

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 307**

51 Int. Cl.:

B41J 2/175

(2006.01)

B41J 29/38

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05760362 .3**

96 Fecha de presentación: **27.05.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1768849**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.04.2007**

54 Título: **Procedimiento de predicción de evaporación de tinta para un depósito de tinta**

30 Prioridad:
04.06.2004 US 861945

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.10.2012

73 Titular/es:
LEXMARK INTERNATIONAL, INC. (100.0%)
740 WEST NEW CIRCLE ROAD
LEXINGTON, KENTUCKY 40550, US

72 Inventor/es:
EHLERT, JEFFREY RAY

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

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).

ES 2 389 307 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de predicción de evaporación de tinta para un depósito de tinta

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención.

La presente invención se refiere a la determinación de una cantidad de tinta agotada de un depósito de tinta, y, más particularmente, a un procedimiento de predicción de la evaporación de tinta de un depósito de tinta.

2. Descripción de la técnica relacionada.

Los cartuchos de cabezal de impresión desechables de chorro de tinta incluyen un depósito de tinta que contiene tinta que se utiliza para imprimir sobre un medio de impresión, tal como papel. Típicamente, los indicadores del nivel de tinta en la impresora en el controlador de Windows pueden realizar un seguimiento del nivel de tinta sobre la base de contar las gotas de tinta expulsadas sobre el medio de impresión. Además, las gotas expulsadas durante una operación de mantenimiento del cabezal de impresión también pueden ser controladas. Sin embargo, pueden producirse pérdidas de volumen de tinta de maneras que no pueden ser controladas sólo contando puntos de tinta expulsados. Tal como se usa aquí, los términos "puntos de tinta" y "gotas de tinta" son sinónimos.

Por ejemplo, se ha reconocido que una pérdida significativa de volumen de tinta en un cartucho de cabezal de impresión puede producirse a través de la evaporación. La evaporación se produce, por ejemplo, a través del respiradero en la tapa del cartucho, a través de las aberturas de la boquilla en la placa de la boquilla del cabezal de impresión (incluso cuando tiene una tapa), a través del cuerpo del cartucho de plástico y a través de las juntas de la tapa. La tasa de pérdida depende, por ejemplo, de la temperatura y de la humedad, así como de la construcción del respiradero de la tapa, el material del cartucho, etc.

El documento US 2004/0012648 A1 describe un aparato de impresión de chorro de tinta y un tratamiento de recuperación del mismo.

Lo que se necesita en la técnica es un procedimiento de predicción de la evaporación de la tinta para un depósito de tinta.

35 Sumario de la invención

La presente invención proporciona un depósito de tinta según la reivindicación 1 y un procedimiento de predicción de evaporación de tinta para un depósito de tinta, según la reivindicación 16.

En otra forma de la misma, la invención está dirigida a un procedimiento de predicción de evaporación de tinta para un depósito de tinta que tiene características de evaporación de la tinta representadas por una curva de evaporación empírica determinada para un tipo de depósito de tinta, perteneciendo el depósito de tinta al tipo de depósito de tinta, asociando el procedimiento una tasa de evaporación respectiva a cada uno de una pluralidad de segmentos de tiempo asociados con la curva de evaporación empírica, basándose la respectiva tasa de evaporación en un algoritmo de aproximación respectivo asociado con cada uno de la pluralidad de segmentos de tiempo.

En todavía otra forma de la misma, la invención está dirigida a un cabezal de impresión que comprende memoria. La memoria almacena parámetros asociados con una curva de predicción de la evaporación para un depósito de tinta que se aproxima a una curva de evaporación empírica. Una impresora en la que está instalado el cabezal de impresión ejecuta las instrucciones para: determinar una cantidad de evaporación sobre la base de la curva de predicción de evaporación para el depósito de tinta, y utilizar la cantidad de evaporación para compensar una pérdida por evaporación para el depósito de tinta mediante el ajuste de un recuento acumulado de gotas de tinta para formar un recuentos de gotas compensadas con la evaporación.

En todavía otra forma de la misma, la invención se dirige a un depósito de tinta que tiene una memoria asociada con el mismo, en el que dicha memoria almacena parámetros asociados con una curva de predicción de la evaporación que aproximadamente sigue una curva de evaporación empírica.

Una ventaja de ciertas realizaciones de la presente invención es que el procedimiento de predicción de evaporación de tinta para un depósito de tinta, tal como, por ejemplo, un depósito de tinta asociado con un cartucho de cabezal de impresión por chorro de tinta, sigue un perfil de evaporación empíricamente modelado establecido para un tipo de depósito de tinta especial al que pertenece el depósito de tinta, permitiendo así la compensación de la evaporación desde un tiempo de llenado del depósito de tinta inicial hasta el momento de agotamiento completo de la tinta utilizable en el depósito de tinta.

Breve descripción de los dibujos

Las características antes mencionadas y otras, y las ventajas de esta invención, y la manera de alcanzarlas, se harán más evidentes y la invención se comprenderá mejor por referencia a la siguiente descripción de una realización de la invención, tomada en conjunción con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un sistema de formación de imágenes que incorpora la presente invención.

La figura 2 representa una pluralidad de curvas de predicción de la evaporación establecidas de acuerdo con una realización de la presente invención y en base a una pluralidad de combinaciones de parámetros que pueden almacenarse en una memoria asociada con un depósito de tinta particular.

La figura 3 muestra una curva de evaporación empírica que representa características de evaporación asociadas con un tipo particular de depósito de tinta, y una curva de predicción de la evaporación de ejemplo establecida de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo general de un procedimiento que calcula una cantidad de tinta contenida en un depósito de tinta.

La figura 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento que puede utilizarse en la implementación de un acto de determinación de la cantidad de evaporación del procedimiento de la figura 4.

Los correspondientes caracteres de referencia indican partes correspondientes a través de las diversas vistas. Los ejemplos indicados en este documento ilustran realizaciones de la invención, y estos ejemplos no deben considerarse como limitativos del alcance de la invención de ninguna manera.

Descripción detallada de la invención

Con referencia ahora a los dibujos, y particularmente a la figura 1, se muestra un sistema de formación de imágenes 6 que incorpora la presente invención. El sistema de formación de imágenes 6 puede incluir un servidor 8, o alternativamente, el sistema de formación de imágenes 6 puede ser un sistema autónomo.

El sistema de formación de imágenes 6 incluye un aparato de la formación de imágenes 10, que puede ser en forma de una impresora de chorro de tinta, tal como se muestra. Así, por ejemplo, el aparato de formación de imágenes 10 puede ser una impresora de chorro de tinta convencional, o puede formar el motor de impresión para un aparato de función múltiple, tal como, por ejemplo, una unidad independiente que tiene capacidades de fax y copias, además de la impresión.

El servidor 8, que puede ser opcional, puede estar comunicativamente acoplado a un aparato de formación de imágenes 10 a través de un enlace de comunicaciones 11. El enlace de comunicaciones 11 puede ser, por ejemplo, una conexión eléctrica directa, una conexión inalámbrica, o una conexión de red.

En una realización que incluye el servidor 8, el servidor 8 puede ser, por ejemplo, un ordenador personal que incluye un dispositivo de visualización, un dispositivo de entrada (por ejemplo, un teclado), un procesador, interfaces de entrada/salida (I/O), memoria, tal como RAM, ROM, NVRAM y un dispositivo de almacenamiento masivo de datos, como por ejemplo un disco duro, CD-ROM y/o unidades de DVD. Durante la operación, el servidor 8 puede incluir en su memoria un programa de software que incluye instrucciones de programa que funcionan como un controlador de impresora para el aparato de formación de imágenes 10. El controlador de la impresora está en comunicación con el aparato de formación de imágenes 10 a través del enlace de comunicaciones 11. El controlador de la impresora, por ejemplo, puede incluir una unidad de medios tonos y un formateador de datos que pone los datos de impresión y los comandos de impresión en un formato que pueden ser reconocidos por los aparatos de formación de imágenes 10. En un entorno de red, las comunicaciones entre el servidor 8 y el aparato de formación de imágenes 10 pueden facilitarse a través de un protocolo de comunicación estándar, tal como el protocolo de alianza de impresora de red (NPAP). El NPAP incluye una multitud de comandos predefinidos de alianza de impresora de red (NPA), y facilita la generación de nuevos comandos de NPA.

En la realización de la figura 1, el aparato de formación de imágenes 10 incluye un sistema portador del cabezal de impresión 12, una unidad de rodillo de alimentación 14, una unidad de recogida de hojas 16, un controlador 18, un bastidor medio 20 y una fuente de medios 21.

La fuente de medios 21 está configurada para recibir una pluralidad de hojas de los medios de impresión, a partir de las cuales una hoja individual de material de impresión 22 se recoge mediante la unidad de recogida de hojas 16 y se transporta a la unidad de rodillo de alimentación 14, que a su vez también transporta la hoja de los medios de impresión 22 durante una operación de impresión. La hoja de material de impresión 22 puede ser, por ejemplo, papel normal, papel cuché, papel fotográfico y papel de transparencias.

El sistema portador del cabezal de impresión 12 incluye un portador del cabezal de impresión 24 para llevar un cabezal de impresión de color 26 y/o un cabezal de impresión monocromático 28. Un depósito de tinta de color 30 se proporciona en comunicación fluida con el cabezal de impresión de color 26, y un depósito de tinta monocromática 32 se proporciona en comunicación fluida con el cabezal de impresión monocromático 28. Los expertos en la técnica

reconocerán que el cabezal de impresión de color 26 y el depósito de tinta de color 30 pueden estar formados como unidades discretas individuales, o pueden combinarse como un cartucho unitario integral con el cabezal de impresión. Asimismo, el cabezal de impresión monocromático 28 y el depósito de tinta monocromático 32 pueden estar formados como unidades discretas individuales, o pueden combinarse como un cartucho unitario integral con el cabezal de impresión.

La cantidad de tinta disponible en un depósito de tinta, tal como, por ejemplo, el depósito de tinta de color 30 o el depósito de tinta monocromática 32, cuando inicialmente está lleno de tinta, y antes de cualquier evaporación, se conoce como el rendimiento total, T0Rendimiento, del depósito de tinta. T0Rendimiento puede representarse, por ejemplo, por un recuento de gotas de tinta, que a su vez puede estar correlacionado con un recuento de páginas aproximadas, si se desea. Una cantidad de tinta agotada del depósito de tinta se puede determinar, por ejemplo, contando el número de gotas de tinta expulsadas desde el depósito de tinta por el cabezal de impresión asociado, y mediante la compensación de las pérdidas por evaporación de la tinta, independientemente de si la tinta fue expulsada del depósito de tinta durante una operación de impresión o de mantenimiento.

El portador del cabezal de impresión 24 está guiado mediante un par de elementos de guía 34, que pueden ser, por ejemplo, en forma de varillas de guía, los canales de guía, o una combinación de los mismos. Los ejes 34a de los elementos de guía 34 definen una trayectoria de exploración bidireccional para el portador del cabezal de impresión 24, y por lo tanto, por conveniencia la trayectoria de exploración bidireccional puede denominarse como trayectoria de exploración bidireccional 34a. El portador del cabezal de impresión 24 está conectado a una cinta transportadora 36 que es accionada por un motor 40 a través de una polea portadora 42. El motor portador 40 tiene un eje del motor de soporte giratorio 44 que se fija a la polea portadora 42. En la directiva del controlador 18, el portador del cabezal de impresión 24 se transporta de una manera alternativa a lo largo de elementos de guía 34. El motor portador 40 puede ser, por ejemplo, un motor de corriente continua (CC) o un motor paso a paso.

El movimiento alternativo del portador del cabezal de impresión 24 transporta los cabezales de impresión de chorro de tinta 26, 28 a través de la hoja de medio de impresión 22, tal como papel, a lo largo de una trayectoria de exploración bidireccional 34a para definir una zona de impresión 50 del aparato de formación de imágenes 10. El movimiento alternativo del portador del cabezal de impresión 24 se produce en una dirección de exploración principal 52 que es paralela con la trayectoria de exploración bidireccional 34a, y que también se conoce comúnmente como la dirección horizontal. Durante cada exploración del portador del cabezal de impresión 24 durante la impresión, la hoja de material de impresión 22 se mantiene estacionaria mediante la unidad de rodillo de alimentación 14.

El bastidor medio 20 proporciona soporte para la hoja del medio de impresión 22 cuando la hoja del medio de impresión 22 está en la zona de impresión 50, y, en parte, define una parte de una trayectoria del medio de impresión 54 del aparato de formación de imágenes 10.

La unidad de rodillo de alimentación 14 incluye un rodillo de índice 56 y correspondientes rodillos de arrastre de índice (no mostrados). El rodillo de índice 56 es accionado por una unidad de accionamiento 60. Los rodillos de arrastre de índice aplican una fuerza de empuje para mantener la hoja de material de impresión 22 en contacto con el respectivo rodillo índice accionado 56. La unidad de accionamiento 60 incluye una fuente de accionamiento, tal como un motor paso a paso, y un mecanismo de accionamiento asociado, tal como un tren de engranajes o una disposición de correa/polea. La unidad de rodillo de alimentación 14 alimenta la hoja del medio de impresión 22 en una dirección de alimentación de las hojas 62, designada como una X en un círculo para indicar que la dirección de alimentación de las hojas se encuentra fuera del plano de la figura 1 hacia el lector.

El controlador 18 incluye un microprocesador que tiene una memoria de acceso aleatorio (RAM) asociada y una memoria de sólo lectura (ROM). El controlador 18 ejecuta las instrucciones del programa para efectuar la impresión de una imagen en la hoja del material de impresión 22, y ejecuta instrucciones adicionales para comunicarse y controlar las operaciones de los cabezales de impresión 26, 28. El controlador 18 está conectado eléctricamente y acoplado comunicativamente a los cabezales de impresión 26, 28 a través de un enlace de comunicaciones 64, tal como, por ejemplo, un cable de interfaz del cabezal de impresión. El controlador 18 está conectado eléctricamente y acoplado comunicativamente al motor portador 40 a través de un enlace de comunicaciones 66, tal como, por ejemplo, un cable de interfaz. El controlador 18 está conectado eléctricamente y acoplado comunicativamente a la unidad de accionamiento 60 a través de un enlace de comunicaciones 68, tal como, por ejemplo, un cable de interfaz. El controlador 18 está conectado eléctricamente y acoplado comunicativamente a la unidad de recogida de hojas 16 a través de un enlace de comunicaciones 70, tal como por ejemplo un cable de interfaz.

Como un ejemplo, uno del cabezal de impresión de color 26 y el depósito de tinta de color 30 puede tener unida al mismo una memoria 72 para almacenar la información relativa al cabezal de impresión de color 26 y/o depósito de tinta de color 30, tal como, por ejemplo, un número de identificación, un valor que representa una cantidad de uso del cabezal de impresión de color 26 y/o el depósito de tinta de color 30, y uno o más valores que representan el tiempo. La memoria 72 puede ser, por ejemplo, una memoria un tiempo programable. Por ejemplo, la memoria 72 puede estar formada integral con otros componentes eléctricos en el silicio del cabezal de impresión de color 26. El cabezal de impresión de color 26 puede estar configurado para expulsar un solo color de tinta, o puede estar

configurado para expulsar múltiples colores de tinta, tal como, por ejemplo, dos o más combinaciones de varios colores de tinta, por ejemplo, negro, cian, magenta, amarillo, colores diluidos, naranja, verde y otros colores conocidos en la técnica. El depósito de tinta de color 30 puede estar configurado para llevar a un solo color de tinta, o puede estar configurado para llevar múltiples colores de tinta, tal como, por ejemplo, dos o más combinaciones de

5 varios colores de tinta, por ejemplo, negro, cian, magenta, amarillo, colores diluidos, naranja, verde y otros colores conocidos en la técnica. El controlador 18 se comunica con la memoria 72 a través de un enlace de comunicaciones 64.

Además, un cabezal de impresión monocromático 28 y un depósito de tinta monocromático 32 pueden tener unidas

10 al mismo una memoria 74 para almacenar la información relativa al cabezal de impresión monocromático 28 y/o al depósito de tinta monocromático 32, tal como, por ejemplo, un número de identificación del artículo de suministro, un valor que representa una cantidad de uso del cabezal de impresión monocromático 28 y/o del depósito de tinta monocromático 32, y uno o más valores que representan el tiempo. La memoria 74 puede ser, por ejemplo, una

15 memoria un tiempo programable. Por ejemplo, la memoria 74 puede estar formada integral con otros componentes eléctricos en silicio del cabezal de impresión monocromática 28. El controlador 18 se comunica con la memoria 72 a través del enlace de comunicaciones 64.

Las figuras 2 y 3 son representaciones gráficas de curvas de evaporación establecidas y/o utilizadas de acuerdo con las realizaciones de la presente invención.

20 La figura 2 muestra una pluralidad de curvas de predicción de la evaporación 75 generadas de acuerdo con las realizaciones de la presente invención. Las curvas de predicción de la evaporación 75 se basan en una pluralidad de combinaciones de parámetros, tales como parámetros de tiempo, que pueden ser almacenados en una memoria, tal como la memoria 72 o la memoria 74, asociada con un depósito de tinta particular, tal como uno de depósitos de

25 tinta 30, 32 que, en algunas realizaciones, puede ser integral con los cabezales de impresión 26, 28, respectivamente. Las curvas de predicción de la evaporación 75 no asumen ninguna expulsión de tinta desde el depósito de tinta.

En las curvas de ejemplo de la figura 2, diversos escenarios para las pérdidas por evaporación se trazan en

30 asociación con tiempos predeterminados, por ejemplo, T0, T1, T2 y T3. El tiempo T0 puede ser, por ejemplo, un tiempo de llenado inicial del depósito de tinta. El tiempo T1 puede ser una cantidad de tiempo, por ejemplo, en meses, medida desde el tiempo inicial T0, cuando cada una de las curvas de predicción de la evaporación de ejemplo 75 que se muestran en la figura 2 se encuentran en un primer porcentaje de rendimiento total (rendimiento T0), por ejemplo, 85 por ciento. El tiempo T2 puede ser una cantidad de tiempo, por ejemplo, en meses, medida

35 desde el tiempo T1, cuando cada una curva de predicción de la evaporación de ejemplo 75 que se muestra en la figura 2 está en un segundo porcentaje del rendimiento total (rendimiento T0), por ejemplo, 67 por ciento, y el tiempo T3 puede ser una cantidad de tiempo, por ejemplo, en meses, medido desde el momento T2, en que se tarda para la curva de evaporación para ir del cero por ciento al rendimiento total (rendimiento T0).

La figura 3 muestra una curva de predicción de la evaporación de ejemplo 78 (representada por una línea sólida) establecida de acuerdo con la presente invención. La curva de predicción de la evaporación 78 se establece para un depósito de tinta, de manera que sigue aproximadamente una curva de evaporación empírica 76 (representada por una línea discontinua) asociada con un tipo depósito de tinta, en el que el depósito de tinta se considera es de ese

40 tipo de depósito de tinta. Como un ejemplo, los tiempos T1, T2 y T3 pueden representarse en la memoria 72 correspondientes al depósito de tinta de color 30, o la memoria 74 del correspondiente depósito de tinta monocromática 32, mediante tres bits binarios en la memoria, por ejemplo, 12 meses = 101b, 6 meses = 010b, 4 meses = 001b, y 2 meses = 000b. La aproximación de la curva de evaporación empírica 76 se consigue dividiendo la curva de evaporación empírica asociada 76 en segmentos de tiempo consecutivos, por ejemplo, T0 a T1, T1 a T2 + T1 y T2 + T1 a T3 + T2 + T1 y, a continuación asociando un índice de evaporación a cada uno de los segmentos.

50 Así, por ejemplo, los segmentos de tiempo puede extenderse desde un tiempo inicial T0, antes de cualquier pérdida por evaporación, a un tiempo final (por ejemplo, T3 + T2 + T1) cuando la pérdida por evaporación agota una fuente útil de tinta en el depósito de tinta. El índice de evaporación para cada uno de los segmentos de tiempo puede representarse, por ejemplo, mediante un algoritmo respectivo, tal como, por ejemplo, ecuaciones lineales, tal como se describe más detalladamente a continuación.

La memoria 72 asociada con el cabezal de impresión de color 26 y/o el depósito de tinta de color 30 puede incluir, por ejemplo, treinta y dos o más bits reservados para un número de identificación para el cabezal de impresión de color 26 y/o el depósito de tinta de color 30, que puede ser determinarse por el fabricante o generarse al azar después de la instalación en un aparato de formación de imágenes 10; ocho o más bits se pueden utilizar como un

60 indicador de uso para mantener un registro del uso del cabezal de impresión de color 26 y/o el depósito de tinta de color 30, con cada bit que representa un nivel de agotamiento de la tinta del depósito de tinta de color 30; y cuatro o más conjuntos de bits de tiempo, representados por ejemplo, como T0c, T1c, T2c y T3c, cada uno incluyendo tres o más bits de seguimiento de tiempo, que pueden ser utilizados para representar el tiempo. La letra "c" se utiliza por conveniencia para designar que el tiempo está asociado con un depósito de tinta de color, y corresponde a los

65 tiempos T0, T1, T2 y T3 que se muestran en las figuras 2 y 3.

Al conectar la memoria 72 con el cabezal de impresión de color 26 y/o depósito de tinta de color 30, en esencia, la información almacenada en la memoria 72 asociada con el cabezal de impresión de color 26 y/o el depósito de tinta de color 30 se desplaza, respectivamente, con el cabezal de impresión de color 26 y/o el depósito de tinta de color 30 desde un aparato de formación de imágenes a otro. Alternativamente, la información del tiempo, tales como uno o más de los tiempos T0c, T1c, T2c y T3c, puede ser almacenada en el servidor 8 o el aparato de formación de imágenes 10.

La memoria 74 de cabezal de impresión monocromático 28 y/o el depósito de tinta monocromática 32 pueden incluir, por ejemplo, treinta y dos o más bits reservados para un número de identificación para el cabezal de impresión monocromático 28 y/o el depósito de tinta monocromática 32, que puede establecerse por el fabricante o generarse de manera aleatoria después de la instalación en un aparato de formación de imágenes 10; ocho o más bits se pueden utilizar como un indicador de uso para mantener un registro del uso del cabezal de impresión monocromático 28 y/o el depósito de tinta monocromática 32 con cada bit representando un nivel de agotamiento de la tinta desde el depósito de tinta monocromática 32, y cuatro o más conjuntos de bits de tiempo, representados por T0m, T1m, T2m y T3m, incluyendo cada uno tres o más bits de seguimiento de tiempo, que pueden ser utilizados para representar el tiempo. La letra "m" se utiliza por conveniencia para designar que el tiempo está asociado con un depósito de tinta monocromática, y corresponde a los tiempos T0, T1, T2 y T3 que se muestran en las figuras 2 y 3.

Al conectar la memoria 74 al cabezal de impresión monocromático 28 y/o al depósito de tinta monocromática 32, en esencia, la información almacenada en la memoria 74 asociada con el cabezal de impresión monocromático 28 y/o el depósito de tinta monocromática 32 se desplaza, respectivamente, con el cabezal de impresión monocromático 28 y/o el depósito de tinta monocromática 32 desde un aparato de formación de imágenes a otro. Alternativamente, la información del tiempo, tal como uno o más de los tiempos T0m, T1m, T2m y T3m, puede ser almacenada en el servidor 8 o en el aparato de formación de imágenes 10.

La figura 4 es un diagrama de flujo general de un procedimiento que estima una cantidad de tinta contenida en un depósito de tinta. Debe entenderse que la descripción que sigue se aplica al cabezal de impresión de color 26 y/o al depósito de tinta de color 30, o al cabezal de impresión monocromático 28 y/o al depósito de tinta monocromática 32, como componentes discretos o cuando se integran en un cartucho unitario del cabezal de impresión. Sin embargo, por conveniencia y por facilidad de comprensión, la descripción de la invención que sigue se refiere a un ejemplo utilizando el cabezal de impresión monocromático 28 y/o el depósito de tinta monocromática 32. Además, las designaciones de tiempo previamente identificadas para la aplicación monocromática, es decir, T0m, T1m, T2m, T3m, simplemente se indicarán usando las designaciones de tiempo generales T0, T1, T2 y T3.

En la etapa S100, al tiempo se le hace un seguimiento desde el llenado inicial, o rellenado, del depósito de tinta 32, o la instalación del depósito de tinta 32 en el aparato de formación de imágenes 10. Esto puede realizarse mediante el controlador 18 y/o el servidor 8 mediante la determinación de un tiempo T0 inicial para el depósito de tinta 32, siguiendo un período de tiempo Tt total acumulado desde el momento inicial T0, y comparando el período de tiempo Tt total acumulado con un umbral de tiempo, tal como por ejemplo, el tiempo T1. En una realización, por ejemplo, el tiempo T1 puede ser de al menos tres meses.

Para obtener el tiempo total que el cabezal de impresión asociado con depósito de tinta 32 ha estado en funcionamiento, varias implementaciones son posibles. Una de ellas sería escribir un valor inicial Tt en la memoria 74, y el valor de incremento Tt a lo largo del tiempo.

Otra posibilidad sería escribir la fecha del servidor en la memoria 74 en el momento de la instalación de cabezal de impresión 28 y/o el depósito de tinta 32. Por ejemplo, en una realización que utiliza el servidor 8, para calcular el tiempo, el servidor 8 puede enviar un comando NPA de Información sobre el cartucho de inyección de tinta externo al controlador 18 del aparato de formación de imágenes 10 que contiene la fecha del servidor y la identificación (ID) del servidor. La fecha del servidor puede ser, por ejemplo, un valor de 16 bits que se define como el número de días desde el 1 de enero de 2001. El comando NPA se puede enviar antes de cada trabajo de impresión, siguiendo un comando NPA de Iniciar trabajo. El firmware en el controlador 18 del aparato de formación de imágenes 10 utiliza la fecha en el comando NPA actual para calcular la diferencia en el tiempo (delta) desde el último comando NPA. El tiempo total acumulado Tt desde la instalación del cabezal de impresión puede almacenarse en la memoria, ya que la memoria 74, asociada con el depósito de tinta en un parámetro de tiempo T4, que se escribe mediante el firmware. El tiempo total acumulado Tt puede representarse, por ejemplo, mediante una matriz binaria de seis bits, con cada bit de T4 representando, por ejemplo, un mes o 30 días. Por lo tanto, cuando el tiempo total acumulado se incrementa en 30 días, otro fusible se soplará en T4.

Alternativamente, el servidor 8 podría enviar la fecha y el ID del servidor al aparato de formación de imágenes 10 en la información del encabezado de inicio del trabajo de impresión, en lugar de utilizar un comando NPA. Si el aparato de formación de imágenes 10 registra de un tiempo desde el encabezado de la impresión de un trabajo de impresión que es menos de un tiempo registrado anterior, el aparato de formación de imágenes 10 restablecerá la hora actual sólo si el ID del servidor para el trabajo actual es el mismo que el ID del servidor para el trabajo anterior.

Como una alternativa adicional, si se utiliza un reloj de tiempo real (RTC), la fecha de instalación cargada en la memoria, tal como la memoria 74, produciría el tiempo total T_t desde la instalación. Para obtener más robustez, dos fechas se podrían cargar en la memoria 74: 1) la fecha de instalación y 2) la fecha cuando el depósito de tinta 32 se vació. La resta de las dos fechas documentaría la cantidad de tiempo que el cabezal de impresión 28 y/o el depósito de tinta 32 estuvo en funcionamiento sobre la base de fechas relativas en caso de que la hora del RTC sea significativamente diferente de la hora mundial.

El firmware en el aparato de formación de imágenes 10 puede, por ejemplo, llevar un registro de los últimos depósitos y/o cabezales de impresión monocromáticos, de tinte de color, y de tinta de color pigmentada utilizados. El registro puede incluir el recuento de puntos total, y el tiempo total acumulado desde la instalación. Por ejemplo, si un cartucho de cabezal de impresión monocromático se sustituye con un cartucho de cabezal de impresión pigmentado de color, el recuento de puntos y el tiempo acumulado para el cartucho del cabezal de impresión monocromático se puede almacenar en la memoria. Así, cuando el cartucho del cabezal de impresión monocromático se devuelve para reemplazar el cartucho del cabezal de impresión pigmentado de color, el cartucho del cabezal de impresión monocromático se puede tratar como si no se hubiera retirado.

Si un cabezal de impresión y/o un depósito de tinta se instalan con una identificación (ID) en blanco, a continuación, el aparato de formación de imágenes 10 reconoce el cabezal de impresión y/o el depósito de tinta como nuevos y leerá los parámetros, por ejemplo, T_0 Rendimiento, T_0 , T_1 , T_2 y T_3 a partir de la memoria asociada con el cabezal de impresión y/o el depósito de tinta. Estos parámetros pueden almacenarse en la memoria asociada con los depósitos de tinta, por ejemplo, durante una operación de fabricación. El recuento de puntos totales y las posiciones de tiempo total acumulado T_t en la memoria 74 se pondrán en cero.

Además, si un cabezal de impresión y/o depósito de tinta está recién instalado con un ID que no está en blanco, pero no se ha registrado mediante el firmware del controlador 18, a continuación, el firmware puede utilizar el recuento de puntos total almacenado en la memoria asociada con el cabezal de impresión y/o el depósito de tinta recién instalado. Cualquier recuento de puntos restante en la memoria del último cabezal de impresión y/o depósito de tinta instalado de ese tipo también se puede añadir a los recuentos totales de puntos del cabezal de impresión recién instalado. Sin embargo, el tiempo total acumulado se establecerá al valor en T_4 de la memoria 74.

En la etapa 102, se determina un recuento acumulado de gotas de tinta expulsadas desde el depósito de tinta 32. Cada gota, o de punto, expulsado de cabezal de impresión 28 es contado por el controlador 18, o alternativamente por el servidor 8, cuando se utiliza la tinta desde el depósito de tinta 32. El uso de la tinta puede ser rastreado mediante el establecimiento de un bit en la matriz de medición del uso de tinta de la memoria 74 cuando el recuento acumulado contado por el controlador 18, o alternativamente el servidor 8, llega al siguiente límite umbral de medición de uso. Por ejemplo, los límites umbral de uso se pueden establecer en la matriz de uso de tinta de la memoria 74 para representar 1.000.000 puntos cada uno, y un bit de uso adicional se establece cuando se alcanza cada límite umbral. Así, el recuento real acumulado de gotas de tinta puede mantenerse en la memoria 74, o puede mantenerse en el controlador 18, o alternativamente el servidor 8, mediante la recuperación de la información de uso de tinta de la memoria 74.

En la etapa S 104, una cantidad de evaporación asociada con el depósito de tinta, tal como el depósito de tinta 32, se determina de acuerdo con una realización de la presente invención, y se establece un recuento de gotas compensado. Los detalles de la determinación de la cantidad de evaporación en la etapa S 104 se proporcionarán en respuesta a esta descripción del procedimiento general. En resumen, sin embargo, la cantidad de evaporación puede representarse mediante la curva de predicción de la evaporación 78 de la figura 3. Haciendo referencia a la figura 3, antes del umbral de tiempo T_1 , se utiliza una primera tasa de evaporación. Al alcanzar el tiempo T_1 , se utiliza otra tasa de evaporación. Al llegar a tiempo acumulado $T_1 + T_2$, se utiliza todavía otra tasa de evaporación. Por ejemplo, al llegar al umbral de tiempo T_1 , es decir, si el período de tiempo total acumulado T_t es igual o mayor que el umbral de tiempo T_1 , entonces se utiliza una segunda tasa de evaporación para compensar una pérdida por evaporación para depósito de tinta 32 mediante el ajuste del recuento acumulado de gotas de tinta real para formar un recuento compensado de gotas de evaporación.

Más particularmente, por ejemplo, la tasa de evaporación se utiliza para calcular la cantidad de pérdida de tinta del depósito de tinta 32 debido a la evaporación de la tinta. La pérdida de tinta debida a la cantidad de evaporación se convierte en un recuento de gotas de tinta equivalente, en el que la suma del recuento acumulado de gotas de tinta se añade al recuento de gotas de tinta equivalente para formar el recuento compensado de gotas de evaporación. Cuando el recuento compensado de gotas de evaporación alcanza el próximo umbral límite de uso, se establecerá el siguiente bit en el medidor de uso en la memoria 74 asociada con el depósito de tinta 32.

En la etapa S106, conociendo el recuento compensado de gotas de evaporación, por ejemplo, la suma del recuento acumulado real de gotas de tinta y el recuento equivalente de gotas de tinta de evaporación, así como el recuento de gotas inicial (estimado) en el momento inicial T_0 , es decir, cuando el depósito de tinta 32 está lleno, entonces se puede determinar fácilmente una cantidad de tinta restante disponible del depósito de tinta 32 restando el recuento compensado de gotas de evaporación a partir del recuento de gotas inicial.

La figura 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento que puede utilizarse en la implementación del acto de determinar la cantidad de evaporación en la etapa S104 de la figura 4.

En la etapa S104-1, se establece una curva de evaporación empírica para un tipo de depósito de tinta. Haciendo referencia a la figura 3, los datos empíricos se recogen mediante mediciones de evaporación relativas a un tipo de depósito de tinta particular para establecer la curva de evaporación empírica 76 para el tipo de depósito de tinta. El tipo de depósito de tinta se puede identificar, por ejemplo, basándose en el tipo de tinta (por ejemplo, color, monocromática, pigmento, tinte, diluida, etc.), la capacidad de fluido, y la configuración. Por ejemplo, el depósito de tinta de color 30 puede estar asociado con un tipo de depósito de tinta, mientras que el depósito de tinta monocromática 32 puede estar asociado con otro tipo de depósito de tinta. La curva de evaporación empírica 76 para el tipo de depósito de tinta se puede mantener en el lugar de fabricación, o alternativamente, puede almacenarse en la memoria para asociarse con un depósito de tinta que pertenece a ese tipo de depósito de tinta. Por ejemplo, una curva de evaporación empírica para un determinado tipo de depósito de tinta monocromática se puede almacenar en la memoria 74 asociada con el depósito de tinta monocromática 32, y puede almacenarse en forma de una tabla de consulta.

En la etapa S 104-2, una curva de predicción de evaporación 78 se establece para el depósito de tinta, tal como por ejemplo, el depósito de tinta monocromática 32, que se aproxima, por ejemplo, sigue aproximadamente, la curva de evaporación empírica 76. El acto de aproximación de la curva de evaporación empírica 76 puede realizarse mediante un cambio de pendiente de la curva de predicción de la evaporación en puntos predeterminados en el tiempo, por ejemplo, T_1 , $T_2 + T_1$ y $T_3 + T_2 + T_1$, tal como se muestra en la figura 3, para aproximar una pendiente de la curva de evaporación empírica 76. Los valores de tiempo para T_0 , T_1 , T_2 y T_3 se pueden almacenar en la memoria, por ejemplo, la memoria 74, asociada con el depósito de tinta, por ejemplo, el depósito de tinta monocromática 32. Así, tal como se muestra en el ejemplo de la figura 3, la tasa de cambio en la pendiente de la curva de predicción de la evaporación 78, es decir, la tasa de evaporación, cambia a medida que aumenta el tiempo. Más particularmente, la pendiente es decir, la tasa de evaporación, de la curva de predicción de la evaporación en el tiempo T_0 en la figura 3 se selecciona para que corresponda generalmente a la pendiente de una porción correspondiente de una curva de evaporación empírica 76, por ejemplo, desde el tiempo T_0 a T_1 . La pendiente, es decir, la tasa de evaporación, de la curva de predicción de la evaporación 78 en el tiempo T_1 en la figura 3 se selecciona generalmente para que corresponda a la pendiente de una porción correspondiente de la curva de evaporación empírica 76, por ejemplo, desde el tiempo T_1 al tiempo $T_2 + T_1$. La pendiente, es decir, la tasa de evaporación, de la curva de predicción de la evaporación 78 en el tiempo $T_2 + T_1$ en la figura 3 se selecciona generalmente para que corresponda a la pendiente de una porción correspondiente de la curva de evaporación empírica 76, por ejemplo, desde el tiempo $T_2 + T_1$ al tiempo $T_3 + T_2 + T_1$.

Así, mediante la utilización de tasas múltiples de evaporación en el establecimiento de la curva de predicción de la evaporación 78, la curva de predicción de la evaporación 78 sigue más de cerca el perfil, por ejemplo, la pendiente, de la porción correspondiente de la curva de evaporación empírica 76 de lo que hubiera sido el caso si se utilizara una aproximación de una sola línea recta de evaporación.

En el ejemplo mostrado en la figura 3, en el tiempo T_1 , la cantidad de tinta se determinó que era aproximadamente el 85 por ciento del rendimiento inicial T_0 Rendimiento reivindicado designado por la curva de predicción de la evaporación 78 en el tiempo T_0 . En el tiempo $T_2 + T_1$, la cantidad de tinta se determinó que era aproximadamente el 67 por ciento del rendimiento inicial T_0 Rendimiento reivindicado designado por la curva de predicción de evaporación de tinta 78 en el tiempo T_0 . En el tiempo $T_3 + T_2 + T_1$, la curva de predicción de la evaporación 78 se irá a cero.

En el ejemplo específico que sigue, el firmware en el controlador 18 utilizará la información de la fecha para calcular el cambio en el tiempo, por ejemplo, delta tiempo, desde el último trabajo de impresión. El firmware comenzará determinando, por ejemplo, acumulando, una cantidad de tinta evaporada utilizando las ecuaciones:

en la que:

tasa es la tasa de evaporación;

T_0 Rendimiento es el rendimiento total del depósito de tinta, por ejemplo, el depósito de tinta 32, en el tiempo T_0 ;

T_1 es una primera longitud de tiempo medida desde el tiempo T_0 ;

Tiempo_{Actual} es el tiempo total acumulado T_t ; y

Rendimiento es la cantidad de evaporación de tinta, es decir, la pérdida, del depósito de tinta.

Cuando delta tiempo alcanza el tiempo T_1 , el firmware comenzará a determinar, por ejemplo, acumulando, una cantidad de tinta evaporada utilizando las ecuaciones:

en la que:

tasa es la tasa de evaporación;

T_0 Rendimiento es el rendimiento total del depósito de tinta, por ejemplo, el depósito de tinta 32, en el tiempo T_0 ;

T1 es una primera longitud de tiempo medida desde el tiempo T0;
 T2 es una segunda longitud de tiempo medida desde el tiempo T1;
 T2 + T1 es la suma de los tiempos T1 y T2 (véase, por ejemplo, la figura 3);
 Tiempo_{Actual} es el tiempo total acumulado Tt; y
 Rendimiento es la cantidad de evaporación de tinta del depósito de tinta.

Cuando delta tiempo alcanza el tiempo T2 + T1, el firmware comenzará a determinar, por ejemplo, acumulando, una cantidad de tinta evaporada utilizando las ecuaciones:

$$\text{tasa} = \frac{(\text{T0Rendimiento} * 0,67)}{\text{T3}}$$

$$\text{Recimiento} = \text{tasa} * \text{Tiempo}_{\text{Actual}} + \frac{(\text{T0Rendimiento} * ((\text{T3} + \text{T2} + \text{T1}) * 0,67))}{\text{T3}}$$

en las que:

tasa es la tasa de evaporación;
 T0Rendimiento es el rendimiento total del depósito de tinta, por ejemplo, el depósito de tinta 32, en el tiempo T0;
 T1 es una primera longitud de tiempo medida desde el tiempo T0;
 T2 es una segunda longitud de tiempo medida desde el tiempo T1;
 T3 es una tercera longitud de tiempo medida desde el tiempo T2;
 T3 + T2 + T1 es la suma de los tiempos T1, T2 y T3 (véase, por ejemplo, la figura 3);
 Tiempo_{Actual} es el tiempo total acumulado Tt; y
 Rendimiento es la cantidad de evaporación de tinta del depósito de tinta.

En las realizaciones que utilizan el servidor 8, en el caso de que el tiempo del ordenador central sea incorrecto, el delta máximo en la tasa de evaporación se puede basar en un delta tiempo máximo, por ejemplo, un delta tiempo de dos semanas. Por ejemplo, si la tasa de evaporación es de 200 páginas por mes y el delta tiempo calculado es de 3 meses, entonces la evaporación puede limitarse a 100 páginas. Sin embargo, el tiempo puede ajustarse en función del tiempo leído desde el cabezal de impresión incluso si el delta tiempo es superior a dos semanas.

REIVINDICACIONES

1. Depósito de tinta (30, 32) que tiene una memoria (72) asociada con el mismo, en el que dicha memoria almacena parámetros asociados con una curva de predicción de la evaporación (75, 78) que aproximadamente sigue una curva de evaporación empírica (76), **caracterizado por que** dicha curva de predicción de la evaporación se establece utilizando múltiples índices de evaporación.
2. Depósito de tinta según la reivindicación 1, en el que uno de los parámetros comprende un tiempo (T0) de llenado del depósito de tinta.
3. Depósito de tinta según la reivindicación 1 ó 2, en el que la curva de evaporación empírica (76) se almacena en la memoria (72).
4. Depósito de tinta según la reivindicación 3, en el que la curva de evaporación empírica (76) se almacena en la memoria (72) en forma de una tabla de consulta.
5. Depósito de tinta según cualquier reivindicación anterior, en el que uno de los parámetros comprende un rendimiento total (T0Rendimiento) del depósito de tinta (30, 32).
6. Depósito de tinta según la reivindicación 5, en el que el rendimiento total del depósito de tinta (30, 32) comprende la cantidad de tinta disponible en un depósito de tinta cuando se llena inicialmente con tinta y antes de cualquier evaporación.
7. Depósito de tinta según cualquier reivindicación anterior, en el que la memoria (72) comprende una memoria programable una sola vez.
8. Depósito de tinta según cualquier reivindicación anterior, en el que al menos uno de un número de identificación y un valor que representa una cantidad de uso del depósito de tinta (30, 32) también se almacena en la memoria (72).
9. Depósito de tinta según cualquier reivindicación anterior, en el que la curva de evaporación empírica (76) se establece para un tipo de depósito de tinta.
10. Depósito de tinta (30, 32) según la reivindicación 9, en el que el tipo de depósito de tinta comprende al menos una de un tipo de tinta, la capacidad de fluido del depósito de tinta y la configuración del depósito de tinta.
11. Depósito de tinta (30, 32) según cualquier reivindicación anterior, en el que uno de los parámetros comprende una cantidad de tiempo (T1) desde un tiempo (T0) de relleno del depósito de tinta a un tiempo cuando la curva de predicción de la evaporación (75, 78) está en un primer porcentaje de un rendimiento total (T0Rendimiento) del depósito de tinta que es utilizable.
12. Depósito de tinta (30, 32) según la reivindicación 11, en el que uno de los parámetros comprende una cantidad de tiempo (T2) desde el tiempo cuando la curva de predicción de la evaporación (75, 78) está en el primer porcentaje del rendimiento total (T0Rendimiento) del depósito de tinta (30, 32) y un tiempo cuando la curva de predicción de la evaporación (75, 78) está en un segundo porcentaje del rendimiento total (T0Rendimiento) del depósito de tinta.
13. Depósito de tinta según la reivindicación 12, en el que uno de los parámetros comprende una cantidad de tiempo (T3) desde el tiempo cuando la curva de predicción de la evaporación está en el segundo porcentaje de rendimiento total (T0Rendimiento) del depósito de tinta y un tiempo cuando la curva de predicción de la evaporación está en un porcentaje cero del rendimiento total (T0Rendimiento) del depósito de tinta.
14. Cartucho de cabezal de impresión unitario, en el que el depósito de tinta (30, 32) según cualquier reivindicación anterior se combina con un cabezal de impresión para formar el cartucho de cabezal de impresión unitario.
15. Cartucho de cabezal de impresión unitario según la reivindicación 14, en el que la memoria (72) está formada integral con otros componentes eléctricos en el silicio del cabezal de impresión.
16. Procedimiento de predicción de la evaporación de tinta para un depósito de tinta (30, 32), que comprende:
 - establecer una curva de evaporación empírica (76) que representa características de evaporación para un tipo de depósito de tinta, perteneciendo dicho depósito de tinta a dicho tipo de depósito de tinta, y caracterizado por utilizar múltiples índices de evaporación para establecer una curva de predicción de la evaporación (75, 78) para dicho depósito de tinta (30, 32) que se aproxima a dicha curva de evaporación empírica.
17. Procedimiento según la reivindicación 16, en el que un acto de aproximación de dicha curva de evaporación empírica (76) se realiza cambiando la pendiente de dicha curva de predicción de la evaporación (75, 78) en puntos

predeterminados en el tiempo para aproximarse una pendiente de dicha curva de evaporación empírica.

18. Procedimiento según la reivindicación 16, que también comprende:

- 5 determinar una cantidad de evaporación sobre la base de dicha curva de predicción de la evaporación (75, 78) para dicho depósito de tinta; y
 utilizar dicha cantidad de evaporación para compensar una pérdida por evaporación de dicho depósito de tinta mediante el ajuste de un recuento de gotas de tinta acumulado real para formar un recuento de gotas de evaporación compensado.

10 19. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que dicha cantidad de evaporación se representa como un recuento de gotas de tinta equivalente, y en el que dicho recuento de gotas de evaporación compensado es la suma acumulativa de dicho recuento real de gotas de tinta y dicho recuento equivalente de gotas de tinta.

15 20. Procedimiento según la reivindicación 16, en el que dicho depósito de tinta se combina con un cabezal de impresión para formar un cartucho de cabezal de impresión unitario.

20 21. Procedimiento según la reivindicación 20, en el que dicha curva de predicción de la evaporación también está asociada con dicho cabezal de impresión.

25 22. Procedimiento de predicción de evaporación de tinta según la reivindicación 16 para un depósito de tinta que tiene características de evaporación de tinta representadas mediante una curva de evaporación empírica (76) determinada para un tipo depósito de tinta, perteneciendo dicho depósito de tinta (30, 32) a dicho tipo de depósito de tinta, asociando dicho procedimiento un respectivo índice de evaporación para cada uno de una pluralidad de
 segmentos de tiempo asociados con dicha curva de evaporación empírica, basándose dicho índice respectivo de evaporación en un algoritmo de aproximación respectivo asociado con cada uno de dicha pluralidad de segmentos de tiempo.

30 23. Procedimiento según la reivindicación 22, en el que dicha pluralidad de segmentos de tiempo son consecutivos, comenzando desde un tiempo inicial.

24. Procedimiento según la reivindicación 22, en el que cada dicho algoritmo de aproximación respectivo asociado con cada uno de dicha pluralidad de segmentos de tiempo está representado por una ecuación lineal.

35 25. Procedimiento según la reivindicación 22, en el que dicha pluralidad de segmentos de tiempo se extienden desde un tiempo inicial, antes de cualquier pérdida por evaporación, a un tiempo final cuando dicha pérdida por evaporación agotaría una fuente útil de tinta en dicho depósito de tinta.

40 26. Procedimiento según la reivindicación 22, realizándose dicho procedimiento mediante un controlador en un aparato de formación de imágenes.

27. Procedimiento según la reivindicación 22, que también comprende la determinación de una cantidad de evaporación de la tinta sobre la base de dicho índice respectivo de evaporación.

45 28. Procedimiento según la reivindicación 27, en el que dicha cantidad de evaporación de tinta se representa como un recuento de gotas de tinta equivalente.

29. Cabezal de impresión, que comprende el depósito de tinta y la memoria según la reivindicación 1,

50 en el que una impresora en la que está instalado el cabezal de impresión ejecuta instrucciones para:
 determinar una cantidad de evaporación sobre la base de dicha curva de predicción de la evaporación para dicho depósito de tinta; y
 usar dicha cantidad de evaporación para compensar una pérdida por evaporación de dicho depósito de tinta mediante el ajuste de un recuento acumulado de gotas de tinta para formar un recuento compensado de gotas de evaporación.

55 30. Cabezal de impresión según la reivindicación 29, en el que dicho cabezal de impresión y dicho depósito de tinta se combinan como un cartucho de cabezal de impresión unitario.

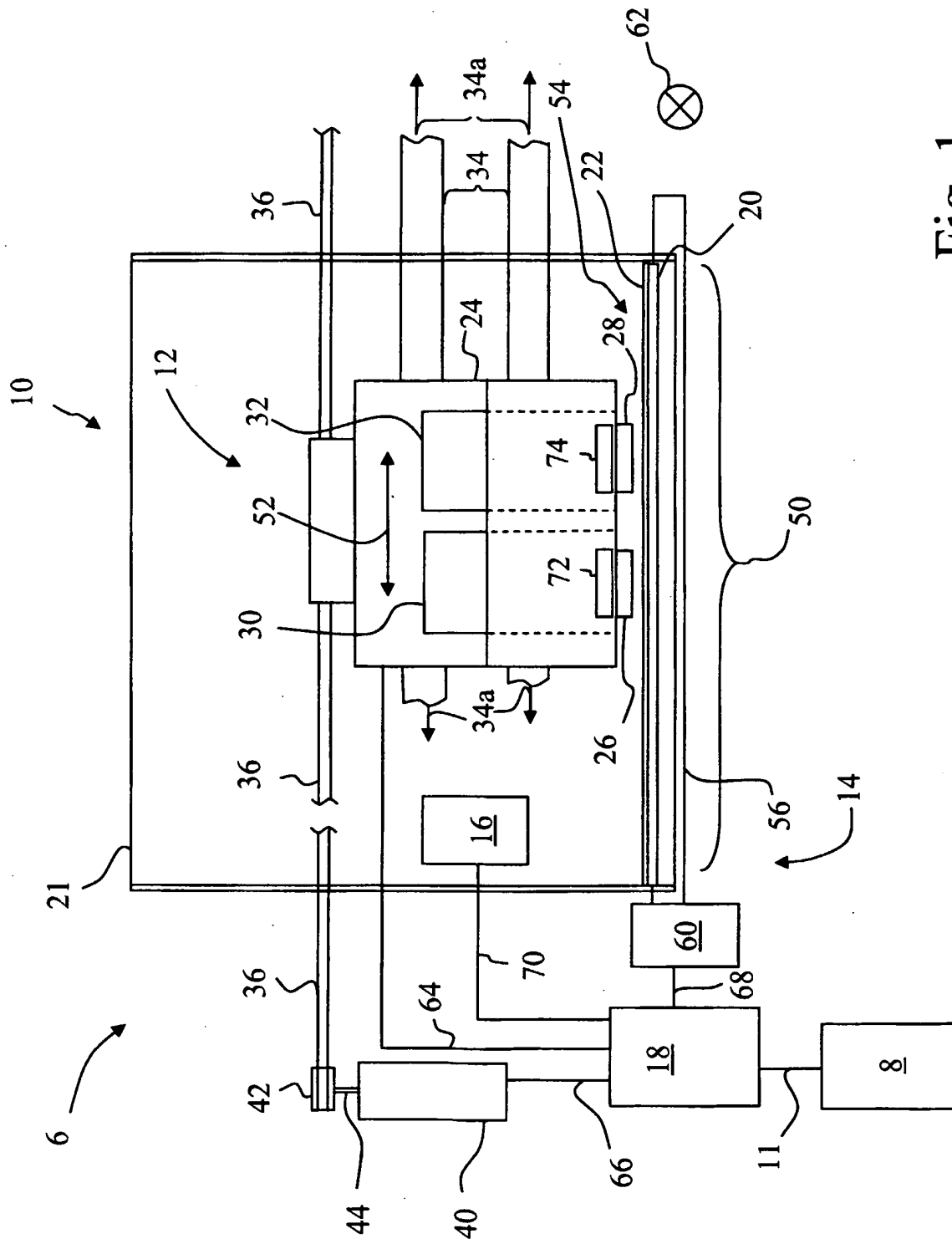


Fig. 1

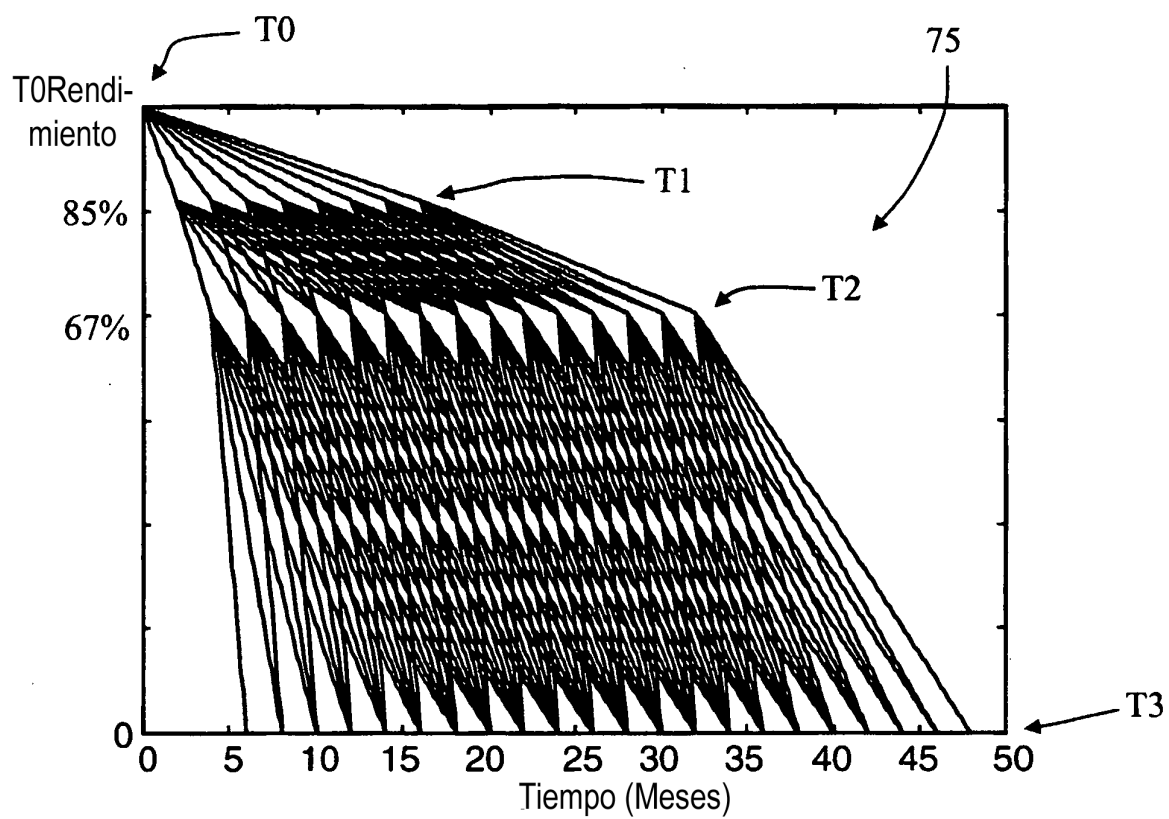


Fig. 2

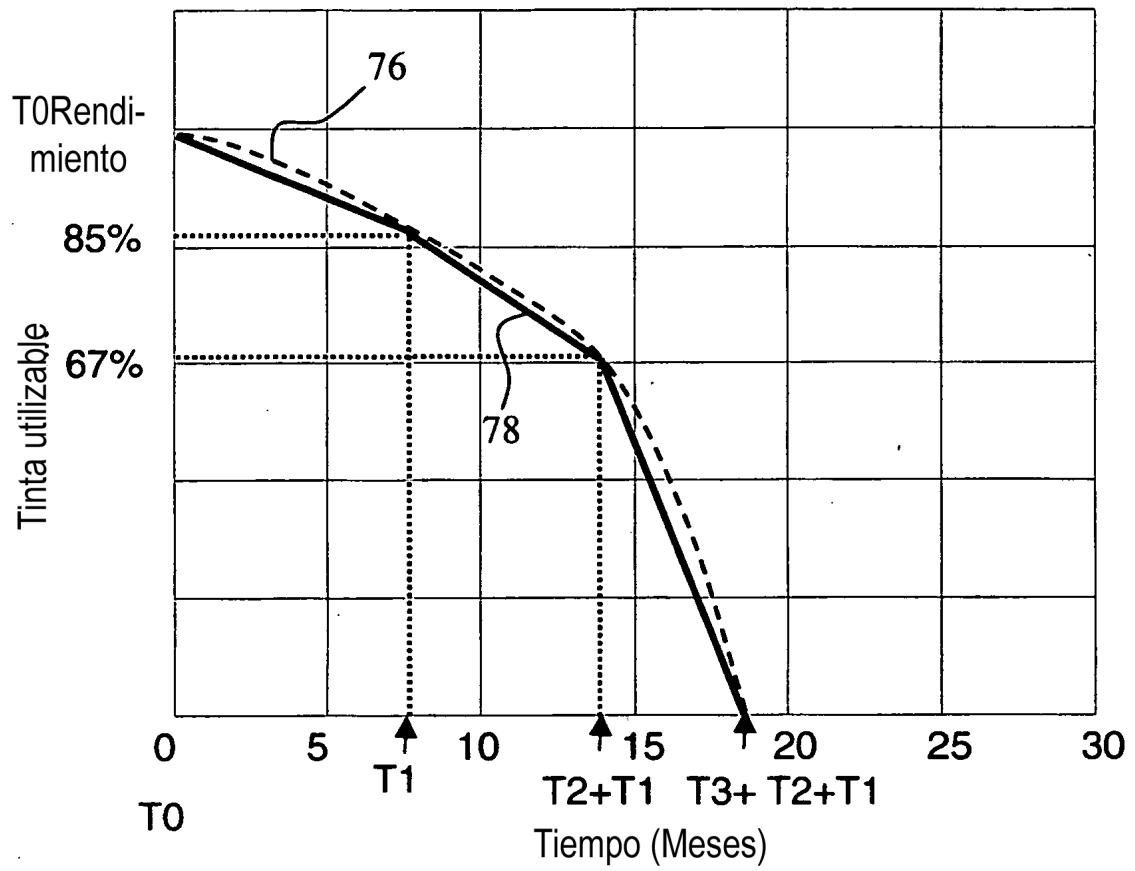


Fig. 3

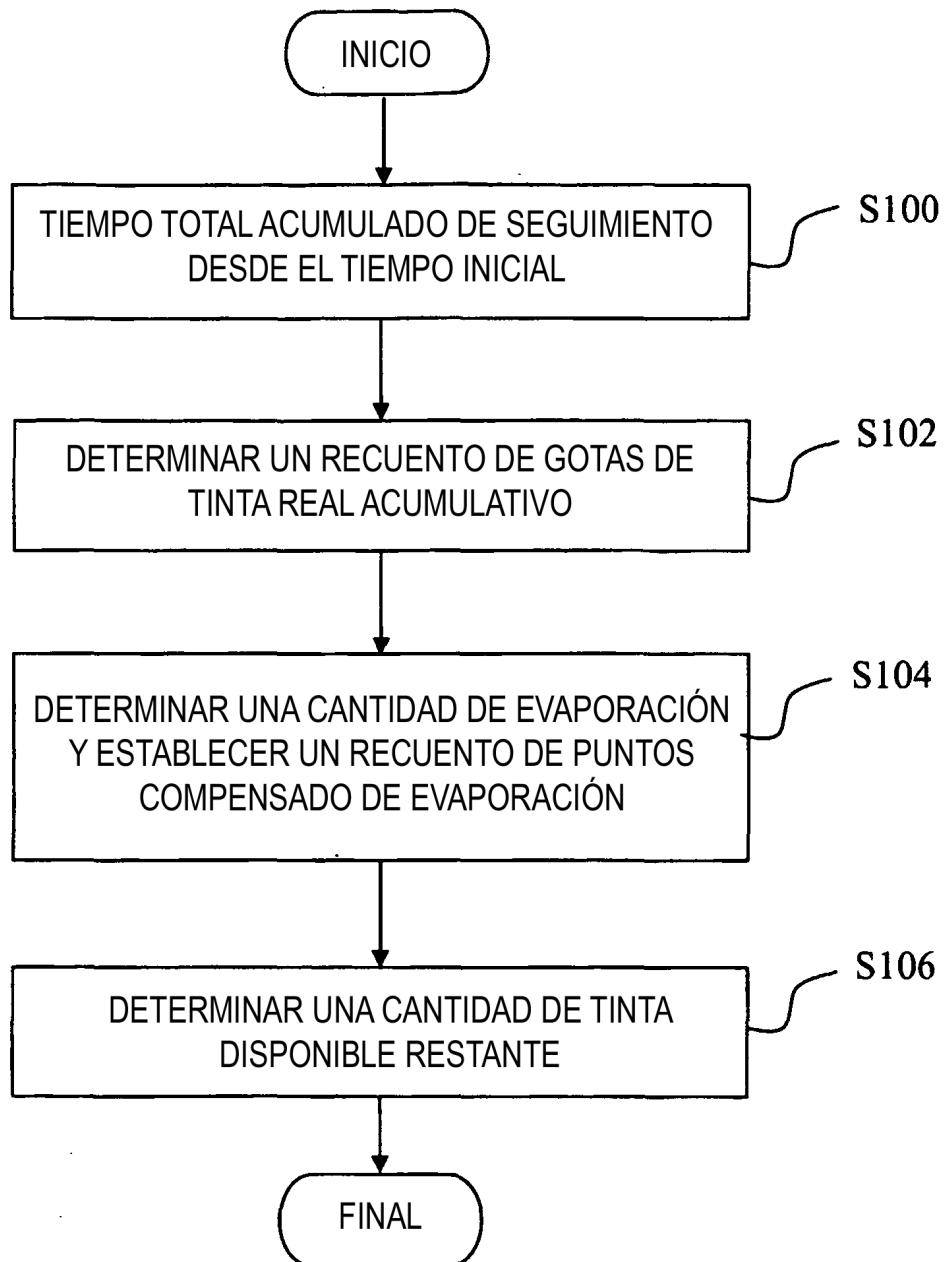


Fig. 4

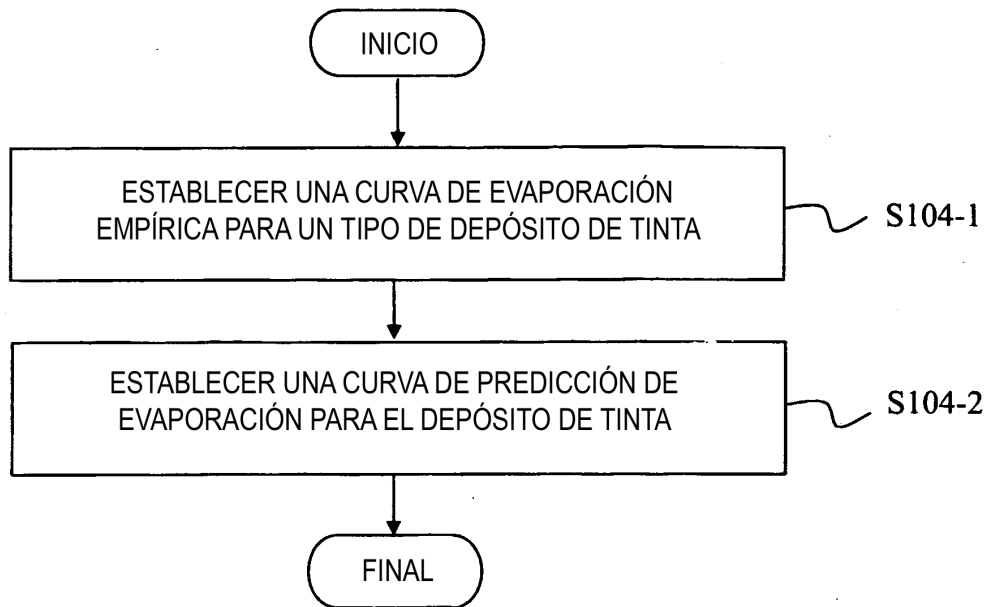


Fig. 5.