(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 658 177**

(51) Int. Cl.:

F01D 5/02 (2006.01)
F16F 15/32 (2006.01)
G01M 1/36 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2011** **E 11169966 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018** **EP 2400114**

(54) Título: **Un método para pronosticar el desbalance inicial en un anillo o disco con álabes**

(30) Prioridad:

28.06.2010 GB 201010757

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.03.2018

(73) Titular/es:

ROLLS-ROYCE PLC (100.0%)
62 Buckingham Gate
London SW1E 6AT, GB

(72) Inventor/es:

HARRISON, JOHN MICHAEL

(74) Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 658 177 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

Un método para pronosticar el desbalance inicial en un anillo o disco con álabes

La presente invención se refiere a un método para pronosticar el desbalance inicial en un anillo o disco con álabes y particularmente, pero no exclusivamente, a un método que permite reducir el peso del anillo o disco con álabes.

Antecedentes

El desbalance de masa en componentes que giran tales como ruedas, cigüeñales, rotores de motores de turbina de gas, etc. puede provocar vibración indeseable. Tal vibración puede provocar daños al componente y a la estructura que lo rodea. El desbalance de masa puede corregirse al redistribuir la masa del componente para posicionar el centro de masa en el eje de rotación.

Los efectos del desbalance se hacen más pronunciados a mayores velocidades rotacionales. Consecuentemente, el desbalance es un problema particular en la industria aeroespacial donde los componentes giran a velocidades extremadamente altas. Adicionalmente, los niveles de vibración en un motor de turbina de gas aeroespacial no son solo importantes desde un punto de vista de fiabilidad del motor sino también desde un punto de vista de comodidad de los pasajeros.

Un componente desbalanceado ejerce una fuerza en sus cojinetes que está dada por:

$$F = Mr\omega^2$$

donde M es la masa del componente giratorio; r es el desplazamiento radial de la masa de su centro de masa; y ω es la velocidad angular.

Para un motor de turbina de gas, la masa del rotor es relativamente alta y la velocidad angular es extremadamente alta. Por lo tanto, se puede observar que cualquier desplazamiento radial de la masa de su centro de masa (es decir desbalance) resulta en una gran fuerza que se ejerce sobre los cojinetes. Consecuentemente, es necesario minimizar el desplazamiento radial.

Típicamente un grado de balance de G2 (ISO 1940-1) puede imponerse sobre los motores de turbina de gas. Para un rotor que gira a 10000 rpm, esto equivale a un desplazamiento de masa permisible de 2μm. Esta tolerancia es unas 200 veces más estricta que las aplicadas a aplicaciones cotidianas, tal como el balanceo de ruedas de automóviles (grado de balance G40).

Los rotores del motor de turbina de gas se balancean convencionalmente usando la variación de peso presente en un conjunto de álabes de perfil aerodinámico. Los álabes se montan de manera desmontable a un disco del rotor mediante las ranuras proporcionadas alrededor de la circunferencia del disco. La localización de los álabes alrededor del disco del rotor puede variarse para corregir no solo el desbalance del disco sino también el del conjunto de álabes, produciendo de esta manera un rotor balanceado. Con este método, los álabes se pesan, o se calcula su peso momento y luego se distribuyen alrededor del disco en un patrón para ya sea minimizar el desbalance en el conjunto de álabes, o para compensar el desbalance en el conjunto.

Por el contrario, un blisk comprende un disco con álabes formado integralmente. Esto proporciona un considerable ahorro de peso sobre el rotor anterior descrito al eliminar los accesorios requeridos para montarlos, de manera desmontable, los álabes al disco. Una reducción en masa de entre 20 % y 60 % puede lograrse al usar un blisk. La reducción en peso proporciona un aumento en la relación de propulsión a peso, lo que lleva a una economía de combustible aumentada y a una reducción asociada en los costos de operación, o a un aumento de la carga útil para la aeronave. Como resultado, los blisk son cada vez más frecuentes. Sin embargo, los blisk son muy complejos y consumen tiempo para producirse, y consecuentemente, el costo por componente es muy alto. Debido a la complejidad del proceso de fabricación, existe un potencial significativo de no conformidad en el componente terminado, y el costo del rechazo será nuevamente muy alto. Adicionalmente, no es posible balancear un blisk al intercambiar los álabes y por lo tanto es necesario corregir el balance del blisk usando métodos alternativos.

Un método de balancear un blisk es atornillar pesos de equilibrio sobre el blisk para ajustar su balance. Sin embargo, agregar pesos para balancear un blisk es contraproducente ya que el propósito de un blisk es ahorrar peso. Adicionalmente, los pesos aumentan la carga centrífuga en el blisk y pueden solamente localizarse en áreas de baja tensión. En adición, la conexión entre el peso y el blisk proporciona una interfaz donde la vibración puede ocurrir. Esto puede provocar rozamiento y erosión. Además, los pesos presentan una causa potencial de daños relacionados con los componentes internos (DOD) al motor, si la conexión entre un peso y el blisk fallan.

Un método alternativo usa campos de balanceo de sacrificio que se proporcionan específicamente en el componente, por ejemplo, como se describió en EP1188900. Estos campos de balanceo pueden mecanizarse para eliminar algo o toda su masa y por lo tanto ajusta el balance del componente. Tales métodos de balanceo requieren la provisión de

campos de balanceo u otras características que pueden eliminarse más tarde, si se requiere. Esto resulta en que el componente es más pesado de lo que sería necesario.

Convencionalmente, el tamaño requerido de los campos de balanceo de sacrificio se calcula en base al peor de los escenarios para la distribución de los álabes. Esto es donde un arco de 180 grados de álabes de máxima masa se localiza opuesto a un arco de 180 grados de álabes de mínima masa. Aunque esto asegura que todos los blisk producidos pueden balancearse, el tamaño de los campos de balanceo es excesivo y contrarresta el ahorro de peso asociado con un blisk.

La presente invención busca proporcionar un método para pronosticar el desbalance inicial en un blisk el cual proporciona un valor de desbalance máximo probable en lugar de un desbalance máximo posible, como es el caso con el método de la técnica anterior.

Declaraciones de la invención

De acuerdo con un aspecto de la invención se proporciona un método para pronosticar el desbalance inicial en un anillo o disco con álabes que comprende uno o más componentes de perfil aerodinámico, el método que comprende: definir una distribución estadística de un peso momento de masa de cada uno de los uno o más componentes de perfil aerodinámico; restringir la distribución estadística a un rango seleccionado; y calcular un desbalance inicial del anillo o disco con álabes para la distribución restringida de los uno o más componentes de perfil aerodinámico.

El método puede comprender además proporcionar el componente con un elemento de corrección de balance de tamaño adecuado para corregir un desbalance máximo de la distribución restringida.

El rango seleccionado puede indicar la probabilidad de obtener un componente que no se puede balancear usando el elemento de corrección de balance.

El método puede comprender, además, seleccionar una pluralidad de conjuntos de componentes de perfil aerodinámico de la distribución estadística y localizar una localización para cada componente de perfil aerodinámico en el anillo o disco con álabes, en donde cada conjunto de componentes de perfil aerodinámico forma una distribución de muestra; calcular una suma vectorial de los pesos momento de masa para cada distribución de muestra para determinar el desbalance inicial del blisk.

El método puede repetirse para cada permutación del peso momento de masa y/o localización de cada componente de perfil aerodinámico.

La distribución estadística puede incluir una característica de desgaste de la herramienta.

La característica de desgaste de la herramienta puede basarse en el proceso de fabricación del componente.

La característica de desgaste de la herramienta puede definir un aumento en la masa de los componentes del perfil aerodinámico alrededor de la circunferencia del anillo o disco con álabes.

La distribución estadística puede ser una distribución normal.

La distribución normal puede tener una variación máxima de ±8% de un valor del peso momento de masa esperado.

El rango seleccionado puede ser ±3 desviaciones estándares de un valor del peso momento de masa esperado.

El peso momento de masa puede incluir uno o más de un componente radial, axial o tangencial.

El desbalance inicial puede calcularse usando una simulación Monte Carlo.

Breve descripción de los dibujos

Para un mejor entendimiento de la presente invención, y para mostrar más claramente cómo la misma puede llevarse a la práctica, se hará referencia ahora, a manera de ejemplo, a los dibujos acompañantes en los que:

la Figura 1 es una vista en perspectiva de un álabe que muestra los componentes de su momento de masa;

la Figura 2 es un diagrama de Weibull que muestra la correlación entre los valores de desbalance pronosticados que usa la invención y los datos medidos; y

la Figura 3 es un diagrama de la función de densidad de la probabilidad de Weibull del desbalance pronosticado que usa la invención y los datos medidos.

Descripción detallada

En una modalidad de la presente invención, un pronóstico del desbalance inicial en un blisk se hace usando un enfoque estadístico para proporcionar una reflexión más realística del desbalance probable.

Primeramente, se asume que cada álabe usado para formar el blisk tiene un peso momento de masa el cual se selecciona de una distribución normal centrada en la masa esperada de los álabes. Sin embargo, para eliminar las situaciones más extremas, es decir el desbalance máximo posible descrito previamente, se asume que los álabes tienen una variación máxima de ±8% de la masa esperada. La distribución seleccionada equivale a ±3 desviaciones estándares (σ) y por lo tanto incluye 99,7% de los álabes.

La distribución normal de los pesos momento de masa puede ser un componente radial, tangencial o axial del momento de masa, como se muestra en la Figura 1.

Un blisk simulado se forma al seleccionar una pluralidad de álabes de la distribución y localizar los álabes en las posiciones de los álabes alrededor del blisk. El efecto de desbalance de cada álabe se calcula al multiplicar la masa del álabe por el radio al centro de masa del álabe. A partir de esto, una suma vectorial de los desbalances de cada álabe se calcula para determinar el desbalance resultante para el blisk.

Este proceso se repite para cada permutación posicional de los álabes seleccionados y se repite de nuevo para muchos conjuntos de álabes seleccionados de la distribución, o viceversa, de manera que se crea una distribución del desbalance del blisk.

La distribución del desbalance del blisk puede calcularse usando una simulación Monte Carlo, donde los álabes se modelan como distribuciones individuales normales posicionadas alrededor del blisk. Sin embargo, otros métodos estadísticos pueden usarse para calcular la distribución del desbalance del blisk.

La distribución del desbalance del blisk muestra el desbalance máximo para la distribución seleccionada. A partir de este valor, uno o más elementos de corrección de balance, tales como campos de balanceo de sacrificio, pueden proporcionarse en el blisk lo que permite que el desbalance máximo se corrija. Esto asegura que todos los blisk dentro de la distribución seleccionada pueden balancearse satisfactoriamente.

La distribución seleccionada además muestra cuantos blisk se espera que caigan fuera del desbalance máximo definido y por lo tanto no se pueden balancear usando el campo de balanceo de sacrificio. Estos blisk se rechazarán y por lo tanto la distribución seleccionada proporciona una medida del riesgo en reducir el tamaño del campo de balanceo de sacrificio. Por ejemplo, donde la distribución seleccionada es ±3 desviaciones estándares (a), puede esperarse que 1 en cada 370 blisk fabricados caerá fuera del rango.

Habiendo excluido las situaciones más extremas, el tamaño de los campos de balanceo requeridos para balancear el blisk se reduce dramáticamente con solo un pequeño aumento en la tasa de rechazo de los componentes.

La invención se ha usado en blisks de geometría variable y se ha observado que la relación del desbalance máximo posible al máximo adquirido con la presente invención varía en dependencia de los tamaños relativos de los álabes y el disco. Por ejemplo, un número más grande de álabes de tamaño más pequeño en un disco de diámetro grande genera una relación mayor que un número pequeño de álabes grandes en un disco más pequeño.

La presente invención se ha mostrado para proporcionar una reducción en el tamaño del elemento de corrección de balance de entre 65% y 83% comparado al método de la técnica anterior. Esto ahorra un peso significativo y por lo tanto mejora la relación de propulsión a peso, lo que lleva a una economía de combustible aumentada y a una reducción asociada en los costos de operación, o a un aumento de la carga útil para la aeronave.

En una modalidad alternativa, la selección del rango de las masas de los álabes puede aplicarse a la distribución del desbalance del blisk. Adicionalmente, el rango de valores incluidos puede ser cualquier rango seleccionado, siendo el rango seleccionado escogido con respecto a la tasa de rechazo asociada.

La Figura 2 muestra un diagrama de Weibull del desbalance pronosticado ("Predicción del modelo") y el desbalance medido ("Datos medidos") de una muestra de blisk fabricados.

El diagrama de Weibull muestra las distribuciones (es decir el desbalance inicial y la función de densidad acumulativa de la ocurrencia de los desbalances iniciales) en una escala logarítmica, y expresa cada distribución con un parámetro posicional (η) y una medida de propagación de los datos (β). La propagación de los datos (β) corresponde a la pendiente de la línea en la Figura 4 y por lo tanto se puede observar que el valor de β para el desbalance pronosticado no se corresponde con el desbalance medido.

Esto puede también observarse en la Figura 3, que muestra el diagrama de la función de densidad de la probabilidad de

Weibull del desbalance pronosticado ("Datos modelados") y el desbalance medido de la muestra de blisk fabricados ("Datos medidos").

En otra modalidad de la invención, una característica de desgaste de la herramienta se incluye en la distribución de los pesos momento de masa de los álabes.

La característica de desgaste de la herramienta se basa en el proceso de fabricación usado para fabricar el blisk. En el presente caso, el blisk se mecaniza a partir de un sólido usando el mismo cortador para todos los álabes. Por lo tanto, a medida que el cortador se desgasta durante el proceso de fabricación, los álabes se hacen un poco más grande y por lo tanto más pesados. Adicionalmente, las fuerzas de corte se hacen más grandes a medida que el cortador se desgasta, provocando que el álabe se comprime durante el mecanizado y por lo tanto resulta en un álabe más pesado. Consecuentemente, el desgaste de la herramienta genera una variación circunferencial en el momento de masa del perfil aerodinámico y de ahí un desbalance asociado.

Para incorporar una característica de desgaste de la herramienta, se hace un estimado del efecto de la herramienta desgastada en la masa del álabe. Aquí, se asume que la masa aumenta linealmente alrededor de la circunferencia del blisk en la secuencia de fabricación del álabe. Sin embargo, otras correcciones pueden aplicarse en dependencia del proceso de fabricación.

Las Figuras 2 y 3 además muestran el desbalance pronosticado que incluye esta característica de desgaste de la herramienta ("Predicción del modelo + desgaste de la herramienta"). Como se muestra, el desbalance pronosticado que incluye la característica de desgaste de la herramienta proporciona una correlación muy cerrada con los datos de distribución medidos.

En consecuencia, el desbalance pronosticado ("Predicción del modelo") se considera adecuado donde el proceso de fabricación no discrimina el desbalance dentro del blisk.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a un blisk, también podría aplicarse a un anillo con álabes (bling) u otro componente giratorio.

Para evitar la duplicación innecesaria de esfuerzo y repetición del texto en la descripción, ciertas características se describen con relación a solo uno o varios aspectos o modalidades de la invención. Sin embargo, se debe entender que, donde es técnicamente posible, las características descritas con relación a cualquier aspecto o modalidad de la invención pueden además usarse con cualquier otro aspecto o modalidad de la invención.

Reivindicaciones

1. Un método para pronosticar el desbalance inicial en un anillo o disco con álabes que comprende uno o más componentes de perfil aerodinámico, el método que comprende:
definir una distribución estadística de un peso momento de masa de cada uno de los uno o más componentes de perfil aerodinámico;
restringir la distribución estadística a un rango seleccionado de peso momento de masa para cada uno de los uno o más componentes de perfil aerodinámico; y
calcular un desbalance inicial del anillo o disco con álabes para el rango seleccionado de peso momento de masa de los uno o más componentes de perfil aerodinámico, y
proporcionar el anillo o disco con álabes con un elemento de corrección de balance de tamaño adecuado para corregir un desbalance máximo de la distribución restringida.

2. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1, en donde el rango seleccionado indica la probabilidad de obtener un anillo o disco con álabes que no se puede balancear usando el elemento de corrección de balance.

3. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además:
seleccionar una pluralidad de conjuntos de componentes de perfil aerodinámico de la distribución estadística y localizar una localización para cada componente de perfil aerodinámico en el disco o anillo con álabes, en donde cada conjunto de componentes de perfil aerodinámico forma una distribución de muestra;
calcular una suma vectorial de los pesos momento de masa para cada distribución de muestra para determinar el desbalance inicial del blisk.

4. Un método como el reivindicado en la reivindicación 3, en donde el método se repite para cada permutación del peso momento de masa y/o localización de cada componente de perfil aerodinámico.

5. Un método como el reivindicado en la reivindicación 3 o 4, en donde la distribución estadística incluye una característica de desgaste de la herramienta.

6. Un método como el reivindicado en la reivindicación 5, en donde la característica de desgaste de la herramienta se basa en el proceso de fabricación del anillo o disco con álabes.

7. Un método como el reivindicado en la reivindicación 5 o 6, en donde la característica de desgaste de la herramienta define un aumento en la masa de los componentes de perfil aerodinámico alrededor de la circunferencia del anillo o disco con álabes.

8. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la distribución estadística es una distribución normal.

9. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la distribución normal tiene una variación máxima de ±8% de un valor esperado del peso momento de masa.

10. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el rango seleccionado es ±3 desviaciones estándares de un valor esperado del peso momento de masa.

11. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el peso momento de masa incluye uno o más de un componente radial, axial o tangencial.

12. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el desbalance inicial se calcula usando una simulación Monte Carlo.

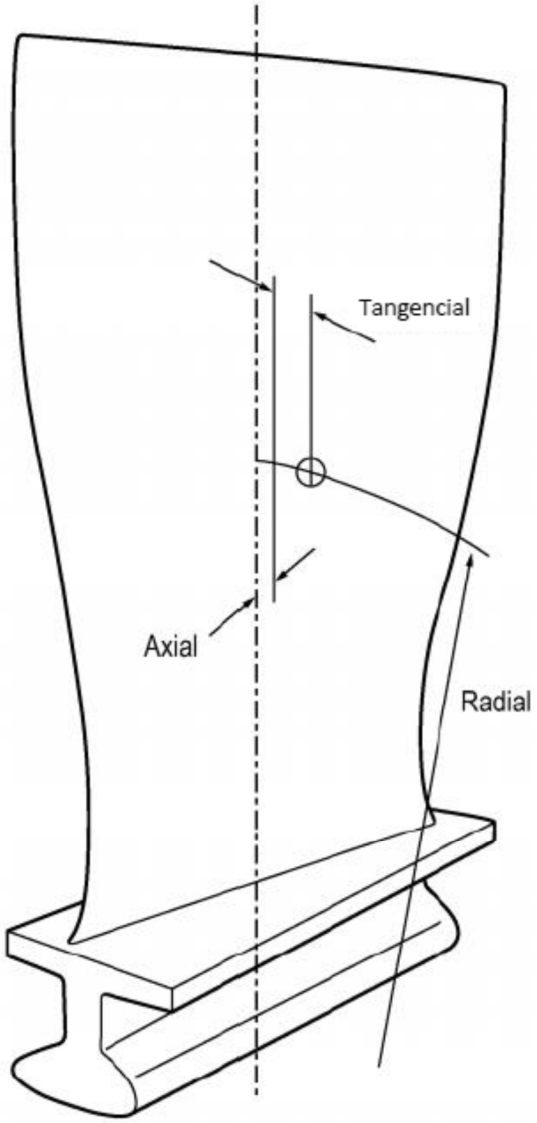

FIG. 1

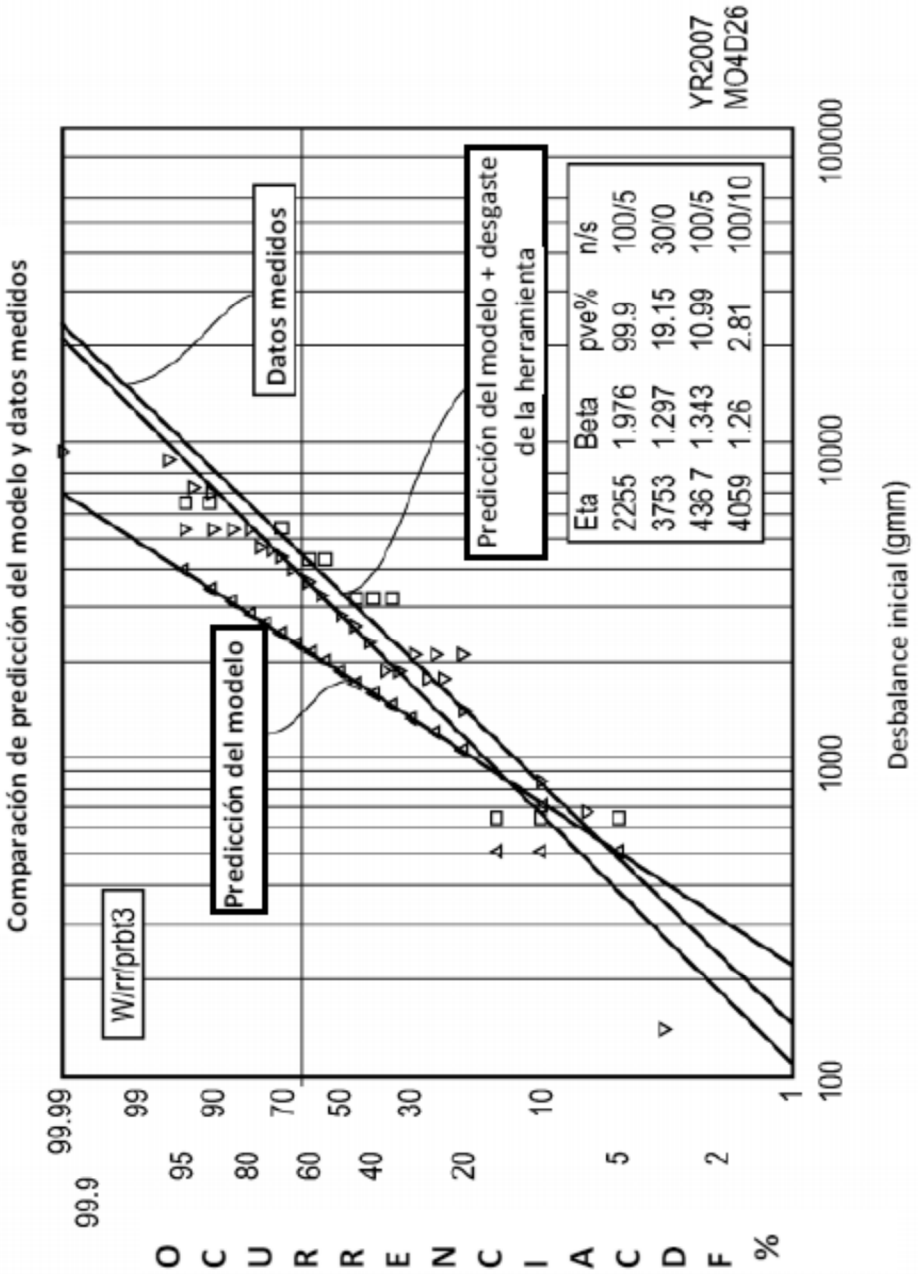
Comparación de predicción del modelo y datos medidos
W/rr/prbt3
Predicción del modelo
Datos medidos
Predicción del modelo + desgaste de la herramienta
Eta Beta pve% n/s
2255 1.976 99.9 100/5
3753 1.297 19.15 30/0
436 7 1.343 10.99 100/5
4059 1.26 2.81 100/10
YR2007
MO4D26
OCURRENCIA DF %
99.99
99.9
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
2
1
100
1000
10000
100000
Desbalance inicial (gmm)

FIG. 2

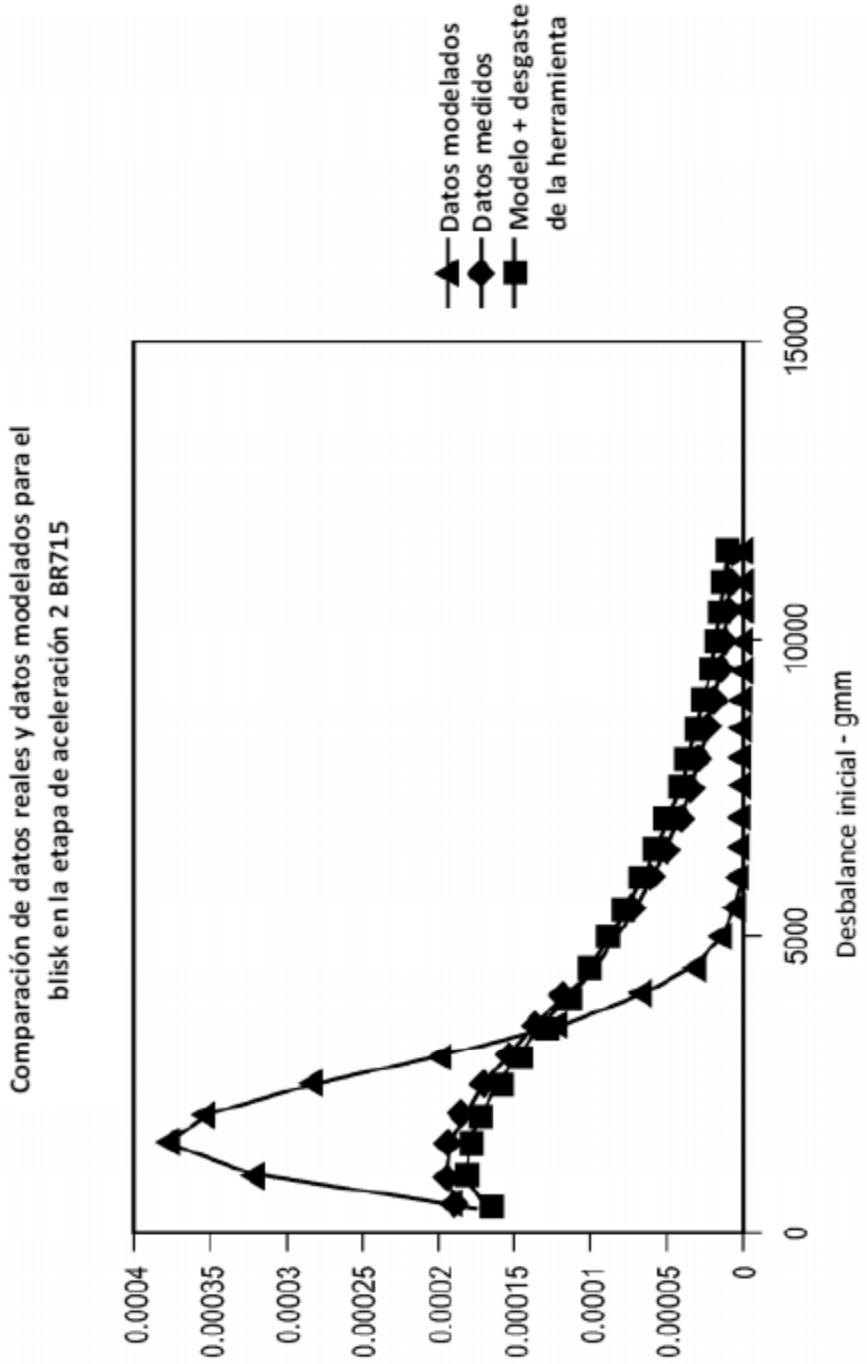
Comparación de datos reales y datos modelados para el blisk en la etapa de aceleración 2 BR715
0.0004
0.00035
0.0003
0.00025
0.0002
0.00015
0.0001
0.00005
0
0
5000
10000
15000
Desbalance inicial - gmm
Datos modelados
Datos medidos
Modelo + desgaste de la herramienta

FIG. 3