

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA EMBOTELLADORA / TAPADORA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

Fabián Barrera Prieto

Ingeniero Electromecánico, Universidad Autónoma de Colombia. fbarrera6@gmail.com

Luis Felipe Barrera Salamanca

Ingeniero Electromecánico, Universidad Autónoma de Colombia. felipebarrera1991@gmail.com

Recibido: 03-06-2015, aceptado: 27-06-2015, versión final: 27-06-2015¹

RESUMEN

Este artículo describe el desarrollo de una máquina embotelladora y tapadora de cerveza artesanal, cuyo funcionamiento se basa en el principio de sobrepresión de los gases, dicha máquina está conformada principalmente por dos elementos innovadores, la válvula de llenado y la matriz de tapado, las cuales son las encargadas de cargar el líquido gasificado y sellar la botella con tapas tipo corona.

Inicialmente, se realiza un estudio de los procesos que se llevan a cabo actualmente relacionados con el llenado y el tapado de cerveza artesanal, luego se presentan los diseños de la válvula de llenado y de la matriz de tapado, se muestra la descripción del proceso y de los componentes de automatización que se implementaron para controlar y ejecutar cada función en el equipo y finalmente, se presenta el prototipo resultante de la embotelladora y tapadora de cerveza artesanal con cada elemento que la conforma.

Palabras clave: *Diseño, fabricación, automatización, embotelladora, tapadora, cerveza artesanal, válvula de llenado, matriz de tapado.*

ABSTRACT

This paper describes the development of a bottling and capping machine of craft beer, whose operation is based on the principle of pressure of gases, the machine is mainly composed of two innovative elements, the fill valve and the matrix capping, which are responsible for loading the gasified liquid and seal the bottle with crown type caps.

Initially, a study of the processes that are currently underway related to the filling and capping of craft beer, then the designs of the filling valve and capping matrix are presented, the description of the process is shown and automation components that were implemented to control and run each function in the team and finally, is presented the prototype resulting from the bottling and capping of craft beer with each element that makes up.

Keywords: *Design, manufacturing, automation, bottler, capper, craft beer, fill valve, capping matrix.*

¹ Este es el resultado de su trabajo de grado para obtener el título de ingenieros electromecánicos en la Fundación Universidad Autónoma de Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

La cerveza artesanal ha incursionado en el mundo comercial hasta el punto de que las personas naturales han decidido empezar a fabricarla como un alimento más de cocina, llegando a crear pequeñas empresas dedicadas únicamente a la fabricación de dicha bebida.

La máquina fue diseñada, automatizada y fabricada con capacidad de embotellar y tapar el producto de las microempresas dedicadas a la producción de cerveza artesanal. La válvula de llenado y la matriz de tapado son dos elementos innovados y desarrollados por los autores de este trabajo de investigación, que se describen en este artículo, mostrando el estudio realizado para cada uno de estos componentes.

La válvula de llenado, compuesta por ocho piezas, basa su funcionamiento en la apertura y cierre del paso del líquido mediante acciones mecánicas que se producen de movimientos verticales, de la misma manera funciona la matriz de tapado, que consta de cinco elementos, y hace una presión adecuada en el pico de la botella para obtener un buen sellado mediante las tapas tipo corona.

En cuanto a la automatización, el equipo cuenta con un PLC (Controlador Lógico Programable), que se encarga de agrupar y sincronizar todos los elementos funcionales de la máquina, integrando las señales de entrada y de salida por medio de la programación Ladder.

2. PROBLEMAS DE EMBOTELLADO Y TAPADO ACTUAL

2.1 Proceso de embotellado

El proceso de embotellado actual en las empresas de productos de cerveza artesanal, se muestra en la figura 1, el cual se realiza de forma

manual, lo que presenta gran dificultad para el llenado de las botellas, dependiendo además de la experticia del operario, que debe dosificar el ingreso de CO₂ que se inyecta a la botella y controlar el nivel de líquido en la misma, ocasionando inconvenientes como:

- Diferencias apreciables en el volumen del líquido.
- Cambio del sabor por pérdida anormal de CO₂.
- Fugas del producto durante y después del procedimiento de embotellado y tapado.



Figura 1
Embotellado manual de cerveza artesanal

Mediante el proceso llenado de cerveza artesanal, se tomaron datos de a partir de un volumen mínimo de producción de 20 litros de bebida carbonatada, suficientes para llenar 54 botellas en un tiempo de 1 hora y 20 minutos, presentando pérdidas aproximadas a 2 litros, ya sea, en forma de espuma o de líquido que se riega durante el proceso. En una muestra de 50 botellas se logra identificar que más de la mitad tiene un volumen superior al determinado, que es de 330 cm³ y un 30% presenta un nivel inferior a dicho volumen, generando una pérdida significativa en cuanto a materia prima para la empresa que realiza el proceso.

2.2. Proceso de tapado

Inmediatamente después de finalizar el proceso de embotellado, se debe realizar el tapado, para evitar que el oxígeno del ambiente interactúe con la bebida ocasionando problemas de calidad en el producto. El sellado se realiza con tapas tipo corona, que son las adecuadas para las botellas de vidrio.

Existen muchos métodos de tapado que, en general se basan en ubicar las tapas en la cabeza de la botella y ejercer la presión suficiente a los dientes para realizar un sellado que evite fugas de cerveza y el ingreso de oxígeno en el recipiente.

En las pequeñas industrias fabricantes de cerveza artesanal, existen dos métodos de tapado que son de fácil fabricación y muy útiles para realizar esta acción. Una de ellas es mostrada en la figura 2.



Figura 2
Tapadora típica de una empresa fabricante de cerveza artesanal

Esta tapadora consta de un pedestal el cual tiene una matriz de sellado ajustada a su parte móvil. La persona encargada de realizar el tapado, ubica manualmente la tapa en la parte superior de la botella y la centra en el pedestal. Posteriormente, se le aplica una fuerza a la palanca

transmitiendo la carga en un movimiento lineal que aprisiona la tapa a la botella y sella completamente los dientes contra la misma. Es un método fácil, rápido y completamente económico y, además, si se cuenta con un operario de gran experiencia, se pueden tapar de 30 a 36 botellas hora.

Esta tapadora de pedestal no es muy confiable debido a que el sellado no es completamente eficaz y se tienen filtraciones de oxígeno a la botella y fugas de CO_2 .

3. PROCESO DE LLENADO A IMPLEMENTAR

Para bebidas con CO_2 (Carbonatadas) se utilizan las llenadoras de sobrepresión, que deben mantener constante la presión en el proceso de embotellado; la velocidad de llenado se determina por la presión estática del líquido, esto significa que la vía de llenado se abre cuando se ha producido una compensación de presión entre la botella y el gas que actúa sobre el líquido (principio isobarométrico). Debido a que el proceso es isobarométrico y es alimentado por un tanque de CO_2 , se logra crear la misma presión entre la botella sin líquido y el tanque de la bebida. Cuando se libera CO_2 en la botella, se crea una diferencia de presión con el tanque de la bebida, lo que hará que se inicie el proceso de llenado hasta que la botella alcance el nivel deseado (ver Figura 3).

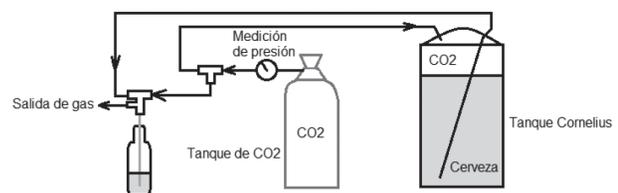


Figura 3
Descripción del proceso isobarométrico

La dosificación de la cantidad de bebida a embotellar se puede realizar según el nivel, el volumen o la masa. De acuerdo con lo anterior, en la dosificación según el nivel, la botella es lle-

nada hasta una marca de altura establecida; en cambio la dosificación por volumen es definida por la entrada del tubo de gas de retorno o por medio de una sonda electrónica, garantizando el volumen especificado. El llenado según el nivel es la forma usual de embotellar, debido a que las botellas de vidrio siempre tendrán la misma forma.

La cerveza es sensible al contacto con el oxígeno, el cual ocasiona mala calidad de la bebida, de manera que en poco tiempo puede aparecer un sabor a envejecimiento en la cerveza embotellada. Debido a esto, antes de ingresar la cerveza a la botella, esta debe estar totalmente descontaminada de oxígeno, por lo cual se realiza un barrido con CO₂, de manera que desplace el oxígeno.

Un elemento imprescindible e importante en el proceso de embotellado de cerveza artesanal es la válvula de llenado, debido que en esta ope-

ración se presentan aperturas, y cierres para el paso de la cerveza y el CO₂, donde interactúan estos dos fluidos, lo cual hace aún más compleja la operación, por ende la válvula se debe diseñar perfectamente, con un mínimo margen de error de operación.

3.1. Estudio de las características en el proceso de llenado

Con base en un estudio y tablas de carbonatación de líquidos se obtiene que los niveles de carbonatación para el proceso de llenado se deben realizar de 2 a 3 volúmenes de CO₂, de 5 a 20 psi y de 2 a 6 °C. Partiendo de los datos anteriores, se realizaron pruebas para líquidos con volúmenes de carbonatación entre 1.5 y 3 volúmenes de CO₂, en la tabla 1 se muestran subrayados los niveles de carbonatación apropiados para realizar el llenado y así no producir espuma al momento de realizar el proceso.

Tabla 1
Temperatura y presión de carbonatación para 1.5 y 3 volúmenes de CO₂

	1.5 Volume CO ₂	1.7 Volume CO ₂	2 Volume CO ₂	2.5 Volume CO ₂	2.9 Volume CO ₂	3 Volume CO ₂
Temperatura de carbonatación [°C]	Presión de llenado para cada volumen de CO ₂ [psi]					
0	0	0.62	3.48	8.22	11.99	12.92
1	0	1.17	4.22	9.12	13.01	13.98
2	0	1.92	4.97	10.02	14.04	15.04
3	0.49	2.59	5.73	10.94	15.08	16.11
4	1.1	3.26	6.5	11.86	16.13	17.19
5	1.72	3.94	7.27	12.79	17.18	18.29
6	2.34	4.63	8.05	13.73	18.25	19.37
7	2.97	5.33	8.84	14.67	19.32	20.47
8	3.62	6.03	9.64	15.63	20.39	21.58

Con estos resultados y con los niveles adecuados de carbonatación, se procede a graficar los valores obtenidos que se muestra en la figura 4, para determinar el rango en el que se debe carbonatar el líquido y posteriormente realizar el llenado.

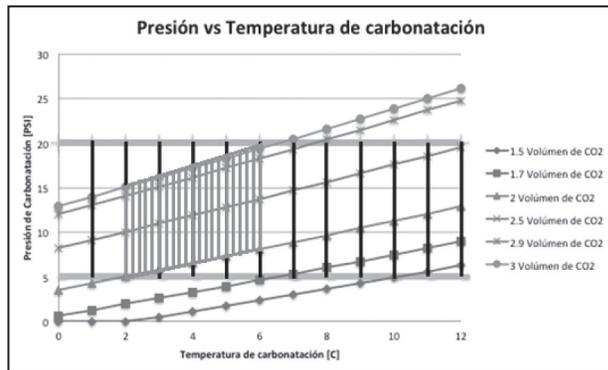


Figura 4

Diagrama de presión contra temperatura de carbonatación

De acuerdo con el análisis mediante las tablas y la gráfica presentadas, resulta evidente que tanto la temperatura como la presión tienen gran importancia para realizar adecuadamente el proceso de embotellado. En cuanto a la temperatura de la cerveza, cuanto mayor sea, menor será la solubilidad del CO₂ en el líquido, por lo que es conveniente que se realice dicho proceso a bajas temperaturas para que se obtenga un grado de carbonatación más elevado y por lo tanto el llenado sea más fácil de realizar.

La importancia de la presión de carbonatación, está en el grado de carbonatación de la bebida, un aumento de la presión a temperatura constante, corresponde a un aumento de los volúmenes del gas absorbido.

4. DISEÑO DE VÁLVULA DE LLENADO

De acuerdo a los estudios presentados, la válvula de llenado se compone de ocho piezas, las cuales mediante la configuración y el desplazamiento vertical, se permite el ingreso del líquido a la válvula y posteriormente a la

botella (figura 5) logrando controlar el nivel de líquido que ingresa a la botella y el intercambio de CO₂ en la bebida.

Entre los componentes principales se encuentran la guía para resorte, la guía de recorrido, el pistón de llenado, el resorte, el tubo de conexión, el tubo de llenado, la cabecera de CO₂ y la caja para férula.

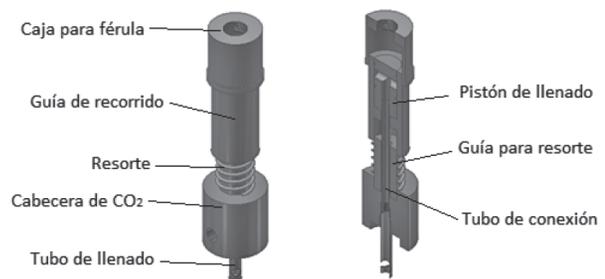


Figura 5

Diseño de la válvula de llenado

La válvula de llenado tiene un desplazamiento vertical que produce que el pistón de llenado, la guía de resorte, el tubo de conexión y la cabecera de CO₂ suban y el líquido ingrese por el orificio. De esta forma, se logra controlar el nivel de cerveza en la botella y el intercambio de gas.

4.1. Análisis de válvula de llenado

Para comprobar si la válvula llenadora puede soportar las presiones de trabajo, se hace un estudio de esfuerzos y desplazamiento. De acuerdo a esto se tiene en cuenta la carga de trabajo (352 kgf) y los puntos fijos y móviles de la válvula anteriormente mostrada.

Los análisis de esfuerzos fueron realizados por medio de un programa de elementos finitos donde se obtuvieron resultados de acuerdo con el criterio Von Mises no superiores a 35 MPa y deformaciones en las piezas de 6 micras, lo que se asume que el diseño es óptimo en cuanto a esfuerzos se refiere y es apto para su fabricación. En las figuras 6 y 7 se observan los esfuerzos máximos y mínimos a los que fueron sometidas las piezas y la deformación que presentan.

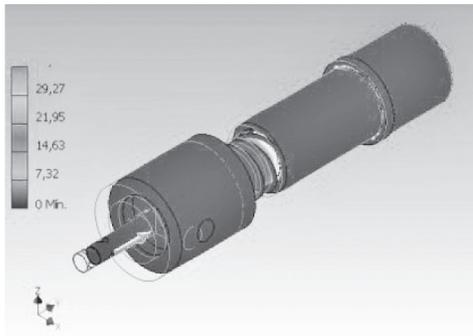


Figura 6
Máximo y mínimo esfuerzo en la válvula
(Unidad: MPa)

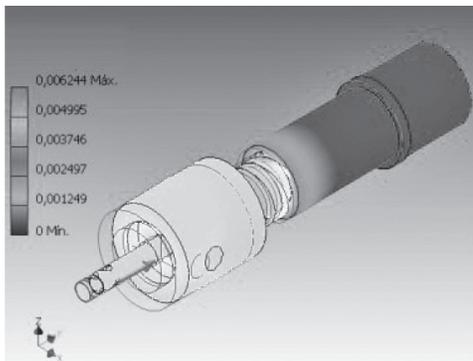


Figura 7
Desplazamiento máximo de las piezas de la válvula
(Unidad: mm)

5. DISEÑO DE MATRIZ DE TAPADO

La matriz de tapado está diseñada para no aprisionar la botella a la hora de tapar, por esta razón, tiene un ángulo de desviación en la entrada para centrar la botella y además cuenta con un resorte en la parte interna, el cual expulsa la botella después de que esta ha sido sellada con la tapa. Esta alternativa de diseño con su resorte se muestra en la figura 8.

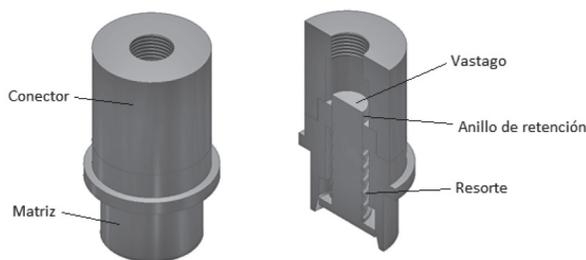


Figura 8
Diseño de la matriz de tapado

Los elementos que componen la alternativa de diseño de la matriz de tapado, son la matriz, el conector y el vástago, que por medio de un movimiento vertical, logran ajustar la tapa tipo corona a la cabeza de la botella e impedir la fuga de CO₂ y el ingreso de oxígeno.

5.1. Análisis de matriz de tapado

La fuerza aplicada se hace en el vástago con una carga de 138 kgf (1380 N). El punto fijo estará ubicado en el conector, específicamente en el roscado de dicha pieza.

El análisis de esfuerzo se realizó en un programa de elementos finitos donde se obtuvieron resultados de acuerdo al criterio Von Mises no superiores a 49 MPa y deformaciones de 5 micras y se asumen como un diseño óptimo para la tarea a realizar y es apto para la fabricación de la misma. En la figura 9 y 10 se observan los esfuerzos a los que son sometidas las piezas y las deformaciones que se presentan en la misma.

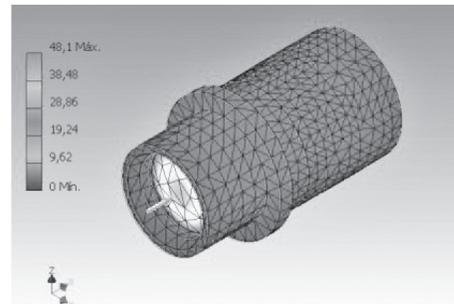


Figura 9
Máximo y mínimo esfuerzo de la matriz de tapado
(Unidad: MPa)

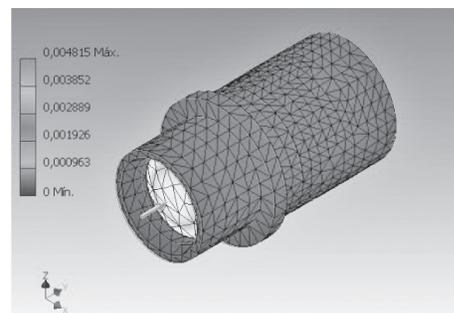


Figura 10
Desplazamiento máximo de la matriz de tapado
(Unidad: mm)

6. AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA

La automatización de la embotelladora y tapadora, se desarrolla con el motivo de que ningún operario intervenga en el proceso, lo cual trae consigo una mayor eficiencia productiva, y una mejora considerable en la calidad del producto final y la seguridad para el operario.

Para la automatización de la máquina se necesitan sensores, actuadores y un PLC para controlar cada proceso.

En la figura 11 se observa la ubicación de los sensores fotoeléctricos en la máquina embotelladora y tapadora, los cuales son los encargados en detectar las botellas de vidrio en cada zona donde están colocados.

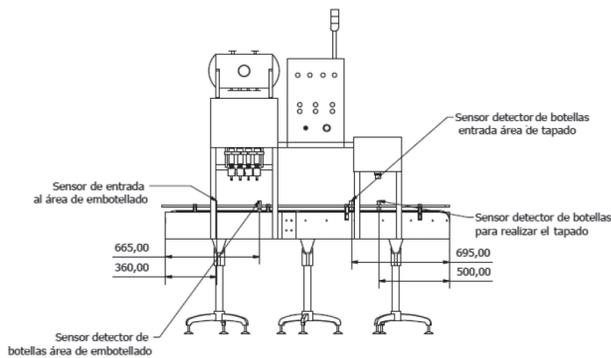


Figura 11

Ubicación de los sensores fotoeléctricos (unidad: mm)

En la figura 12 se observa la ubicación de los cilindros neumáticos los cuales son los encargados en permitir o no el paso de las botellas de vidrio en cada zona donde están colocados.

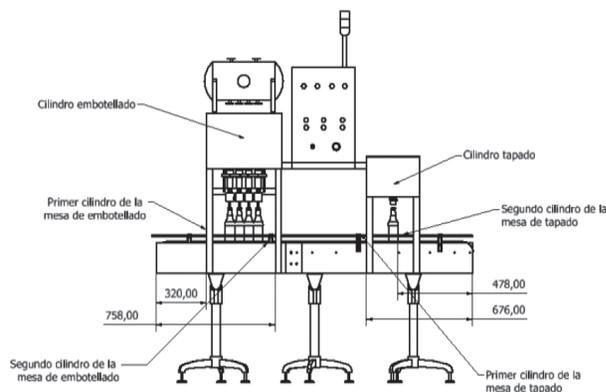


Figura 12

Ubicación de los cilindros neumáticos (unidad: mm)

Para hacer la automatización de la máquina es necesario partir desde un graficet para saber cuáles serán los ciclos de funcionamiento de la máquina, previendo todas las operaciones que se presentan en la tabla 2 y en la figura 13.

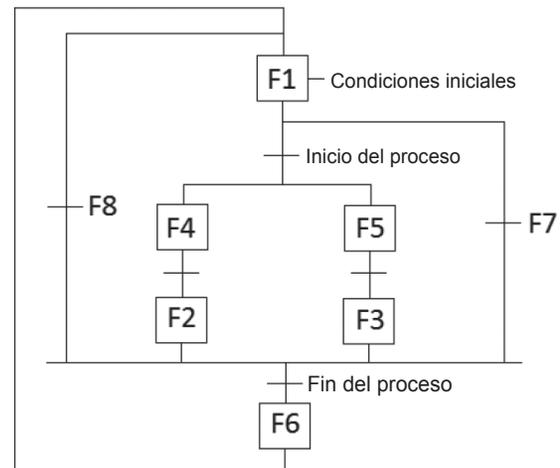


Figura 13
Graficet

Tabla 2
Lista de operaciones

Operación	Descripción
F1	Encendido de la máquina
F2	Embotellado de cerveza artesanal
F3	Tapado de cerveza artesanal
F4	Colocación de botellas en la máquina
F5	Colocación de tapas tipo corona
F6	Extracción de botellas de la máquina
F7	Reset de la máquina
F8	Paro de emergencia

En la figura 14 se muestra el esquema de conexiones neumáticas que se ha realizado en la máquina embotelladora y tapadora.

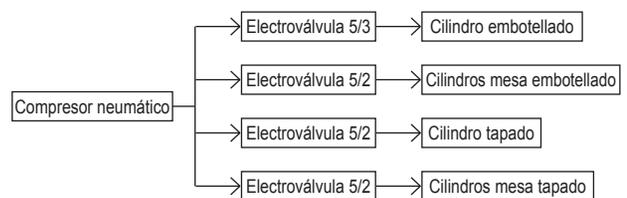


Figura 14

Esquema de conexiones neumáticas

7. FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA

La fabricación de la embotelladora/tapadora se debe realizar con materiales adecuados para el manejo de alimentos (cerveza artesanal), según el decreto 1686 de 2012, del ministerio de salud y protección social, el artículo 25 dice que “los equipos y superficies en contacto con los productos deben estar diseñados y fabricados con materiales lisos, no tóxicos, inertes, resistentes a la corrosión, no cubiertos con pinturas o materiales desprendibles y que sean fáciles de limpiar y desinfectar”.

Por lo tanto el material seleccionado para fabricar la embotelladora / tapadora, válvulas y matriz de tapado, es el acero inoxidable, tal y como lo exige el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA).



Figura 15

Máquina embotelladora / tapadora de cerveza artesanal en acero inoxidable

Los procesos de mecanizado de las piezas de acero inoxidable deben ser los adecuados dado que el material es de un alto costo, por lo que no se debe desperdiciar, ni perder material en la fabricación de dichas piezas, quizás la característica más relevante, es la modularidad de la máquina, lo cual es práctico para el mantenimiento de la misma. La máquina fabricada se observa en la figura 15.

8. CONCLUSIONES

Se realizó un estudio de las alternativas de diseño para la válvula de llenado, la matriz de tapado y la embotelladora / tapadora, basado en la metodología de ensayo prueba y error, y en los respectivos despliegues de función de calidad (QFD), para así seleccionar la mejor alternativa en cuanto a funcionamiento, sin tener en cuenta los costos y el tiempo de producción de cada una de estas.

El proceso de embotellado y tapado de cerveza artesanal de 4 botellas a 330 cm³ cada una, se tarda aproximadamente 1 minuto con un volumen total de 1320 cm³ (1,32 litros), por lo cual en 1 hora se llenan y se sellan 240 botellas con un volumen de 79 litros.

Debido a la flexibilidad de los procesos automatizados, los cuales son totalmente independientes en cuanto a funcionamiento, se puede realizar el embotellado mientras se está tapando.

La puesta a punto de la máquina embotelladora / tapadora se realizó mediante las pruebas finales del equipo, para así perfeccionar el llenado y sellado de cerveza artesanal, asimismo se requirió de tiempo para llevar a cabo este proceso dado que es arduo y demorado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eblinger, H.M. (2009). *Manual de elaboración de la cerveza: Procesos, tecnología y mercados*. Alemania: WILEY VCH.
- Hunze Wolfgang (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros*. Vol. 1. Alemania: Tensid Chemie.
- J. L. Newcomer (2002). *Design: the future of engineering and engineering technology education*. Vol. 2. Páginas 12B9/14 - 12B9/16. Recuperado el 2 de agosto de 2012 de la base de datos IEEE.
- L. Doyle (1998). *Materiales y procesos de manufactura para ingenieros*. Prentice Hall Hispanoamérica S.A.
- Priest, F.G., Stewart, G.G. (2006). *Manual de elaboración de la cerveza: Alimentos y tecnología*. 2da edición. Estados Unidos de América: Advisory Board.
- Shigley, Joseph y Mischke, Charles (2002). *Diseño de ingeniería mecánica*. México: Ed. McGraw Hill.



**Universidad
Autónoma
de Colombia**
Fundación