

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE CRIÓGENO DE VELOCIDAD VARIABLE

MEMORIA DESCRIPTIVA

PRIORIDAD

Esta solicitud reivindica el derecho de prioridad de la Solicitud de Patente de Estados Unidos presentada el 18 de agosto de 2017 con el número de solicitud 15 / 681,123 y la Solicitud Provisional de Estados Unidos, titulada "Sistema de Dosificación de Criógeno de Velocidad Variable", presentada el 18 de agosto de 2016 y con el número de solicitud 62 / 376,598.

CAMPO

El campo de la presente invención se refiere generalmente a botellas de plástico. Más particularmente, el campo de la invención se refiere a un sistema y método de dosificación de criógeno capaz de mantener una presión final deseada dentro de botellas de plástico durante velocidades variables de la línea de producción.

ARTE PREVIO

Muchos fabricantes de bebidas no carbonatadas, como agua, jugos, té y similares, generalmente dependen de botellas formadas de tereftalato de polietileno (PET). A lo largo de los años, las presiones medioambientales y el costo elevado han llevado al uso de botellas de PET de paredes más delgadas, lo que reduce el peso de los polímeros de PET en las botellas, lo que da como resultado botellas estructuralmente más débiles. Sin embargo, después del llenado, las botellas deben apilarse para que puedan ser transportadas a los clientes. Como se apreciará, las botellas débiles en la parte inferior de una paleta pueden doblarse bajo el peso de las botellas anteriores, creando condiciones inseguras y costosas pérdidas de productos.

Una técnica para aumentar la resistencia de la botella al tiempo que minimiza el contenido de PET de las botellas es presurizar las botellas con un gas comprimido o un criógeno inerte, como el gas nitrógeno. Como se apreciará, el gas nitrógeno es particularmente ventajoso debido a que está disponible en forma líquida y es inerte, por lo que protege el contenido de la botella de la oxidación que puede causar deterioro y pérdida de ingresos. Además, una cantidad de gas nitrógeno ocupa un volumen de varios órdenes de magnitud mayor que una cantidad

equivalente de nitrógeno líquido, lo que hace que el gas nitrógeno sea muy adecuado para presurizar bebidas no carbonatadas.

Los sistemas de dosificación de nitrógeno líquido comúnmente utilizados en las instalaciones de embotellado típicamente agregan un volumen predeterminado de nitrógeno líquido, como una gota, al contenido de una botella antes de sellar rápidamente la botella. A medida que la temperatura del nitrógeno líquido aumenta dentro de la botella, el nitrógeno líquido atrapado se vaporiza en nitrógeno gaseoso aumentando la presión dentro de la botella. La presión aumenta la rigidez de la botella, por lo que la botella es lo suficientemente firme como para apilar y enviar.

Como se apreciará, la presión final dentro de las botellas depende de la cantidad de tiempo que transcurre entre la dosificación y el sellado de las botellas. Como tal, la velocidad con la que se mueven las botellas a lo largo de una línea de producción influye directamente en la presión final. Los sistemas de dosificación comercialmente disponibles generalmente son capaces de mantener una presión final constante dentro de las botellas a una variedad de velocidades de línea de producción. Mientras la velocidad de la línea de producción no cambie, se puede lograr una presión final deseada.

Sin embargo, un inconveniente de los sistemas de dosificación convencionales es que generalmente no pueden mantener una presión final constante dentro de las botellas durante cambios en la velocidad de la línea de producción o en líneas de producción de velocidad variable. Por ejemplo, a medida que aumenta la velocidad de la línea, la presión final dentro de las botellas se vuelve demasiado alta, produciendo botellas que son incapaces de estar de pie. Durante una velocidad de línea decreciente, la presión final se vuelve demasiado baja, produciendo botellas que son demasiado débiles para ser apiladas, como se describió anteriormente. Lo que se necesita, por lo tanto, es un sistema de dosificación de criógeno capaz de mantener la presión final deseada dentro de las botellas de PET durante el cambio de velocidad de la línea de producción.

RESUMEN

Se proporciona un aparato y un método para una línea de producción de llenado y sellado de envases que produzca una presión final deseada de contenidos líquidos dentro de botellas de

tereftalato de polietileno (PET) durante velocidades variables de la línea de producción. La línea de producción de llenado y sellado de envases comprende un llenador de botellas que está configurado para recibir botellas de PET fabricadas por equipos de fabricación de botellas y llenar las botellas de PET con contenido líquido. Un sistema de dosificación de criógeno configurado para agregar volumen de criógeno a los contenidos líquidos. Un sellador de botellas configurado para tapar las botellas de PET y atrapar el contenido de criógeno y líquido, de modo que la vaporización del criógeno aporte la presión final deseada del contenido de líquido dentro de las botellas de PET. Una primera línea de comunicación permite que el llenador de botellas pase información al sistema de dosificación de criógeno sobre los próximos cambios en la velocidad de producción, de manera que el sistema de dosificación de criógeno ajuste el volumen del criógeno.

En una realización ejemplar, una línea de producción de llenado y sellado de envases para producir una presión final deseada de contenidos líquidos dentro de envases durante las velocidades variables de la línea de producción comprende: un llenador de envases configurado para recibir envases fabricados por equipos de fabricación y llenar los envases con contenidos líquidos; un sistema de dosificación de criógeno configurado para agregar un volumen de un gas líquido a los contenidos líquidos; un sellador de envases configurado para sellar los envases y atrapar el contenido de gas líquido y líquido, de manera que la vaporización del gas líquido aporta la presión final deseada de contenido de líquido dentro de los envases; y una primera línea de comunicación por la cual el llenador de envases pasa información al sistema de dosificación de criógeno sobre los próximos cambios en la velocidad de producción, el sistema de dosificación de criógeno ajusta el volumen del gas líquido de acuerdo con la información.

En otra realización ejemplar, el gas líquido está compuesto por un criógeno. En otra realización ejemplar, una segunda línea de comunicación por la cual el sistema de dosificación de criógeno pasa información de retroalimentación al llenador de envases. En otra realización ejemplar, los contenidos líquidos comprenden una bebida no carbonatada, tal como agua, jugo, té y similares. En otra realización ejemplar, el gas líquido comprende nitrógeno líquido.

En otra realización ejemplar, la información incluye cualquiera de una tasa de cambio en la velocidad, una duración del cambio en la velocidad, una sincronización de la dosis de criógeno,

una duración de una dosificación de criógeno individual, una duración entre la dosificación y el sellado de cada envase, y similares. En otra realización ejemplar, el sistema de dosificación de criógeno usa la información para calcular la duración de la dosificación de criógeno requerida para producir la presión final deseada dentro de los envases. En otra realización ejemplar, el llenador de envases calcula la duración de la dosificación de criógeno requerida para producir la presión final deseada dentro de los envases y luego pasa la información resultante al sistema de dosificación de criógeno a través de la primera línea de comunicación. En otra realización ejemplar, la duración de la dosificación de criógeno se calcula como una función lineal de la duración entre la dosificación y el sellado de los envases.

En otra realización ejemplar, la información de retroalimentación incluye cualquiera de una sincronización de la dosis de criógeno, una duración de la dosis de criógeno y similares. En otra realización ejemplar, el llenador de envases y el sistema de dosificación de criógeno realizan una parte de los cálculos necesarios para producir la presión final deseada y luego intercomunican la información resultante entre sí a través de la primera y la segunda línea de comunicación. En otra realización ejemplar, al menos el llenador de envases comprende un controlador lógico programable (PLC) configurado para procesar instrucciones almacenadas en un medio legible por máquina no transitorio, como una memoria. En otra realización ejemplar, el PLC incorporado en el llenador de envases procesa las instrucciones almacenadas para hacer que la línea de producción de llenado y sellado del envase realice operaciones para producir la presión final deseada dentro de los envases.

En otra realización ejemplar, cualquiera del llenador de envases, el sistema de dosificación de criógeno o el sellador de envases comprende un PLC y se intercomunican por medio de al menos la primera y segunda líneas de comunicación para producir la presión final deseada dentro de los envases. En otra realización ejemplar, cualquiera del llenador de envases, del sistema de dosificación de criógeno o del sellador de envases que comprende un PLC, puede estar conectado a una red de área local (LAN). En otra realización ejemplar, la primera y segunda líneas de comunicación comprenden conexiones físicas cableadas que transmiten un protocolo de comunicación establecido, como RS-232, Ethernet TCP / IP, y similares. En otra realización ejemplar, la primera y segunda líneas de comunicación comprenden conexiones inalámbricas, como Wi-Fi, Bluetooth u otras conexiones inalámbricas similares. En otra realización ejemplar, el PLC incorporado en cualquiera de el llenador de envases, el sistema de

dosificación de criógeno o el sellador de envases puede configurarse para permitir la interacción humana, de modo que la línea de producción de sellado y llenado de envases se pueda cambiar a un modo operativo manual.

En una realización ejemplar, un método para producir una presión final deseada de contenidos líquidos dentro de envases durante velocidades variables de la línea de producción comprende: configurar un llenador de botellas para llenar los envases con los contenidos líquidos y obtener información sobre la velocidad de la línea de producción; calibrar un controlador lógico programable (PLC) para determinar la duración de la dosificación de criógeno en función de la velocidad de la línea de producción, estando el PLC acoplado al llenador de botellas; calcular la próxima duración de la dosificación de criógeno necesaria para producir la presión final deseada en función de la próxima velocidad de la línea de producción; pasar la próxima duración de la dosificación de criógeno a un sistema de dosificación de criógeno; y sellar los envases para atrapar el criógeno y el contenido líquido, de modo que la vaporización del criógeno aporte la presión final deseada del contenido líquido dentro de los envases.

En otra realización ejemplar, la calibración comprende desarrollar una relación lineal entre la duración de la dosificación de criógeno y la duración que transcurre entre la dosificación de criógeno y el sellado de las botellas de PET. En otra realización ejemplar, el desarrollo comprende al menos operar la línea de producción a una primera velocidad constante y una segunda velocidad constante, siendo la segunda velocidad constante mayor que la primera velocidad constante, ajustando la duración de la dosificación de criógeno durante cada una de las primeras y segundas velocidades constantes tales que se produce la presión final deseada dentro de los envases, y el uso de las duraciones de la dosificación de criógeno para aplicar la relación lineal para sustancialmente todas las velocidades de la línea de producción. En otra realización ejemplar, el cálculo comprende identificar la próxima velocidad de la línea de producción, determinar la duración correspondiente entre la dosificación de criógeno y el sellado de los envases, y calcular la duración correspondiente de la dosificación de criógeno que aporta la presión final del contenido líquido a los envases.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las figuras se refieren a realizaciones de la presente invención en las que:

La figura 1 ilustra un esquema de una realización ejemplar de una línea de producción de llenado y sellado de envases que comprende un sistema de dosificación de criógeno, de acuerdo con la presente invención.

Aunque la presente invención está sujeta a diversas modificaciones y formas alternativas, sus realizaciones específicas se han mostrado a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán aquí en detalle. Debe entenderse que la invención no está limitada a las formas particulares divulgadas, sino que, por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que se encuentran dentro del espíritu y alcance de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la presente invención. Sin embargo, será evidente para un experto en la materia que la invención aquí descrita se puede poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, se pueden hacer referencias numéricas específicas como "primera botella". Sin embargo, la referencia numérica específica no debe interpretarse como un orden secuencial literal, sino que debe interpretarse que la "primera botella" es diferente de una "segunda botella". Por lo tanto, los detalles específicos establecidos son meramente ejemplares. Los detalles específicos pueden variar y aún contemplarse dentro del espíritu y alcance de la presente invención. El término "acoplado" se define como un significado conectado directamente al componente o indirectamente al componente a través de otro componente. Además, como se usa en este documento, los términos "alrededor de", "aproximadamente" o "sustancialmente" para cualquier valor o rango numérico indican una tolerancia dimensional adecuada que permite que la parte o colección de componentes funcione para su propósito previsto como se describe aquí.

En general, la presente invención describe un aparato y un método para que una línea de producción de llenado y sellado de envases produzca una presión final deseada de contenidos líquidos dentro de envases durante las velocidades variables de la línea de producción. En algunas realizaciones, los envases que están siendo presurizados pueden ser botellas de tereftalato de polietileno (PET). Sin embargo, como debería ser fácilmente evidente para los expertos en la técnica, el aparato y los métodos descritos en este documento no se limitan a

presurizar botellas de PET. Más bien, aunque las botellas de PET se analizan específicamente en los párrafos siguientes, debe entenderse que el aparato y el método aquí descritos pueden incorporarse en la producción de una amplia variedad de productos consumibles envasados que pueden necesitar envases a presión como, a modo de ejemplo no limitativo, diversos alimentos, medicamentos, así como productos bebestibles.

En algunas realizaciones, la línea de producción de llenado y sellado de envases comprende un llenador de botellas configurado para recibir botellas de PET fabricadas por equipos de fabricación de botellas y llenar las botellas de PET con contenidos líquidos no carbonatados, tales como agua, jugo, té y similares. Un sistema de dosificación de criógeno configurado para agregar un volumen de un criógeno, como nitrógeno líquido, a los contenidos líquidos. Un sellador de botellas configurado para tapar las botellas de PET y atrapar el contenido de criógeno y líquido, de modo que la vaporización del criógeno aporta la presión final deseada del contenido de líquido dentro de las botellas de PET. Una primera línea de comunicación permite al llenador de botellas pasar información al sistema de dosificación de criógeno sobre los próximos cambios en la velocidad de producción, de manera que consecuentemente el sistema de dosificación de criógeno ajusta el volumen del criógeno. En una realización, la información puede incluir cualquiera de una tasa de cambio en la velocidad, una duración del cambio en la velocidad, una sincronización de la dosis de criógeno, una duración de una dosificación de criógeno individual, una duración entre la dosificación y el sellado de cada botella, y similares. En una realización, el llenador de botellas puede calcular la duración de la dosificación de criógeno requerida para producir la presión final deseada dentro de las botellas y luego pasar la información resultante al sistema de dosificación de criógeno a través de la primera línea de comunicación. Una segunda línea de comunicación opcional permite que el sistema de dosificación de criógeno pase información de retroalimentación al llenador de botellas, como el tiempo de la dosis de criógeno o la duración de la dosis de criógeno.

La Figura 1 ilustra una realización ejemplar de una línea de producción de llenado y sellado de envases 100 que comprende un sistema de dosificación de criógeno. Como se muestra, la línea de producción 100 comienza con el equipo de fabricación de botellas 104, por lo que se fabrican múltiples botellas de tereftalato de polietileno (PET) 108 vacías. El equipo de fabricación de botellas 104 generalmente comprende todas aquellas máquinas determinadas típicamente utilizadas para producir botellas de PET 108 que están listas para llenarse con

contenidos líquidos. Las botellas de PET 108 vacías se pasan luego a un llenador de botellas 112 configurado para llenar las botellas con un volumen predeterminado de contenido líquido. Preferiblemente, los contenidos líquidos comprenden una bebida no carbonatada, tal como agua, jugo, té y similares.

Como se explica en el presente documento, una ausencia de carbonatación requiere presurizar las botellas de PET 108, de modo que las botellas en el fondo de un pallet apilado no se doblen bajo el peso de las botellas de arriba. Por lo tanto, presurizar las botellas PET 108 aporta un grado de rigidez adecuado para apilar las botellas. Después de recibir el contenido en el llenador de botellas 112, las botellas de PET se pasan a un sistema de dosificación de criógeno 116. Sin embargo, en algunas realizaciones, el sistema de dosificación de criógeno 116, así como un sellador de botellas, pueden ubicarse dentro del llenador de botellas 112. En la realización ilustrada en la Fig. 1, el sistema de dosificación de criógeno 116 agrega un volumen predeterminado de un gas líquido, como una gota de nitrógeno líquido, al contenido de cada una de las botellas de PET 108 antes de que las botellas pasen a un sellador de botellas 120. Como se apreciará, la temperatura del nitrógeno líquido aumenta inmediatamente al entrar en la botella y, por lo tanto, el nitrógeno líquido comienza a vaporizarse en nitrógeno gaseoso. Una vez que el sellador de botellas 120 tapa la botella, el nitrógeno que se evapora queda atrapado, lo que aumenta la presión dentro de la botella. La presión aumenta la rigidez de la botella, por lo que la botella es lo suficientemente firme como para apilarse en pallets. Como se muestra en la Fig. 1, la línea de producción 100 pasa una multiplicidad de botellas presurizadas 124 desde el sellador de botellas 120 al equipo de envasado de botellas 128. En algunas realizaciones, la presión interna dentro de las botellas presurizadas 124 puede estar dentro de un rango de sustancialmente 2,5 PSI y 4,5 PSI. En una realización, las botellas presurizadas 124 tienen una presión interna de sustancialmente 4,0 PSI. Se contempla, sin embargo, que también se pueden lograr ventajosamente presiones internas más bajas. Como se reconocerá, el equipo de envasado de botellas 128 comprende todas aquellas máquinas determinadas generalmente utilizadas para envasar las botellas presurizadas 124 y apilar las botellas en pallets para preparar el envío.

Como se apreciará, la presión final dentro de las botellas 124 depende de la cantidad de tiempo que transcurre durante el paso de la botella desde el sistema de dosificación de criógeno 116 y el sellador de botella 120. Por lo tanto, la velocidad con la que las botellas de PET 108 se

mueven a lo largo de la línea de producción 100 tiene una relación directa con la presión final dentro de las botellas 124. El sistema de dosificación de criógeno 116 es capaz de producir una presión sustancialmente constante dentro de las botellas 124 siempre que la línea de producción 100 se mueva a una velocidad constante. En una realización, el sistema de dosificación de criógeno 116 es capaz de producir una presión final deseada entre 2,5 PSI y 4,5 PSI dentro de las botellas 124 con una precisión de sustancialmente ± 1 PSI, durante cualquier velocidad constante de la línea de producción entre 242 botellas por minuto (BPM) y 1200 BPM.

Como se apreciará, durante las velocidades variables de la línea de producción, como cuando la línea de producción 100 está aumentando o disminuyendo la velocidad, la cantidad de tiempo entre la dosificación y el sellado de cada botella está cambiando. Además, en algunos casos, la tasa de cambio en la velocidad de la línea de producción también puede ser variable. Por lo tanto, la cantidad de dosificación de criógeno aplicada a las botellas 108 debe ajustarse en proporción al cambio en la velocidad de la línea de producción para producir la presión final deseada en las botellas 124 durante todas las velocidades de la línea de producción. En algunas realizaciones, la cantidad de dosificación de criógeno aplicada a las botellas 108 puede ajustarse en proporción inversa al tiempo entre la dosificación y el sellado de la botella. Para este fin, una línea de comunicación 132 se extiende desde el llenador de botellas 112 hasta el sistema de dosificación de criógeno 116, como se ilustra en la Fig. 1. La línea de comunicación 132 permite que la información relacionada con la velocidad de la línea de producción 100 se pase del llenador de botellas 112 al sistema de dosificación de criógeno 116. En una realización, el llenador de botellas 112 puede pasar información al sistema de dosificación de criógeno 116 sobre un próximo cambio en la velocidad antes de que ocurra el cambio en la velocidad. La información puede incluir, pero no es necesariamente limitado a, una tasa de cambio en la velocidad, una duración del cambio en la velocidad, una sincronización de la dosis de criógeno, una duración t_d de una dosificación de criógeno individual, una duración t_u entre la dosificación y el sellado de cada botella 108, y similares. El sistema de dosificación de criógeno 116 puede utilizar entonces la información recibida para calcular una cantidad o duración de la dosificación de criógeno requerida para producir la presión final deseada dentro de las botellas 124.

En algunas realizaciones, el llenador de botellas 112 puede calcular la cantidad o la duración de la dosificación de criógeno requerida para producir la presión final deseada dentro de las

botellas 124 y luego pasar la información resultante al sistema de dosificación de criógeno 116 a través de la línea de comunicación 132. En algunas realizaciones, el sistema de dosificación de criógeno 116 puede pasar información de retroalimentación relacionada con la sincronización de la dosis de criógeno o la duración de la dosis de criógeno al llenador de botellas 112 por medio de una línea de comunicación 136. En algunas realizaciones, el llenador de botellas 112 y el sistema de dosificación de criógeno 116 pueden realizar una parte de los cálculos necesarios para producir la presión final deseada dentro de las botellas 124, y luego intercomunicar los resultados entre sí por medio de las líneas de comunicación 123, 136.

Debe entenderse que al menos el llenador de botellas 112 puede estar compuesto por un controlador lógico programable (PLC), un sistema PLC automatizado y/o una computadora estándar que está configurada para procesar instrucciones almacenadas en medio legible por máquina no transitorio, como una memoria. Como tal, el PLC incorporado en el llenador de botellas 112 procesa las instrucciones almacenadas que causan que la línea de producción 100 realice operaciones periorales, que se analizan en este documento, para producir la presión final deseada dentro de las botellas 124. Sin embargo, en algunas realizaciones, cualquiera del llenador de botellas 112, del sistema de dosificación de criógeno 116, o del sellador de botellas 120 pueden comprender un PLC, e intercomunicarse mediante al menos las líneas de comunicación 132, 136 para producir la presión final deseada dentro de las botellas 124. Además, en algunas formas de realización, el PLC incorporado en cualquiera de los llenadores de botellas 112, el sistema de dosificación de criógeno 116 o el sellador de botellas 120 puede configurarse para permitir la interacción humana, de modo que la línea de producción 100 se pueda cambiar a un modo operativo manual.

En algunas realizaciones, cualquiera del llenador de botellas 112, del sistema de dosificación de criógeno 116, o del sellador de botellas 120 que comprende un PLC, pueden estar conectados en red a una red de área local (LAN). Por lo tanto, las líneas de comunicación 132, 136 pueden comprender conexiones físicas cableadas que transmiten un protocolo de comunicación establecido, tal como, a modo de ejemplo no limitativo, RS-232, Ethernet TCP / IP y similares. En algunas realizaciones, las líneas de comunicaciones 132, 136 pueden comprender conexiones inalámbricas, tales como Wi-Fi, Bluetooth u otras conexiones inalámbricas similares.

Debe entenderse que para una tasa de dosificación de criógeno particular, la presión deseada final de las botellas 124 es proporcional a la duración t_d durante la cual cada botella 108 se dosifica con criógeno e inversamente proporcional a la duración t_u entre la dosificación y el sellado de las botellas 108. Cuando la línea de producción 100 se mueve a una velocidad baja, la duración de cada dosis t_d debe aumentarse para compensar una duración t_u relativamente grande entre la dosificación y el sellado de las botellas 108. Sin embargo, al operar velocidades más rápidas de la línea de producción, las botellas 108 se moverán más rápidamente entre el sistema de dosificación de criógeno 116 y el sellador de botella 120, y por lo tanto, la duración de cada dosis t_d debe reducirse para compensar valores relativamente más pequeños de t_u . Como se apreciará, por lo tanto, cuando la velocidad de la línea de producción 100 está cambiando, la duración de la dosis t_d debe variar de acuerdo con la duración cambiante t_u durante la cual las botellas 108 están sin sellar. En la realización ilustrada en la Fig. 1, el valor de t_u generalmente depende del perfil de aceleración del llenador de botellas 112. Se prevé que el valor de t_u puede ser suministrado por un fabricante del llenador de botellas 112, calculado por medio de valores teóricos, o medidos experimentalmente por medio de cualquiera de varias técnicas, tales como, por ejemplo, no limitativo, acoplando un codificador rotatorio o una cámara de alta velocidad con el llenador de botellas.

Como reconocerán los expertos en la técnica, el volumen de criógeno inyectado en cada una de las botellas 108 es relativamente pequeño en comparación con el volumen de contenido líquido dentro de las botellas, y por lo tanto el criógeno aplicado tiene poco efecto sobre una temperatura promedio del contenido líquido. La velocidad de vaporización del criógeno será, por lo tanto, una función lineal del tiempo que puede expresarse en términos de t_d y t_u en la forma:

$$t_d = mt_u + b$$

donde m y b son constantes que dependen de una aplicación específica, y pueden determinarse en función de dos puntos de calibración mediante expresiones de la forma:

$$m = \frac{t_{d,i} - t_{d,j}}{t_{u,i} - t_{u,j}}$$

$$b = t_{d,k} - \frac{t_{d,i} - t_{d,j}}{t_{u,i} - t_{u,j}} t_{u,k}$$

donde i y j representan valores constantes de t_d y t_u durante dos velocidades operativas distintas del llenador de botellas 112, y k puede representar valores constantes de t_d y t_u durante cualquier velocidad elegida del llenador de botellas. Preferiblemente, sin embargo, i y j se eligen para representar respectivamente una velocidad más lenta y más rápida del llenador de botellas 112, y k puede ser igual a i o j .

Debe entenderse, por lo tanto, que para cualquier realización de la línea de producción 100, una vez que m y b se determinan, entonces la duración de la dosis t_d se puede determinar en tiempo real como una función de la duración t_u . En una realización experimental, la línea de producción 100 se hizo funcionar a una primera velocidad constante de 100 BPM y luego a una segunda velocidad constante de 1300 BPM. La observación directa del tiempo necesario para que las botellas 108 pasaran del sistema de dosificación de criógeno 116 al sellador de botellas 120 a cada velocidad produjo las duraciones respectivas sin sellar, $t_{u,100} = 9,6$ s y $t_{u,1300} = 0,73846$ s. El uso de estos valores de la duración sin sellar como dos puntos de calibración y la observación directa de la presión final en las botellas 124 condujeron a los valores correspondientes para la duración de la dosificación, dados por $t_{d,100} = 12,5$ ms y $t_{d,1300} = 10,0$ ms, respectivamente. Con dos valores conocidos de calibración para cada una de las duraciones sin sellar y la duración de la dosificación en la mano, los valores para m y b se determinaron así:

$$m = \frac{0,0125 - 0,0100}{9,6 - 0,73846} = 2,82118 \times 10^{-4}$$

$$b = (0,0125s) - \left(\frac{0,0125 - 0,0100}{9,6 - 0,73846} \right) (9,6s) = 9,79167 \times 10^{-3}s$$

Sustituyendo los valores calibrados de m y b en la relación lineal entre t_d y t_u , se obtuvo la expresión:

$$t_d = (2,82118 \times 10^{-4})t_u + (9,79167 \times 10^{-3}s)$$

Como se describió anteriormente, esta expresión permite un cálculo en tiempo real de la duración de la dosis t_d en función de la duración t_u durante la cual las botellas 108 pasan del sistema de dosificación de criógeno 116 al sellador de botellas 120. Por lo tanto, cuando la velocidad de la línea de producción 100 está cambiando, la duración de la dosis t_d se puede variar de acuerdo con la duración cambiante t_u en función del perfil de aceleración del llenador de botellas 112. Se debe entender además que los valores anteriores para m y b , así como la expresión para t_d , son específicos para la aplicación particular utilizada durante la experimentación. Varias otras realizaciones de la línea de producción 100 darán lugar a diferentes valores para m y b , y por lo tanto producirán diferentes relaciones entre t_d y t_u , sin limitación, y sin desviación más allá del espíritu y alcance de la presente invención.

Aunque la invención se ha descrito en términos de variaciones particulares y figuras ilustrativas, los expertos en la técnica reconocerán que la invención no está limitada a las variaciones o figuras descritas. Además, cuando los métodos y pasos descritos anteriormente indican ciertos eventos que ocurren en cierto orden, los expertos en la técnica reconocerán que el orden de ciertos pasos puede modificarse y que dichas modificaciones están de acuerdo con las variaciones de la invención. Además, algunos de los pasos se pueden realizar de manera concurrente en un proceso paralelo cuando sea posible, así como realizarse secuencialmente como se describió anteriormente. En la medida en que hay variaciones de la invención, que están dentro del espíritu de la invención o equivalentes a las invenciones encontradas en las reivindicaciones, es la intención que esta patente cubra esas variaciones también. Por lo tanto, la presente invención debe entenderse como no limitada por las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino únicamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.