



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 306 713**

51 Int. Cl.:
G05B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01932900 .2**

86 Fecha de presentación : **03.05.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1287410**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **05.03.2003**

54 Título: **Aparatos y procedimientos para analizar un sistema que tiene eventos de falso arranque.**

30 Prioridad: **04.05.2000 US 202010 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2008

73 Titular/es: **THE PROCTER & GAMBLE COMPANY**
One Procter & Gamble Plaza
Cincinnati, Ohio 45202, US
University of California

72 Inventor/es: **Berg, Eric, C.;**
Lange, Thomas, Jerome;
Caporale, Donna, Marie;
Koehler, Arthur, J.;
Martz, Harry, F. y
Looney, Michael, T.

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 306 713 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

Aparato y procedimientos para analizar un sistema que tiene eventos de falso arranque.

5 **Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere al campo de los procesos y aparatos para analizar un sistema y, más especialmente, al campo de los procesos y aparatos para simular y analizar sistemas reparables, tales como sistemas de fabricación, sistemas de colas, etc.

10 **Antecedentes de la invención**

La fiabilidad es una medida de la probabilidad de que piezas, componentes, productos o sistemas realicen sus funciones previstas sin fallos en entornos específicos durante los períodos de tiempo deseados con un determinado nivel de confianza. De forma típica, la fiabilidad se expresa como fracción decimal (por ejemplo 0,832). La ingeniería de la fiabilidad abarca las herramientas teóricas y prácticas mediante las cuales puede ser especificada, predicha, analizada, demostrada, instalada e inicializada la probabilidad y la capacidad de que piezas, componentes, equipos, productos y sistemas realicen sus funciones necesarias. Las potentes herramientas de ingeniería de la fiabilidad que permiten predecir de forma exacta la fiabilidad de piezas, componentes y sistemas pueden proporcionar a la empresa una ventaja competitiva significativa. Por ejemplo, la predicción exacta de la fiabilidad de una línea de fabricación o producción prevista o existente puede reducir los costes, agilizar la entrada en el mercado con nuevos productos y proporcionar unos resultados del proyecto más predecibles. La predicción exacta de la fiabilidad también se puede utilizar para identificar y asignar recursos para la implantación de cambios de procesos que pueden aumentar la fiabilidad de un sistema de fabricación.

Las patentes PCT WO 98/24042 (Sunstrand Corporation), EP-A-0878761 (Nippon Electric Co.), US-5.455.777 (Fujiyama Kazunari y col.) y Palumbo D.L. 'Using failure modes and effects simulation as a means of reliability analysis' in Proceedings of the Digital Avionics Systems Conference, Seattle, 5-8 de octubre de 1992, Nueva York, IEEE EE.UU., vol. conf. 11, páginas 102-107 describen análisis de fiabilidad y procesos de simulación que evalúan los modos de fallo debidos a una única causa de un sistema dado.

Históricamente, dichos análisis de fiabilidad y simulaciones han dependido de supuestos estadísticos comunes en cuanto a independencia e idéntica distribución de tiempos hasta evento de fallo y de métodos tales como simulaciones de cadenas de Markov (para controlar los cambios de estado de forma secuencial en el tiempo) para simular la fiabilidad de los sistemas de producción o de sus subsistemas. Estas simulaciones pueden resultar lentas y caras de desarrollar y ejecutar para simular la dinámica de un sistema de fabricación complejo. Pero las simplificaciones pueden introducir errores que ponen en entredicho la validez y utilidad de estas simulaciones. Las ventajas de la entrada rápida en el mercado, la entrada en el momento oportuno en el mercado y unos resultados predecibles del proyecto, como se ha mencionado anteriormente, pueden obtenerse gracias a métodos que ofrecen un elevado grado de exactitud en la simulación del rendimiento de los sistemas existentes y pueden ser utilizados para simular escenarios que pretenden modificar estos sistemas o para simular sistemas que puedan utilizar nuevas combinaciones de subsistemas a partir de modelos válidos de sistemas de fabricación existentes.

Los costes y la capacidad de fabricación pueden ser mejor comprendidos y controlados con métodos de mayor exactitud de predicción dando lugar a menores trastornos del mercado, especialmente durante las primeras fases de introducción de un nuevo producto.

Por tanto, existe la necesidad de disponer de métodos de simulación que puedan predecir los efectos de acoplamiento o combinación que tienen los fallos prematuros o las operaciones de aceleración y desaceleración (stop-and-go) sobre el rendimiento del sistema de fabricación. Además, existe la necesidad de disponer de métodos de simulación que permitan una mejor utilización del tiempo de parada para reparaciones y del restablecimiento del funcionamiento del sistema.

Es decir, las acciones de reparación se realizan de forma específica para aumentar la probabilidad de un re arranque con éxito del subsistema fallado y para reducir la frecuencia de falsos arranques y tiempos breves hasta el fallo debido a reparaciones inadecuadas (es decir, fallos inducidos por el mantenimiento).

Sumario de la invención

Se proporcionan aparatos y procesos informáticos para analizar un sistema. Los aparatos y procesos incorporan etapas de recoger datos de un primer sistema, en donde el primer sistema tiene una pluralidad de modos de fallo y los datos se refieren a los modos de fallo, parametrizar los datos para utilizarlos en una simulación de un segundo sistema y ejecutar una simulación del segundo sistema. La etapa de ejecutar la simulación también incluye determinar si el segundo sistema se encontrará con un primer evento de falso arranque basado en los datos recogidos del primer sistema.

Breve descripción de los dibujos

Aunque la especificación concluye con reivindicaciones que describen de modo particular y reivindican de modo claro la invención, se cree que la presente invención se comprenderá mejor a la vista de la descripción siguiente junto con los dibujos que la acompañan, en donde:

La Fig. 1 es una ilustración esquemática de un proceso ilustrativo de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

La Fig. 2 es una ilustración esquemática de un sistema de fabricación de toallitas de papel ilustrativo;

La Fig. 3 es una ilustración esquemática de una jerarquía ilustrativa para el sistema de fabricación de la Fig. 2;

La Fig. 4 es una gráfica de datos ilustrativos de eventos de pérdida de tiempos de parada del sistema;

La Fig. 5 es una ilustración esquemática de ordenadores conectados en red adecuados para usar en la presente invención;

La Fig. 6 es una ilustración esquemática de una arquitectura preferida para una simulación realizada de acuerdo con la presente invención;

Las Figs. 7 a 9 son ilustraciones esquemáticas de un proceso preferido implantado utilizando la simulación de la Fig. 6; y

La Fig. 10 es una ilustración esquemática de un proceso preferido implantado para el acumulador de la simulación de la Fig. 6.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

A continuación se hará referencia en más detalle a las realizaciones preferidas de la presente invención, ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos que se acompañan, en donde los números iguales indican los mismos elementos en todas las vistas. A fines de transparencia y sencillez se utilizan en la presente memoria las siguientes expresiones:

En la presente memoria, el término “sistema” se refiere a cualquier conjunto de componentes, procesos, operaciones o funciones que proporcionen un producto o servicio. Los sistemas ilustrativos incluyen sistemas de fabricación y producción, operaciones de vuelos de líneas aéreas, operaciones de mantenimiento, operaciones de puesta en cola (por ejemplo, control de tránsito, reducción de tiempos de espera en líneas o colas tales como ventanillas de bancos, gasolineras, cajas de supermercados, etc.), despliegues de equipos industriales y militares (por ejemplo, despliegues de tropas, dimensionamiento de grupos de aviación naval, dimensionamiento de flotas de alquiler de coches y camiones o logística de grandes almacenes y de transporte).

En la presente memoria, la expresión “evento de pérdida” se refiere a cualquier evento que afecte negativamente al rendimiento o al funcionamiento de un sistema o de uno de sus componentes (por ejemplo, paradas de sistema o tiempos de parada de componentes, reducciones de la calidad de productos, mayor intervención de operarios, camiones o coches inactivos, líneas o colas vacías), en donde cada evento de pérdida tiene una causa y un modo de fallo asociados al mismo.

En la presente memoria, la expresión “modo de fallo” se refiere a una descripción de cómo un sistema puede fallar al no realizar su función prevista. Cada modo de fallo puede tener asociadas una o más causas; un tiempo de parada durante el cual el modo de fallo ha hecho que un sistema o un componente del mismo deje de realizar su función prevista; y un tiempo efectivo de trabajo hasta la siguiente ocurrencia de un modo de fallo, tiempo durante el cual un sistema o un componente del mismo realiza su función prevista.

En la presente memoria, el término “causa” se refiere a la razón por la cual se produce un modo de fallo.

En la presente memoria, la expresión “vida” se refiere al tiempo transcurrido desde un punto inicial hasta la ocurrencia de un punto final.

En la presente memoria, la expresión “modo de fallo de causa competitiva” (CCFM) se refiere a un modo de fallo que se produce según su propia distribución, que es independiente de las distribuciones de otros modos de fallo y en donde el tiempo efectivo de trabajo del modo de fallo de causa competitiva finaliza cuando ocurre cualquier evento de pérdida. En las simulaciones de la presente invención, el tiempo efectivo de trabajo de cada modo de fallo de causa competitiva es regenerado de nuevo tras producirse cualquier evento de pérdida.

En la presente memoria, la expresión “modo de fallo de causa acumulada” (CMFM) se refiere a un modo de fallo que se produce según su propia distribución, que es independiente de las distribuciones de otros modos de fallo y en donde el tiempo efectivo de trabajo del modo de fallo de causa acumulada no se ve afectado por la ocurrencia de eventos de pérdida no relacionados con el modo de fallo de causa acumulada en cuestión. En las simulaciones de la

ES 2 306 713 T3

presente invención, el tiempo efectivo de trabajo de cada modo de fallo de causa acumulada sólo es regenerado de nuevo tras su expiración.

En la presente memoria, la expresión “evento de falso arranque” se refiere a un evento de pérdida que se produce de forma rápida con respecto a la vida esperada de un sistema (por ejemplo, dos minutos o menos para un sistema de fabricación que puede tener una vida media esperada de veinte a treinta minutos) después de que un sistema, o un componente del mismo, ha restablecido un funcionamiento aceptable.

En la presente memoria, la expresión “sistema en serie” se refiere a un sistema que falla si falla cualquiera de sus componentes.

En la presente memoria, la expresión “sistema en paralelo” se refiere a un sistema que falla si fallan todos sus componentes paralelos.

En la presente memoria, la expresión “tiempo efectivo de trabajo” se refiere al período de tiempo o la vida de un sistema, o componente del mismo, durante el cual realiza su función prevista.

En la presente memoria, la expresión “tiempo de parada” se refiere al período de tiempo o vida de un sistema, o componente del mismo, durante el cual no realiza su función prevista debido a un evento de pérdida.

En la presente memoria, la expresión “disponibilidad” se refiere a la relación entre el tiempo total efectivo de trabajo para un sistema y la suma del tiempo total efectivo de trabajo de un sistema más el tiempo total de parada de un sistema.

En la presente memoria, la expresión “tiempo medio entre fallos” (MTBF) se refiere a la relación entre el tiempo total efectivo de trabajo de un sistema y el número total de eventos de pérdida del sistema.

En la presente memoria, la expresión “tiempo medio de reparación” (MTTR) se refiere a la relación entre el tiempo total de parada de un sistema y el número total de eventos de pérdida del sistema.

En la presente memoria, la expresión “parametrizar” se refiere al proceso de identificar o ajustar datos según una ecuación paramétrica (por ejemplo, una ecuación que contiene parámetros de forma, escala, y ubicación para describir datos, tales como ecuaciones de Weibull, ecuaciones log-normales, ecuaciones normales, etc.).

En referencia a la Fig. 1, y de acuerdo con un aspecto de la presente invención, se describe a continuación un proceso para analizar y/o simular un sistema ilustrativo. El proceso 20 comienza en la etapa 21 donde se selecciona un nivel jerárquico del sistema. El nivel jerárquico delimita el sistema que se desea analizar y representa la profundidad de simulación de los componentes de un sistema. Para mayor facilidad de discusión, la presente invención se describirá en la presente memoria con respecto a un sistema en forma de un sistema de fabricación y las máquinas que forman parte del sistema de fabricación. Más especialmente, la presente invención se describirá en la presente memoria con respecto a un sistema de fabricación 22 de toallitas en serie, como se ilustra de forma esquemática en la Fig. 2. El sistema de fabricación 22 comprende un rodillo de hojas 24 que tiene enrollado a su alrededor una hoja de papel 26 con una longitud finita. La hoja 26 pasa a través de una impresora en relieve 28 que imprime un patrón sobre la hoja 26. La hoja 26 se corta en la dirección de la máquina en partes discretas 32 en un primer cortador 30. Las partes 32 son envueltas alrededor de un núcleo cilíndrico de papel en el rodillo de núcleos 34 después de lo cual las partes enrolladas 36 son depositadas en un acumulador 38. Las partes enrolladas 36 son después cortadas en la dirección transversal a la máquina en el segundo cortador 40. Las partes enrolladas cortadas dos veces 42 son suministradas a un envolvedor 44 que envuelve una pluralidad de partes enrolladas 42 en una película polimérica 46 que es extraída de un rodillo de película polimérica 48. Una pluralidad de sensores 50 se encuentran distribuidos por todo el sistema de fabricación 22 para detectar eventos de pérdida del sistema de fabricación, como se discutirá en más detalle más adelante. Aunque el sistema de fabricación 22 se describe en la presente memoria a un nivel jerárquico de máquina, se apreciará que el sistema de fabricación 22 puede ser descrito a niveles jerárquicos superiores o inferiores según el análisis en cuestión y el nivel de exactitud de simulación deseado y que estos diferentes niveles pueden ser simulados de forma conjunta o individual, según se desee. La Fig. 3 presenta diferentes jerarquías ilustrativas superiores e inferiores a la descrita para el sistema de fabricación 22 de la Fig. 2. Por ejemplo, un nivel jerárquico superior puede incluir una red de distribución 52 que comprende una pluralidad de plantas de fabricación 54 (un sistema paralelo), en donde cada uno tiene una pluralidad de sistemas de fabricación 22, en donde el sistema de fabricación 22 tiene una pluralidad de máquinas 56 (por ejemplo, el rodillo 24) asociadas al mismo y cada máquina 56 tiene una pluralidad de subcomponentes 58 (por ejemplo, un rodamiento para el rodillo de hojas 24). Además, aunque la presente invención se describe en la presente memoria con respecto a un sistema de fabricación, se apreciará fácilmente que también otros productos, servicios, sistemas de fabricación y sistemas resultan adecuados para usar en la presente invención, como se ha descrito anteriormente.

Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 1, se analiza la jerarquía de sistema seleccionada en la etapa 21 para identificar sus modos de fallo acumulados y competitivos así como sus causas. En la Tabla 1 siguiente se presenta una lista ilustrativa de modos de fallo acumulados y competitivos y sus causas para el sistema de fabricación 22.

TABLA 1

Máquina	N.º de modo de fallo	Modo de fallo	Tipo de modo de fallo	Causas de modo de fallo	N.º de distribuciones de tiempos de parada
Rodillo de hojas	1	Atasco de hojas	Competitivo	Rotura de hoja - orificio en hoja Rotura de hoja - acumulación de pegamento	3
	2	Cambio de rodillo	Acumulado	Desgaste - fallo de rodamiento	1
	3	Fallo de correa	Acumulado	Rotura de correa	1
Impresora en relieve	4	Atasco de alimentación	Competitivo	Pegamento en el rodillo	1
Primer cortador	5	Fallo de la cuchilla	Competitivo	Deslizamiento de la correa de accionamiento	1
Rodillo de núcleo	6	Desalineamiento de núcleo	Competitivo	Núcleo corto	1
Acumulador	7	Acumulador lleno	Competitivo	Acumulador lleno	1
Segundo cortador	8	Fallo de la cuchilla	Competitivo	Desgaste de la cuchilla	1
Rodillo de película polimérica	9	Cambio de rodillo	Acumulado	Rodillo expirado	1
Envolvedor	10	Atasco de hojas de polímero	Competitivo	Configuración de la unidad incorrecta	1
	11	Alineamiento de hoja de polímero	Competitivo	Marcas de registro no alineadas	1

A título ilustrativo con respecto a la Tabla 1, el rodillo de hojas 24 tiene tres modos de fallo: dos modos de fallo de causa acumulada y un modo de fallo de causa competitiva. El hecho de que un modo de fallo sea acumulado o competitivo puede estar basado en la causa del modo de fallo o en las reglas de la estructura (por ejemplo, todos los modos de fallo son competitivos salvo que se indique lo contrario). Las reglas de estructura pueden ser adaptadas según los objetivos o usos de la simulación. El modo de fallo de atasco de hojas es competitivo porque la inestabilidad de las hojas puede volver a producir un atasco de hojas después de haber reparado cualquier evento de pérdida. Los modos de fallo de correa y cambio de rodillo (es decir, sustitución del rodillo porque la hoja está agotada) son acumulados porque dependen de la vida finita de la correa y de la hoja, independientemente de otros eventos de pérdida no relacionados. Los modos de fallo pueden tener múltiples causas (ver, por ejemplo, modo de fallo número 1 en la Tabla 1) y distribuciones de tiempos de parada. Además, los modos de fallo no necesariamente presentan una correspondencia entre el número de causas de modo de fallo y el número de distribuciones de tiempos de parada. Las distribuciones de tiempos de parada representan características independientes con una distribución idéntica de tiempos de reparación para un único modo de fallo. Por ejemplo, el modo de fallo de atasco de hojas tiene tres distribuciones de tiempos de parada, a saber, un período breve de tiempo de reparación, un período medio de tiempo de reparación y un período largo de tiempo de reparación. La selección del número de distribuciones de tiempos de parada puede realizarse utilizando métodos conocidos en la técnica, tales como regresión segmentada, en donde cada discontinuidad entre segmentos representa una distribución separada. La probabilidad C de caer dentro de cualquier distribución de tiempos de parada determinada se determina mediante la relación entre el número de eventos de pérdida dentro de una distribución de tiempos de parada y el número total de eventos de pérdida para el modo de fallo en cuestión. Por ejemplo, en la Fig. 4 se presenta un ejemplo de gráfica para el modo de fallo de causa competitiva de atasco de hojas del rodillo de hojas 24. El número total de eventos de pérdida ilustrado en la Fig. 4 es de 188. Para la primera distribución de tiempos de parada 70, el número de eventos de pérdida es 109 y por tanto la probabilidad C de que se produzca un tiempo de parada en la primera distribución de tiempos de parada 70 es de 0,58. De forma similar, el número de eventos de pérdida para la segunda distribución de tiempos de parada 73 es de 76 y, por tanto, la probabilidad C de que se produzca un tiempo de parada en la segunda distribución de tiempos de parada es de 0,40.

ES 2 306 713 T3

En relación de nuevo a la Fig. 1 y al proceso 20, los datos del evento de pérdida del sistema basados en el tiempo (por ejemplo, tiempos efectivos de trabajo, tiempos de parada) se recogen en el sistema de fabricación 22 y se analizan paramétricamente en las etapas 60 y 62 una vez seleccionado el nivel jerárquico del sistema de fabricación 22. La recogida de estos datos del evento de pérdida del sistema se utiliza para caracterizar y cuantificar los modos de fallo del sistema de fabricación 22. Los datos del evento de pérdida del sistema recogidos preferiblemente incluyen causas de modo de fallo, sellos de tiempo que marcan el comienzo y el final de los períodos de tiempo efectivo de trabajo y de tiempo de parada, y el tiempo absoluto de los tiempos efectivos de trabajo y de los tiempos de parada. En función de la causa del modo de fallo, pueden utilizarse diferentes técnicas de detección para recoger los datos. En la Tabla 2 siguiente se presentan ejemplos de métodos.

TABLA 2

Método de detección	Descripción
El sensor 50 detecta la causa del modo de fallo	El tipo y la ubicación del sensor 50 son específicos de una única causa de modo de fallo
El sensor 50 detecta aproximadamente la causa de modo de fallo	Múltiples causas de modo de fallo pueden disparar el sensor 50, aunque generalmente existe una causa de modo de fallo predominante
Los sensores 50 y su lógica/sincronización detectan la causa de modo de fallo	Pueden utilizarse combinaciones de lógica y sincronización de los sensores 50 para deducir una única causa de modo de fallo
Entrada de operario	Ningún método fiable basado en sensores es capaz de detectar la causa de modo de fallo por lo que un operario debe realizar una entrada

Como se ha indicado, los datos del evento de pérdida del sistema pueden ser recogidos utilizando los sensores 50 y/o los controladores lógicos programables (o PLC). Ejemplos de datos del evento de pérdida del sistema para el sistema de fabricación 22 se presentan en la Tabla 3. Debería recogerse un volumen de datos suficiente para cada modo de fallo con el fin de establecer una muestra estadística. Más preferiblemente, al menos aproximadamente 3 eventos son registrados para cada modo de fallo. Con máxima preferencia, entre aproximadamente 15 eventos y aproximadamente 30 eventos son registrados para cada modo de fallo. Los datos del evento de pérdida del sistema también pueden incluir otra información, tal como un sello de fecha. Aunque la Tabla 3 se refiere a datos del evento de pérdida del sistema para un sistema de fabricación, pueden controlarse otros tipos de datos en otros sistemas tales como tiempo inactivo en el caso de sistemas de cola (por ejemplo, gasolinera disponible pero inactiva).

TABLA 3

Evento	Tiempo efectivo de trabajo (minutos)	Sello de tiempo para el comienzo del evento (minutos)	Tiempo de parada (minutos)	Sello de tiempo para el fin del evento (minutos)	Fallo N.º de modo
1	25,1	25,1	6,8	31,9	6
2	35,4	67,3	5,1	72,4	8
3	36,8	109,2	2,5	111,7	1
4	14,3	126,0	3,2	129,2	11
5	0,4	129,6	10,3	139,9	6
6	1,4	141,3	8,6	149,9	2

Una vez recogidos los datos del evento de pérdida del sistema, estos se parametrizan en la etapa 62 del proceso 20. Los datos del evento de pérdida del sistema pueden ser parametrizados utilizando uno de los diferentes métodos de distribución/función estadística conocidos en la técnica, tales como distribución exponencial, distribución normal, distribución de Weibull o distribución normal logarítmica. La distribución de Weibull (en particular la función de densidad probabilística de Weibull o PDF) es especialmente útil para identificar tiempos efectivos de trabajo mientras que los tiempos de parada son determinados de forma típica mediante una distribución normal logarítmica. Los eventos de falso arranque son preferiblemente calculados mediante la siguiente ecuación:

ES 2 306 713 T3

Probabilidad de

falso arranque (P) = 1-(número total de eventos de falso

arranque para un modo de fallo) (1)

Número total de eventos de pérdida
para el sistema

Por tanto, una probabilidad de falso arranque P de 0,97 (ó 97%) significa que el 97% del tiempo no hay un falso arranque para este modo de fallo después de cualquier evento de pérdida para cualquier modo de fallo. Un PDF de Weibull típico para el tiempo efectivo de trabajo tiene la forma siguiente:

Probabilidad de fallo = (Beta/alfa) (tiempo efectivo de
trabajo/alfa)^(Beta-1) e^{-(((tiempo efectivo de trabajo/alfa)^{Beta}))} (2)

en donde las constantes alfa y beta son las constantes de Weibull habituales (es decir, alfa es el parámetro de escala y beta es el parámetro de forma) conocidos en la técnica. La ecuación (2), cuando se resuelve para el tiempo efectivo de trabajo, puede ser reorganizada de la forma siguiente:

Tiempo efectivo de trabajo = alfa(-ln (probabilidad de fallo))^(1/Beta) (3)

La ecuación (2) puede utilizarse para calcular tiempos efectivos de trabajo basados en la generación de una probabilidad aleatoria utilizando un número real aleatorio uniforme entre cero y uno para la probabilidad de fallo. Puede utilizarse cualquier ecuación log-normal conocida en la técnica que tenga parámetros sigma (es decir, la desviación estándar del logaritmo de los tiempos de parada) y mu (es decir, la media logarítmica de los tiempos de parada) para parametrizar una distribución de tiempos de parada. Solamente a título de discusión en la presente memoria, las distribuciones del tiempo efectivo de trabajo para los modos de fallo del sistema de fabricación 22, presentadas en la Tabla 1, se parametrizan utilizando un PDF de Weibull y los tiempos de parada se caracterizan utilizando una función log-normal, en donde la constante C representa las probabilidades entre las diferentes distribuciones de tiempos de parada. Cabe destacar que la suma de los valores de la constante C de cualquier modo de fallo debe ser igual a uno porque el tiempo de parada de cualquier evento de pérdida debe entrar dentro de una de las distribuciones de tiempos de parada de la presente invención para el modo de fallo de este evento de pérdida. La probabilidad de falso arranque de cada modo de fallo está representada por una constante P. En la Tabla 4 siguiente se presentan ejemplos de constantes alfa, beta, mu, sigma y C y P para cada modo de fallo. Como se ha mencionado anteriormente, algunos de los modos de fallo tienen más de una distribución de tiempos de parada. Por ejemplo, un rodillo activado por correa puede fallar a causa de un fallo de una correa de accionamiento. El rodillo puede ser rápidamente reparado si se cuelgan múltiples correas alrededor de las poleas de accionamiento de manera que no sea necesario desmontar la estructura del rodillo para la reparación, reduciendo así el tiempo de reparación. Sin embargo, una vez que ha sido utilizada la última correa de reparación, sería necesario desmontar la estructura del rodillo, lo que daría lugar a una mayor distribución de tiempo de reparación que en el caso de que hubiera habido disponible una correa para su reparación. También son útiles múltiples distribuciones de tiempos de parada para modelar modos de fallo que tengan más de una causa, teniendo cada causa una distribución de reparación de parada separada. El número de distribuciones de tiempos de parada puede ser seleccionado utilizando uno de los diferentes métodos conocidos en la técnica (por ejemplo, regresión segmentada).

TABLA 4

Objeto de simulación	Constante de velocidad R (m/s [pies/min])	N.º de modo de fallo	Modo de fallo	Tiempo efectivo de trabajo (minutos) alfa/beta	Tiempo de parada (minutos) C/mu/sigma	Falso arranque P
Rodillo de hojas	0,91 (180)	1	Atasco de hojas	36.801/0,8	0,6/2,6/1,1; 0,35/5,8/2; 0,05/43/2	0,97
		2	Cambio de rodillo	63.400/15	1/3/1,8	0,96
		3	Fallo de correa	890.000/14,6	1/56/2,5	0,98
Impresora en relieve	0,91 (180)	4	Atasco de alimentación	345.672/0,6	1/1,2/0,7	0,99
Primer cortador	0,91 (180)	5	Fallo de la cuchilla	200/1,2	1/180/5,6	0,97
Rodillo de núcleo	0,91 (180)	6	Desalineamiento de núcleo	947.505/0,4	1/1,8/0,78	0,97
Acumulador	0,91 (180)	7	Acumulador lleno	29.023/0,8	1/3,6/0,98	1
Segundo cortador	1,27 (250)	8	Fallo de la cuchilla	3.984/0,93	1/21/0,9	0,9
Rodillo de película polimérica	1,27 (250)	9	Cambio de rodillo de película polimérica	200/1,3	1/3,9/1,32	0,9
Envolvedor	1,27 (250)	10	Atasco de hojas de polímero	2.900/0,87	1/0,98/0,97	1
		11	Alineamiento de hoja de polímero	9E+10/0,2	1/0,798/1,6	0,98

También se incluye en la Tabla 4 una constante de velocidad R que representa un valor de velocidad de producto en estado estacionario para un objeto de simulación (p. ej., 0,91 m/s [180 pies por minuto] de alimentación de hojas para el rodillo de hojas).

Tras completar la recogida y parametrización de los datos del evento de pérdida del sistema en las etapas 60 y 62 del proceso 20 de la Fig. 1, se diseña un programa informático que modela o simula el sistema de fabricación 22 de acuerdo con otro aspecto de la presente invención. El programa de simulación se ejecuta o corre en cualquier ordenador de propósito especial o general o en otro aparato de procesamiento digital, tal como un ordenador de sobremesa, un servidor y/u ordenador cliente unidos en red (por ejemplo, a través de Internet o de una Intranet), un micro-ordenador, organizadores manuales u otras formas de ordenadores y sistemas informáticos de otra manera conocidos en la técnica. Ejemplos de ordenadores conectados en red 1000 se ilustran de forma esquemática en la Fig. 5. El ordenador preferiblemente comprende un circuito lógico (tal como una unidad de procesamiento central 1030, un microprocesador u otro microcontrolador) capaz de ejecutar el programa de simulación. El programa de simulación, o partes del mismo, puede ser proporcionado como un producto de programa, en donde el producto de programa incluye un medio portador de señal que puede ser configurado para almacenar datos y/o instrucciones legibles por máquina que hacen que el circuito lógico al que está unido realice las etapas de simulación discutidas más adelante. El medio portador de señal puede ser proporcionado en forma de un disco óptico, un disco magnético, una unidad de disco duro magnético (por ejemplo, número de referencia 1010), una cinta magnética, RAM, ROM, o cualquier otro medio magnético, óptico u otro medio de almacenamiento legible por ordenador. De forma alternativa, el producto de programa puede ser distribuido con las instrucciones contenidas en otros medios portadores de señales, incluidos vínculos de comunicación digitales y análogos (por ejemplo, tales como una parte de alambre o fibra de una red de área local, una parte de alambre o fibra de una red de área amplia, una parte de una red inalámbrica, etc), una onda portadora o señal propagada y otras formas de medios de transmisión. El ordenador también preferiblemente comprende uno o más periféricos de entrada/salida tales como teclado, ratón, pantalla táctil, micrófono, monitor, impresora, etc., que pueden ser conectados al circuito lógico a través de un bus de sistema y un adaptador (por ejemplo, adaptador de pantalla 1040). Aunque la etapa 148 de la Fig. 1 está preferiblemente computerizada, se apreciará que las demás

ES 2 306 713 T3

etapas (o partes de las mismas) del proceso 20 pueden ser implantadas por o junto con un aparato de procesamiento digital.

En la Figura 6, un programa de simulación 80 preferido comprende una pluralidad de objetos de simulación 82 y un controlador 84, en donde cada objeto de simulación 82 representa un componente físico del sistema modelado (p. ej., una planta, una línea de fabricación, una máquina, un componente, una cola, etc.). El programa de simulación puede ser implantado utilizando cualquiera de entre una serie de lenguajes de programación orientados o no a objetos conocidos en la técnica (por ejemplo, C, C++, macros EXCEL, etc.). En este caso, los objetos de simulación representan cada uno una máquina 56 del sistema de fabricación 22 y comprenden instrucciones y/o datos que describen la operación de dicha máquina. Por tanto, existen objetos de simulación ilustrados en la Fig. 6 para el rodillo de hojas 24, la impresora en relieve 28, el primer cortador 30, el rodillo de núcleos 34, el acumulador 38, el segundo cortador 38, el rodillo de película polimérica 42 y el envolvedor 44. Los objetos de simulación 82 están unidos con sus correspondientes objetos de simulación corriente arriba y corriente abajo de manera que se encuentra dispuesta una representación virtual del sistema de fabricación 22. Los objetos de simulación 82 preferiblemente envían a sus objetos de simulación inmediatamente adyacentes corriente arriba y corriente abajo la velocidad simulada (por ejemplo, una velocidad lineal en pies/minuto de la hoja 26 entre el objeto de simulación 1 y el objeto de simulación 2) y el estado simulado del objeto de simulación (por ejemplo, parado u operativo). El controlador 84 coordina el tiempo de simulación (a continuación "el tiempo de simulación actual") entre los diferentes objetos de simulación 82. Preferiblemente, la coordinación es realizada por cada objeto de simulación al transmitir su tiempo efectivo de trabajo y/o tiempo de parada al controlador 84 cuando cada objeto de simulación encuentra un evento de pérdida simulado (por ejemplo, una parada). Cuando se encuentra un evento de pérdida simulado, el controlador 84 avanza el tiempo de simulación actual según el tiempo de parada o el tiempo efectivo de trabajo calculado en un objeto de simulación, como se describe en más detalle más adelante.

En las Figuras 6 a 8 se describe un proceso ilustrativo 86 implantado junto con un objeto de simulación 82 de acuerdo con otro aspecto de la presente invención. Las etapas del proceso se describen tanto genéricamente para cualquier objeto de simulación 82 como de forma ilustrativa para el objeto de simulación del rodillo de hojas, aunque se apreciará que estas etapas pueden ser implantadas de forma similar para los demás objetos de simulación 82 de la simulación 80. Aunque las etapas del proceso 86 se describen en la presente memoria con respecto a objetos de simulación, algunas etapas implantadas por el controlador 84 también se incorporan en el proceso 86 para facilitar la discusión. También se apreciará que las etapas del proceso 86 y la disposición de los objetos de simulación y del controlador pueden ser modificadas, reorganizadas, combinadas y separadas como se conoce en la técnica sin por ello abandonar el ámbito de esta invención.

El proceso 86 comienza en la etapa 88 donde los parámetros (por ejemplo, constantes P/C/R, alfa, beta, mu, sigma, etc.) para las distribuciones de tiempos efectivos de trabajo y de tiempos de parada, velocidades y probabilidades de falso arranque del objeto de simulación 82 son preferiblemente leídos en un fichero de entrada o un objeto similar. Una vez que cada objeto de simulación 82 ha sido así inicializado, se genera una serie de probabilidades de falso arranque en la etapa 89, teniendo preferiblemente la serie la estructura presentada en la Tabla 5 siguiente. La primera columna es la constante P de probabilidad de falso arranque mientras que la segunda columna es la diferencia de uno menos la probabilidad de falso arranque P. La tercera columna es el cociente de uno menos la constante P de probabilidad de falso arranque entre la suma de uno menos la constante P de probabilidad de falso arranque de la columna 3. La cuarta columna es la suma actual de la tercera columna.

TABLA 5

Número de modo de fallo	Probabilidad de falso arranque P	1-P	(1-P) / (suma (1-P))	Suma
1	0,97	0,03	0,3333	0,3333
2	0,96	0,04	0,4444	0,7777
3	0,98	0,02	0,2222	1

A continuación se suma una probabilidad de falso arranque objetivo para los modos de fallo de causa competitiva del objeto de simulación según la siguiente ecuación en la etapa 90:

$$\text{Probabilidad de falso arranque objetivo} = 1 - \sum (1 - \text{probabilidades de falso arranque P}) \quad (4)$$

Después de determinar la probabilidad de falso arranque objetivo en la etapa 90, se genera un número real aleatorio uniforme entre cero y uno en la etapa 94 y este número real aleatorio uniforme se utiliza para calcular un tiempo efectivo de trabajo para cada modo de fallo de causa acumulada para el objeto 82 de la presente simulación utilizando

ES 2 306 713 T3

la ecuación (2) anterior. Por ejemplo, el rodillo de hojas 24 tiene los modos de fallo de causa acumulada de cambio de rodillo y fallo de correa, como se indica en las Tablas 1 y 4. Los valores alfa y beta ilustrativos para el modo de fallo número 2 indicados en la Tabla 4 son 63.400 y 15, respectivamente. Para un valor real aleatorio uniforme de 0,54, este modo de fallo de causa acumulada tendría un tiempo efectivo de trabajo de 63.346 minutos en la etapa 94.

5 Estos tiempos efectivos de trabajo son preferiblemente almacenados en una serie o en otra estructura de datos que es actualizada cuando se ejecuta la simulación 80.

Las etapas 96 a 106 son a continuación ejecutadas para calcular un error de falso arranque de modo de fallo de causa competitiva. En la etapa 96, un contador de eventos de pérdida que almacena el número total de eventos de pérdida simulados (es decir, eventos de pérdida de modos de fallo tanto de causa competitiva como de causa acumulada) es incrementado cada vez que se encuentra un evento de pérdida. Si el anterior evento de pérdida para el objeto de simulación se había debido a un modo de fallo de causa competitiva y se había producido un falso arranque como se indica en la etapa 98, se ejecuta la etapa 100, incrementándose en uno el contador que suma el número de falsos arranques de modo de fallo de causa competitiva. De lo contrario, se ejecuta directamente la etapa 102, calculándose la probabilidad de eventos de falso arranque de la simulación mediante la siguiente ecuación:

15 la probabilidad de eventos de falso arranque de la simulación mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} &\text{Prob. de falso} \\ &\text{arranque de la simulación} = \frac{\text{Número total de eventos de} \\ &\qquad\qquad\qquad \text{falso arranque CCFM}}{\text{Número total de eventos de} \\ &\qquad\qquad\qquad \text{pérdida de la simulación}} \end{aligned} \quad (5)$$

20

25

El número total de eventos de pérdida de la simulación en el denominador de la ecuación (5) ya ha sido calculado en la etapa 96, y el número total de eventos de falso arranque de modo de fallo de causa competitiva en el numerador de la ecuación (5) ya ha sido calculado en la etapa 100. A continuación se calcula en la etapa 106 el error entre la probabilidad de falso arranque de la simulación y la probabilidad de falso arranque objetivo según la siguiente ecuación:

30

$$\text{Error} = \text{probabilidad de falso arranque de la simulación} - \text{probabilidad de falso arranque objetivo}$$

35

Una vez que el error ha sido calculado, se calcula en la etapa 106 una probabilidad de falso arranque de la simulación corregida utilizando el error calculado. Puede utilizarse cualquier método de corrección de errores conocido en la técnica para calcular el valor corregido de la probabilidad de falso arranque de la simulación (por ejemplo, una búsqueda binaria). Aunque en la presente memoria se describe a título de simplificación una corrección de error con respecto a falsos arranques después de un modo de fallo de causa competitiva, se apreciará que también podría implantarse una corrección de error similar para falsos arranques después de un modo de fallo de causa acumulada.

40

En la etapa 110 se determina si el anterior evento de pérdida se ha debido a un modo de fallo de causa competitiva o si se ha debido a un modo de fallo de causa acumulada. Si se ha debido a un modo de fallo de causa competitiva, se utilizan las etapas 112 y 114 para determinar si existe un falso arranque después del tiempo de parada (es decir, después del tiempo de reparación) para el anterior evento de pérdida teniendo en cuenta la probabilidad de falso arranque de la simulación corregida determinada en la etapa 106. Si el anterior evento de pérdida se ha debido a un modo de fallo de causa acumulada, se ejecutan las etapas 111 y 113 (Fig. 8). En la etapa 111 se genera un número real aleatorio uniforme entre cero y uno. Si el número real aleatorio uniforme es inferior o igual a la probabilidad de falso arranque P del anterior modo de fallo de causa acumulada, como se describe en la etapa 113, entonces se ha producido un falso arranque después de este evento de pérdida. A continuación se genera el tiempo de parada de este evento de falso arranque utilizando el proceso 116 (Fig. 9), como se discute en más detalle más adelante; de lo contrario no existe un falso arranque de causa acumulada después del anterior evento de pérdida de causa acumulada y se ejecuta a continuación la etapa 112 para determinar si existe un evento de falso arranque de causa competitiva que comienza en la etapa 112, como también se discute en más detalle más adelante.

45

50

55

En la etapa 110, si la parada anterior fue un evento de pérdida de causa competitiva (o si la etapa 110 se ejecuta por primera vez al arrancar la simulación), se realizan las etapas 112 y 114. Se genera un número real aleatorio uniforme entre cero y uno en la etapa 112 y si este número real aleatorio uniforme es mayor o igual a la probabilidad de falso arranque de la simulación corregida determinada en la etapa 106, entonces no se ha producido un falso arranque después del anterior evento de pérdida y se realizan las rutas paralelas A y B (Fig. 8) para determinar el siguiente tiempo efectivo de trabajo mínimo para el objeto de la presente simulación 82. Si el número real aleatorio uniforme generado en la etapa 114 es superior a la probabilidad de falso arranque corregida determinada en la etapa 106 (es decir, existe un evento de falso arranque después del anterior evento de pérdida), a continuación se genera un nuevo número real aleatorio uniforme en la etapa 115 y este número se compara con la cuarta columna de la serie generada en la etapa 89 para determinar qué modo de fallo de la etapa de máquina de la presente invención ha producido el falso arranque. Por ejemplo, con referencia a la Tabla 5, si el número real aleatorio uniforme generado en la etapa

60

65

115 es 0,85, entonces se utilizaría el modo de fallo número 3 para determinar el tiempo de parada para el evento de falso arranque porque 0,85 es mayor que 0,7777 pero menor que 1. Después de determinar qué modo de fallo produce el evento de falso arranque, se ejecuta el proceso de parada 116 (Fig. 9) para determinar el tiempo de parada para el evento de falso arranque.

En la Figura 8, la ruta paralela A calcula los tiempos efectivos de trabajo para cada modo de fallo de causa competitiva del objeto de la presente simulación mientras que la ruta paralela B genera los tiempos efectivos de trabajo para cada modo de fallo de causa acumulada del objeto de la presente simulación. Comenzando con la etapa 118 para la ruta A, se genera por separado un número real aleatorio uniforme entre cero y uno para cada modo de fallo de causa competitiva del objeto de simulación. Cada número real aleatorio uniforme se aplica a la ecuación (3), en donde la ecuación (3) incorpora los valores alfa y beta para el modo de fallo correspondiente al número real aleatorio uniforme generado. Por ejemplo, la Tabla 6 presenta el número real aleatorio uniforme generado para cada modo de fallo de causa competitiva del rodillo de hojas 24. Utilizando los valores alfa y beta para cada modo de fallo, se calcula un tiempo efectivo de trabajo basado en el número real aleatorio uniforme generado para un modo de fallo de causa competitiva. A continuación en la etapa 120 se selecciona el tiempo de simulación de modo de fallo de causa competitiva más bajo de entre todos los tiempos de simulación de modo de fallo de causa competitiva para el objeto de la presente simulación y este valor es enviado a la etapa 132.

TABLA 6

Modo de fallo	Alfa/beta	N.º aleatorio	Tiempo de simulación actual	Tiempo efectivo de trabajo (minutos)	Tiempo de simulación de modo de fallo de causa competitiva
Atasco de hojas	36.801/0,8	0,14	10	84.308	84.318

Haciendo referencia ahora a la ruta paralela B de la Fig. 8, se determina en las etapas 122 a 130 el tiempo efectivo de trabajo más bajo entre los modos de fallo de causa acumulada para el objeto 82 de la presente simulación. En la etapa 122, para cada modo de fallo de causa acumulada del objeto de la presente simulación 82 se resta el tiempo efectivo de trabajo del sistema del tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de causa acumulada de cada modo de fallo de causa acumulada y estos nuevos valores se almacenan en la serie. En la etapa 124 se determina si la causa del anterior evento de pérdida es una causa acumulada. En caso positivo (por ejemplo, un modo de fallo de causa acumulada ha producido una parada), entonces se calcula un nuevo tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de causa acumulada para este modo de fallo de causa acumulada generando un número real aleatorio uniforme entre cero y uno en la etapa 126; de lo contrario, se ejecuta la etapa 130 como se describe más adelante Utilizando la ecuación (3) y los valores alfa y beta para el modo de fallo de causa acumulada de la presente invención, se calcula el nuevo tiempo efectivo de trabajo que sustituye al tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de causa acumulada expirado en la serie. A continuación en la etapa 130 se selecciona el porcentaje más bajo de tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de causa acumulada de entre todos los porcentajes de tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de causa acumulada disponibles en la serie para el objeto de la presente simulación 82. A continuación, en la etapa 132 se selecciona el tiempo efectivo de trabajo más bajo entre la etapa 130 y la etapa 120 para determinar qué modo de fallo de causa competitiva o qué modo de fallo de causa acumulada producirá el siguiente evento de pérdida para el objeto de la presente simulación 82.

Tras determinar el modo de fallo que produce el siguiente evento de pérdida para el objeto de simulación, este porcentaje más bajo de tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo es enviado al controlador 84 en la etapa 133. En la etapa 135, el controlador 84 selecciona el porcentaje más bajo de tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de entre todos los objetos de simulación (el "tiempo efectivo de trabajo del sistema"), incluidos eventos de pérdida de cualquier nivel de producto de acumulador (discutidos en más detalle más adelante como otra realización preferida) y añade este tiempo efectivo de trabajo al tiempo de simulación actual, avanzando así la simulación al comienzo del evento de pérdida. El tiempo efectivo de trabajo del sistema es devuelto a cada etapa de simulación. En la etapa 139, cada objeto de simulación determina si su tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo determinado en la etapa 132 coincide con el tiempo efectivo de trabajo del sistema devuelto. En caso afirmativo, la ejecución pasa al proceso de parada 116 que se realiza comenzando en la etapa 134 (es decir, este objeto de simulación es el que encuentra el evento de pérdida), como se muestra en la Fig. 9; de lo contrario, se realizan las etapas 141 y 143 en donde el objeto de simulación entra en un estado de "espera o inactividad" en la etapa 141 y cada objeto de simulación espera la entrada de sus objetos de simulación adyacentes y/o del controlador. Con relación a la Figura 9 y al proceso de parada 116, la información actualizada de velocidad y estado es enviada a cada objeto de simulación adyacente en la etapa 134, que generalmente para un evento de pérdida es una velocidad igual a cero y un indicador de estado de que el objeto de la presente simulación 82 se ha parado. Los indicadores de estado sólo son utilizados para coordinar eventos entre los objetos de simulación. En la etapa 136 se genera un número real aleatorio uniforme entre cero y uno y este número es utilizado en la etapa 138 para seleccionar la distribución de tiempos de parada que se desea utilizar para

ES 2 306 713 T3

calcular el tiempo de parada para el evento de pérdida en cuestión comparando cada constante C de tiempo de parada con el número real aleatorio uniforme. Las constantes C son sumadas de forma secuencial y el número real aleatorio uniforme es comparado con el intervalo entre las sumas para determinar la distribución de tiempos de parada a utilizar. Por ejemplo con referencia a la Tabla 4, el modo de fallo 1 y la Tabla 7, si el número real aleatorio uniforme generado en la etapa 136 es 0,85, entonces para determinar el tiempo de parada se utilizaría la distribución de tiempos de parada 2 de la Tabla 4 porque 0,85 es mayor que 0,6 pero menor que 0,95.

TABLA 7

N.° de distribución de tiempos de parada	Constante C	Suma de los valores de la constante C	Intervalo entre sumas	N.° aleatorio
1	0,6	0,6	$0 \leq \text{número aleatorio} \leq 0,6$	
2	0,35	0,95	$0,6 < \text{número aleatorio} \leq 0,95$	0,85
3	0,05	1,0	$0,95 < \text{número aleatorio}$	

En la etapa 140 se genera un nuevo número real aleatorio uniforme entre cero y uno. Este número real aleatorio uniforme se utiliza en la ecuación (4) para determinar el tiempo de parada para el evento de pérdida en la etapa 142 utilizando los parámetros de distribución de tiempos de parada para la distribución de tiempos de parada determinada en la etapa 136. El tiempo de parada calculado en la etapa 142 (el tiempo de parada del sistema) es enviado al controlador 84 en la etapa 144. El controlador añade el tiempo de parada del sistema al tiempo de simulación actual (es decir, el tiempo de simulación es ahora avanzado al final del período de reparación) y envía el tiempo de simulación actual a cada uno de los objetos de simulación en la etapa 144 (esta información es recibida por los objetos de simulación en la etapa 143). La velocidad y el estado para el objeto 82 de la presente simulación que ha producido el evento de pérdida son después actualizados y enviados a los objetos de simulación adyacentes en la etapa 146, en donde generalmente se fija la velocidad a la constante de velocidad (p. ej., 0,91 m/s [180 pies/min] para el rodillo de hojas 24) y se actualiza el estado. La ejecución, para todos los objetos de simulación 82 se restablece a continuación en el punto E de la Fig. 6, comenzando la corrección de la probabilidad de error de falso arranque en la etapa 96.

Una realización alternativa preferida de la presente invención incorpora el proceso 152 ilustrado en la Fig. 10 para objetos de simulación que modelan componentes de almacenamiento o memoria intermedia, tales como el acumulador 38. Cada acumulador tiene un valor de nivel de producto vacío (es decir, el valor en el que no existe producto en el acumulador), un valor de nivel de producto actual (es decir, el valor actual de la cantidad de producto en el acumulador) y un valor de nivel de producto lleno (es decir, el valor en el que el acumulador está completamente lleno con producto y no puede aceptar más producto). Comenzando en la etapa 154, se calcula la diferencia entre la velocidad de producto que entra el acumulador y la velocidad de producto que sale del acumulador. A título ilustrativo con respecto a la simulación 80, la velocidad de producto que entra en el acumulador 38 de la fabricación 22 es la diferencia entre la constante de velocidad para el producto suministrado desde el objeto de simulación 82 que representa al rodillo de núcleos 82 y la constante de velocidad para el producto recibido por el objeto de simulación 82 que representa al segundo cortador 40. Si la diferencia es superior a cero en la etapa 156, entonces se ejecuta la etapa 158, determinándose el tiempo que falta para que el acumulador 38 esté lleno restando el valor de nivel de producto lleno del valor de nivel de producto actual y dividiendo esta diferencia entre la diferencia de velocidad calculada en la etapa 154. Este valor es después sumado al tiempo de simulación actual recibido por el objeto de simulación 82 para el acumulador en la etapa 143 de la Fig. 6 y enviado a la etapa 132. Este valor de tiempo de simulación de nivel de acumulador (que representa un evento de pérdida) es después comparado con los tiempos de simulación de causa competitiva y de causa acumulada más bajos de la etapa 132. Con respecto a la etapa 160, si la diferencia de velocidad es inferior a cero, entonces se ejecuta la etapa 162, donde el tiempo que falta para que el acumulador 38 se vacíe se determina restando el valor de nivel de producto actual del valor de nivel de producto vacío y dividiendo esta diferencia por la diferencia de velocidad calculada en la etapa 154. Este valor es después sumado al tiempo de simulación actual recibido por el objeto de simulación 82 para el acumulador en la etapa 143 de la Fig. 6 y enviado a la etapa 132. Este valor de tiempo de simulación de nivel de acumulador (que representa un evento de pérdida) es después comparado con los tiempos de simulación de causa competitiva y de causa acumulada más bajos de la etapa 132. De lo contrario, se realiza la etapa 164 (es decir, la diferencia de velocidad es igual a cero y la velocidad de entrada es igual a la velocidad de salida), en donde el nivel de producto dentro del acumulador es constante y un valor de tiempo de simulación de nivel de acumulador igual a infinito es enviado a la etapa 132.

Con respecto a la Tabla 8, a continuación se describen seis etapas de tiempo ilustrativas (p. ej., T=0 minutos, T=143 minutos, T=322 minutos, T=327 minutos, T=330 minutos y T=350 minutos) para una simulación simplificada de acuerdo con la presente invención del sistema de fabricación 22. Cada etapa de tiempo incorpora una o más etapas de los procesos de simulación antes descritos y pretende mostrar de forma general y para mayor claridad los conceptos descritos en la presente memoria. En la primera etapa de tiempo (es decir, T=0 minutos o el comienzo de la simulación

ES 2 306 713 T3

después de inicializar la simulación) se genera un número real aleatorio uniforme en la cuarta columna para determinar si existe un falso arranque para los modos de fallo de causa competitiva bajo el supuesto simplificado de que no existe un falso arranque de causa acumulada al arrancar. El mismo único número real aleatorio se utiliza para cada modo de fallo de causa competitiva de un objeto de la máquina de la presente invención (es decir, etapas 112 y 114 de la Fig. 7) y se genera un número real aleatorio separado para cada modo de fallo de causa acumulada cuando resulte apropiado (es decir, cuando se ejecuta la etapa 111 de la Fig. 7). Si existe un falso arranque según se ha determinado en las etapas 113 ó 114 de la Fig. 7, se introduce un “sí” en la quinta columna. Dado que no existe un falso arranque en la primera etapa de tiempo, se genera un número real aleatorio uniforme para cada modo de fallo y este número real aleatorio uniforme es después utilizado para generar un tiempo efectivo de trabajo. En la octava columna se selecciona el tiempo efectivo de trabajo más bajo para cada objeto de simulación y después en la novena columna se selecciona el tiempo efectivo de trabajo más bajo para el sistema. El tiempo efectivo de trabajo del sistema se agrega al tiempo de simulación actual en la segunda etapa de tiempo (es decir, tiempo $T=0+143$ minutos). Se genera un número real aleatorio uniforme en la décima columna aunque, debido a que sólo existe una distribución de tiempos de parada esto no afecta a la distribución de tiempos de parada seleccionada. En la columna undécima se genera un número aleatorio que es después utilizado para determinar el tiempo de parada para el modo de fallo número cinco. En la tercera etapa de tiempo, el tiempo de parada de la duodécima columna se agrega al tiempo de simulación (es decir, tiempo $T = 143 + 179$). Los números reales aleatorios uniformes son de nuevo generados en la cuarta columna para las probabilidades de falso arranque (salvo los modos de fallo de causa acumulada dado que el evento de pérdida anterior no era debido a un modo de fallo de causa acumulada) y no existen falsos arranques. Se generan nuevos tiempos efectivos de trabajo para los modos de fallo de causa competitiva sólo en la séptima columna basados en los números reales aleatorios uniformes indicados en la sexta columna. Los tiempos efectivos de trabajo para los modos de fallo de causa acumulada en la séptima columna son iguales al tiempo efectivo de trabajo de la primera etapa de tiempo (es decir, tiempo $T=0$) menos el tiempo efectivo de trabajo del sistema calculado en la primera etapa de tiempo. Se selecciona un nuevo tiempo efectivo de trabajo del sistema en la décima columna (por ejemplo, 5 minutos). Después del cálculo del tiempo de parada de la cuarta etapa de tiempo (es decir, tiempo $T = 327$ minutos), se produce un falso arranque en la quinta etapa de tiempo (es decir, tiempo $T = 330$ minutos) y se calcula un tiempo de parada para el modo de fallo ocho que ha producido el evento de falso arranque. Esto se calcula según las etapas 134 a 146 de la Fig. 9. En la sexta etapa de tiempo (es decir, tiempo $T = 350$ minutos), el tiempo de parada para el evento de falso arranque calculado en la quinta etapa de tiempo se agrega al tiempo de simulación actual en la primera columna del quinto tiempo. El tiempo efectivo de trabajo para cada modo de fallo de causa competitiva es generado en la séptima columna utilizando el número real aleatorio uniforme de la sexta columna. Dado que no se ha producido un tiempo efectivo de trabajo del sistema entre las etapas de tiempo cuarta y sexta, los tiempos efectivos de trabajo para los modos de fallo de causa acumulada siguen siendo iguales que los tiempos efectivos de trabajo de la tercera etapa de tiempo.

(Tabla pasa a página siguiente)

Tabla 8

Tiempo de simulación	Objeto de simulación	N.º de modo de fallo	N.º aleatorio para la probabilidad de falso arranque	¿Falso arranque?	N.º aleatorio para el tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo	Tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo	Porcentaje más bajo de tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo del objeto	Porcentaje más bajo de tiempo efectivo de trabajo en modo de fallo de sistema	N.º aleatorio para la selección de tiempos de parada	N.º aleatorio para el tiempo de parada	Tiempo de parada
T=0	Rodillo de hojas	1	0,23	No	0,14	84306					
		2	ninguna	N/A	0,54	63346	63346				
		3	ninguna	N/A	0,83	598295					
	Impresora en relieve	4	0,42	No	0,63	90404	90404				
	Primer cortador	5	0,08	No	0,51	143	143	143			
	Rodillo de núcleo	6	0,62	No	0,18	3575669	3575669				
	Acumulador	7	0,057	No	0,47	20011	20011				
	Segundo cortador	8	0,61	No	0,37	3906	3906				
	Polímero	9	ninguna	N/A	0,5	148	148				
	Envolvedor	10	0,8	No	0,5	1888	1888				
		11	0,8		0,79	54117352	54117352				
T=143	Rodillo de hojas	1									
		2									
		3									

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ES 2 306 713 T3

Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 1, después de configurar la simulación 80 en la etapa 148 como se ha descrito anteriormente, la simulación 80 puede utilizarse para analizar el sistema de fabricación 22 e implantar cambios en el sistema de fabricación 22 para mejorar su fiabilidad, como se describe en la etapa 150. Por ejemplo, el tamaño del acumulador 38 puede ser modificado, las constantes de velocidad para una máquina pueden ser ajustadas, la serie de máquinas en el sistema de fabricación puede ser modificada, el valor para eliminar un modo de fallo puede ser modificado, etc. Además, los datos del sistema pueden utilizarse para modelar un segundo, todavía no construido, sistema de fabricación que tenga objetos de sistema similares pero tal vez dispuestos de diferente manera para predecir y optimizar la fiabilidad del segundo sistema antes de construirlo.

A continuación se presentan ejemplos de disponibilidad, MTBF y MTTR para un sistema de fabricación existente y los mismos valores de una simulación realizada de acuerdo con la presente invención, en donde la simulación modela modos de fallo acumulados y competitivos con valores beta mayores y menores de uno y probabilidades de falso arranque. Preferiblemente, el porcentaje de error (es decir, la relación entre el valor real menos el valor simulado y el valor real X 100) es menos de aproximadamente 3%, y más preferiblemente menos de aproximadamente 2% y con máxima preferencia el error es menos de aproximadamente 1%. Como se apreciará, en una simulación realizada de acuerdo con la presente invención pueden obtenerse otros valores tales como el número de eventos de pérdida o el tiempo de parada por evento de pérdida. La magnitud del error puede reducirse aún más, por ejemplo, aumentando el número de distribuciones de tiempos de parada simuladas.

Ejemplo 1

	Sistema real	Simulación del sistema real	Porcentaje de error
Disponibilidad	0,8069	0,8067	-0,1
MTBF	14,30	14,29	-0,1
MTTR	3,39	3,42	1

Ejemplo 2

	Sistema real	Simulación del sistema real	Porcentaje de error
Disponibilidad	0,8616	0,8625	0,1
MTBF	17,40	17,86	2,6
MTTR	2,80	2,85	1,7

Ejemplo 3

Modo de fallo	N.º real de eventos	N.º simulado de eventos	Tiempo de parada real	Tiempo de parada simulado	Porcentaje de error en n.º de eventos	Porcentaje de error en tiempo de parada
1	4192	4271	7355	7116	-1,89	3,24
2	3012	3056	18018	18514	-1,48	-2,75
3	752	782	1178	1130	-3,98	3,99
4	387	400	48	489	-3,44	-1,06
5	143	145	96	100	-1,63	-3,92
6	62	61	82	84	0,53	-2,54
7	39	39	136	142	-1,53	-3,90
8	99	100	108	105	-1,21	2,76

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de simulación, que comprende las siguientes etapas:

recoger datos de un primer sistema, en donde dicho primer sistema tiene una pluralidad de modos de fallo y dichos datos se refieren a dichos modos de fallo;

parametrizar dichos datos para utilizarlos con un programa informático simulando un segundo sistema; y

ejecutar dicho programa informático simulando dicho segundo sistema, en donde dicha etapa de ejecutar comprende las etapas de determinar si dicho segundo sistema se encontrará con un primer evento de falso arranque basado en dichos datos recogidos de dicho primer sistema,

estando dicho proceso de simulación **caracterizado** porque también comprende la etapa de analizar dicho primer sistema para determinar dichos modos de fallo y porque dicha etapa de ejecutar además comprende la etapa de calcular un tiempo efectivo de trabajo para cada modo de fallo, y porque dichos modos de fallo incluyen una pluralidad de modos de fallo de causa acumulada y una pluralidad de modos de fallo de causa competitiva.

2. El proceso de la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha etapa de ejecutar además comprende la etapa de determinar cuál de dichos modos de fallo provoca un primer evento de pérdida para dicho segundo sistema.

3. El proceso de la reivindicación 2, **caracterizado** porque dicha etapa de ejecutar además comprende la etapa de calcular un tiempo de parada para dicho modo de fallo que provoca dicho primer evento de pérdida para dicho segundo sistema.

4. El proceso de la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicho tiempo de parada se determina a partir de una pluralidad de distribuciones de tiempos de parada.

5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque dicha etapa de ejecutar comprende además la etapa de:

si dicho modo de fallo que provoca dicho primer evento de pérdida de dicho segundo sistema es un modo de fallo de causa acumulada, entonces calcular un segundo tiempo efectivo de trabajo únicamente para dicho modo de fallo de causa acumulada que provoca dicho primer evento de pérdida para dicho segundo sistema y calcular un segundo tiempo efectivo de trabajo para cada uno de dichos modos de fallo de causa competitiva.

6. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha etapa de ejecutar además comprende las etapas de:

si existe un primer evento de pérdida de falso arranque, entonces calcular un tiempo de parada para dicho primer evento de pérdida de falso arranque; y **caracterizado** por la etapa de

determinar si dicho segundo sistema se encontrará con un segundo evento de pérdida de falso arranque después de dicho tiempo de parada para dicho primer evento de pérdida de falso arranque.

7. Un proceso de simulación informatizado, que comprende las siguientes etapas:

recibir valores para una pluralidad de parámetros calculados a partir de datos recogidos desde un primer sistema, en donde dicho primer sistema tiene una pluralidad de modos de fallo y dichos datos se refieren a dichos modos de fallo; y

caracterizado porque dichos modos de fallo incluyen una pluralidad de modos de fallo de causa acumulada y una pluralidad de modos de fallo de causa competitiva, estando dicho proceso de simulación también **caracterizado** por las etapas de determinar si un segundo sistema se encontrará con un primer evento de pérdida de falso arranque basado en dichos datos recogidos de dicho primer sistema.

8. Un producto de programa que comprende un medio portador de señal que realiza un programa de instrucciones legibles por máquina ejecutable mediante un aparato de procesamiento digital para realizar las etapas de la reivindicación 7.

9. Un artículo manufacturado, que comprende:

al menos un ordenador; y

un producto de programa que comprende un medio portador de señal que realiza un programa de instrucciones legibles por máquina ejecutable mediante un aparato de procesamiento digital para realizar las etapas de la reivindicación 8.

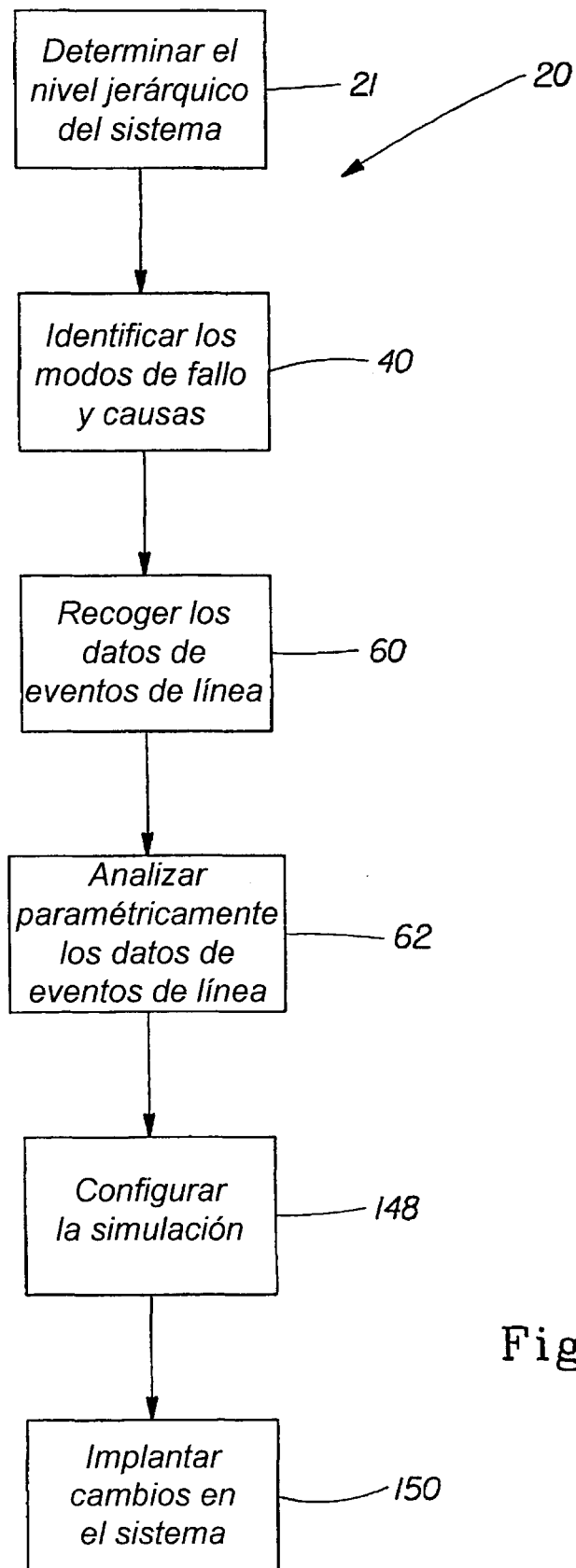


Fig. 1

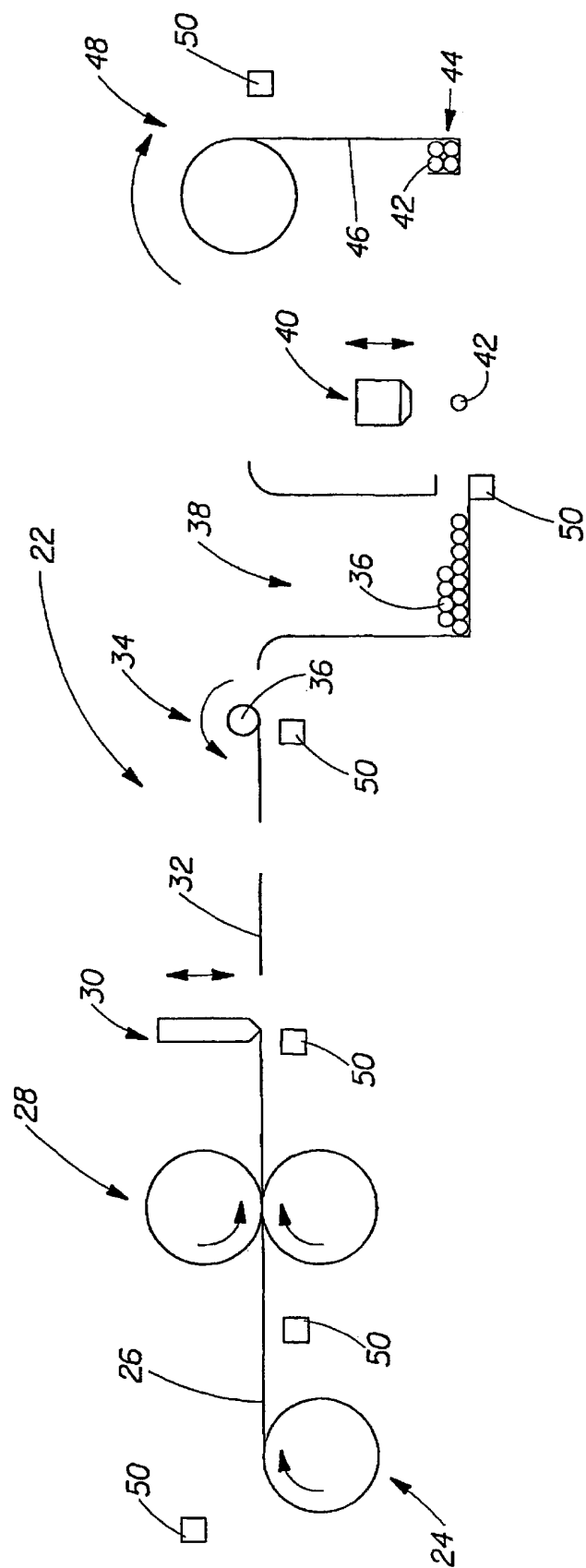


Fig. 2

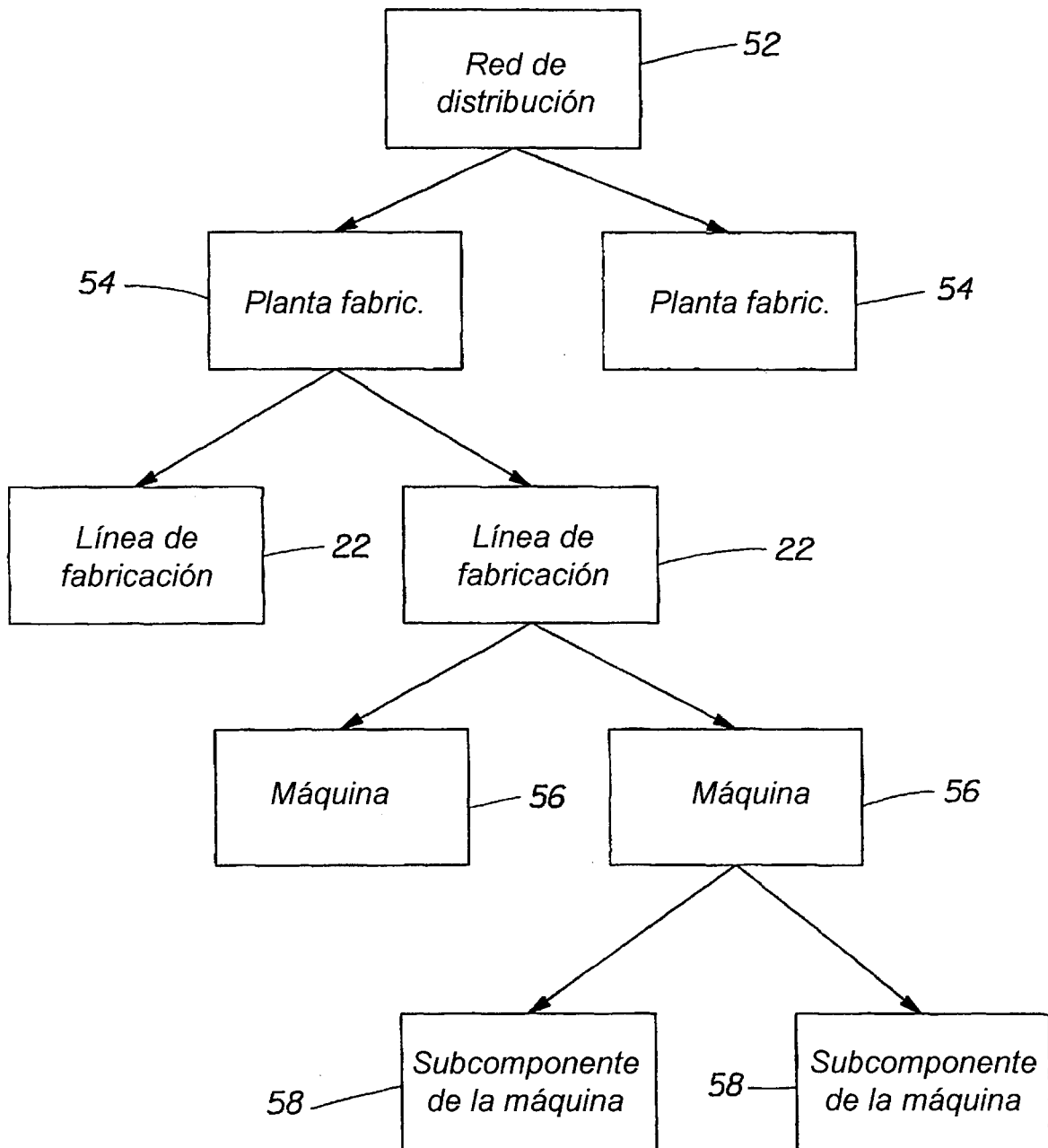


Fig. 3

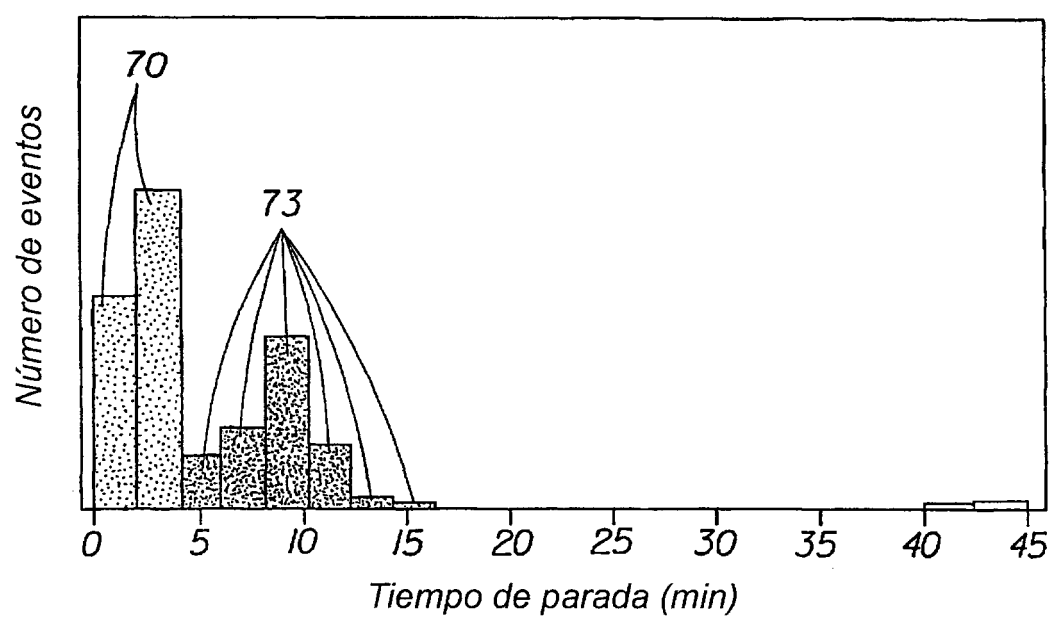


Fig. 4

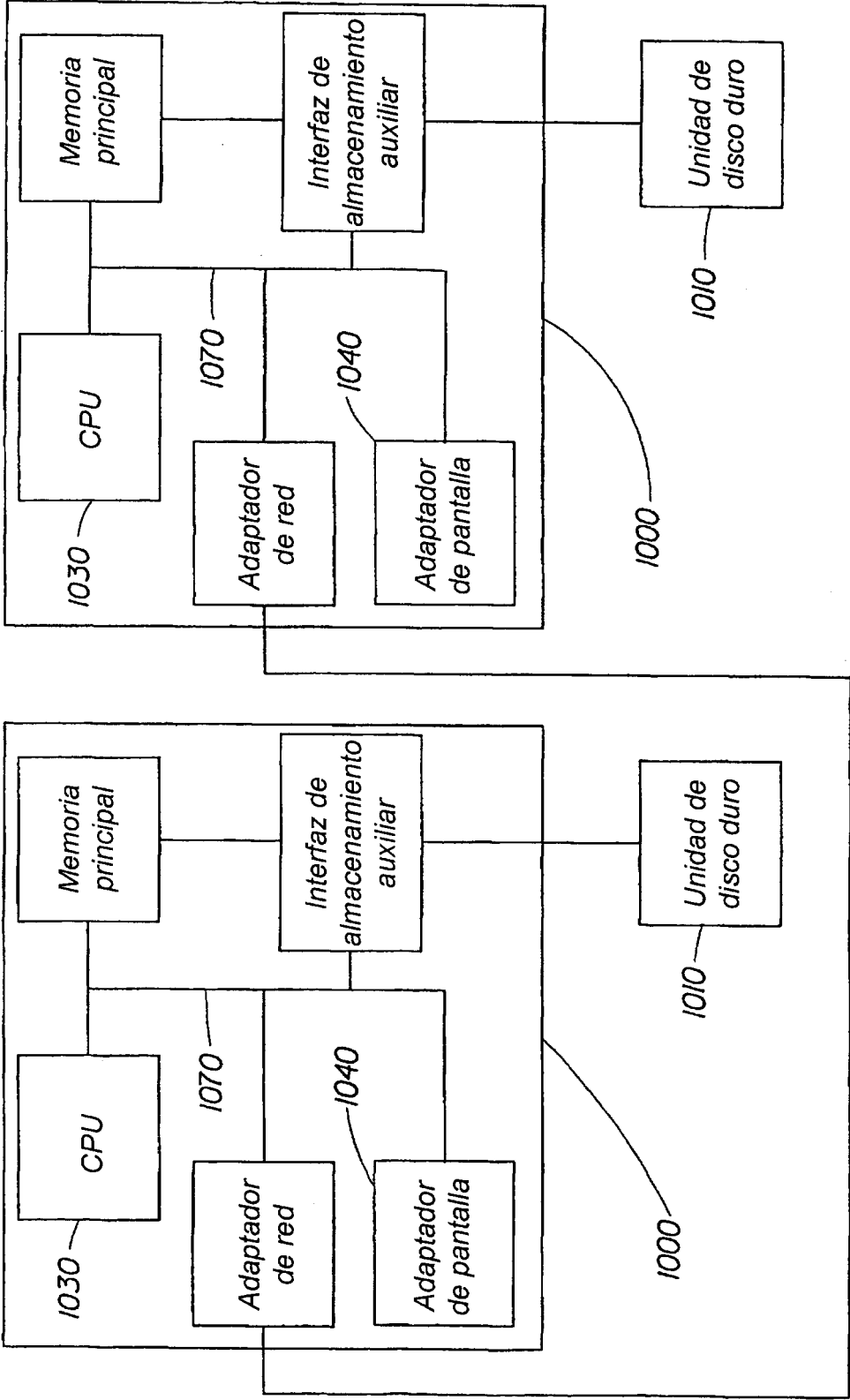


Fig. 5

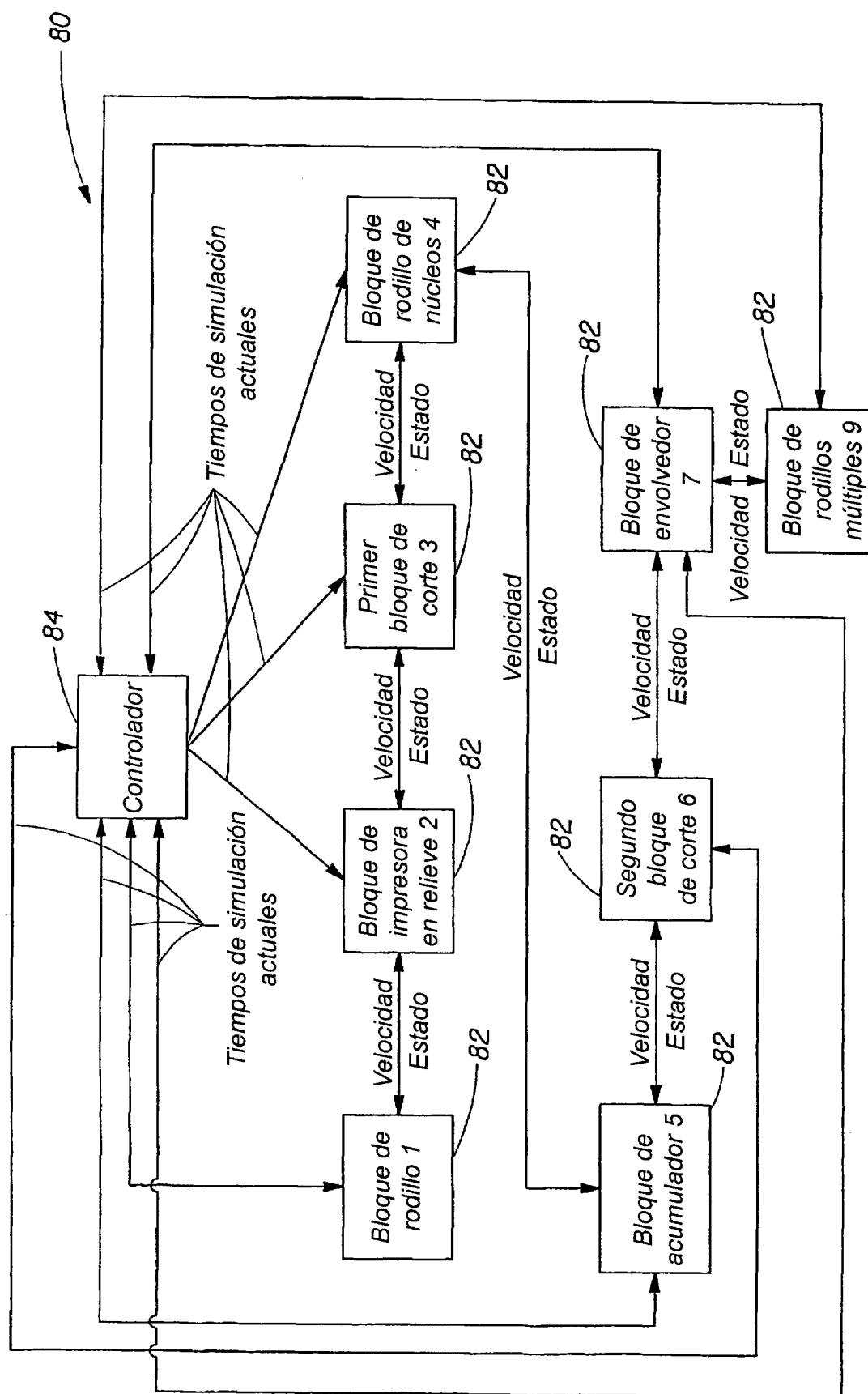


Fig. 6

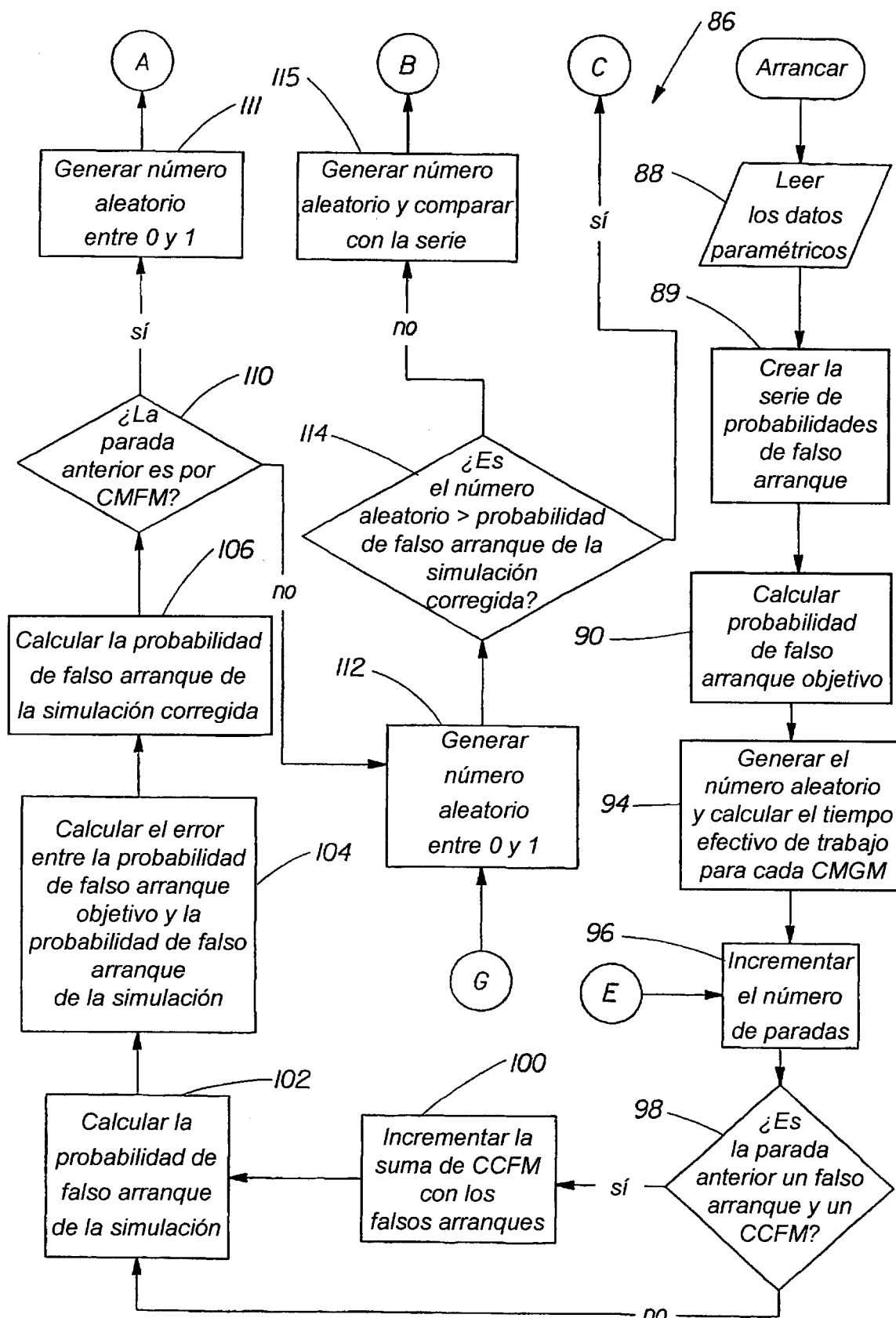


Fig. 7

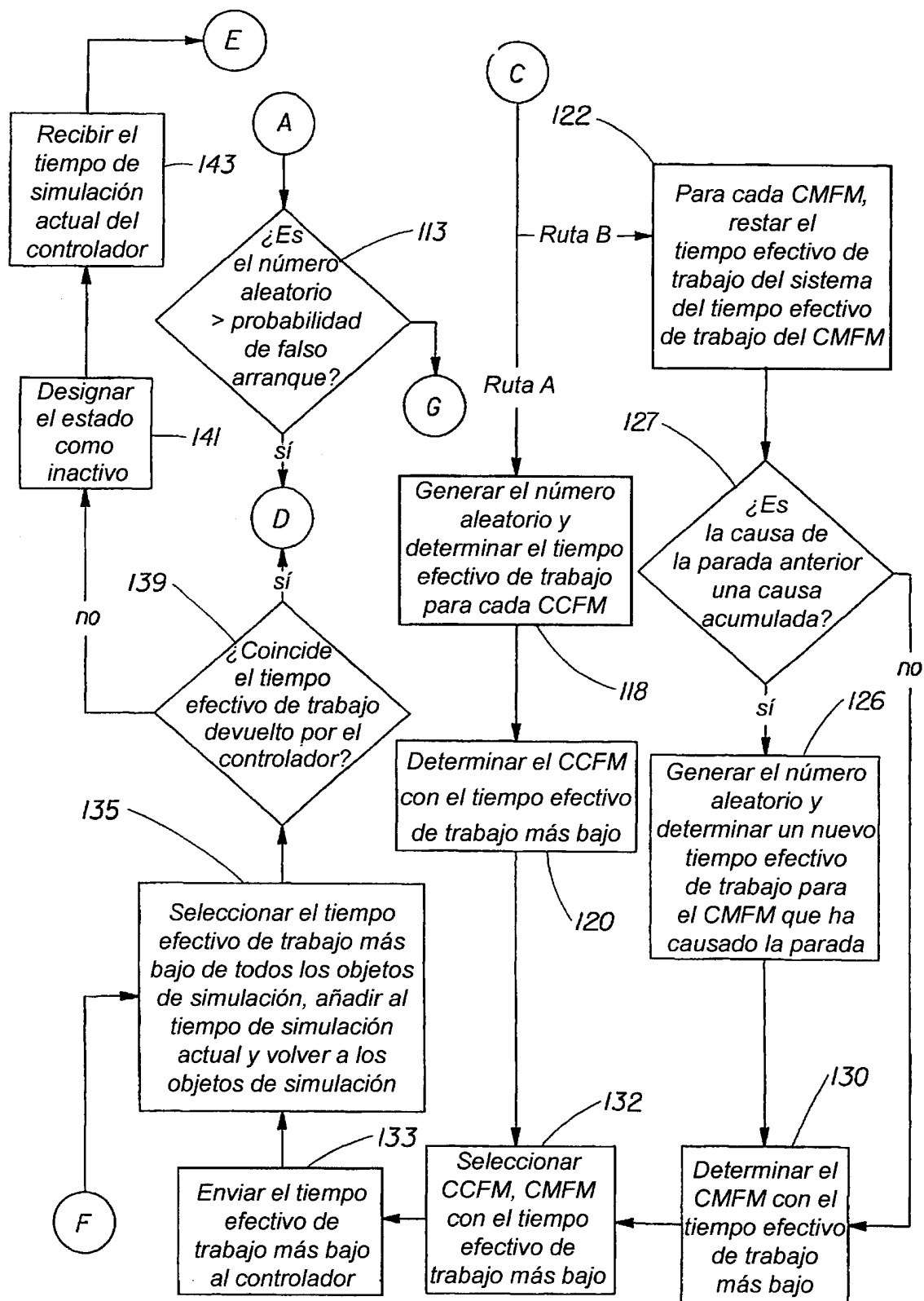


Fig. 8

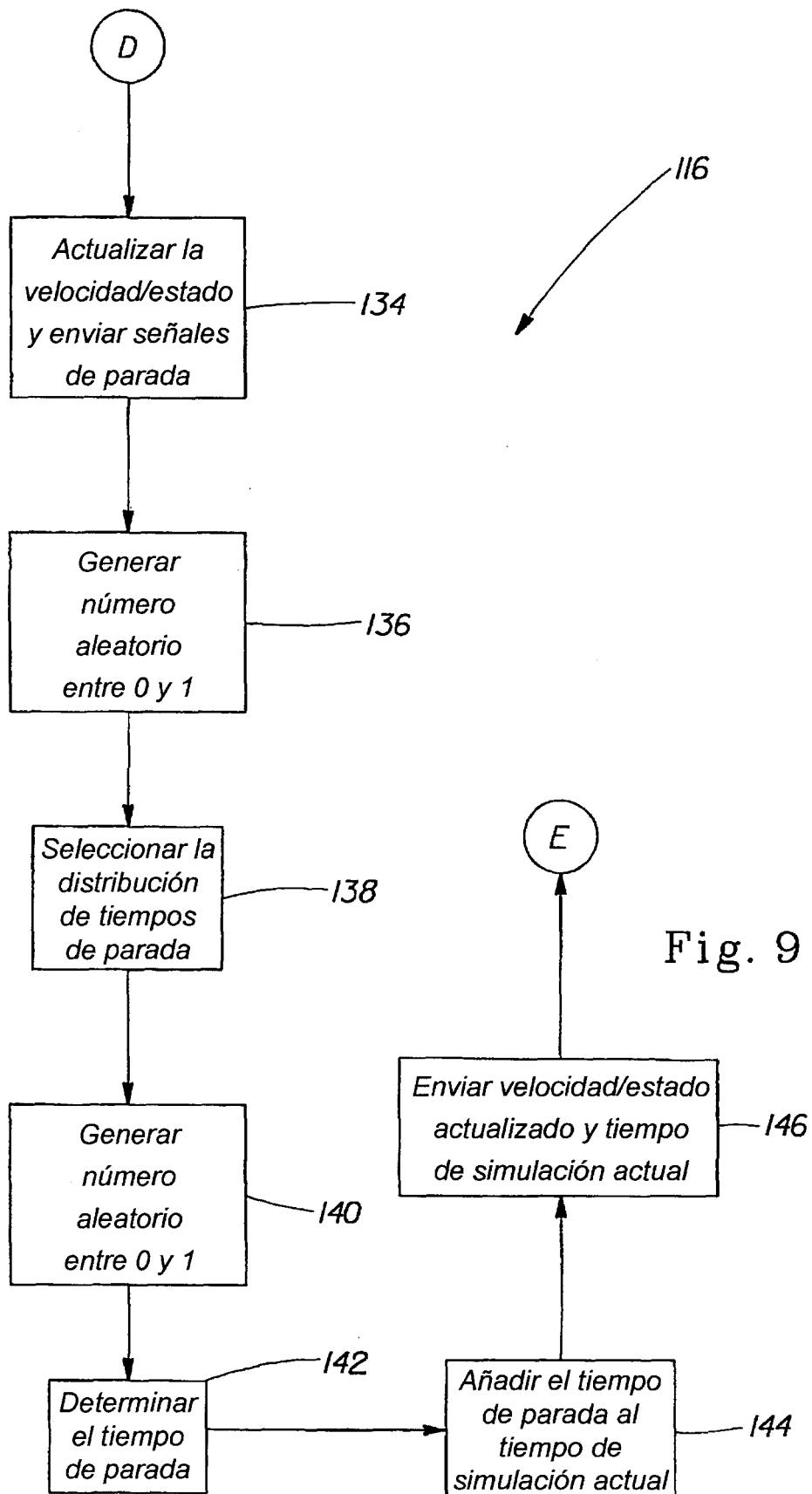


Fig. 9

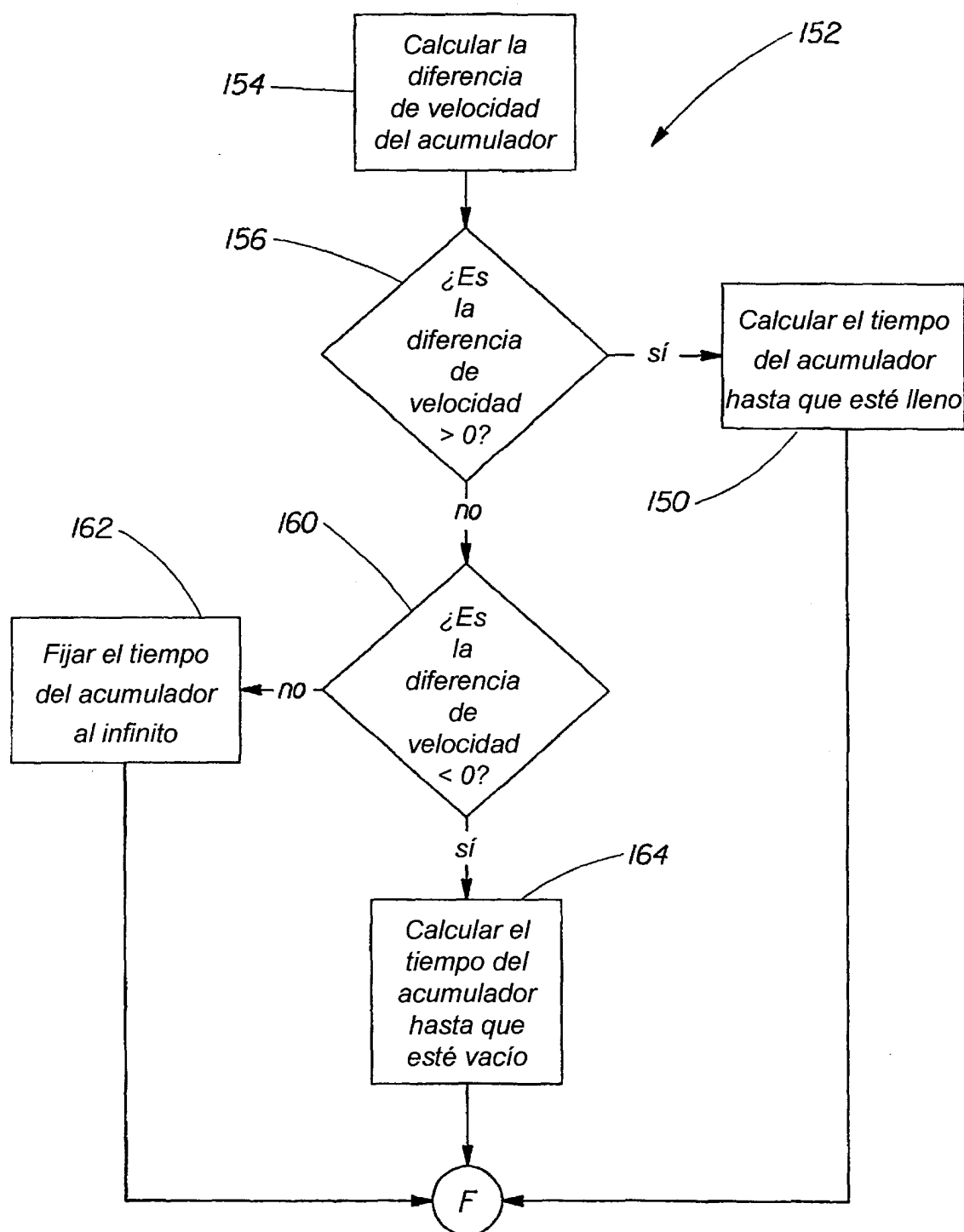


Fig. 10