

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 887 380**

51 Int. Cl.:

B61L 27/00 (2006.01)

B61L 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.04.2018** **PCT/EP2018/060017**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.11.2018** **WO18215144**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2018** **E 18722920 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.05.2021** **EP 3601010**

54 Título: **Control de condición de un elemento de desgaste por uso**

30 Prioridad:

24.05.2017 DE 102017208828

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

22.12.2021

73 Titular/es:

SIEMENS MOBILITY GMBH (100.0%)

Otto-Hahn-Ring 6

81739 München, DE

72 Inventor/es:

DAVIDICH, MARIA;

KLINGEBIEL, DENNIS y

SIVALINGAM, UDHAYARAJ

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 887 380 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

Control de condición de un elemento de desgaste por uso

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para controlar una condición de un elemento de desgaste por uso de un vehículo de vía. La presente invención además se refiere a un sistema de control para controlar una condición de un elemento de desgaste por uso de un vehículo de vía. Antecedentes de la invención

10

Los trenes modernos que operan en sistemas ferroviarios modernos están sometidos a demandas exigentes, tales como viajar a alta velocidad, por largas duraciones y distancias, así como a la necesidad de tener una larga vida útil. Por tanto, el tren y sus componentes deben soportar todo tipo de condiciones operativas, como cambios frecuentes de velocidad, por ejemplo, debido a la parada o paso por una estación de ferrocarril, paradas del tren en señales de alto, límites de velocidad, por ejemplo, en puentes o túneles, y de esta manera, cambios de temperatura. Así, la supervisión del tren y, especialmente, de los componentes sometidos a tensión es esencial para garantizar una operación segura del sistema ferroviario.

15

20

25

Debido a la tensión, como la fricción física con una vía, que afecta a los componentes operativos como, por ejemplo, un elemento de desgaste por uso, tal como una rueda o componentes de un ensamble de freno (por ejemplo, pastilla de freno o zapata de freno), de un vehículo de vía pueden producirse daños o desgaste, como deformación, abrasión o grietas. Por tanto, los parámetros, como un perfil de rueda, un diámetro de rueda, un ancho de pestaña de rueda, una altura de pestaña de rueda o espesor de pastilla, pueden cambiar con el paso del tiempo. Estos cambios afectan la característica dinámica del vehículo de vía e incluso pueden influir en la seguridad del vehículo de vía. Por lo tanto, los parámetros de componentes se miden regularmente. Si el parámetro controlado alcanza cierto valor crítico, el elemento de desgaste por uso debe volver a perfilarse. Por otra parte, debido a la fuerte carga de trabajo y/o debido al posible proceso de reperfilado, un parámetro del elemento de desgaste por uso puede verse afectado hasta el punto de tener que cambiar el elemento de desgaste por uso.

30

35

Es necesario realizar inspecciones periódicas para monitorear un posible daño o desgaste del perfil de elementos de desgaste por uso. Estas inspecciones incluyen inspecciones visuales así como mediciones de parámetros, como un diámetro o perfil de rueda. Cada inspección supone un gran esfuerzo en términos de tiempo de inactividad del vehículo y costes para realizar el mantenimiento. Sin embargo, es necesario encontrar el momento óptimo para reperfilado o cambiar el elemento de desgaste por uso.

40

El documento WO 2004/024531 A1 divulga un sistema de diagnóstico a bordo de vehículo y un método para monitorear los componentes de dicho vehículo. Los datos medidos con respecto a la operación de los componentes monitoreados se correlacionan para generar datos de condición con respecto a la condición del vehículo.

45

Es un primer objetivo de la presente invención proporcionar un método para controlar una condición de un elemento de desgaste por uso de un vehículo de vía con el que se puedan mitigar las deficiencias mencionadas anteriormente, y especialmente, proporcionar un método que optimice un proceso de mantenimiento, que sea más flexible, que ahorre tiempo y costes y que sea independiente de la mano de obra tal y como se conoce de los sistemas de la técnica anterior.

50

Además, un segundo objeto de la invención es proporcionar un sistema de control con una determinación de una condición que pueda facilitarse ventajosamente. Breve descripción de la invención

Por consiguiente, la presente invención proporciona un método para controlar una condición de un elemento de desgaste por uso de un vehículo de vía.

55

60

Se propone que el método comprenda al menos las siguientes etapas: - determinar una segunda condición del elemento de desgaste por uso, la cual es una condición cronológicamente posterior a una primera condición, al comenzar desde la primera condición del elemento de desgaste por uso, al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso, - determinar una primera acción realizable que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso al utilizar la segunda condición determinada del elemento de desgaste por uso y al menos un criterio condicional predefinido para el elemento de desgaste por uso, - determinar una tercera condición resultante del elemento de desgaste por uso al utilizar un cambio condicional del elemento de desgaste por uso, en donde el cambio condicional es una consecuencia de la primera acción realizable, y - determinar una segunda acción realizable que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso al utilizar la tercera condición resultante del elemento de desgaste por uso y al menos un criterio condicional predefinido para el elemento de desgaste por uso.

65

Gracias al método inventivo, se puede predecir la evolución del perfil del elemento de desgaste por uso antes de

una inspección. De manera ventajosa, la predicción funciona rápido. Puesto que el personal de mantenimiento conoce la probabilidad de que el elemento de desgaste por uso deba ser reperfilado o incluso cambiado, el trabajo de mantenimiento puede planificarse con mayor eficacia. Además, puede optimizarse el suministro de repuestos, ya que la demanda de repuestos se conoce a priori. Esto permite reducir los plazos de entrega y los costes de capital gracias a una información más precisa sobre el número de componentes que hay que tener en inventario. Por otra parte, se puede reducir la mano de obra durante el mantenimiento. Adicionalmente, el modelo de predicción de desgaste puede utilizarse para ahorrar tiempo y dinero en inspecciones probablemente innecesarias, es decir, se reducen al mínimo las inspecciones frecuentes en el depósito. Además, se reduce la demanda de cualquier acción correctiva extra costosa. Además, se puede influir positivamente en la estabilidad del vehículo de vía o de una parte del mismo, como un vagón o un bogie. Esto da como resultado una alta seguridad de las operaciones, así como un alto confort en la experiencia de viaje de los pasajeros. Por otra parte, el método inventivo permite predecir el desgaste de componentes en una situación compleja. Por ejemplo, cuando hay una red de vías férreas y una cantidad de trenes (que es mucho mayor en comparación con una situación en la que un tren recorre la misma vía).

Incluso si un término elegido se utiliza en singular o en una forma numérica específica en las reivindicaciones y en la memoria descriptiva, el alcance de la patente (solicitud) no debe limitarse a la forma en singular o numérica específica. También debería estar en el alcance de la invención tener más de una o una pluralidad de estructuras específicas.

En este contexto, la "primera, segunda y tercera condiciones" (o estados) se refiere a un estado o condición específica del elemento de desgaste por uso en un punto de tiempo seleccionado. El punto de tiempo de la segunda condición es posterior al punto de tiempo de la primera condición y el punto de tiempo de la tercera condición es posterior a los puntos de tiempo de la primera y segunda condiciones. El estado del elemento de desgaste por uso puede ser el mismo para las tres condiciones, o entre la primera y segunda condiciones o entre la segunda y tercera condiciones. Lo más probable es que el estado del elemento de desgaste por uso difiera entre la primera y segunda condiciones. Así, lo más probable es que haya un cambio condicional o una diferencia de estado del elemento de desgaste por uso entre la primera condición y la segunda condición.

Sin embargo, dependiendo de la acción realizable (ver detalles más abajo) el estado del elemento de desgaste por uso puede ser diferente o igual entre la segunda y tercera condiciones. Por tanto, se entiende por "cambio condicional" una diferencia entre el estado del elemento de desgaste por uso en la segunda condición y el estado del elemento de desgaste por uso en la tercera condición. Como se ha mencionado anteriormente, dependiendo de la acción realizable también puede haber una no diferencia del estado. Por otra parte, la frase "es una consecuencia de" debe entenderse también como "un resultado de" o como "resulta de". La frase "...criterio para..." debe entenderse también como "...criterio con respecto a..." o como "...criterio que hace referencia a..."

Además, hay que tener en cuenta que la tercera etapa (y a su vez la cuarta etapa) es una consideración teórica hecha independientemente de la posibilidad de realizar la primera acción realizable. Esta etapa evalúa los posibles resultados de la primera acción realizable.

Un elemento de desgaste por uso puede ser cualquier elemento propenso a dañarse o especialmente a desgastarse, factible para un experto en la técnica. El elemento de desgaste por uso puede ser, por ejemplo, un elemento seleccionado del grupo que consiste en: una rueda, una pastilla de freno, una zapata de freno, un tornillo, un muelle, un seguro o un artefacto central. De mayor preferencia puede ser una rueda.

Se entiende por vehículo de vía cualquier vehículo factible para un experto en la técnica que, debido a su interacción física con una vía, especialmente una vía predeterminada, está restringido a esta vía o camino. Una interacción/conexión física debe entenderse como una conexión de ajuste de forma, una conexión eléctrica o una conexión magnética. La conexión física podría ser liberable. En este contexto, se entiende por "vía predeterminada" una vía o camino construido por el hombre y existente de antemano, que comprende medios seleccionados que construyen o forman la vía, como un riel o un cable. La vía predeterminada también puede denominarse vía en el siguiente texto. De preferencia, la vía predeterminada es una vía férrea, como el ferrocarril principal del Reino Unido, Alemania o Rusia.

El vehículo puede ser un tren, un tren subterráneo, un tranvía o un trolebús. De preferencia, el vehículo de vía puede ser un tren. Por tanto, el método puede emplearse cuando varios vehículos se desplazan por la misma vía. Ventajosamente, el vehículo de vía o el tren puede ser un tren de alta velocidad. Así, el método puede utilizarse para una red en la que es esencial y necesario un alto nivel de seguridad. En el siguiente texto, el vehículo de vía también puede denominarse vehículo o tren. En caso de que el vehículo sea un tren, el elemento de desgaste por uso de preferencia es una rueda del tren.

La acción realizable puede ser cualquier acción o actividad realizable en el elemento de desgaste por uso factible para un experto en la técnica. Sin embargo, de preferencia la primera y/o segunda y/o tercera y/o primera acción realizable adicional es un reperfilado, un cambio del elemento de desgaste por uso o una no acción. Por tanto, el elemento de desgaste por uso puede ser manipulado o mecanizado adecuadamente. La no acción debe

entenderse también como una inacción. La acción puede elegirse de una lista que comprende una selección de acciones predeterminadas. Con respecto a la referencia cruzada anterior. En caso de que la evaluación de la primera acción realizable resulte en una no acción, el estado del elemento de desgaste por uso no cambia entre la segunda y tercera condiciones.

El algoritmo de aprendizaje por máquina puede ser cualquier algoritmo factible para un experto en la técnica y puede seleccionarse del grupo que consiste en: Aprendizaje supervisado, aprendizaje semisupervisado, aprendizaje no supervisado, aprendizaje de refuerzo y aprendizaje activo. De preferencia, el algoritmo es un algoritmo de aprendizaje supervisado. Los algoritmos de aprendizaje supervisado tratan de aprender una función de mapeo entre los datos de entrada y las variables objetivo definidas. Los algoritmos de aprendizaje supervisado pueden clasificarse en dos categorías principales: Los algoritmos de clasificación tienen variables objetivo que son categóricas y tienen etiquetas de clase (por ejemplo, "el perfilado de rueda es necesario" o "el perfilado de rueda no es necesario"). Los algoritmos de regresión tienen variables objetivo que son variables de valor continuo (por ejemplo, el diámetro de la rueda).

En una realización preferida del método inventivo, el algoritmo de aprendizaje por máquina es un algoritmo de aprendizaje supervisado y, especialmente, un algoritmo de regresión automática, y especialmente, entrenado por un método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Por tanto, el modelo es simple y puede entrenarse fácilmente.

Gracias a que el algoritmo de aprendizaje por máquina se ajusta al modelo de predicción y a que se determina la condición o estado del elemento de desgaste al determinar un parámetro condicional del elemento de desgaste por uso. De esta manera, el método comprende la etapa adicional de: Determinar al menos un parámetro condicional del elemento de desgaste por uso con el algoritmo de regresión automática al utilizar un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

El criterio condicional predefinido puede ser cualquier criterio factible para un experto en la técnica. Ventajosamente, al menos un criterio condicional predefinido es un límite operativo del parámetro condicional. Por tanto, el modelo opera con criterios de seguridad bien definidos. Este límite puede referirse a un valor máximo o mínimo de un parámetro condicional o a una diferencia máxima o mínima entre los parámetros del elemento de desgaste por uso y las estructuras relacionadas o dependientes, como elementos de desgaste por uso adicionales o estructuras diferentes del elemento de desgaste por uso que son partes de un ensamble de nivel superior que comprende el elemento de desgaste por uso. El criterio condicional predefinido mencionado en la segunda y cuarta etapas del método puede ser el mismo criterio condicional predefinido o diferentes criterios condicionales predefinidos del elemento de desgaste por uso.

Por otra parte, se ha previsto que el método comprenda la etapa adicional de: Comprobar si el cambio condicional determinado del elemento de desgaste por uso cumple con al menos un criterio de plausibilidad, en donde el cambio condicional se basa en al menos un parámetro condicional medido o determinado que hace referencia al elemento de desgaste por uso. Por tanto, al menos un parámetro condicional medido o determinado puede ser validado en vista de su consistencia y fiabilidad.

El parámetro condicional puede ser un parámetro histórico de una validación o medición anterior del elemento de desgaste por uso. Puesto que las mediciones en el elemento de desgaste por uso, como una rueda, en el depósito pueden contener muchas inconsistencias, es necesario garantizar que los datos sean coherentes y limpios de errores y mediciones erróneas antes de procesar los datos.

Esta etapa de comprobación también puede emplearse para comprobar el propio modelo. Por tanto, el cambio condicional se referiría al cambio de estado del elemento de desgaste por uso entre la primera y segunda condiciones o entre la segunda y tercera condiciones. En este caso, la base sería los (dos) modelos calculados.

Los criterios dependen de los datos históricos o del último estado o acción realizada sobre el elemento de desgaste por uso estudiado o su parámetro específico. Por ejemplo, si el elemento de desgaste por uso es una rueda y los datos históricos provienen de una medición de una rueda no reperfilada y sin cambios, pueden cumplirse los siguientes criterios: - El diámetro de la rueda no puede aumentar. - La altura de la cresta/pestaña no puede disminuir. - Se puede detectar una disminución simultánea del diámetro y un perfil de una capa laminada. - Disminución constante del diámetro. - Aumento constante de la capa laminada.

Por ejemplo, si el elemento de desgaste por uso es una rueda y los datos históricos resultan de una medición de una rueda que se ha vuelto a perfilar después de la última medición, pueden cumplirse los siguientes criterios: - Disminución rápida del diámetro de la rueda. - Disminución rápida de la capa laminada.

Por ejemplo, si el elemento de desgaste por uso es una rueda y los datos históricos resultan de una medición de una rueda que se ha cambiado después de la última medición, pueden cumplirse los siguientes criterios: - Aumento rápido del diámetro de la rueda. - Disminución rápida de la capa laminada.

Además, es ventajoso cuando el método comprende la etapa adicional de: Seleccionar los datos de entrenamiento

para el algoritmo de aprendizaje por máquina al utilizar al menos un criterio de plausibilidad. Así, sólo se utilizan datos o mediciones válidas.

En una realización adicional de la invención, el método comprende la etapa adicional de: Realizar el método para determinar la primera y/o segunda y/o tercera y/o primera acción realizable adicional como una decisión de SÍ/NO al utilizar un modelo de decisión. Por tanto, se puede obtener un resultado fácilmente. Las mediciones reales pueden ser muy estrepitosas. Así, al utilizar este modelo de decisión, el resultado es menos estrepitoso o no es estrepitoso en comparación con las mediciones reales. El modelo de decisión se refiere al menos a un parámetro condicional.

Además, es ventajoso cuando el método comprende la etapa adicional de: Mapear el cambio condicional en el modelo de decisión como una decisión de SÍ/NO. Por tanto, el cambio puede representarse de forma simple. De preferencia, el modelo de decisión es una capa del algoritmo de aprendizaje o una red neuronal artificial. Una entrada de la capa es el o los valores predichos por el modelo y una salida es la decisión de SÍ/NO sobre la acción de reperfilado/cambio.

De acuerdo con un perfeccionamiento preferido, el método comprende la etapa adicional de: Describir la primera y/o segunda y/o tercera condiciones mediante al menos un parámetro condicional. Por tanto, la condición está definida claramente.

El parámetro condicional puede ser cualquier parámetro factible para un experto en la técnica que pueda definir o caracterizar una parte/sección/área de un elemento de desgaste por uso. Ventajosamente, el parámetro condicional es un parámetro seleccionado del grupo que consiste en: Un diámetro, una altura de pestaña, un ancho de pestaña, un ancho de hombro de pestaña, una inclinación de un hombro de pestaña, un surco, una capa laminada, un ancho de banda de rodadura, una superficie de banda de rodadura, una carga de trabajo del elemento de desgaste por uso, un kilometraje recorrido del elemento de desgaste por uso, un espesor de una pastilla o zapata de freno, una edad del elemento de desgaste por uso, un perfil de un elemento de desgaste por uso, una rugosidad del elemento de desgaste por uso. Una capa laminada también puede denominarse "hierro laminado" o como superficie de endurecimiento, superficie de deformación, superficie de trabajo o superficie de endurecimiento por fatiga.

El modelo puede basarse en un solo parámetro condicional y, de esta manera, en un sistema unidimensional. Para cada parámetro condicional se ejecutaría un modelo separado. Ventajosamente, el modelo es un sistema multidimensional que mapea varios parámetros condicionales a la vez.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, el método comprende las etapas adicionales de: Determinar una segunda condición adicional de un elemento de desgaste por uso adicional, la cual es una condición cronológicamente posterior a una primera condición adicional, al comenzar desde la primera condición adicional del elemento de desgaste por uso adicional, al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, y determinar una vez más una acción realizable de seguimiento que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso adicional al utilizar la segunda condición adicional resultante del elemento de desgaste por uso adicional, la tercera condición del elemento de desgaste por uso y al menos un criterio condicional predefinido para el elemento de desgaste por uso adicional. Así, pueden evitarse las inseguridades debido a las inconsistencias entre los elementos de desgaste por uso.

Una "acción realizable de seguimiento" puede denominarse también "acción realizable dependiente". Aquí, el elemento de desgaste por uso puede denominarse como primer elemento de desgaste por uso y el elemento de desgaste por uso adicional como segundo elemento de desgaste por uso.

Una acción que puede realizarse en el (primer) elemento de desgaste por uso puede afectar a un procedimiento adicional evaluado para o realizado en estructuras relacionadas o en el (segundo) elemento de desgaste por uso adicional. Favorablemente, el (primer) elemento de desgaste por uso y el (segundo) elemento de desgaste por uso adicional ambos son partes de una estructura mutua o de un ensamble de nivel superior. Así, el (primer) y el (segundo) elementos de desgaste por uso adicional pueden depender uno del otro. Dicha estructura mutua o un ensamble de nivel superior puede ser, por ejemplo, un juego de ruedas, un bogie, un ensamble de freno o un vagón.

En caso de que la primera acción realizable sea una no acción, el método puede comprender, de acuerdo con una realización adicional de la invención, las etapas adicionales de: Determinar una cuarta condición resultante del elemento de desgaste por uso, la cual es una condición cronológicamente posterior a la segunda condición, al comenzar desde la segunda condición del elemento de desgaste por uso, al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso, y determinar una vez más una tercera acción realizable que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso al utilizar la cuarta condición resultante del elemento de desgaste por uso y al menos un criterio condicional predefinido para el elemento de desgaste por uso. Por consiguiente, se puede evaluar la necesidad de un reperfilado o un cambio en un momento posterior. Al conocer el desgaste con varias inspecciones con antelación, se puede planificar con

mayor eficacia el trabajo necesario durante la inspección. Además, la obtención de los repuestos necesarios también puede planificarse con antelación.

De preferencia, la determinación sólo se realiza cuando la segunda condición resultante tiene una distancia predefinida respecto al criterio condicional predefinido. En otras palabras, se determina que tan alejado está el valor determinado de un valor que superaría el criterio condicional o un valor crítico.

Así, se pueden definir valores críticos para cada elemento de desgaste por uso o, por ejemplo, su perfil. Alcanzar un valor crítico puede implicar el reperfilado o el cambio del elemento. En caso de que los parámetros del elemento estén cerca de alcanzar el o los valores críticos, es importante entender si los parámetros del elemento ya estarían más allá de estos valores críticos para la siguiente inspección. Podría ser mejor hacer el reperfilado durante la inspección actual o esperar a la siguiente inspección. Esto puede ahorrar material en el elemento y el elemento seguirá siendo seguro hasta la siguiente inspección. Sólo durante la siguiente inspección se volvería a perfilar (en el segundo caso, uno puede ahorrar en costes, ya que la rueda se utilizará durante más tiempo).

La invención además se refiere a un sistema de control para controlar una condición de un elemento de desgaste por uso de un vehículo de vía.

Se propone que el sistema de control comprenda al menos un dispositivo de determinación para: Determinar una segunda condición del elemento de desgaste por uso, la cual es una condición cronológicamente posterior a una primera condición, al comenzar desde la primera condición del elemento de desgaste por uso, al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso, Determinar una primera acción realizable que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso al utilizar la segunda condición determinada del elemento de desgaste por uso y al menos un criterio condicional predefinido para el elemento de desgaste por uso, Determinar una tercera condición resultante del elemento de desgaste por uso al utilizar un cambio condicional del elemento de desgaste por uso, en donde el cambio condicional es una consecuencia de la primera acción realizable, y determinar una segunda acción realizable que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso al utilizar la tercera condición resultante del elemento de desgaste por uso y al menos un criterio condicional predefinido para el elemento de desgaste por uso.

Gracias a la materia inventiva, se puede predecir la evolución del perfil del elemento de desgaste por uso antes de una inspección. De manera ventajosa, la predicción funciona rápido. Puesto que el personal de mantenimiento conoce la probabilidad de que el elemento de desgaste por uso deba ser reperfilado o incluso cambiado, el trabajo de mantenimiento puede planificarse con mayor eficacia. Además, puede optimizarse el suministro de repuestos, ya que la demanda de repuestos se conoce a priori. Esto permite reducir los plazos de entrega y los costes de capital gracias a una información más precisa sobre el número de componentes que hay que tener en inventario. Por otra parte, se puede reducir la mano de obra durante el mantenimiento. Adicionalmente, el modelo de predicción de desgaste puede utilizarse para ahorrar tiempo y dinero en inspecciones probablemente innecesarias, es decir, se reducen al mínimo las inspecciones frecuentes en el depósito. Además, se reduce la demanda de cualquier acción correctiva extra costosa. Además, se puede influir positivamente en la estabilidad del vehículo de vía o de una parte del mismo, como un vagón o un bogie. Esto da como resultado una alta seguridad de las operaciones, así como un alto confort en la experiencia de viaje de los pasajeros. Por otra parte, el método inventivo permite predecir el desgaste de componentes en una situación compleja. Por ejemplo, cuando hay una red de vías férreas y una cantidad de trenes (que es mucho mayor en comparación con una situación en la que un tren recorre la misma vía).

El sistema de control puede incluir un ordenador y puede estar ubicado y/o controlado desde un centro de control del sistema ferroviario. Por otra parte, la lista de acciones posibles, los parámetros condicionales (parámetros históricos) y/o el criterio condicional pueden almacenarse en una base de datos del sistema de control o de su ordenador.

La invención y/o las realizaciones descritas de la misma pueden llevarse a cabo - al menos parcial o completamente - en software y/o en hardware, este último, por ejemplo, por medio de un circuito eléctrico especial.

Además, la invención y/o las realizaciones descritas de la misma pueden llevarse a cabo - al menos parcial o completamente - por medio de un medio legible por ordenador que tenga un programa informático, cuyo programa informático, cuando se ejecuta en un ordenador, realiza el método de acuerdo con la invención y/o de acuerdo con las realizaciones de la misma.

Por lo tanto, el problema técnico que resuelve la invención es la predicción automática de varias condiciones o el uso o perfil de un elemento de desgaste por uso de un vehículo de vía, como un tren, a corto y mediano plazos. En resumen, el método propuesto resuelve el problema técnico de la predicción de la necesidad de reperfilado o de cambio del elemento de desgaste por uso en caso de desgaste normal, a corto y mediano plazos.

La descripción dada previamente de las realizaciones ventajosas de la invención contiene numerosas características que se combinan parcialmente entre sí en las reivindicaciones dependientes. Convenientemente,

también es posible considerar estas características individualmente y combinarlas entre sí en combinaciones adecuadas adicionales. Además, las características del método, formuladas como características del aparato, pueden considerarse como características del ensamble y, en consecuencia, características del ensamble formuladas como características del proceso, pueden considerarse como características del método.

Pueden entenderse más claramente las características, rasgos y ventajas de la invención descritas anteriormente y la forma en que se consiguen en relación con la siguiente descripción de las realizaciones ejemplares las cuales se explicarán con referencia a los dibujos. Las realizaciones ejemplares pretenden ilustrar la invención, pero no se supone que restrinjan el alcance de la invención a las combinaciones de características dadas en la presente, ni tampoco en lo que respecta a las características funcionales. Además, las características adecuadas de cada una de las realizaciones ejemplares también pueden considerarse explícitamente de forma aislada, eliminarse de una de las realizaciones ejemplares, introducirse en otra de las realizaciones ejemplares y/o combinarse con cualquiera de las reivindicaciones anexas. Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá con referencia a los dibujos en los cuales:

La figura 1: muestra de forma esquemática una vía con un vehículo de vía que tiene un elemento de desgaste por uso, así como un sistema de control para controlar una condición del elemento de desgaste por uso,

La figura 2: muestra esquemáticamente una vista lateral de una rueda del vehículo de vía de la figura 1,

La figura 3: muestra un diagrama de bloques de una estrategia operativa de acuerdo con el método de control inventivo y

La figura 4: muestra dos diagramas que representan el cambio de diámetro para una rueda derecha y una izquierda y un juego de ruedas a lo largo de una distancia recorrida. Descripción detallada de las realizaciones ilustradas

La figura 1 muestra en una vista esquemática una vía predeterminada 26 de un sistema ferroviario 28, como, por ejemplo, el ferrocarril principal alemán o ruso. Por otra parte, la figura 1 muestra un vehículo de vía 14, como un tren 18 en forma de tren de alta velocidad 18, que se desplaza por la vía predeterminada 26.

El sistema ferroviario 28 además tiene un centro de control 30 que comprende un ordenador 32 equipado con un programa informático apropiado que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por el ordenador 32, hacen que el ordenador 32 lleve a cabo las etapas de un método de control. El método propuesto permite predecir una acción (primera, segunda, tercera o de seguimiento) o, específicamente, una necesidad de perfilado (acción) o de cambio (acción) del elemento de desgaste por uso 10, 12 en caso de desgaste normal, a corto y mediano plazos. Además, ofrece la posibilidad de una no acción y, de esta manera, de no volver a perfilar o cambiar.

Por otra parte, el centro de control 30 comprende, como parte del ordenador 32, un sistema de control 22 para realizar un método para controlar una condición C1, C2, C3, C4, fC1, fC2 de un elemento de desgaste por uso 10, 12 del vehículo de vía 14. Por lo tanto, el sistema de control 22 comprende al menos un dispositivo de determinación 24 para realizar las etapas de determinación del método de control. El dispositivo de determinación 24 es un dispositivo de procesamiento. Por otra parte, comprende un dispositivo de almacenamiento 34 para almacenar los parámetros condicionales medidos, determinados o calculados P-1, P0, P0' (valores históricos), los criterios condicionales cC o los criterios de plausibilidad pC. El centro de control puede ser supervisado por un operador 36.

El elemento de desgaste por uso 10, 12 puede ser una rueda 16, una pastilla de freno, una zapata de freno, un tornillo, un muelle, un seguro o un artefacto central. Sin embargo, la invención se describirá de manera ejemplar en una rueda 16. El elemento de desgaste por uso 10, 12 puede ser parte de un ensamble de nivel superior o de una estructura mutua 20, como en el caso de una rueda 16, un conjunto de ruedas, un bogie 38 o un vagón 40. Por ejemplo, un vagón 40 puede tener dos bogies 38. Un bogie 38, a su vez, puede tener dos ejes con dos ruedas 16 para cada eje, por lo que un bogie 38 tiene cuatro ruedas 16 y un vagón 40 ocho ruedas 16.

En la figura 1 se muestran de manera ejemplar dos elementos de desgaste por uso 10, 12 que pertenecen al mismo bogie 38, pero no al mismo conjunto. El método inventivo se describirá al definir el elemento de desgaste por uso 10 como el elemento de desgaste por uso principalmente examinado o primero y el otro elemento de desgaste por uso 12 como el elemento de desgaste por uso adicional, segundo o subordinado. Sin embargo, en la práctica ambos elementos de desgaste por uso 10, 12 serían tratados individualmente por el método inventivo y la "clasificación" de los elementos de desgaste por uso 10, 12 sería en viceversa.

El método inventivo para controlar la condición C1, C2, C3, C4, fC1, fC2 del elemento de desgaste por uso 10, 12 del vehículo de vía 14 utiliza en esta realización ejemplar datos históricos o un parámetro condicional histórico P-1 de las mediciones de las ruedas para predecir el desgaste de las ruedas. Así, cada condición C1, C2, C3, C4, fC1, fC2 está descrita por al menos un parámetro condicional P-1, P0, P0', P+1. Este parámetro P-1, P0, P0', P+1 puede ser, por ejemplo, un diámetro D, una altura de pestaña fH, un ancho de pestaña fW, un ancho de hombro de pestaña fSW, una inclinación S de un hombro de pestaña FS, un surco G, una capa laminada rL, un ancho de banda de rodadura rW, una superficie de banda de rodadura rS, una carga de trabajo del elemento de desgaste por uso 10, 12, un kilometraje recorrido M del elemento de desgaste por uso 10, 12, un espesor de una pastilla o

zapata de freno, una edad del elemento de desgaste por uso 10, 12, un perfil de un elemento de desgaste por uso 10, 12, una rugosidad del elemento de desgaste por uso 10, 12. En la siguiente descripción, el método se explicará de forma ejemplar con sólo un tipo de parámetro P-1, P0, P0', P+1, como el diámetro D de una rueda 16. En general, el método puede realizarse para cada parámetro como un modelo unidimensional o para varios parámetros como un modelo multidimensional.

El parámetro condicional histórico P-1 (y los parámetros condicionales P0, P0', P+1 para las predicciones en el futuro) puede obtenerse durante un proceso de mantenimiento realizado en un depósito 42 por el personal de mantenimiento 44, por ejemplo, al realizar mediciones en el elemento de desgaste por uso 10, 12 o al leer los libros de registro del tren 18. Las mediciones de la forma de la rueda y sus parámetros condicionales P-1 (P0, P0', P+1) se realizan como un procedimiento estándar con una frecuencia regular en un depósito de mantenimiento 42 y, de esta manera, se pueden obtener datos históricos de las mediciones de las ruedas. La frecuencia de la medición está determinada por un número fijo de días o kilometraje M que el tren 18 debe recorrer entre inspecciones. Por ejemplo, se miden o reúnen repetidamente los siguientes parámetros P-1 (P0, P0', P+1): una altura de cresta o pestaña fH, una capa laminada rL, un espesor o ancho de la cresta/pestaña fW, un diámetro D de la rueda 16, el kilometraje M de la rueda.

También para cada tipo de tren 18 se conocen los valores críticos de los parámetros condicionales P0, P0', P+1 cuando la rueda 16 debe ser reperfilada o cambiada. Aparte de eso se suele inspeccionar si hay algún daño en una rueda 16. También se conocen las estadísticas sobre cómo se reduce normalmente el diámetro D de una rueda 16 debido al rep Perfilado y la información al respecto se almacena en el dispositivo de almacenamiento 34.

En la figura 2 se muestra una vista lateral de una rueda 16 con una cresta o pestaña F y una rueda o banda de rodadura rT para representar las diferentes estructuras de una rueda 16, como el diámetro D, la altura de pestaña fH, el ancho de pestaña fW, un ancho de hombro de pestaña fsW, una inclinación S de un hombro de pestaña FS, un surco G, una capa laminada rL, un ancho de banda de rodadura rtW, una superficie de banda de rodadura rS o un ancho wW, que pueden medirse.

La figura 3 muestra en un diagrama de bloques la estrategia del método inventivo. El método comprende la etapa de: Determinar una segunda condición C2 del - primer o principal - elemento de desgaste por uso 10, que es una condición cronológicamente posterior a una primera condición C1, al comenzar la primera condición C1 del elemento de desgaste por uso 10, al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso 10.

Por ejemplo, para un punto de tiempo t0, como el punto de tiempo t0 para la siguiente inspección o mantenimiento, se predice la condición C2 de una rueda 16, como un valor del diámetro D de la rueda 16. Por lo tanto, los datos históricos son o el parámetro P-1 (diámetro D) conocido del punto de tiempo t-1, cuando la rueda 16 había tenido la condición C1, son validados por el algoritmo de aprendizaje por máquina. Como ya se ha mencionado, la condición C1 se describe por el parámetro P-1 (diámetro D de la rueda 16 en el punto de tiempo t-1). El algoritmo de aprendizaje por máquina es un algoritmo de aprendizaje supervisado y, especialmente, un algoritmo de regresión automática, y especialmente, entrenado por un método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) (véase detalles a continuación).

En una etapa posterior se determina una primera acción realizable A1 que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso 10 al utilizar la segunda condición determinada C2 del elemento de desgaste por uso 10 y al menos un criterio condicional predefinido cC para el elemento de desgaste por uso 10. Por lo tanto, el resultado del modelo de regresión o el valor de diámetro concreto (condición C2 o parámetro predicho P0 en el punto de tiempo t0) se evalúa en este tipo si cumple un criterio condicional predefinido cC o varios criterios condicionales cC. El criterio condicional predefinido cC es un límite operativo del parámetro condicional P0. A continuación se describen posibles criterios predefinidos.

El resultado de esta evaluación, a su vez, es una decisión de clasificación. Por tanto, el método para determinar la primera acción realizable A1 se realiza como una decisión de SÍ/NO al utilizar un modelo de decisión. La respuesta SÍ/NO, desde luego, depende de la pregunta formulada. En esta realización ejemplar, las preguntas pueden ser: "¿Es necesario un rep Perfilado?", "¿Es necesario un cambio?" o "¿No debería hacerse nada?". Por tanto, la primera acción realizable A1 puede ser un rep Perfilado del elemento de desgaste por uso 10, un cambio del elemento de desgaste por uso 10 o una no acción.

La estrategia mostrada en la figura 3 examina cualquiera de las preguntas: "¿Es necesario un rep Perfilado?" o "¿Es necesario un cambio?" Si la respuesta es SÍ, la primera acción A1 resultaría en un cambio condicional cCH del elemento de desgaste por uso 10 o del parámetro P0, concretamente de la condición C2 a una tercera condición C3 con el parámetro P0'. En otras palabras, habría un cambio en el diámetro D entre el punto de tiempo t0 y el punto de tiempo t0', el punto de tiempo después del rep Perfilado o después del cambio de la rueda 16. Por tanto, el método comprende la etapa adicional de: Mapear el cambio condicional cCH en el modelo de decisión como una decisión de SÍ/NO.

Por otra parte, para garantizar que el elemento de desgaste por uso 10 sigue cumpliendo los criterios de seguridad del sistema ferroviario, especialmente después de un repafilado realizado, la tercera condición resultante C3 del elemento de desgaste por uso 10 se determina al utilizar el cambio condicional cCH del elemento de desgaste por uso 10, en donde el cambio condicional cCH es una consecuencia de la primera acción realizable A1. Por otra parte, una vez más se determina una segunda acción realizable A2 sobre el elemento de desgaste por uso 10 al utilizar la tercera condición resultante C3 del elemento de desgaste por uso 10 y al menos un criterio condicional predefinido cC para el elemento de desgaste por uso 10. Aquí, el criterio condicional predefinido cC es un límite operativo del parámetro condicional P0'. Por otra parte, también la segunda acción A2 puede ser un repafilado, un cambio o una no acción. Además, el criterio condicional predefinido cC puede ser el mismo que el aplicado para determinar la primera acción realizable A1 del elemento de desgaste por uso 10 u otro. El criterio condicional predefinido cC es un límite operativo del parámetro condicional P0'.

Además, es posible comprobar la plausibilidad de los datos históricos utilizados o del parámetro condicional P-1 o de los parámetros predichos P0, P0', P+1. Por tanto, en una etapa opcional del método se comprueba si el cambio condicional determinado cCH del elemento de desgaste por uso 10 cumple con al menos un criterio de plausibilidad pC, en donde el cambio condicional cCH se basa en al menos un parámetro condicional medido o determinado P-1, P0, P0', P+1 que hace referencia al elemento de desgaste por uso 10 (véase detalles más adelante). Sin embargo, para garantizar la validez de los datos históricos utilizados, esta etapa debería realizarse al menos en el parámetro condicional histórico P-1. Puesto que esta fecha histórica o el parámetro condicional P-1 se utiliza para el algoritmo de aprendizaje por máquina, los datos de entrenamiento para el algoritmo de aprendizaje por máquina pueden seleccionarse al utilizar al menos un criterio de plausibilidad pC.

Por otra parte, la primera acción realizable A1 puede influir también en el estado o destino de otras estructuras o de un - segundo - elemento de desgaste por uso 12 adicional. En general, puede ser un elemento de desgaste por uso 12 adicional o varios. Todos los elementos de desgaste por uso 10, 12 pueden ser del mismo tipo, como todos los elementos de desgaste por uso 10, 12 son ruedas 16, o pertenecer a diferentes categorías, como uno es una rueda 16 y otro una pastilla de freno. Además, el - primer o principal - elemento de desgaste por uso 10 y el - segundo - elemento de desgaste por uso 12 adicional pueden ser ambos partes de una estructura mutua 20 o de un ensamble de nivel superior, como un juego de ruedas, un bogie 38 o un vagón 40. Por tanto, el elemento de desgaste por uso 12 adicional puede considerarse como una estructura dependiente del - primer - elemento de desgaste por uso 10.

Por tanto, una segunda condición fC2 adicional (diámetro D (P0) del elemento de desgaste por uso adicional 12 en el punto de tiempo t0) del elemento de desgaste por uso adicional 12, que es una condición cronológicamente posterior a una primera condición fC1 adicional (diámetro D (P-1) del elemento de desgaste por uso adicional 12 en el punto de tiempo t-1), se determina al comenzar desde la primera condición fC1 adicional del elemento de desgaste por uso adicional 12, al utilizar el algoritmo de aprendizaje por máquina.

Más tarde, se determina una vez más una acción realizable de seguimiento fA (como un repafilado, un cambio o una no acción) que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso adicional 12 utilizando la segunda condición resultante fC2 del elemento de desgaste por uso adicional 12, la tercera condición C3 del - primer - elemento de desgaste por uso 10 y al menos un criterio condicional predefinido cC para el elemento de desgaste por uso adicional 12. Este criterio condicional predefinido cC puede ser el mismo que el aplicado para determinar la primera acción realizable A1 del - primer - elemento de desgaste por uso 10 u otro. El criterio condicional predefinido cC es un límite operativo del parámetro condicional P0. A continuación se describen posibles criterios predefinidos.

Etapas análogas a la determinación de la tercera condición C3 del - primer - elemento de desgaste por uso 10 y la segunda acción realizable A2 que se puede realizar en el - primer - elemento de desgaste por uso 10 pueden realizarse para el elemento de desgaste por uso adicional 12.

En caso de que la primera acción realizable A1 sea una no-acción (en esta realización ejemplar la respuesta a la pregunta "¿Es necesario un repafilado/cambio?" sería "NO") también puede ser posible comprobar si el elemento de desgaste por uso 10 debe ser sometido a un repafilado preventivo o cambio. Por tanto, una cuarta condición resultante C4 (parámetro P+1 en el punto de tiempo t+1) del elemento de desgaste por uso 10, la cual es una condición cronológica posterior a la segunda condición C2 (parámetro P0 en el punto de tiempo t0) se determina al comenzar desde la segunda condición C2 del elemento de desgaste por uso 10, al utilizar el algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso 10 y, además, una vez más se determina una tercera acción realizable A3 que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso 10 al utilizar la cuarta condición resultante C4 del elemento de desgaste por uso 10 y al menos un criterio condicional predefinido cC para el elemento de desgaste por uso 10.

De nuevo, la acción realizable puede ser un repafilado, un cambio o una no acción. Este criterio condicional predefinido cC puede ser el mismo que el aplicado para determinar la primera (y segunda) acción o acciones realizables A1 (A2) del elemento de desgaste por uso 10 u otro. El criterio condicional predefinido cC es un límite operativo del parámetro condicional P+1. A continuación se describen posibles criterios predefinidos.

Etapas análogas a la determinación de la tercera condición C3 del elemento de desgaste por uso y la segunda acción A2 que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso 10 pueden ser realizadas después de la tercera acción realizable A3. Por otra parte, las consecuencias de la tercera acción realizable A3 sobre el elemento de desgaste por uso adicional 12 también pueden ser consideradas y realizadas como se ha mencionado anteriormente. Además, se pueden definir valores críticos para cada elemento de desgaste por uso 10 o, por ejemplo, su perfil. Alcanzar un valor crítico del parámetro P0 puede implicar el reperfilado o cambio del elemento de desgaste por uso 10. En caso de que el parámetro P0 del elemento de desgaste por uso 10 esté cerca de alcanzar el o los valores críticos, es importante entender si el parámetro P0 del elemento de desgaste por uso 10 estaría ya más allá de estos valores críticos para la siguiente inspección en el punto de tiempo t+1. Podría ser mejor hacer el reperfilado durante la inspección actual (t0) o esperar a la siguiente inspección (t+1).

Así, de preferencia, las etapas de determinación de la cuarta condición C4 y la tercera acción realizable A3 sólo se hacen cuando la segunda condición resultante C2 tiene una distancia predefinida al criterio condicional predefinido cC. En otras palabras, se determina que tan alejado está el valor determinado (parámetro P0) de un valor que superaría el criterio condicional cC o un valor crítico.

En los siguientes pasajes se describirá ejemplarmente el método en detalle para una rueda 16 como elemento de desgaste por uso 10 y el parámetro P-1, P0, P0', P+1 como un diámetro D de la rueda 16.

En una primera etapa - de preprocesamiento - se comprueba la validez de los datos históricos. Las mediciones de las ruedas 16 en el depósito 42 pueden contener muchas inconsistencias. Antes de procesar los datos históricos (parámetro P-1 de la última inspección o parámetros de inspecciones anteriores, como dos, tres o cuatro intervalos de inspección hacia atrás) es necesario asegurarse de que los datos son consistentes y están limpios de errores y mediciones erróneas. Por lo tanto, es necesario comprobar los siguientes criterios de plausibilidad pC: - El diámetro D de una rueda 16 no puede aumentar. El diámetro D de la rueda sólo aumenta si la rueda 16 ha sido cambiada después de la última inspección. - Una altura fH de la cresta o pestaña F de la rueda no puede disminuir en cuanto no se haya realizado el cambio de la rueda 16 después de la última inspección. La altura fH de la pestaña F puede disminuir sólo debido al reperfilado. De ser el caso, debería ocurrir simultáneamente con el reperfilado. El reperfilado puede identificarse por una rápida disminución del diámetro D de la rueda en un periodo de tiempo muy corto. - La disminución del diámetro D de la rueda debe ser simultánea a la disminución del perfil de la capa laminada rL. - El diámetro D de la rueda debe disminuir constantemente a menos que la rueda 16 haya sido cambiada. - La capa laminada rL debe aumentar constantemente cuando el tren 18 está en marcha (el diámetro D disminuye), pero disminuye rápidamente cuando la rueda 16 ha sido reperfilada o cambiada.

Todos estos criterios de plausibilidad pC se aplicarían también a una comprobación de plausibilidad de los parámetros determinados P0, P0', P+1.

En una etapa adicional se construye el modelo de predicción. Para definir la configuración de aprendizaje supervisado de manera más formal, dejemos que x(i) denote las variables de entrada, también llamadas "características", y que y(i) denote la variable "objetivo" o "de salida". Un par (x(i), y(i)) se llama "muestra de entrenamiento", y una lista de N muestras de entrenamiento {(x(i), y(i))} donde i = 1, 2, 3, ..., N se llama "conjunto de entrenamiento". El objetivo es aprender una función h: X → Y, donde X, Y representan el espacio de los valores de entrada y el espacio de los valores de salida, respectivamente. Esta función h se denomina generalmente "hipótesis".

El modelo de predicción del perfil de ruedas se categoriza como el problema de regresión supervisada. Es supervisado debido a que aprendemos una función de mapeo entre las variables/señales de entrada a las variables objetivo con la ayuda de nuestro modelo de predicción.

Se trata de una regresión debido a que las variables objetivo (es decir, el diámetro D de la rueda 16) son variables de valor continuo. Los puntos de datos en nuestros datos de entrenamiento son medidos con el tiempo, el valor de la variable objetivo (es decir, el diámetro D) y(t0) medido en el tiempo t0 depende del trabajo realizado por la rueda 16 y el valor anterior de la variable objetivo y(t-1) medido en el tiempo t-1 (valor del parámetro P-1). Estos tipos de problemas se incluyen en las categorías de análisis de series de tiempos.

El método inventivo utiliza una versión modificada de un modelo de auto-regresión, ya que es simple y puede ser entrenado fácilmente utilizando el método estándar de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

El modelo se formula de la siguiente manera,

$$y(t0) = \alpha + \beta y(t-1) + \gamma z$$

Donde y(t0) denota el valor de la variable objetivo (por ejemplo, el diámetro D de la rueda 16) en la etapa de tiempo t0, y(t-1) denota el valor de la variable objetivo en la etapa de tiempo (t-1), z denota el trabajo realizado (calculado en términos de kilometraje M) por la rueda 16 hasta la etapa de tiempo t0, α es la constante de regresión, β y γ

son coeficientes de regresión.

El supuesto básico aquí es que el valor de la variable objetivo (parámetro P0) depende de los valores anteriores de la variable objetivo (parámetro P-1). La variable de kilometraje se agrega al modelo para utilizar la tendencia (diámetro D decreciente) encontrada en los datos de medición.

En general, la construcción de un modelo de predicción consiste en entrenamiento, validación y prueba del modelo. Todo el conjunto de datos se separa en conjunto de datos de entrenamiento, validación y prueba.

El modelo se entrena con los datos de entrenamiento en los que se optimizan los parámetros internos P-1, P0, P0', P-1 del modelo. Una vez optimizado el modelo, se evalúa el rendimiento de los modelos con los datos de pruebas.

En este caso, el conjunto de datos de entrada se prepara de forma que se ajuste al modelo formulado, como se ha descrito anteriormente. A continuación, la constante de regresión α y los coeficientes de regresión β , y se aprenden mediante el método de regresión de MCO.

También se introduce la técnica de auto-regresión binaria en el procedimiento de entrenamiento. La auto-regresión categorizada se define como la categorización de los diámetros en "n" categorías y el entrenamiento de un modelo separado para cada categoría. De este modo, los modelos son capaces de capturar la variación del comportamiento del desgaste de las ruedas a diferentes diámetros D de las ruedas 16. Estos parámetros P0, P+1 aprendidos del modelo se utilizan para predecir el valor de las variables objetivo en el futuro para 1, 2,... n número de etapas de tiempo.

Ahora se discutirá la transformación de la predicción de modelo en una decisión. Las variables objetivo predichas del modelo pasan por una capa que consiste en reglas basadas en las normas de seguridad o en el criterio condicional cC (véase más adelante). La entrada de la capa son los valores predichos o parámetros P0, P0', P+1 del modelo y la salida es una decisión de Sí/NO, por ejemplo, sobre las acciones de reperfilado/cambio de rueda A1, A2, A3, fA.

Las normas de seguridad especifican en qué condiciones se debe volver a perfilar o cambiar el elemento de desgaste por uso 10, 12 o las ruedas 16. Los criterios para hacer el reperfilado o para cambiar el elemento de desgaste por uso 10, 12 o, en esta realización ejemplar, la rueda 16, pueden considerar los siguientes parámetros P-1, P0, P0', P-1 de la rueda 16 (normas de seguridad):

- La altura de pestaña de la rueda fH debe estar dentro de cierto límite. Se proporciona una altura mínima y máxima fH de la pestaña F. La altura de pestaña fH debe ser menor que el 5 % del diámetro D de la rueda 16 y mayor que el 3 % del diámetro D de la rueda 16. Por ejemplo, los trenes de "Velaro Russia" tienen un ancho de pestaña mínimo fW de 28 milímetros (mm) y un ancho de pestaña máximo fW de 35 mm.

- El ancho de pestaña de la rueda fW debe estar dentro de cierto límite. Se proporciona un ancho mínimo y máximo fW de la pestaña F. El ancho de pestaña fW debe ser menor que el 4 % del diámetro D de la rueda 16 (menor que el 25 % de un ancho wW de la rueda 16) y mayor que el 3 % del diámetro D de la rueda 16 (mayor que el 20 % de un ancho wW de la rueda 16). Por ejemplo, los trenes de "Velaro Russia" tienen un ancho de pestaña mínimo fW de 28 mm y un ancho de pestaña máximo fW de 34 mm.

- El desgaste máximo/crítico de una rueda 16 está limitado, por ejemplo, la disminución máxima de un diámetro de una rueda 16 es de 5 mm antes de una etapa de reperfilado.

- Un trueno de llanta debe ser más pequeño que un umbral fijo. Por ejemplo, el trueno de llanta debe ser más pequeño que 3 mm para los trenes de "Velaro Russia".

- El diámetro crítico D es el diámetro mínimo D que define cuándo debe cambiarse la rueda 16. Por ejemplo, para los trenes de "Velaro Russia", el diámetro mínimo D de una rueda 16 es de 853 mm (el diámetro original D es 920 mm) y, de esta manera, por una discrepancia de diámetros D de aproximadamente un 7,5%.

- La diferencia entre los diámetros D de las ruedas 16 dentro de un juego de ruedas debe ser inferior a cierto valor de umbral, como 0,15 %. Por ejemplo, para los trenes de "Velaro Russia" es 1,2 mm.

- La diferencia entre los diámetros D de las ruedas 16 dentro de un bogie 38 debe estar por debajo de cierto umbral y, normalmente, el umbral es diferente entre los vagones motorizados y los no motorizados 40. Debe ser más pequeño que 0,6 % para los vagones motorizados 40 y más pequeño que 1,75 % para los vagones no motorizados 40. Por ejemplo, para "Velaro Russia", la diferencia debe ser inferior a 5 mm para los vagones motorizados 40, e inferior a 15 mm para los vagones no motorizados 40.

- La diferencia entre los diámetros D de las ruedas 16 dentro de un vagón 40 debe también estar por debajo de cierto umbral. Normalmente, el umbral es diferente entre los vagones motorizados y los no motorizados 40. Debe ser más pequeño que 0,6 % para los vagones motorizados 40 y más pequeño que 3,5 % para los vagones no motorizados 40. Por ejemplo, para los trenes de "Velaro Russia", la diferencia debe ser inferior a 5 mm para los vagones motorizados 40 e inferior a 30 mm para los vagones no motorizados 40.

Estos valores críticos o criterios condicionales cC se incluyen en el modelo de predicción propuesto para decidir cuándo será necesario un reperfilado o cambio de la rueda 16.

El modelo de predicción puede resumirse de la siguiente manera:

- Para predecir si es necesaria la acción realizable A1, por ejemplo, un reperfilado, durante la siguiente inspección (t_0) se calculan los valores de las variables objetivo una etapa antes y si alguna de las variables objetivo ha alcanzado su umbral o no cumple los criterios condicionales cC, debe realizarse el reperfilado. Por tanto, para esta rueda 16 para la que se alcanza el umbral, el modelo recomienda hacer un reperfilado.

- Teniendo las estadísticas de los procedimientos de reperfilado anteriores, es decir, conociendo la diferencia media antes y después del reperfilado, puede calcularse el nuevo diámetro D de una rueda 16 y utilizarlo para predecir el resultado del reperfilado. Teniendo en cuenta este nuevo diámetro D se comprueba de nuevo el criterio condicional cC y se determina si el nuevo diámetro predicho D supera alguno de los umbrales del criterio condicional cC.

Por otra parte, las etapas opcionales y/o posteriores pueden resumirse de la siguiente manera:

- La acción realizable A1 o el reperfilado de un elemento de desgaste por uso 10 o rueda 16 puede provocar el reperfilado de algún otro elemento de desgaste por uso 12 o rueda 16 dependiente también.

- También a veces es necesario predecir si hay que hacer el llamado reperfilado preventivo. El reperfilado preventivo suele realizarse cuando las ruedas no han alcanzado aún los valores de los parámetros críticos, pero están cerca de esos valores, y debe evitarse que los parámetros de las ruedas 16 alcancen los valores críticos antes de la siguiente inspección. En este caso, el modelo debe predecir los valores objetivo no para una etapa, sino para dos etapas antes (los valores para la siguiente inspección).

En la figura 4 se muestran los resultados de una prueba en forma de dos diagramas que representan un cambio de diámetro D de una rueda izquierda (diagrama izquierdo) y una rueda derecha 16 (diagrama derecho) de un juego de ruedas de un vagón no motorizado 40 a lo largo de la distancia recorrida. En el eje y se representa el diámetro (en mm) y en el eje x la distancia recorrida (en 10^3 km). Los gráficos con los puntos sólidos muestran los valores predichos del diámetro D y el gráfico con los cuadrados abiertos los valores medidos del diámetro D. Como puede verse en los diagramas, los valores reales y predichos de los diámetros D de las ruedas se alinean perfectamente. Así, el modelo funciona muy bien. La subida rápida del gráfico indica un cambio de la rueda 16.

Así, habiendo predicho el valor correcto de los diámetros, se ha podido predecir correctamente para cada rueda 16 si el reperfilado es necesario y teniendo en cuenta la estadística de cómo se reduce el diámetro D debido al reperfilado, se ha predicho si el reperfilado posterior de otras ruedas sería también necesario.

Cabe señalar que el término "que comprende" no excluye otros elementos o etapas y "un" o "una" no excluye una pluralidad. También pueden combinarse los elementos descritos en asociación con diferentes realizaciones. También hay que señalar que los signos de referencia en las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las reivindicaciones.

Aunque la invención se ilustra y describe en detalle por las realizaciones preferidas, la invención no está limitada por los ejemplos divulgados, y otras variaciones pueden ser derivadas de la misma por un experto en la técnica sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar una condición (C1, C2, C3, C4, fC1, fC2) de un elemento de desgaste por uso (10, 12) de un vehículo de vía (14), con al menos las siguientes etapas:
 - Determinar una segunda condición (C2) del elemento de desgaste por uso (10, 12), que es una condición cronológicamente posterior a una primera condición (C1), al comenzar desde la primera condición (C1) del elemento de desgaste por uso (10, 12), mediante un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso (10, 12),
 - Determinar una primera acción realizable (A1) que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar la segunda condición determinada (C2) del elemento de desgaste por uso (10, 12) y al menos un criterio condicional predefinido (cC) para el elemento de desgaste por uso (10, 12), se caracteriza por las siguientes etapas:
 - Determinar una tercera condición resultante (C3) del elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar un cambio condicional (cCH) del elemento de desgaste por uso (10, 12), donde el cambio condicional (cCH) es una consecuencia de la primera acción realizable (A1), y
 - Determinar una vez más una segunda acción realizable (A2) que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar la tercera condición resultante (C3) del elemento de desgaste por uso (10, 12) y al menos un criterio condicional predefinido (cC) para el elemento de desgaste por uso (10, 12).
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el algoritmo de aprendizaje por máquina es un algoritmo de aprendizaje supervisado y especialmente, un algoritmo de regresión automática, y especialmente, entrenado por un método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el método comprende la etapa adicional de:
 - Comprobar si el cambio condicional determinado (cCH) del elemento de desgaste por uso (10, 12) cumple con al menos un criterio de plausibilidad (pC), en donde el cambio condicional (cCH) se basa en al menos un parámetro condicional medido o determinado (P-1, P0, P0', P+1) que hace referencia al elemento de desgaste por uso (10, 12).
4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el método comprende la etapa adicional de:
 - Seleccionar los datos de entrenamiento para el algoritmo de aprendizaje por máquina al utilizar al menos un criterio de plausibilidad (PC).
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la primera y/o segunda y/o tercera y/o acción realizable de seguimiento (A1, A2, A3, fA) es un repafilado, un cambio del elemento de desgaste por uso o una no acción.
6. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en donde el método comprende la etapa adicional de:
 - Realizar el método para determinar la primera y/o segunda y/o tercera y/o siguiente acción realizable (A1, A2, A3, fA) como una decisión de SÍ/NO al utilizar un modelo de decisión.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el método comprende la etapa adicional de:
 - Mapear el cambio condicional (cCH) en el modelo de decisión como una decisión de SÍ/NO.
8. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en donde el método comprende la etapa adicional de:
 - Describir la primera y/o segunda y/o tercera condición (C1, C2, C3, C4, fC1, fC2) mediante al menos un parámetro condicional (P-1, P0, P0', P+1) y/o en donde el parámetro condicional (P-1, P0, P0', P+1) es un parámetro seleccionado del grupo que consiste en: Un diámetro (D), una altura de pestaña (fH), un ancho de pestaña (fW), un ancho de hombro de pestaña (fsW), una inclinación (S) de un hombro de pestaña (FS), un surco (G), una capa laminada (rL), un ancho de banda de rodadura (rtW), una superficie de banda de rodadura (rtS), una carga de trabajo del elemento de desgaste por uso (10, 12), un kilometraje recorrido (M) del elemento de desgaste por uso (10, 12), un espesor de una pastilla o zapata de freno, una edad del elemento de desgaste por uso (10, 12), un perfil de un elemento de desgaste por uso (10, 12), una rugosidad del elemento de desgaste por uso (10, 12).
9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el elemento de desgaste por uso (10, 12) es un elemento seleccionado del grupo que consiste en: una rueda (16), una pastilla de freno, una zapata de freno, un tornillo, un muelle, un seguro o un artefacto central.
10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el vehículo de vía

(14) es un tren (18) y el elemento de desgaste por uso (10, 12) es una rueda (16) del tren (18).

11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde al menos un criterio condicional predefinido (cC) es un límite operativo del parámetro condicional (P0, P0', P+1).

12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el método comprende las etapas adicionales de:

- Determinar una segunda condición adicional (fC2) de un elemento de desgaste por uso adicional (10, 12), que es una condición cronológicamente posterior a una primera condición adicional (fC1), al comenzar desde la primera condición adicional (fC1) del elemento de desgaste por uso adicional (10, 12), al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, y

- Determinar una vez más una acción realizable de seguimiento (fA) que se puede realizar en el elemento de desgaste por uso adicional (10, 12) al utilizar la segunda condición resultante (fC2) del elemento de desgaste por uso adicional (10, 12), la tercera condición (C3) del elemento de desgaste por uso (10, 12) y al menos un criterio condicional predefinido (cC) para el elemento de desgaste por uso adicional (10, 12).

13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el elemento de desgaste por uso (10, 12) y el elemento de desgaste por uso adicional (10, 12) ambos son partes de una estructura mutua (20).

14. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde si la primera acción realizable (A1) es una no acción, el método comprende las etapas adicionales de:

- Determinar una cuarta condición resultante (C4) del elemento de desgaste por uso (10, 12), que es una condición cronológicamente posterior a la segunda condición (C2), al comenzar desde la segunda condición (C2) del elemento de desgaste por uso (10, 12), al utilizar un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso (10, 12) y

- Determinar una vez más una tercera acción realizable (A3) que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar la cuarta condición resultante (C4) del elemento de desgaste por uso (10, 12) y al menos un criterio condicional predefinido (cC) para el elemento de desgaste por uso (10, 12).

15. Sistema de control (22) para controlar una condición (C1, C2, C3, C4, fC1, fC2) de un elemento de desgaste por uso (10, 12) de un vehículo de vía (14), con al menos un dispositivo de determinación (24) configurado para:

- Determinar una segunda condición (C2) del elemento de desgaste por uso (10, 12), que es una condición cronológicamente posterior a una primera condición (C1), al comenzar desde la primera condición (C1) del elemento de desgaste por uso (10, 12), mediante un algoritmo de aprendizaje por máquina, que representa un comportamiento cronológico del elemento de desgaste por uso (10, 12),

- Determinar una primera acción realizable (A1) que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar la segunda condición determinada (C2) del elemento de desgaste por uso (10, 12) y al menos un criterio condicional predefinido (cC) para el elemento de desgaste por uso (10, 12),

- Determinar una tercera condición resultante (C3) del elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar un cambio condicional (cCH) del elemento de desgaste por uso (10, 12), donde el cambio condicional (cCH) es una consecuencia de la primera acción realizable (A1), y

- Determinar una vez más una segunda acción realizable (A2) que se puede realizar sobre el elemento de desgaste por uso (10, 12) al utilizar la tercera condición resultante (C3) del elemento de desgaste por uso (10, 12) y al menos un criterio condicional predefinido (cC) para el elemento de desgaste por uso (10, 12).

FIG 1

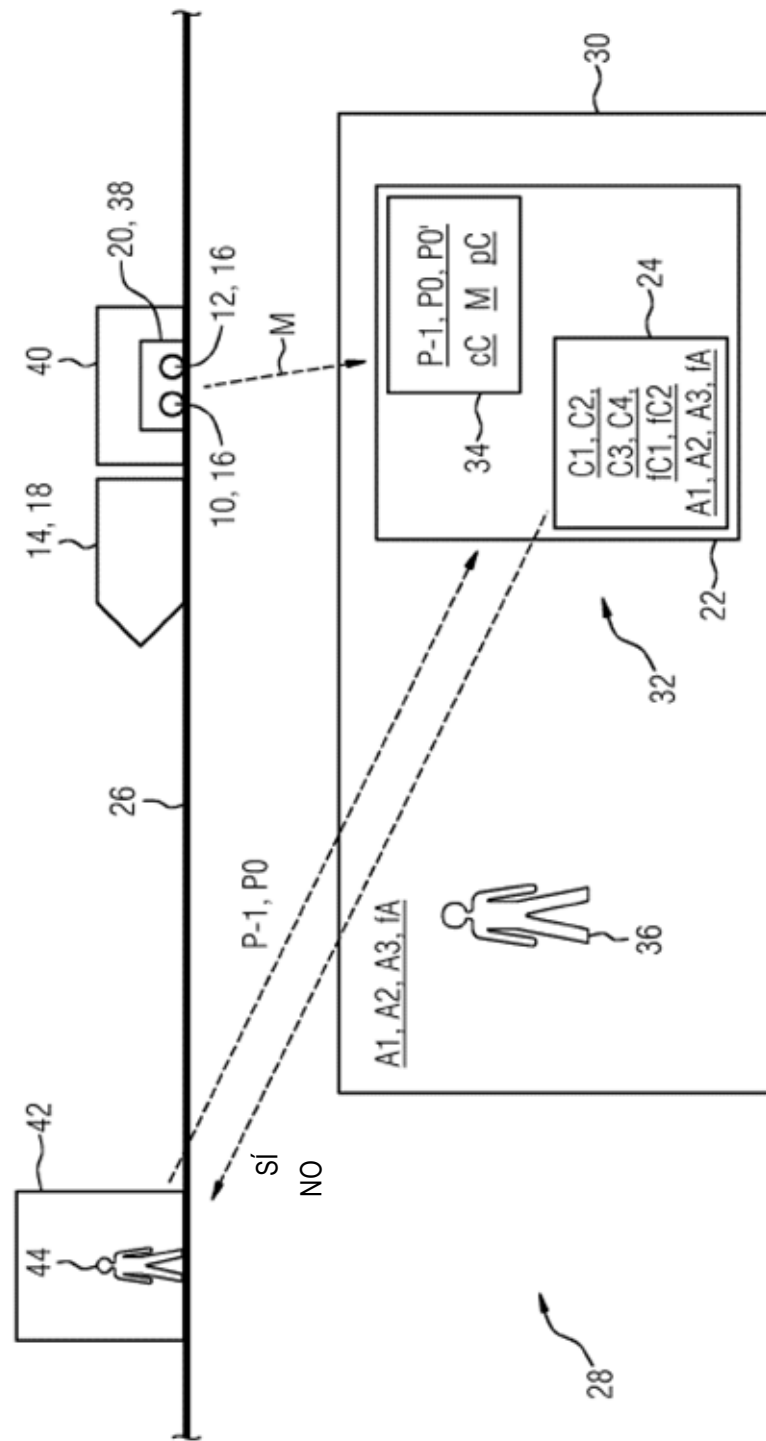


FIG 2

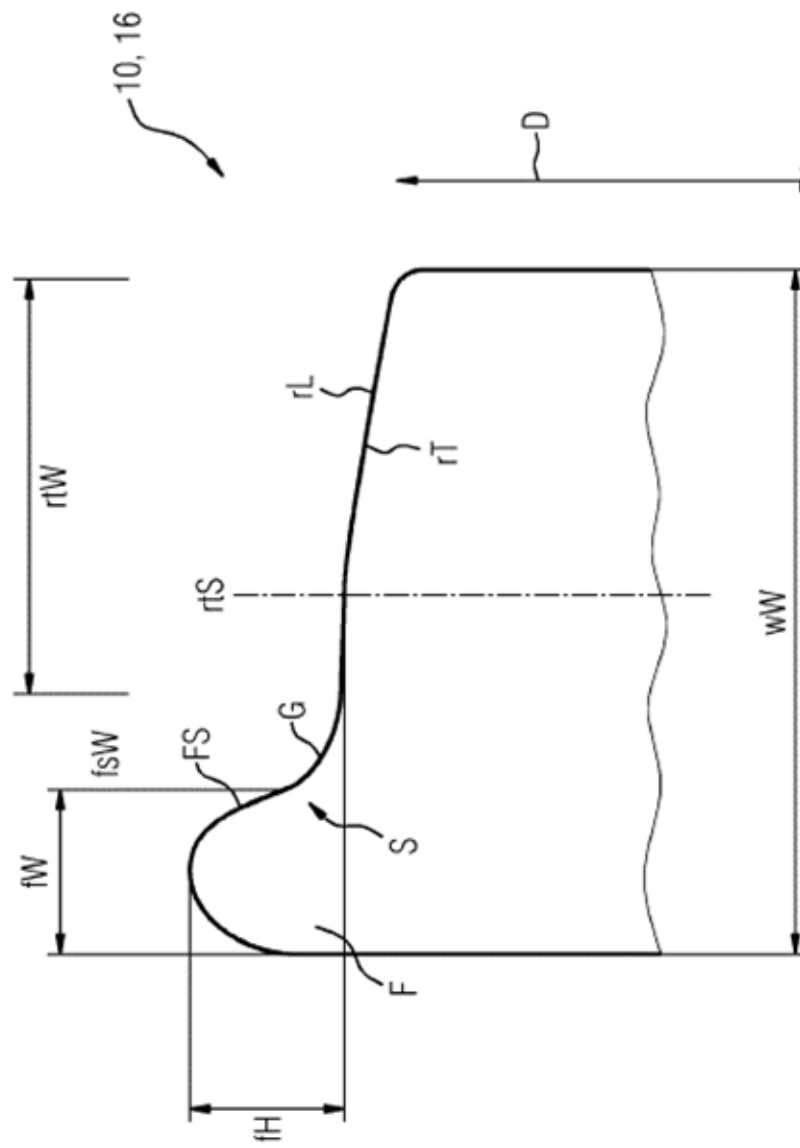


FIG 3

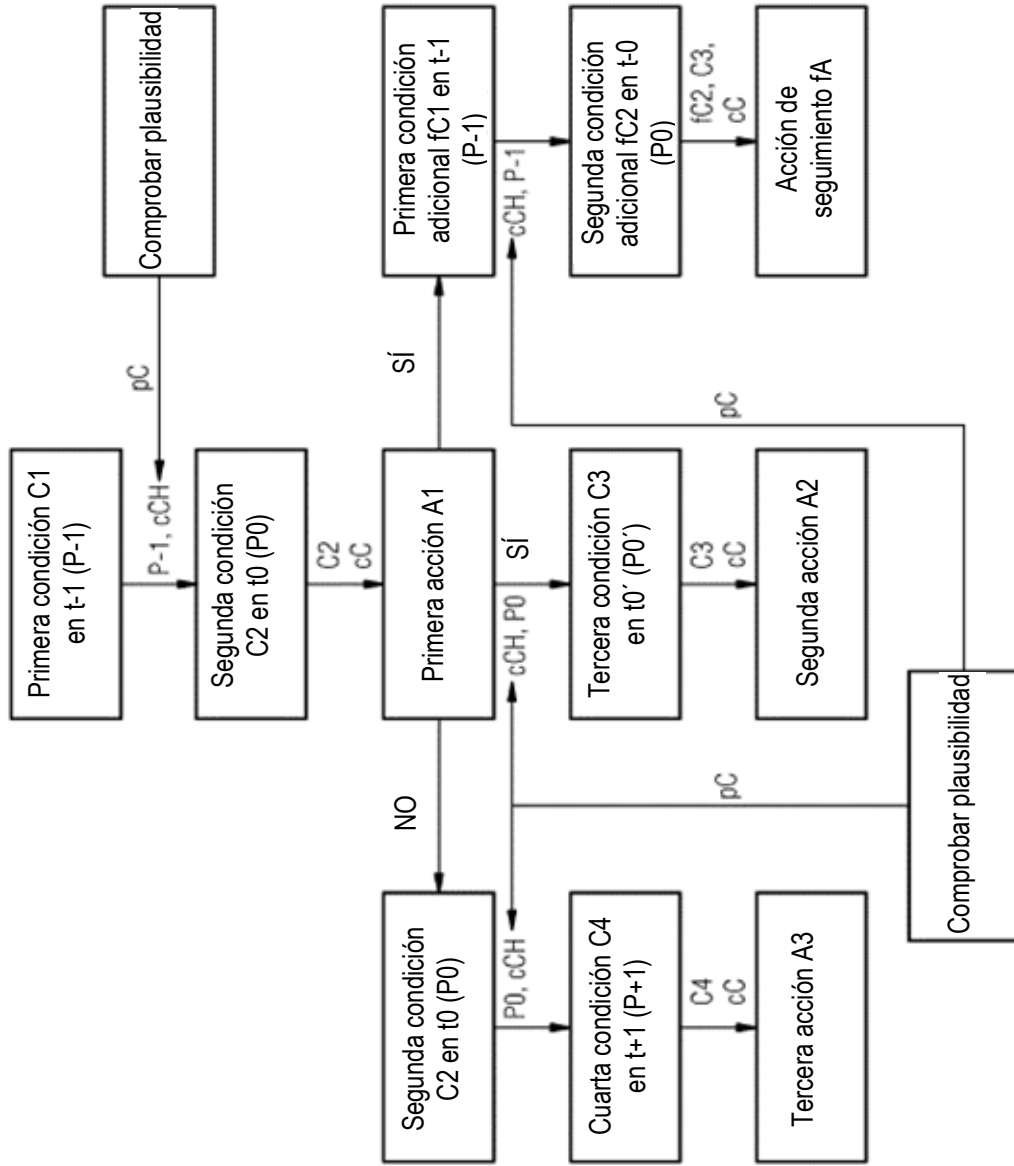


FIG 4

