

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 765**

51 Int. Cl.:

**G01P 13/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2009 E 09843598 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013 EP 2422204**

54 Título: **Sistema y procedimiento para detectar y aislar fallos en la detección de presión de un sistema enrasado de datos anemobarométricos (FADS)**

30 Prioridad:

**21.04.2009 IN CH09222009**

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

**12.03.2014**

73 Titular/es:

**INDIAN SPACE RESEARCH ORGANISATION  
(100.0%)**

**ISRO Headquarters, Department of Space,  
Antariksh Bhavan, New BEL Road  
Bangalore 560 094 Karnataka , IN**

72 Inventor/es:

**MADHAVANPILLAI, JAYAKUMAR;  
NARAYANAN, REMESH;  
SUDAMINI, HARISH, CHANDRAN;  
SUBRAMANIAIYER, SWAMINATHAN;  
KAILASAVADIVOO, SIVAN y  
VIR, SHARMA, SURENDRA**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 447 765 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

Sistema y procedimiento para detectar y aislar fallos en la detección de presión de un sistema enrasado de datos anemobarométricos (FADS)

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a la ingeniería aeronáutica, particularmente en el campo del sistema de detección de presión de un sistema enrasado de datos anemobarométricos (Flush Air Data System, FADS) empleado en los vehículos espaciales. La presente invención se refiere, más específicamente, a un sistema y a un procedimiento para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión del sistema de detección de presión.

**Antecedentes de la invención**

10 Los sistemas de detección de presión utilizados por los sistemas enrasados de datos anemobarométricos (FADS) de un vehículo espacial, aeronaves de alta velocidad y sondas planetarias consisten, generalmente, en puertos de presión, tubos neumáticos y transductores de presión. Los transductores de presión miden la presión de aire en la superficie desde los puertos de presión y proporcionan los datos de presión introducidos al procesador FADS, el cual, a su vez, genera parámetros de datos anemobarométricos, tales como ángulo de ataque, ángulo de deslizamiento lateral, número de Mach y presión dinámica. Estos parámetros de datos anemobarométricos son cruciales para el sistema de guiado y control del vehículo para el control en tiempo real y el alivio de las cargas debidas a las ráfagas para proteger los sistemas del vehículo del calentamiento aerodinámico, para llevar a cabo la programación de ganancia y para guiar el vehículo a lo largo de la trayectoria deseada. Por lo tanto, es esencial mantener la exactitud de estas mediciones de presión para controlar los vehículos.

15 Sin embargo, pueden producirse inexactitudes en las mediciones de presión como resultado de fallos en los transductores de presión o debido a un bloqueo de los puertos de presión, causado por la formación de hielo o por partículas extrañas. Los puertos de presión bloqueados y los transductores de presión defectuosos crean una desviación considerable de los parámetros de datos anemobarométricos estimados con relación a sus valores reales, lo que puede conducir, en última instancia, a la pérdida de control y al fallo de la misión del vehículo. La Junta de Investigación de Accidentes que estudió la causa del accidente del avión experimental X-31 de la NASA el 19 de Enero de 1995, ha razonado que una acumulación de hielo en o sobre el sistema pitot-estático, no calentado, de la aeronave proporcionó información falsa de la velocidad de aire a los ordenadores de control de vuelo. Esto condujo a una falsa lectura de los datos de presión total de aire y causó que el sistema de control de vuelo de la aeronave se configurara automáticamente de manera errónea para una velocidad menor. De repente, la aeronave comenzó a oscilar en todos los ejes, su ángulo de ataque se elevó hasta más de 90 grados, perdió el control y se estrelló.

20 Además, hay diversos informes diferentes de sellados de los puertos de presión de los sistemas de datos anemobarométricos por insectos o debido a la congelación del agua atrapada en los tubos neumáticos durante el vuelo. Estos eventos pueden generar preocupación por la posibilidad de un despegue con indicaciones erróneas de velocidad de aire y la posibilidad de una acción incorrecta por parte de la tripulación, que conduzca a un despegue abortado a alta velocidad o pérdida de conciencia de la situación durante el vuelo. Por lo tanto, siempre es necesario eliminar los puertos de presión bloqueados y/o los transductores defectuosos de los cálculos FADS para mejorar la exactitud y la fiabilidad de la estimación de los parámetros de datos anemobarométricos del FADS en los vehículos espaciales.

25 Las técnicas convencionales de detección y aislamiento de fallos (FDI) utilizan un algoritmo de inteligencia artificial, tal como redes neuronales, para identificar los puertos de presión bloqueados, que son procedimientos indirectos y complejos que utilizan modelos inversos. En dichos sistemas existentes, hay uno o dos transductores de presión conectados a un puerto de presión, lo que provoca dificultades para aislar los bloqueos de puerto de los fallos de los transductores de presión. Además, la alimentación de los uno o dos transductores se hace usando una única fuente de alimentación, lo que afecta a toda la medición de presión cuando se producen fallos de alimentación.

30 La patente US 7257470 describe un procedimiento y un aparato de aislamiento de fallos en sistemas de datos anemobarométricos basados en inteligencia artificial, que son específicos de los sistemas de datos anemobarométricos basados en inteligencia artificial. Dicho procedimiento es un procedimiento inverso que requiere un número de redes neuronales igual al número de puertos de presión. El procedimiento depende principalmente de los parámetros de entrada del FADS para la detección de fallos en los puertos de presión y, por lo tanto, requiere un modelo inverso para resolver los fallos de medición de presión. Dichos cálculos de modelo inverso requieren la salida de la estimación de presión en cada puerto de presión en el FADS, lo que resulta en un

proceso computacionalmente caro y complejo.

La patente GB 2432914A describe la detección de fallos en sistemas de datos anemobarométricos basados en inteligencia artificial, que también es específica para los sistemas de datos anemobarométricos basados en inteligencia artificial. Este procedimiento hace uso también de un gran número de redes neuronales para la generación de datos anemobarométricos y la detección de fallos de los sensores de presión. El principal inconveniente de los sistemas de la técnica anterior es que se basan en un modelo inverso para estimar los valores de presión en los puertos de presión, lo que complica la detección y el aislamiento de fallos (FDI). Además, los sistemas existentes requieren una amplia validación de características estadísticas tales como la varianza de los residuales de presión.

Con respecto a los procedimientos convencionales, se utilizan numerosas redes neuronales para conseguir la generación de datos anemobarométricos y la detección de fallos de los puertos de presión en el sistema de detección de presión de los vehículos espaciales. Sin embargo, estos procedimientos se basan en el modelo inverso para la detección de fallos, lo cual es muy difícil y complejo de procesar en el FADS. Con el fin de superar las deficiencias de la técnica anterior, indicadas anteriormente, se requiere un esquema FDI con una menor carga computacional y más adecuado desde el punto de vista de su implementación a bordo. Por lo tanto, es esencial proporcionar un sistema y un procedimiento mejorados para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y en los transductores de presión del sistema de detección de presión.

### Objeto de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, que mejora la exactitud y fiabilidad de la estimación de la presión del FADS.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, que consigue una generación precisa y fiable de datos anemobarométricos necesarios para controlar un vehículo espacial en tiempo real.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, que sea directo, sencillo, seguro y preciso.

### Sumario de la invención

Según un aspecto, la presente invención, que consigue los objetivos, se refiere a un sistema para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión que comprende un conjunto de puertos de presión enrasados con el morro de un vehículo espacial en forma crucifijo. Hay tres transductores de presión conectados a cada puerto de presión a través de tubos neumáticos para medir la presión de la superficie desde los puertos de presión. Hay unidades de suministro de energía separadas conectadas a los tres transductores de presión para suministrar energía a los transductores de presión en cada puerto de presión. Una unidad de procesamiento está configurada para adquirir entradas de tensión correspondientes a la presión de la superficie medida desde los transductores de presión. La unidad de procesamiento ejecuta uno o más niveles de comprobación de fallos para detectar y aislar fallos de los transductores de presión y bloquear los puertos de presión en base a las entradas de tensión. Por lo tanto, es posible mejorar la exactitud y la fiabilidad de la estimación de presión del FADS.

Según otro aspecto, la presente invención, que consigue los objetivos, se refiere a un procedimiento para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, que comprende: distinguir entre fallos de bloqueo de puerto de presión y fallos de transductor de presión por medio de una comparación transversal de las presiones de superficie medidas en los puertos de presión. Se determina si las presiones de superficie medidas están comprendidas o no en un rango deseado, de manera aproximada, en un instante específico de la fase de vuelo. Se comprueban la presión y la tasa constantes de las presiones superficiales medidas para identificar un bloqueo total o parcial en los puertos de presión y fallos repentinos en los transductores de presión. Se generan conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y ángulo de deslizamiento lateral a partir de combinaciones predefinidas de los puertos de presión dispuestos a lo largo de los meridianos vertical y horizontal de un morro del vehículo. Los fallos en los puertos de presión y los transductores de presión en los meridianos vertical y horizontal se detectan y se aíslan en base a los conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y ángulo de deslizamiento lateral.

### Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá más detalladamente con referencia a las figuras adjuntas.

La Fig. 1 muestra un sistema para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, según una realización ejemplar de la presente invención;

La Fig. 2 ilustra un gráfico trazado entre la presión de puerto y el número de Mach, según los principios de la presente invención;

5 La Fig. 3 ilustra la geometría y el esquema de numeración de los puertos de presión, según los principios de la presente invención; y

La Fig. 4 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, según una realización ejemplar de la presente invención.

10 **Descripción detallada de la invención**

Con referencia a la Fig. 1, en la misma se ilustra un sistema para detectar y aislar fallos en los puertos 2 de presión y los transductores 3 de presión de un sistema de detección de presión, según una realización ejemplar de la presente invención. Dicho sistema detecta los puertos 2 de presión bloqueados y los transductores 3 de presión defectuosos en los vehículos espaciales. El sistema comprende nueve puertos 2 de presión, tubos 4 neumáticos y un procesador 10 de Sistema Enrasado de datos anemobarométricos (FADS), como componentes principales, junto con otros componentes. Cada uno de los nueve puertos 2 de presión está provisto de tres transductores 3 de presión absoluta, es decir, en total veintisiete transductores de presión en el sistema, para obtener mediciones de presión.

15

Los puertos 2 de presión están dispuestos en forma de crucifijo en un morro 1 del vehículo. Cada puerto 2 de presión está conectado a tres transductores 3 de presión por medio de tubos 4 neumáticos. Un extremo del tubo 4 neumático es conectado a los puertos 2 de presión usando un adaptador 5, mientras que el otro extremo es conectado a los transductores 3 de presión montados sobre un soporte 6 de interfaz. El tubo 4 neumático Inconel debería tener un diámetro interior de 1,75 mm, un diámetro exterior de 3,175 mm y una longitud de 600 +/- 50 mm para cumplir con el requisito de respuesta de frecuencia de una frecuencia natural mayor que 50 Hz y constante de tiempo inferior a 20 milisegundos en el régimen de vuelo operativo del FADS.

20

25

Los transductores 3 de presión están alojados en un único paquete con el fin de medir la presión y proporcionar también la capacidad para aislar los fallos del transductor de los fallos de bloqueo del puerto de presión. Los transductores 3 de presión pueden medir la presión de la superficie desde los puertos 2 de presión y pasar las entradas de tensión analógica al procesador 10 FADS del vehículo en base a la presión superficial medida desde los puertos 2 de presión. Se usan tres fuentes de alimentación 7, 8 y 9 independientes para suministrar energía, respectivamente, los tres transductores 3 de presión en los puertos 2 de presión, lo que evita la pérdida de todos los datos de presión en los puertos 2 de presión causada debido a un fallo de una única fuente de alimentación.

30

Además, las tensiones analógicas desde los transductores 3 de presión son dirigidas al procesador 10 de señal digital que trabaja a una frecuencia de reloj de 32 MHz, a través del soporte 6 de interfaz. Las 27 lecturas de presión, en forma de tensiones analógicas, son digitalizadas usando un convertidor analógico a digital dentro del procesador 10 FADS. Las 27 lecturas de presión son adquiridas a una tasa de 25 milisegundos por el procesador 10 FADS. La precisión de los transductores 3 de presión y el convertidor analógico a digital se selecciona de manera que la precisión global en la medición de presión sea mejor que 100 Pascal. Posteriormente, los cuatro niveles de comprobación de fallos se realizan usando estas lecturas de presión desde los transductores 3 de presión para detectar los fallos de los transductores 3 de presión y/o el bloqueo de los puertos 2 de presión.

35

40

Con referencia a la Fig. 4, en la misma se ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento para detectar y aislar fallos en los puertos 2 de presión y los transductores 3 de presión del sistema de detección de presión, según una realización ejemplar de la presente invención. El procedimiento de detección y aislamiento de fallos (FDI) utiliza cuatro niveles para comprobar los fallos en los puertos 2 de presión y los transductores 3 de presión. En el primer nivel, la comprobación FDI se realiza como una comprobación lógica redundante modular triple (Triple Modular Redundant, TMR) sobre los transductores 3 de presión en cada puerto 2 de presión, tal como se ilustra en la etapa 405. Cada puerto 2 de presión exhibe los tres transductores 3 de presión absoluta que miden la presión de superficie en la ubicación del puerto de presión particular. Debido a que la alimentación de los tres transductores 3 se realiza usando tres fuentes de alimentación 7, 8 y 9 independientes, el fallo de una única fuente de alimentación no afecta a la medición de la presión.

45

50

En una situación sin fallos de los transductores 3 de presión, la totalidad de las tres lecturas de presión en los puertos 2 de presión deberían coincidir dentro de un valor umbral. El fallo de los transductores 3 de presión puede ser detectado por medio de una comparación cruzada (lógica TMR) de las tres lecturas de presión en el puerto 2

de presión. Este procedimiento debería ser realizado para la totalidad de los nueve puertos 2 de presión, tal como se muestra en la etapa 410. Si se detecta algún fallo de transductor, entonces el transductor 3 defectuoso puede ser eliminado de los cálculos FADS, tal como se muestra en las etapas 415 y 440. Sin embargo, esta lógica de comprobación TMR no puede detectar los puertos 2 total o parcialmente bloqueados o un fallo simultáneo de dos transductores 3 de presión en el puerto 2 de presión. Por lo tanto, se realiza el siguiente nivel de control, es decir, la comprobación de la validez de rango, sobre las lecturas de presión medidas.

En el segundo nivel, se realiza la comprobación de validez de rango para determinar si las presiones medidas están comprendidas o no en el rango esperado, de manera aproximada, en el instante particular de la fase de vuelo, tal como se ha indicado en la etapa 420. En base a los valores de presión esperados en el vehículo espacial, tal como se muestra en la Fig. 2, que representa un gráfico trazado entre la presión de puerto y el número de Mach, se fijan niveles de umbral de 50.000 Pa y 2.500 Pa para los valores de presión a aproximadamente el número de Mach 2, es decir, la región en la que el número de Mach es  $> 2$  debería tener un valor  $< 50.000$  Pascal, mientras que las presiones deberían ser  $> 2.500$  Pa para la región por debajo número de Mach 2, lo que conduce a la conclusión de que si los valores de los puertos 2 correspondientes están fuera de este rango, entonces los puertos 2 son puertos que están totalmente bloqueados. Si se detecta cualquier fallo de transductor o de puerto por medio de la comprobación de validez de rango, entonces el transductor 3 o puerto 2 defectuoso puede ser eliminado de los cálculos FADS, tal como se muestra en las etapas 425 y 440.

En el tercer nivel, se aplica la comprobación de comportamiento dinámico sobre las presiones medidas, lo que incluye una comprobación de presión constante y una comprobación de tasa, tal como se ilustra en la etapa 430. En la comprobación de presión constante, se mantiene un registro de las lecturas de presión más altas y más bajas en cada puerto 2 de presión para una duración de bloqueo cada 100 segundos. Si la diferencia entre las lecturas de presión más altas y más bajas durante cualquier bloqueo es menor que un umbral determinado (valor típico  $< 100$  Pascal), entonces el puerto específico 2 es eliminado de los cálculos FADS, tal como se representa en las etapas 435 y 440. Esta comprobación de presión constante debe ser inhabilitada durante las operaciones a velocidad crucero. De manera similar, en la comprobación de tasa, se determina si la lectura en el puerto 2 de presión experimenta un cambio mayor que un valor umbral (valor típico 5.000 Pascal) durante un tiempo de ciclo de actualización computacional de 25 milisegundos. Si es así, entonces ese puerto 2 de presión es eliminado de los cálculos FADS. La comprobación de presión constante junto con la comprobación de tasa puede permitir identificar puertos 2 de presión total y parcialmente bloqueados y fallos repentinos que ocurren en los transductores 3 de presión.

Por último, el cuarto nivel de comprobación se realiza en base a la generación de conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y ángulo de deslizamiento lateral. Los fallos en los puertos 2 de presión o los transductores 3 de presión en el FADS causan una desviación de las estimaciones del ángulo de ataque y del ángulo de deslizamiento lateral dentro de un "conjunto estructurado". Estos conjuntos estructurados son generados a partir de combinaciones predefinidas de los puertos 2 de presión dispuestos a lo largo del meridiano vertical y horizontal del morro 1 FADS del vehículo. Los fallos en los puertos 2 de presión o los transductores 3 de presión dispuestos a lo largo del meridiano vertical son detectados y aislados usando las estimaciones del ángulo de ataque, mientras que los fallos en los puertos 2 de presión o los transductores 3 de presión dispuestos a lo largo del meridiano horizontal son detectados y aislados usando las estimaciones del ángulo de deslizamiento lateral.

Además, la geometría del puerto de presión de un sistema típico para el esquema FDI se muestra en la Fig. 3, que representa la geometría y el esquema de numeración de los puertos 2 de presión, según los principios de la presente invención. En este sistema bajo consideración, los nueve puertos 2 de presión están dispuestos en forma de crucifijo a lo largo de los meridianos vertical y horizontal. Los puertos 2 de presión a lo largo del meridiano vertical están numerados como 1, 2, 5, 8 y 9. Los cuatro puertos 2 de presión restantes a lo largo del meridiano horizontal están numerados como 3, 4, 6 y 7.

El fallo de los puertos 2 de presión o los transductores 3 a lo largo del meridiano vertical, es decir, el fallo de los puertos numerados como 1, 2, 5, 8 y 9, se identifica usando un conjunto estructurado de estimaciones de ángulo de ataque, tal como se muestra en las etapas 445. El conjunto estructurado consiste en diez estimaciones de ángulo de ataque, donde cada estimación de ángulo de ataque es formada a partir de los tres puertos 2 de presión. El conjunto estructurado 1 de diez estimaciones del ángulo de ataque usando los puertos 2 de presión a lo largo del meridiano vertical se muestra en la Tabla 1. La detección de fallos en los puertos 2 de presión y/o los transductores 3 de presión en el meridiano vertical se realiza comprobando la dispersión de los valores atípicos con relación a la mediana del conjunto estructurado.

En esta comprobación FDI de los puertos del meridiano vertical, las diez estimaciones de ángulo de ataque del conjunto estructurado mostrado en la Tabla 1 están dispuestas en un orden ascendente o descendente con el fin de encontrar la mediana de las diez estimaciones de ángulo de ataque. Si el número total de estimaciones es un

valor par, entonces la mediana es la media de los dos valores centrales del conjunto estructurado. A continuación, el valor atípico en todo el conjunto estructurado es identificado encontrando la estimación del ángulo de ataque situada más lejos de la mediana. Se detecta la diferencia entre el ángulo del valor estimado del valor atípico y el valor de la mediana.

5

Conjunto 1

Nº de estimación de ángulo de ataque	Puertos a partir de los cuales se forma la estimación
1	1, 2, 5
2	1, 2, 8
3	1, 2, 9
4	1, 5, 8
5	1, 5, 9
6	1, 8, 9
7	2, 5, 8
8	2, 5, 9
9	2, 8, 9
10	5, 8, 9

Tabla 1: Conjunto estructurado 1 de estimaciones de ángulo de ataque para aislamiento de fallos de puerto vertical

Si la diferencia en magnitud entre el valor atípico y la mediana está comprendida en un umbral, entonces la totalidad de los cinco puertos en el meridiano vertical están bien. Si la diferencia entre el valor atípico y la mediana es mayor que el umbral especificado, entonces uno de los tres puertos que constituía el valor atípico es defectuoso. Estos tres puertos son identificados como incluidos en la lista de puertos defectuosos, donde los dos puertos restantes en el meridiano vertical están bien. A continuación, se forma un segundo conjunto de tres estimaciones estructuradas usando estos dos puertos buenos y un puerto cada uno de la lista de puertos defectuosos. Por último, de entre este segundo conjunto estructurado, las dos estimaciones pueden coincidir dentro de un umbral y el puerto en el valor atípico del segundo conjunto estructurado tomado de la lista de puertos defectuoso es declarado defectuoso. Si se detecta cualquier fallo de puerto en el meridiano vertical, entonces, el puerto defectuoso es eliminado de los cálculos, tal como se muestra en la etapa 450 y 465.

De manera similar, el fallo de los restantes cuatro puertos 2 de presión o transductores 3 a lo largo del meridiano horizontal, es decir, el fallo de los puertos numerados como 3, 4, 6 y 7, se identifica usando un conjunto estructurado de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral, tal como se ilustra en la etapa 455. El conjunto estructurado consiste en cuatro conjuntos, en el que cada uno contiene diez estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral, donde cada estimación es formada a partir de los tres puertos 2 de presión. Las combinaciones de tres puertos en cada uno de los cuatro conjuntos estructurados indicados anteriormente se seleccionan de manera que satisfagan las condiciones de que la totalidad de las diez estimaciones dentro de un conjunto estructurado deberían tener al menos un puerto horizontal, fuera del meridiano vertical, común a los mismos y al menos dos de los puertos 2 en una estimación de deslizamiento lateral se forman a partir de los puertos 2 situados a lo largo del meridiano vertical.

Además, los cuatro conjuntos estructurados (conjunto 2 a conjunto 5), cada uno de los cuales contiene diez estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral, y los puertos 2 de presión a partir de los cuales se forman se proporcionan en la Tabla 2. Los fallos en los puertos 2 de presión y/o los transductores 3 de presión dispuestos a lo largo del meridiano horizontal se detectan comprobando la magnitud absoluta de la mediana de un conjunto estructurado. En esta comprobación FDI de los puertos del meridiano horizontal, la operación se realiza en un conjunto de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral mostrado en la Tabla 2, en cada momento. Las estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral están dispuestas en un orden ascendente o descendente y se

determina la mediana de las diez estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral. Si el número total de estimaciones es un valor par, entonces la mediana es la media de los dos valores centrales del conjunto estructurado.

Conjunto 2

Nº de estimación de ángulo de deslizamiento lateral	Puertos a partir de los cuales se forma la estimación
1	1, 3, 9
2	2, 3, 9
3	5, 3, 9
4	5, 3, 8
5	5, 3, 2
6	5, 3, 1
7	1, 3, 2
8	9, 3, 8
9	2, 3, 8
10	1, 3, 8

Conjunto 3

Nº de estimación de ángulo de deslizamiento lateral	Puertos a partir de los cuales se forma la estimación
11	1, 7, 9
12	2, 7, 9
13	5, 7, 9
14	5, 7, 8
15	5, 7, 2
16	5, 7, 1
17	1, 7, 2
18	9, 7, 8
19	2, 7, 8
20	1, 7, 8

5

Conjunto 4

Nº de estimación de ángulo de deslizamiento lateral	Puertos a partir de los cuales se forma la estimación
21	1, 4, 9
22	2, 4, 9
23	5, 4, 9
24	5, 4, 8
25	5, 4, 2
26	5, 4, 1
27	1, 4, 2
28	9, 4, 8
29	2, 4, 8
30	1, 4, 8

Conjunto 5

Nº de estimación de ángulo de deslizamiento lateral	Puertos a partir de los cuales se forma la estimación
31	1, 6, 9
32	2, 6, 9
33	5, 6, 9
34	5, 6, 8
35	5, 6, 2
36	5, 6, 1
37	1, 6, 2
38	9, 6, 8
39	2, 6, 8
30	1, 6, 8

Tabla 2: Conjuntos estructurados 2 a 5 de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral para aislar un fallo del puerto horizontal

10 A continuación, puede realizarse una comprobación de si la magnitud absoluta de la mediana identificada es o no menor que un umbral especificado. Si la magnitud absoluta de la mediana identificada es menor que un umbral especificado, entonces el puerto común a las diez estimaciones de deslizamiento lateral en el conjunto estructurado especificado está bien. Mientras que si la magnitud absoluta de la mediana identificada es mayor que

5 el umbral especificado, entonces el puerto común a las diez estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral en el conjunto estructurado especificado es defectuoso. Las etapas anteriores se repiten para la totalidad de los cuatro conjuntos estructurados para detectar y aislar cualquier puerto 2 y/o transductor 3 de presión defectuoso en el meridiano horizontal. Una vez detectado el fallo en el conjunto estructurado, entonces el aislamiento del puerto o transductor defectuoso se realiza posteriormente a través de razonamiento lógico, tal como se ha indicado en las etapas 460 y 465. A continuación, tal como se representa en la etapa 470, los procedimientos anteriores se repiten para el siguiente ciclo de cálculos FADS.

10 Por ejemplo, considérese que el valor atípico identificado es la estimación número 5 en la Tabla 1, que es un ejemplo ilustrativo para detectar el fallo de los puertos en el meridiano vertical. Debido a que esta estimación se forma usando los puertos numerados como 1, 5 y 9, estos puertos se mantienen en la lista de puertos defectuosos, lo que indica que los puertos numerados como 2 y 8 están bien. A continuación, el segundo conjunto de estimaciones estructuradas se forma usando las combinaciones de puertos, tales como los puertos numerados como 2, 8, 1, los puertos numerados como 2, 8, 5 y los puertos numerados como 2, 8, 9. Una comparación cruzada entre este segundo conjunto de estimaciones estructuradas de ángulo de ataque se lleva a cabo para identificar el valor atípico en el conjunto. La primera, segunda o tercera estimación puede ser el valor atípico dependiendo de si el puerto numerado como 1, 5 o 9 es el puerto defectuoso. De esta manera, un fallo de puerto a lo largo del meridiano vertical puede ser detectado y aislado de los cálculos FADS.

15 De manera similar, considérese que un umbral especificado es 15, que es un ejemplo ilustrativo para detectar el fallo de los puertos en el meridiano horizontal. Según la Tabla 2, si el puerto horizontal numerado como 3 ha fallado, entonces la mediana en el conjunto estructurado 2 puede tener una magnitud absoluta mayor que 15, lo que indica que el puerto común a ese conjunto estructurado, es decir, el puerto numerado como 3 es defectuoso. La magnitud absoluta de la mediana en los conjuntos 3, 4 y 5 exhibe una magnitud menor que 15, lo que indica que estos puertos están bien. De esta manera, los fallos de los puertos dispuestos a lo largo del meridiano horizontal pueden ser detectados y aislados de los cálculos FADS.

25



**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema para detectar y aislar fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión de un sistema enrasado de datos anemobarométricos (FADS), que comprende:
- 5 una pluralidad de puertos de presión enrasados a un morro de un vehículo espacial en la forma de un crucifijo;
- al menos tres transductores de presión conectados a cada puerto de presión a través de una pluralidad de tubos neumáticos para medir la presión de la superficie desde dicha pluralidad de puertos de presión;
- 10 al menos una unidad de fuente de alimentación independiente conectada por separado a cada uno de dichos al menos tres transductores de presión para alimentar dichos al menos tres transductores de presión en cada puerto de presión; y
- 15 una unidad de procesamiento configurada para adquirir entradas de tensión correspondientes a la presión superficial medida desde dichos al menos tres transductores de presión, en el que dicha unidad de procesamiento ejecuta dos o más niveles de comprobación de fallos para detectar y aislar los fallos de transductor de presión y el bloqueo de dicha pluralidad de puertos de presión en base a las entradas de tensión.
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que dicha unidad de procesamiento está configurada para adquirir las entradas de tensión desde dichos al menos tres transductores de presión a través de un soporte de interfaz.
3. Sistema según la reivindicación 1, en el que dichos al menos tres transductores de presión de cada puerto de presión están alojados en un único paquete.
- 20 4. Sistema según la reivindicación 1, en el que dichos dos o más niveles de comprobación de fallos se llevan a cabo secuencialmente como una lógica redundante modular triple (TMR), validez de rango, comportamiento dinámico y generación de conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y ángulo de deslizamiento lateral.
5. Un procedimiento para detectar y aislar los fallos en los puertos de presión y los transductores de presión de un sistema de detección de presión, que comprende:
- 25 distinguir los fallos de bloqueo de los puertos de presión de los fallos de los transductores de presión por medio de una comparación cruzada de las presiones superficiales medidas en una pluralidad de puertos de presión;
- 30 determinar si las presiones de superficie medidas están comprendidas en un rango deseado, de manera aproximada, en un instante específico de la fase de vuelo;
- comprobar la presión constante y la tasa sobre las presiones de superficie medidas para identificar un bloqueo completo o parcial en dicha pluralidad de puertos de presión y fallos repentinos en una pluralidad de transductores de presión;
- 35 generar uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y de ángulo de deslizamiento lateral a partir de combinaciones predefinidas de dicha pluralidad de puertos de presión situados a lo largo de unos meridianos vertical y horizontal de un morro del vehículo; y
- detectar y aislar los fallos en dicha pluralidad de puertos de presión y dicha pluralidad de transductores de presión en los meridianos vertical y horizontal en base a dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y ángulo de deslizamiento lateral.
- 40 6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la comprobación de presión constante comprende detectar y aislar el puerto de presión bloqueado y el transductor de presión defectuoso si la diferencia entre las lecturas más alta y más baja de las presiones de superficie para una duración de bloqueo predefinida es menor que un valor umbral deseado.
- 45 7. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la comprobación de la tasa comprende detectar y aislar el puerto de presión bloqueado y el transductor de presión defectuoso si las presiones de superficie medidas son mayores que un valor de umbral deseado durante un tiempo de ciclo de actualización computacional.
8. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que los fallos en dicha pluralidad de puertos de presión y dicha pluralidad de transductores de presión en el meridiano vertical se detectan y se aíslan comprobando la dispersión

de un valor atípico desde la mediana de dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque.

5 9. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que los fallos en dicha pluralidad de puertos de presión y dicha pluralidad de transductores de presión en el meridiano horizontal se detectan y aíslan comprobando la magnitud absoluta de la mediana de dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral.

10. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que dicho uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque y ángulo de deslizamiento lateral están configurados a partir de al menos tres puertos de presión de entre dicha pluralidad de puertos de presión.

10 11. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que el puerto de presión bloqueado y el transductor de presión defectuoso son aislados de los cálculos por medio de un razonamiento lógico.

12. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la comprobación de la dispersión de los valores atípicos con relación a la mediana de dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de ataque, que comprende además:

15 determinar la mediana de las estimaciones de ángulo de ataque después de disponer las estimaciones de ángulo de ataque en un orden ascendente o descendente;

identificar el valor atípico en dichos uno o más conjuntos estructurados buscando las estimaciones de ángulo de ataque que están más alejadas de la mediana de las estimaciones de ángulo de ataque;

determinar la diferencia entre el valor atípico y la mediana de las estimaciones de ángulo de ataque; y

20 representar dicha pluralidad de puertos de presión en el valor atípico como puertos defectuosos, si la diferencia entre el valor atípico y la mediana es mayor que un umbral deseado; y

formar un segundo conjunto estructurado de estimaciones de ángulo de ataque usando los restantes puertos de presión y uno de los puertos defectuosos y aislando el puerto de presión en el valor atípico de dicho segundo conjunto estructurado.

25 13. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la comprobación de la dispersión de los valores atípicos con relación a la mediana de dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral, que comprende además:

determinar la mediana de las estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral después de disponer las estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral en un orden ascendente o descendente;

30 comprobar si la magnitud absoluta de la mediana determinada de las estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral es menor que un umbral deseado; y

aislar el puerto de presión común a dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral, si la magnitud absoluta de la mediana determinada de las estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral es mayor que el umbral deseado.

35 14. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que dichos uno o más conjuntos estructurados de estimaciones de ángulo de deslizamiento lateral se forman con al menos un puerto de presión en el meridiano horizontal común a dicha pluralidad de puertos de presión y los puertos restantes en el conjunto estructurado tomado del meridiano vertical.

40

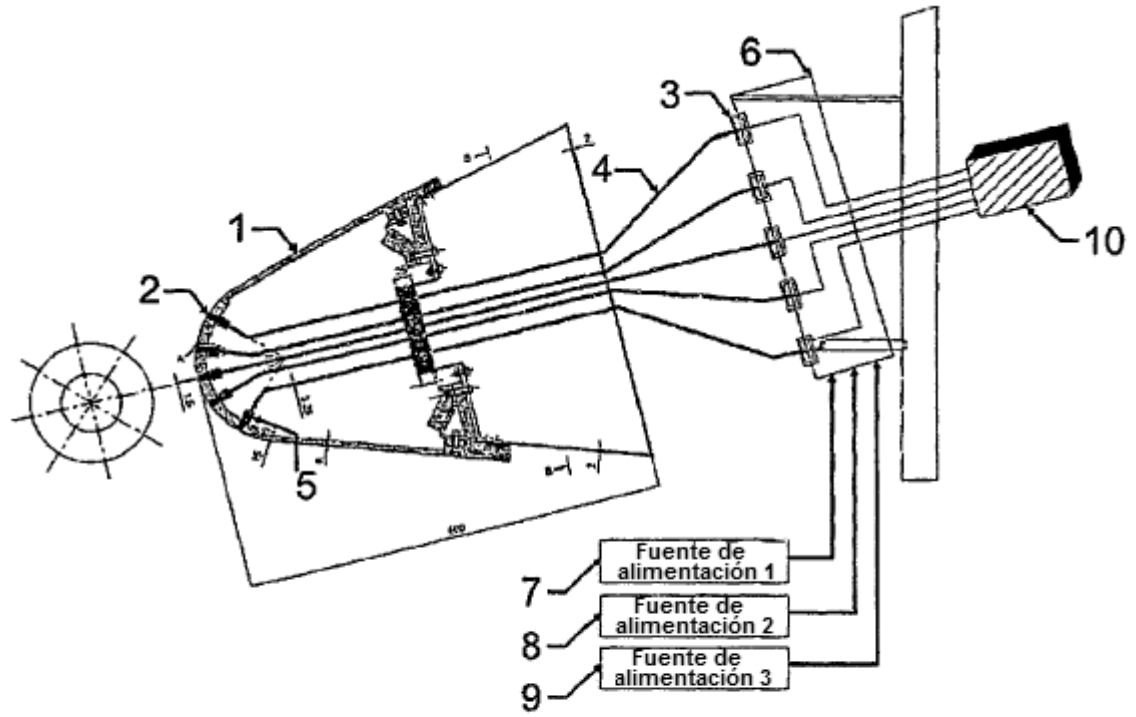


FIG. 1

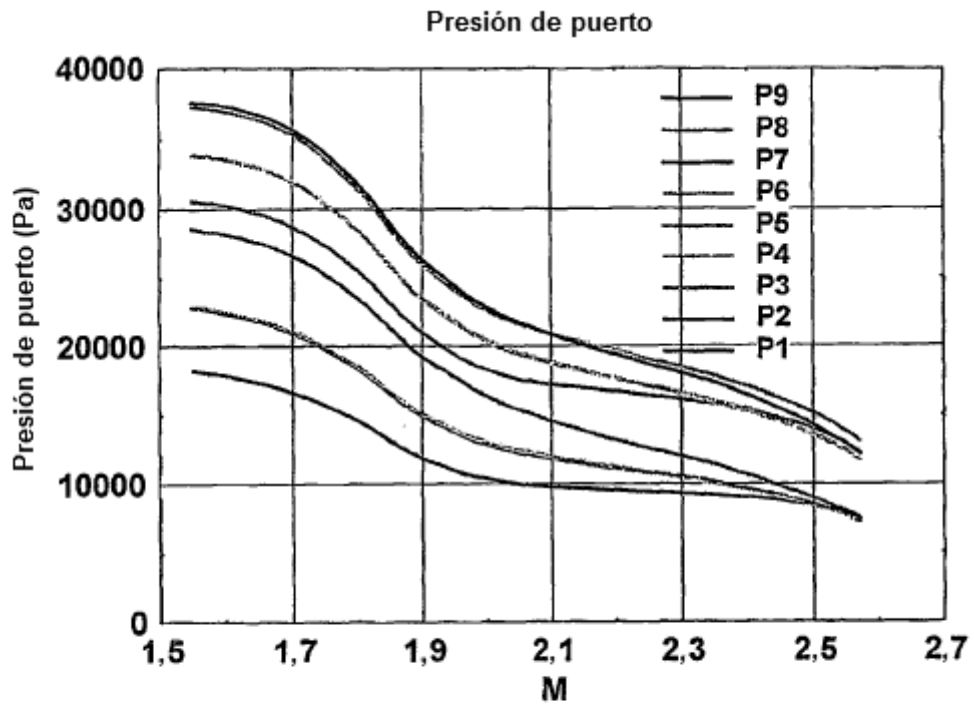


FIG. 2

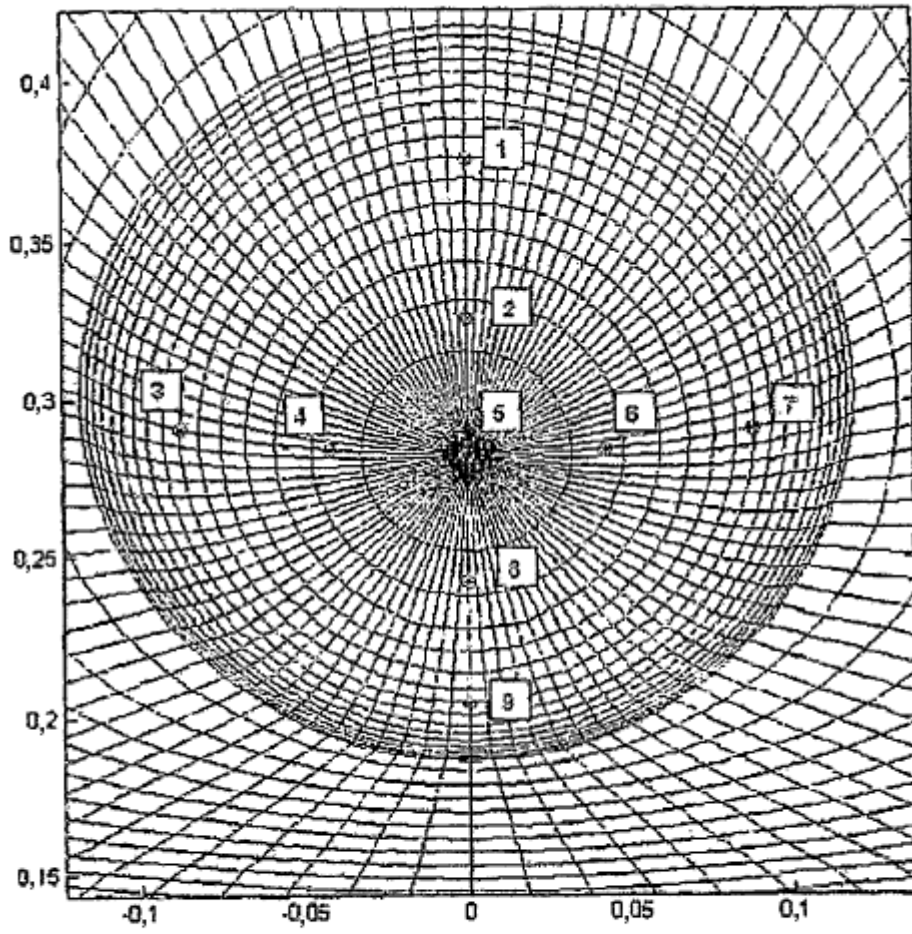


FIG. 3

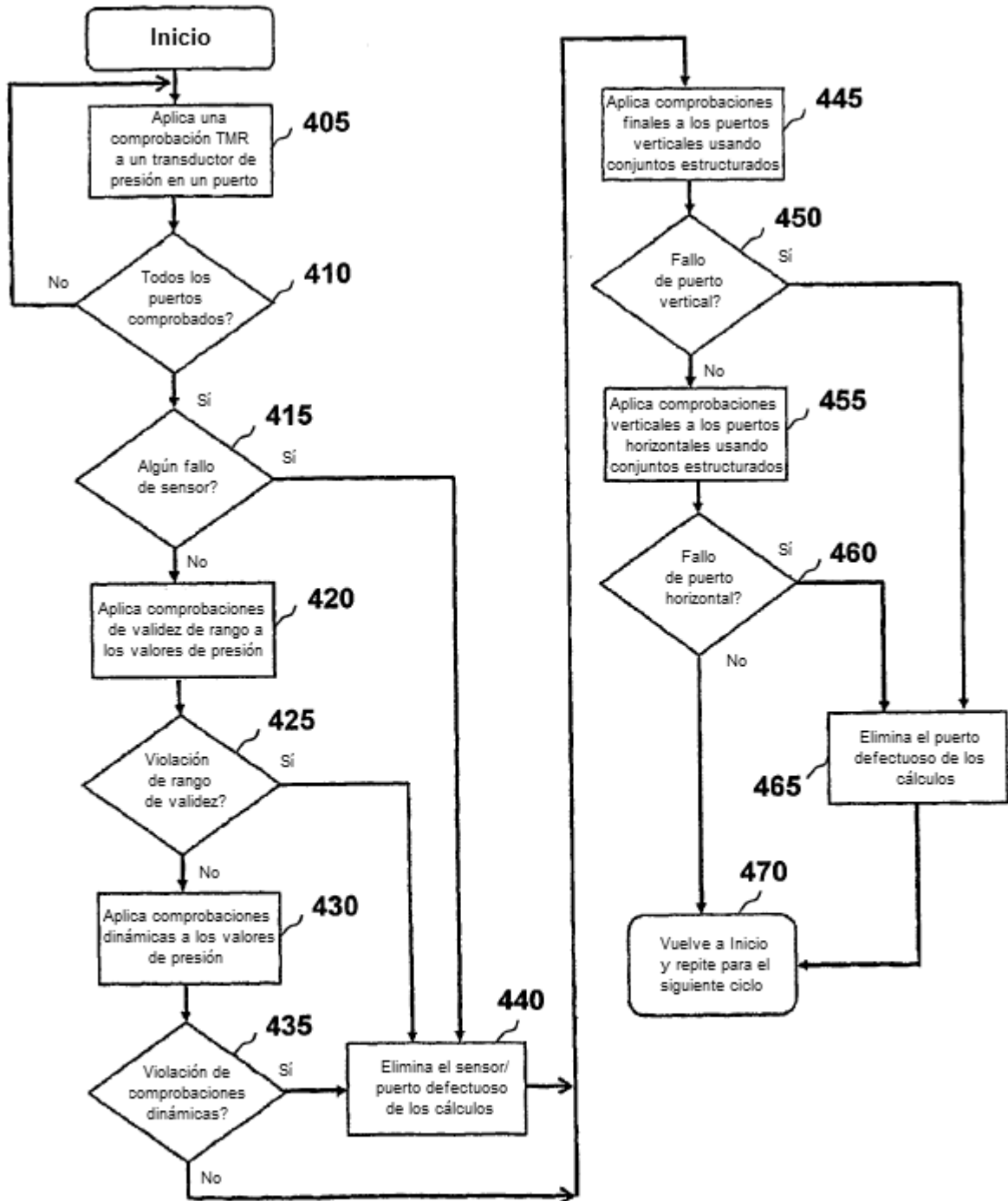


FIG. 4