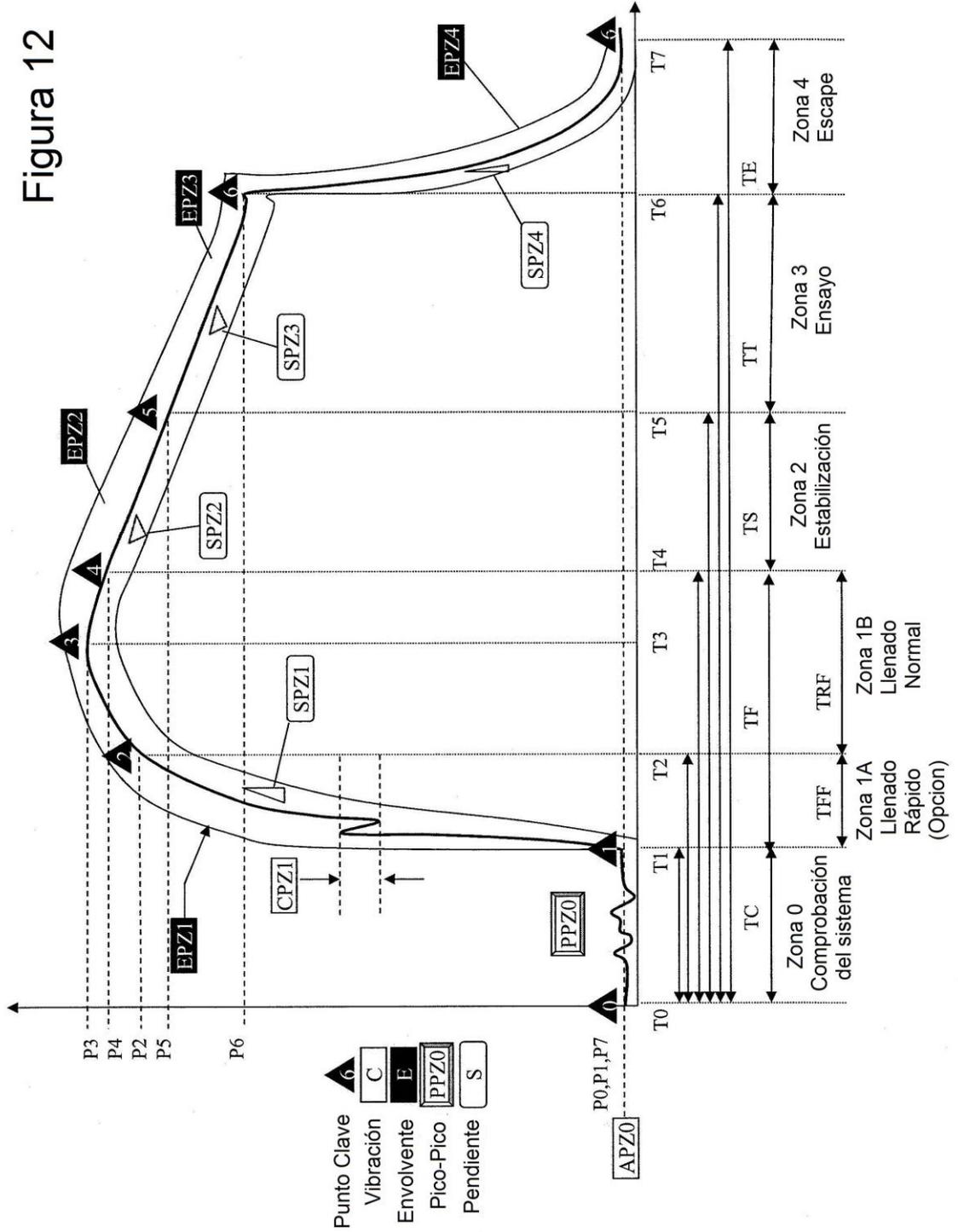


Figura 11B

Figura 12



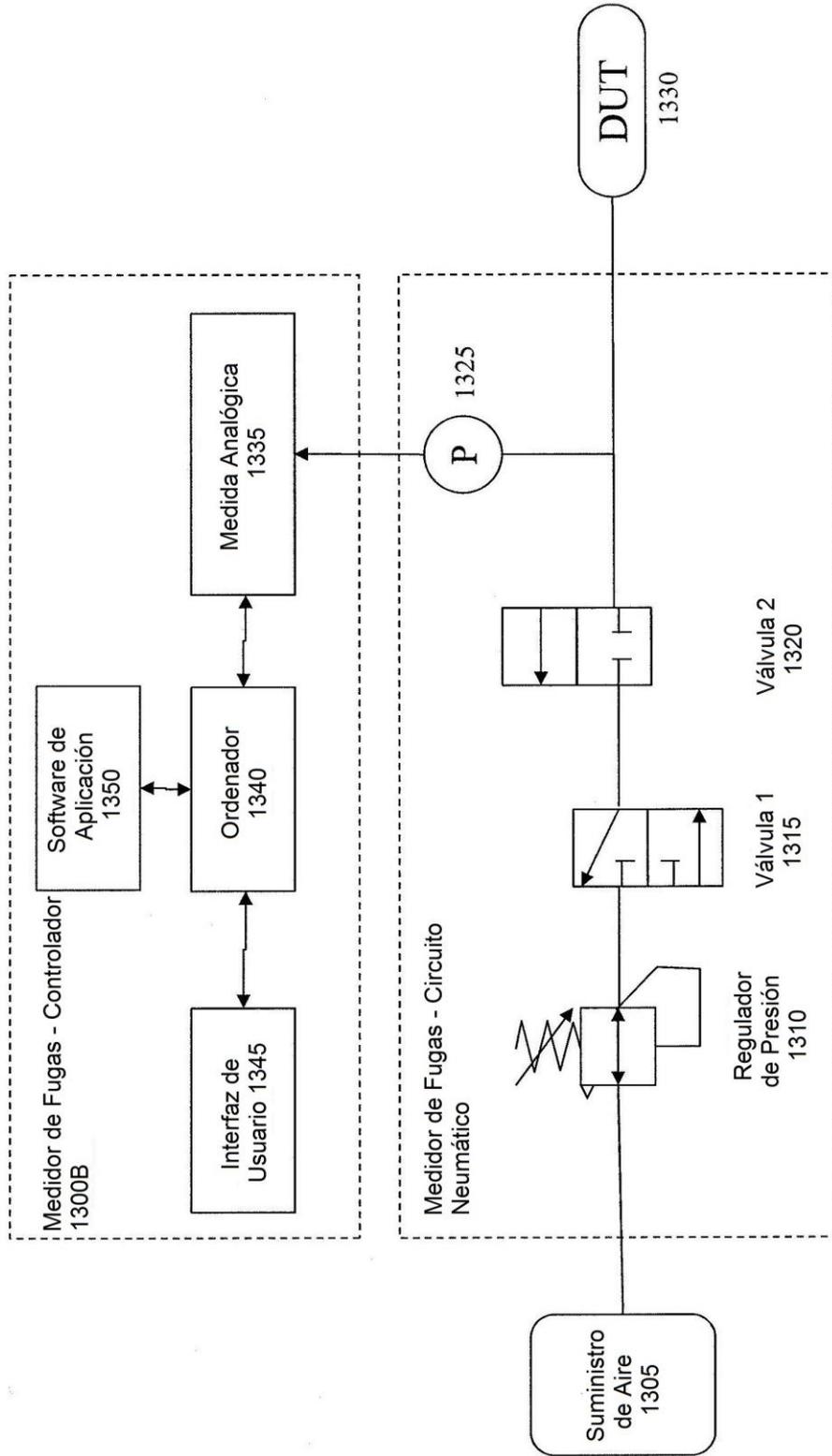


Figura 13

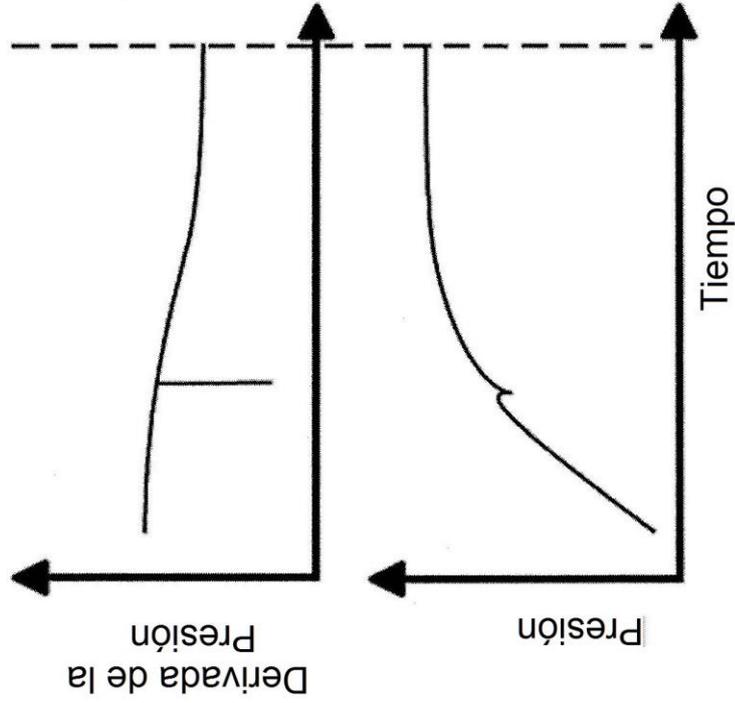


Figura 15

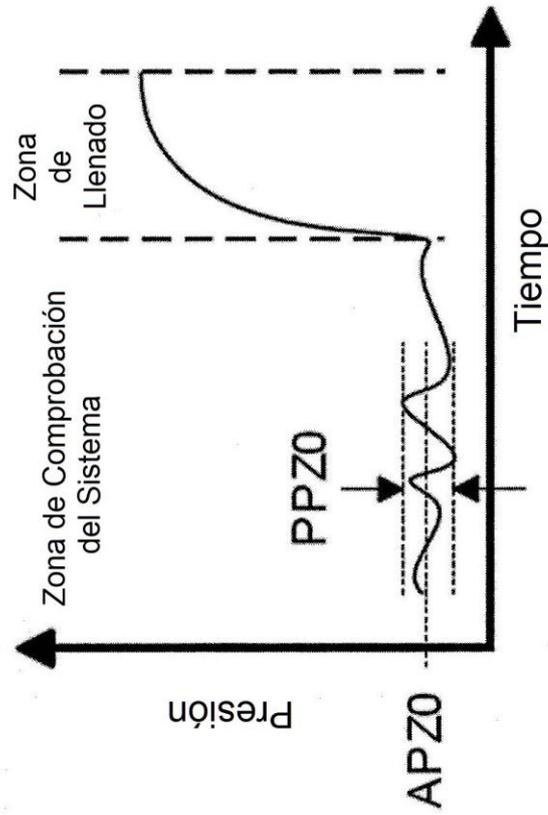


Figura 14

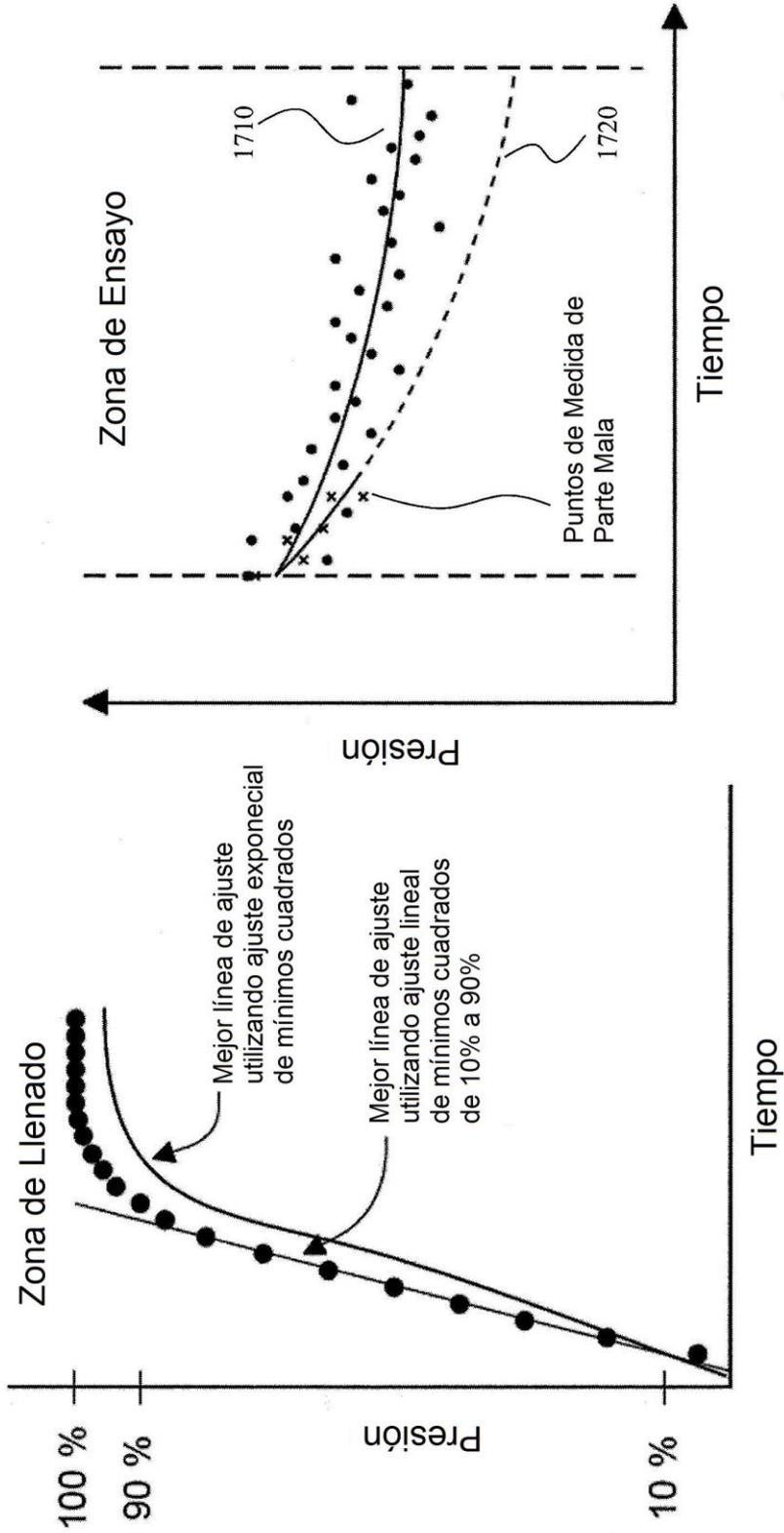


Figura 17

Figura 16

