

Diseño de una máquina etiquetadora para botellas de agua mineral natural

Design of a labelling machine for water bottles

M.Sc. María Victoria Gómez Águila, Ing. José Orlando Jiménez, Ing. Ángel Ignacio Nava

Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Chapingo, Texcoco, México.

RESUMEN. Una de las actividades que realiza la Universidad Autónoma Chapingo dentro de sus unidades de producción es el envase de agua purificada. El agua se embotella y se le colocan las etiquetas de forma manual. El promedio de botellas etiquetadas es de alrededor de 1 000 botellas en una jornada de trabajo. La presentación de las etiquetas es deficiente, no quedan alineadas correctamente, además se tuercen, no se hace de forma uniforme. El proceso de etiquetar las botellas de forma manual lo convierte en un proceso ineficaz e ineficiente, debido a que el proceso se vuelve muy lento y de baja calidad. En el presente trabajo se propone un diseño de una máquina etiquetadora de botellas de agua de bajo costo de fabricación que eleve la productividad de 1 000 a 4 000 botellas en una jornada laboral de 8 horas. Se eligió diseñar la etiquetadora de tal manera que las etiquetas se desprenden por sí sola del rollo de etiquetas. La metodología para calcular los esfuerzos y desplazamientos que se generan en los ejes de carga y tensores son las que se establecen en los principios de la ingeniería mecánica. El objetivo de esta investigación, fue el de diseñar la máquina etiquetadora empleando los criterios de diseño a la fractura, los que se comprueban con la simulación por elementos finitos utilizando el programa NASTRAN, en el software ANSYS, el cual permite construir la máquina con un alto nivel de confiabilidad con bajos recursos.

Palabras clave: método de los elementos finitos, software ANSYS, diseño mecánico, máquina de etiquetar.

ABSTRACT. Water purification is one of the activities that the Autonomous University Chapingo carries out inside its production units. The water is bottled and the labels are placed in a manual way. The average of labelled bottles is of around 1 000 bottles in a work day. The presentation of the labels is faulty, they are not aligned correctly, they also twist, and it is not made in a uniform way. The process of bottle labeling in a manual way transforms it into an ineffective and inefficient process, because the process becomes very slow and of low quality. The present work intends a design of water labelling machines of low cost production that elevate the productivity from 1000 to 4000 bottles in an 8 hours labour day. It was chosen to design the machine to label in such a way that the labels come off the roll of labels by themselves. The methodology to calculate the efforts and displacements that are generated in the load axes and tensile are those settles down in the principles of the mechanical engineering. The objective of this research was the one of designing the machine to label using the design approaches to the fracture, those that are proven with the simulation for finite elements using the program NASTRAN, in the software ANSYS, which allows to build the machine with a high level of dependability without unnecessary expenses that are generated.

Keywords: method of the finite elements, software ANSYS, mechanical design, machine of labeling.

INTRODUCCIÓN

Una etiqueta es un impreso o impresos, generalmente en papel engomado, de pequeños tamaños que se adhieren a los contenedores de un producto cualquiera, a cajas, estuches, botellas, etc.

Las etiquetas y el etiquetado tienen una larga historia. Junto con la historia de los envases es necesario considerar el desarrollo de las etiquetas y el cómo se colocan. No interesa realmente cómo aparecieron, éstas y el proceso de etiquetado se han vuelto más sofisticados, con etiquetas cada vez más atractivas y baratas de producir, junto a ellas existen máquinas

capaces de etiquetar de forma continua envases, botellas, etc., en jornadas de trabajo de hasta un mes o más de trabajo (Neely *et al.*, 2011). Las máquinas existentes en México satisfacen dichos volúmenes de producción, y se ajustan a los requerimientos de empresas grandes como: La Coca Cola, Procter & Gamble y otras. Pero son muy costosas. En la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el Municipio Texcoco, Estado de México, existe una Planta Purificadora de Agua. El agua que se purifica en la Planta, se embotella, y se etiquetan de forma manual. El promedio de botellas etiquetadas es de alrededor

de 1 000 botellas en una jornada de trabajo. La presentación de las etiquetas es deficiente, no quedan alineadas correctamente, además se tuercen, no se hace de forma uniforme. El proceso de etiquetar las botellas de forma manual lo convierte en un proceso ineficaz e ineficiente, debido a que el proceso se vuelve muy lento y de baja calidad. En el presente trabajo se propone un diseño de una máquina etiquetadora de botellas de agua de bajo costo de fabricación que eleve la productividad de 1 000 a 4 000 botellas en una jornada laboral de 8 horas.

MÉTODOS

La metodología del diseño que se utilizó es la que se emplea en el diseño mecánico de máquinas y sus partes, realizar la lluvia de ideas para analizar la mejor de las variantes a proponer

en el diseño conceptual, selección de una variante económica para disminuir los costos, seleccionar componentes, realizar los cálculos, comprobarlos con la simulación por el método por elementos finitos (Hall *et al.*, 2011; Hibbeler, 2010; Hibbeler, 2012; Mott, 2011; Shigley, 2011; Faires, 1999).

Desarrollo

El diseño conceptual de la máquina (Figura 1), consta del eje, encargado de soportar el rollo de etiquetas 1, los rodillos 2, 3 y 4, encargados de tensar las etiquetas, y los ejes 5 y 6 sirven de soporte a la botella, y todas las partes se soportan a la base 9, el eje 6 también es el motriz y es el que va conectado a la manivela; el eje 7 es el que dirige el desperdicio hacia afuera de la máquina una vez que se desprenden las etiquetas de la barra 8.

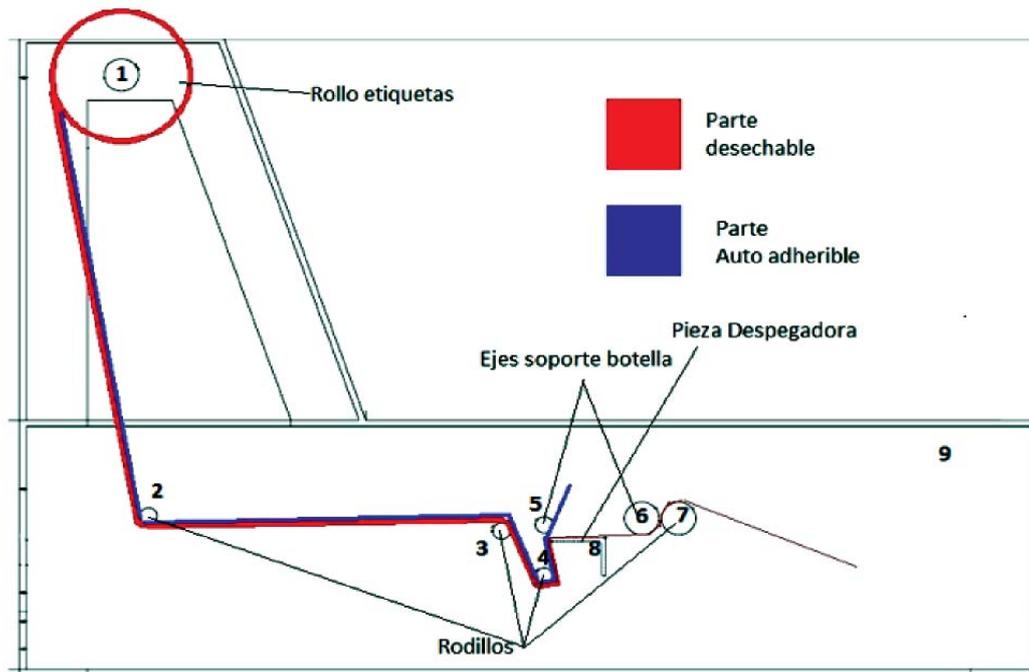


FIGURA 1. Diseño conceptual de la máquina. 1-Rollo de etiquetas, 2- Rodillo tensor, 3- Rodillo tensor, 4- Rodillo tensor, 5- Ejes que soportan la botella, 6- Ejes que soportan la botella, 7- Eje que dirige el desperdicio hacia afuera, 8 - Barra despegadora de etiquetas, 9 - Estructura.

Análisis cinemático de la botella. Para determinar la velocidad y la aceleración angulares, que deberá tener el mecanismo, se toma como condición: etiquetar 4 000 botellas en una jornada de 8 horas. Para ello se toma se considera una jornada de 8 horas de trabajo, es decir, 28 800 segundos. Al resolver la ecuación 1, se conoce que el mecanismo deberá etiquetar una botella cada 28,8 segundos.

$$t = \frac{28800s}{4000 \text{ botellas}}$$

$$t = \frac{7.2s}{1 \text{ botella}} \quad (1)$$

El tiempo de etiquetado por botella es el adecuado, ya que se considera que al operador le tomará aproximadamente 4 segundos en colocar la botella en la etiquetadora y el tiempo

restante permitirá al operador tomar la siguiente botella y colocarla sin presura. El perímetro de la botella se calcula mediante la ecuación 2, y la velocidad tangencial v y angular ω de la botella se calcula mediante las ecuaciones 3 y 4, respectivamente:

$$P_b = 2 * \pi * r \quad (2)$$

$$v = \frac{P_b}{t} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (4)$$

Utilizando las ecuaciones 2, 3 y 4, se obtiene la ecuación 5, para el cálculo de la velocidad angular ω .

$$\omega = \frac{2\pi}{r} \tag{5}$$

Resolviendo la ecuación 5, se obtiene:

$$\omega = \frac{2\pi}{7.2s}$$

$$\omega = 0.8726 \frac{rad}{s}$$

La ubicación del rollo y la botella (Figura 2) definen los ejes 1 y 2. Considerando la magnitud de las fuerzas que actúan en los ejes 1 y 2 (Figura 2), el diagrama de cuerpo libre para el eje 2 (Figura 3) y eje 1 (Figura 5), y aplicando el método de las secciones (2) se determinan las fuerzas interiores (fuerzas cortantes y momentos flectores) (Figura 4). Al observar la Figura 4a y b, el momento flector máximo es de 0,715 N·m y el momento torsor es de 0,589 2 N·m. El eje 1 es el encargado de cargar el rollo de etiquetas.

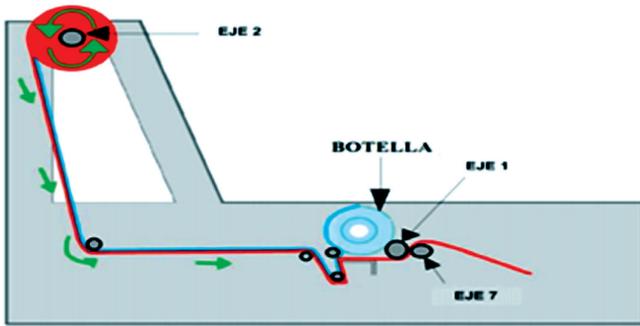


FIGURA 2. Disposición de ejes en la etiquetadora mecánica.

Para el cálculo de este eje se desprecia el momento torsor que el único torque que recibe es debido a la tensión T del rollo de etiquetas de pequeña magnitud.

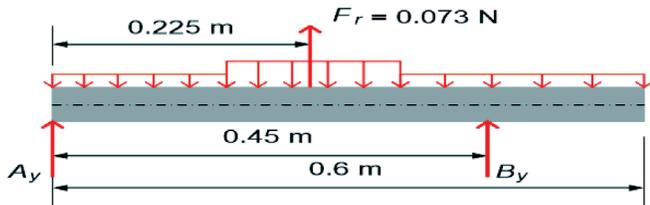


FIGURA 3. Distribución de cargas, eje 2.

Considerando que en el eje 2 (Figura 2), las magnitudes de las fuerzas interiores son menores que las del eje 1, pues sólo tiene como función sujetar el rollo de etiquetas es este eje (eje 1) el que se toma como referencia para calcular el diámetro de los rodillos. El diámetro de los rodillos se determina partiendo de los criterios de fractura TRESCA, VON MISES y ASME (Hall *et al.*, 2011; Mott, 2011; Shigley, 2011; Faires, 1999).

Seleccionando para la manufactura el aluminio 2014-T6 con esfuerzo de cedencia 414 MPa. Se obtienen diámetros (Tabla) mayores e iguales a los 2 mm, sin embargo se recomienda rodillos de 6 cm para facilitar que la botella gire al menos una vuelta completa para facilitar que la etiqueta sea desprendida del rollo. Antes de proceder a la manufactura de la máquina

se validan los cálculos realizando la simulación de las partes principales de la máquina (Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16) utilizando el método de elemento finito con el módulo NASTRAN, en el software ANSYS, para conocer los esfuerzos máximos que resisten.

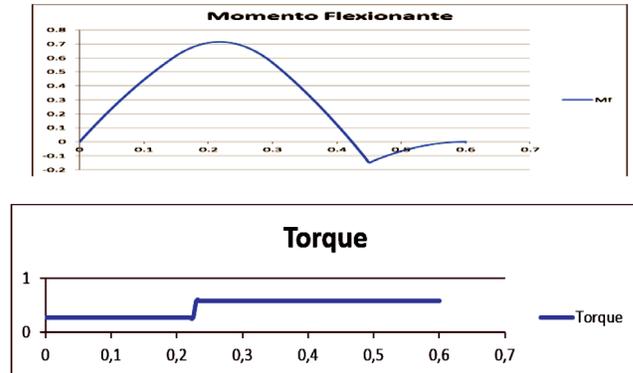


FIGURA 4. a). Momento flector, b). Momento torsor

TABLA 1. Diámetros del eje 1, según criterios de diseño

		Diámetros en mm	
Cargas estáticas	Tresca	0,002943007	2,943007282
	Von Misses	0,002943007	2,943007282
Código ASME	Resistencia elástica	0,003171719	3,171718946
	Resistencia última	0,003572142	3,572141741

Simulación del eje 1 (manivela acoplada)

Para simular el eje 1, Figura 2, se consideran tres aspectos: fuerza cortante máxima igual a 5,11 N, momento máximo igual a 0,715 N·m y momento torsor máximo igual a 0,589 N·m. Cabe destacar que el torque se presenta en este eje ya que es donde se aplicará el movimiento de rotación que hace funcionar el mecanismo. El método utilizado para formar la malla y aplicar el método de elemento finito fue CQUAD4, que consiste en dividir el elemento en un número finito de cuadriláteros y encontrar los esfuerzos y deformaciones en cada uno.

Desplazamientos

En la Figura 5 se muestra el desplazamiento exagerándolo, para que sea más sencillo comprender como se deforma el eje; sin embargo, no se quiere decir que el eje se deforme de esa manera, lo cual es comprobable al observar la magnitud máxima del desplazamiento, la cual es de 0,00228 mm.

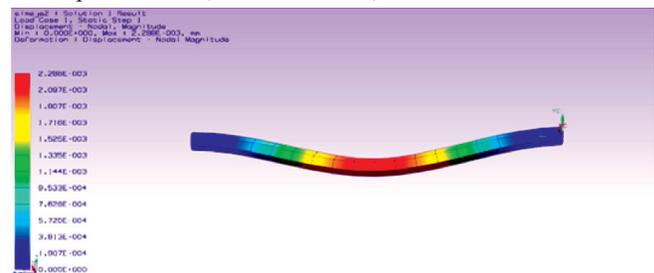


FIGURA 5. Desplazamiento Nodal. Eje 1 deformado.

Esfuerzos

En la Figura 6 se muestra la distribución de esfuerzos en el eje 1; se observa que el esfuerzo de Von Mises máximo es de 0,230 MPa, el cual se encuentra muy alejado del esfuerzo de cedencia del aluminio utilizado (414 MPa) (Norton, 2004). Lo cual quiere decir que no existe ningún problema de esfuerzos en los ejes y no presentará fractura

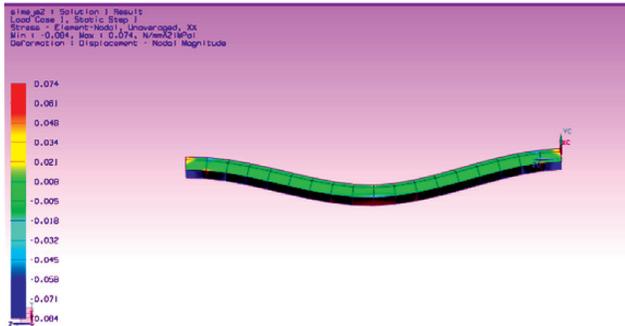


FIGURA 6. Distribución de esfuerzos en el plano X-X del eje 1.

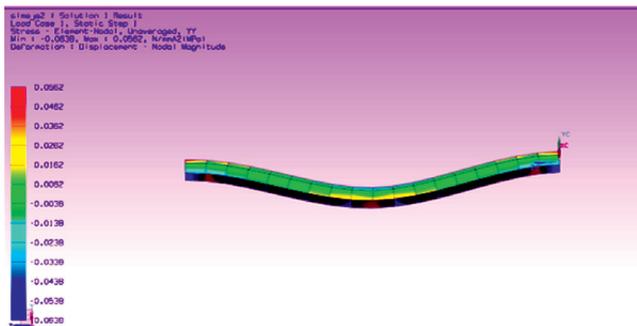


FIGURA 7. Distribución de esfuerzos en el plano Y-Y del eje 1.

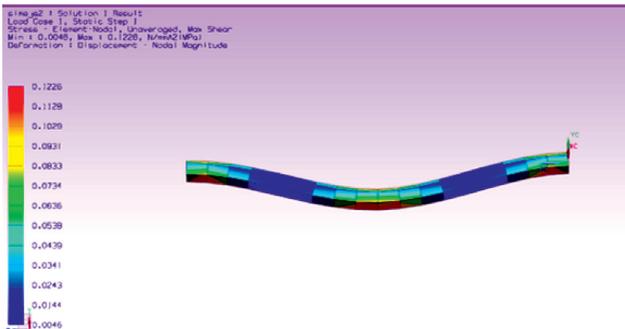


FIGURA 8. Distribución del esfuerzo cortante máximo en el eje 1.

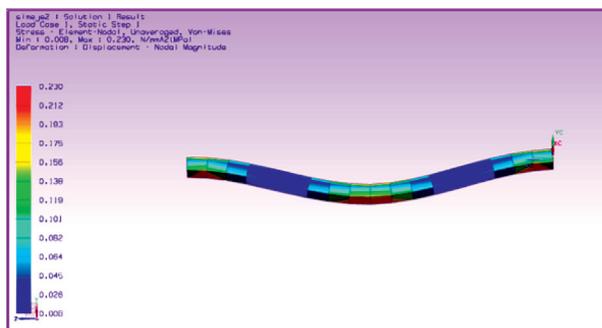


FIGURA 9. Distribución del esfuerzo de Von Mises en el eje 1.

Simulación del eje 2 (rollo de etiquetas)

Para hacer la simulación del eje 2, se considera la fuerza cortante máxima igual a 4,91 N, el momento flector máximo igual a 0,518 N m. Para este eje no hay torque (Norton, 2004; Norton, 2005; Budynas & Nisbett, 2008), ya que solo existe la tensión del rollo de etiquetas. Se siguió el mismo método que el eje 1, los resultados se muestran en las Figuras 11, 12, 13, 14.

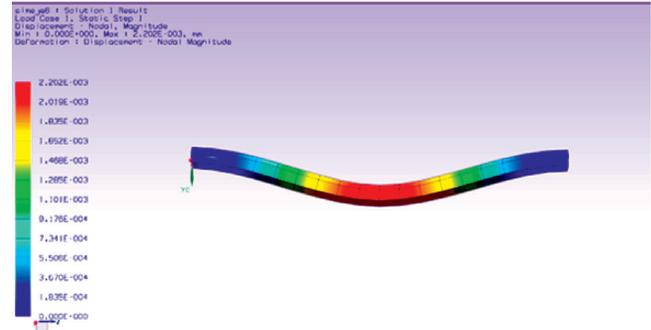


FIGURA 10. Desplazamiento Nodal. Eje 2 deformado.



FIGURA 11. Eje 2 deformado; desplazamiento en el eje X.



FIGURA 12. Eje 2 deformado; Desplazamiento en el eje Y.

Esfuerzos

En las figuras 13, 14, 15, y 16, se muestra la distribución de esfuerzos en el eje 2. Como se observa en la Figura 14, el esfuerzo de Von Mises máximo es de 0,223 MPa, el cual se encuentra alejado del esfuerzo de cedencia (414 MPa) (Budynas & Nisbett, 2012; Beer, *et al.*, 2010 y Beer, *et al.*, 2013), lo cual nos indica que el eje 2 no presentará problema de esfuerzos.

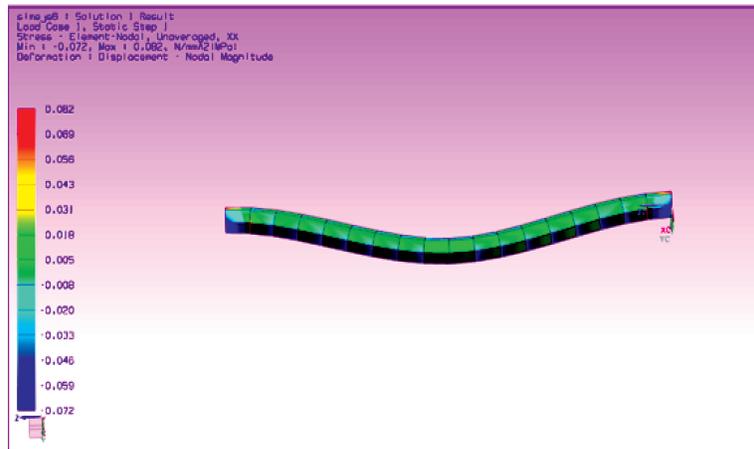


FIGURA 13. Distribución de esfuerzos en el plano X-X del eje 2

Esfuerzos en el plano Y-Y

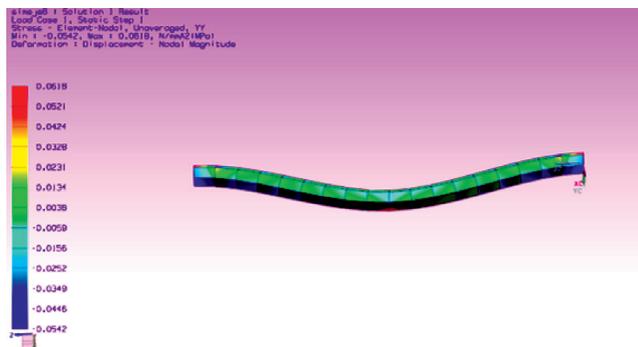


FIGURA 14. Distribución de esfuerzos en el plano Y-Y del eje 2.

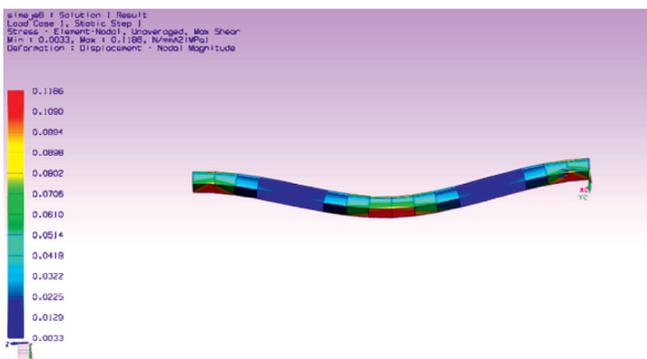


FIGURA 15. Esfuerzo cortante máximo en el eje 2.

Finalmente se realiza un cálculo aproximado de la fabricación de la máquina. Considerando que la misma se fabricará en el taller de maquinado del departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y que formará parte de las prácticas de manufactura

de los estudiantes, se considera que la máquina etiquetadora tendrá un costo total de alrededor de 20 000 pesos mexicanos, 80% menor de lo que costaría si se comprara en el mercado.

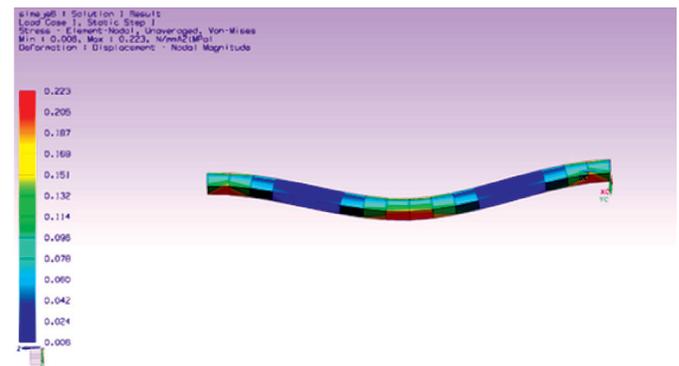


FIGURA 16. Esfuerzo de Von Mises en el eje 2.

CONCLUSIONES

- Después de observar el comportamiento en ambos ejes simulados, se puede concluir que el diseño es confiable, no presenta errores, por lo que es factible realizar su construcción.
- Se obtuvo el diseño de una máquina etiquetadora de botellas de agua, que beneficiará a la Planta Purificadora de Agua Chapingo, la cual logrará realizar un proceso con los requerimientos pedidos, de bajo costo, fácil manejo, mantenimiento y que pegue las etiquetas de forma alineada y con posibilidades de etiquetar hasta 4 500 botellas en una jornada de trabajo. El costo de fabricación de la máquina será de un 80% menor que los que se comercializan en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEER, F.P.; J. RUSSELL JR. T. DE WOLF; D. MAZUREK: *Mecánica de Materiales*, Quinta Edición, Ed. Mc Graw Hill, ISBN 978-607-15-0263-6, México, 2010.

BEER, F.P.; J. RUSSELL JR. T. DE WOLF; D. MAZUREK: *Mecánica de Materiales*, Sexta Edición, Ed. Mc Graw Hill, ISBN.978-607-15-0934-5, México, 2013.

BEER, F.P.; J. RUSSELL JR. J. CORNWELL: *Mecánica Vectorial para Ingenieros*, Décima Edición, Ed. Mc Graw Hill, ISBN 978-607-15-0923-9. México, 2013.

- BUDYNAS, R. G.; K. NISBETT: *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Octava Edición, Ed. Mc Graw Hill, ISBN 978-970-10-6404-7, México, 2008.
- BUDYNAS, R. G.; K. NISBETT: *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Novena Edición, Ed. Mc Graw Hill, ISBN 978-607-15-0771-6, México, 2012.
- FAIRES, V. M.: *Diseño de elementos de máquinas*, Ed. Limusa Noriega, México, 1999.
- HALL, A. S., A.R. HOLOWENCO, H. LAUGHLIN: *Diseño de máquinas*, Ed. McGraw-Hill, México, 2011.
- HIBBELER, R. C.: *Mecánica de materiales*, Ed. Prentice Hall, Decimosegunda Edición, México, D. F., 2010.
- HIBBELER, R. C.: *Dinámica*, Ed. Prentice Hall, Decimosegunda edición, México, D. F., 2012.
- Información de patentes. Etiquetadoras* [en línea], Disponible en: <http://www.Infopat.com.mx> [Consulta: agosto 17 2012].
- MOTT, R.: *Machine Elements in Mechanical Design*, Ed. Prentice Hall, Cuarta edición, USA, 2011.
- NEELY, J. E.; O. MEYER; W. BLANCO: *Manual de Máquinas Herramientas, 0132702320/978013270234*, Sexta Edición, Ed. Prentice Hall, México, 2011.
- NORTON, R. L.: *Diseño de Maquinaria. Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos*, Segunda Edición. ISBN 970-10-2655-1, Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, 2004.
- NORTON, R. L.: *Diseño de Maquinaria. Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos*, Tercera Edición. ISBN 970-10-2655-1, Ed. McGraw-Hill Interamericana, México, 2005.
- SHIGLEY, J.E.: *Mechanical Engineering Design*, Ed. McGraw-Hill, Décima edición, México, DF, 2011.

Recibido: 10 de diciembre de 2013.

Aprobado: 22 de julio de 2014.

María Victoria Gómez Águila, Profesora, Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Edo. México, México. CP 56230. Correo electrónico: mvaguila@hotmail.com

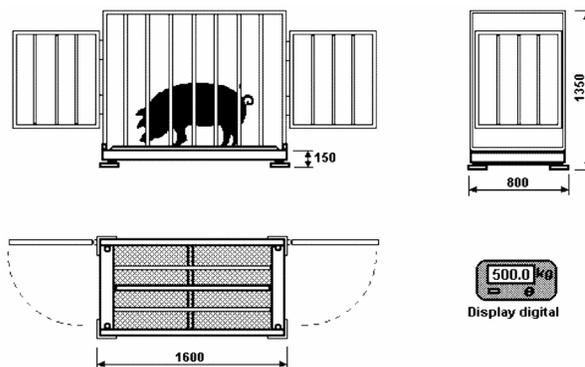
Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



**MAQUINARIA AGRICOLA &
INSTRUMENTOS DE MEDICION**

BALANZAS PARA CERDOS Y OVINOS

CEMA TED - 500



Capacidad hasta 500 kg.
Precisión de 0,2 kg.
Presentación de la lectura: Digital (5 dígitos LCD).
Dimensiones de la plataforma: 1600 x 800 mm.
Altura de la jaula: 1350 mm.
Superficie de la plataforma: Metálica con alfombra de goma.

Solicitudes de ofertas a:
Dr.C. Roberto Albóniga Gil
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste. km 23, San José de las Lajas
Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: ralboniga@unah.edu.cu