

NOTA TÉCNICA

## Parámetros dinámicos a considerar en el diseño de una máquina transportadora de láminas de polialuminio

### *Dynamic parameters to consider in the design of a machine for transporting polyaluminium plates*

M.Sc. María Victoria Gómez Águila

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

**RESUMEN.** El presente trabajo surge como resultado del proyecto de investigación existente entre la empresa Ziklum, S.A. de C.V., ubicada en el Municipio de Acolmán, Edo. México, México y el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, Edo. México, México y tiene como objetivo diseñar un prototipo de máquina transportadora para fabricar láminas de polialuminio. El polialuminio se obtiene a partir de la trituración del aluminio y el polietileno contenido en el tetra pack de post-consumo. En la actualidad se fabrican láminas de diferentes espesores en una prensa en caliente la cual aprovecha la variación térmica para fundir el polietileno y unirlo con el aluminio. Pero existe un problema: las láminas se deforman al salir de los moldes, por lo que existe la necesidad de dar un tratamiento al material para hacerlo rígido. Entonces un choque térmico se aplica mediante un prensado en frío. El trabajo documenta el desarrollo de una máquina para transportar el material hasta el lugar donde se aplica el tratamiento térmico final. Se desarrolla en tres etapas: definición del proceso de manufactura, diseño del transportador y validación del diseño por el método de los elementos finitos, empleando el software NX.

*Palabras clave:* prototipo de máquina, tetra pack de post-consumo, prensado en frío.

**ABSTRACT.** This work is the result of a joint research Project between Ziklum, an enterprise located in Acolmán, Edo. de México, México, and the Department of Agricultural Mechanics Engineering of the Autonomous University Chapingo, which is located in Edo. de México, México. The main objective is to design a prototype of a machine for transporting plates of polyaluminium during the manufacturing process. Polyaluminium is produced after shredding the aluminium and polyethylene contained in post-consumer tetra packs. Polyaluminium plates with a variety of thickness are currently produced in a hot press. The high temperature melts the polyethylene, so it joins to the aluminium. But there is a problem: the polyaluminium plates lose their shape when they are retired from the molds, so a treatment must be provided to enhance material's stiffness. A thermal shock in a cold press is applied for this. This work exposes the development of a machine for transporting the polyaluminium plates to the place where the final thermal treatment is applied. The work is organized in three parts: definition of the manufacturing process, design of the machine, and validation of the design with a finite element analysis, for which the NX software is used.

*Keywords:* prototype of machine, post-consumer tetra pack, presses in cold.

## INTRODUCCIÓN

La empresa Ziklum, S.A. de C.V., es una microempresa fundada en 2009, cuenta con alrededor de 6 trabajadores y se encuentra establecida en el Municipio de Acolmán, Edo. De México, México. Se dedica al reciclaje de tetrapack y tetrabrik de post-consumo y utiliza tecnología con la cual la celulosa obtenida no se contamina con el resto de los componentes (polietileno y aluminio).

El tetra pak y tetra brik, es un envase compuesto por un 75% de celulosa, 20% de polietileno y 5% de aluminio permitiendo la conservación durante más tiempo de los productos sin necesidad de usar conservadores y una vez usados son tirados a la basura (*Sistema Tetra Brik Tetra Pak*, 2012; *Tecnologías de reciclado-Tetra Pak*, 2012; *Reciclaje y recolección-Tetra Pak*, 2012; *Hytrol Conveyor Company*, 2011). Las soluciones

para reciclar los envases han evolucionado en los últimos tiempos. Este envase multicapa ha dejado de ser un residuo para convertirse en una fuente de materia prima para fabricar otros productos. Reciclar tetra pak y tetra brik de post consumo trae consigo reducir volúmenes (tiraderos) en los vertederos y minimiza su impacto ambiental. Dicho producto, está determinado a mantenerse en el mercado. En México se consume alrededor de casi 3 millones de envases de tetra pak y tetra brik al día (*Tecnologías de reciclaje*, 2012).

El proceso de reciclaje comienza con una máquina que vierte el tetrapack de post-consumo en un Hydro Pulper que gira a determinadas revoluciones. De esa forma se logra separar la celulosa del aluminio y del polietileno. Los materiales son aprovechados para fabricar productos como las láminas de polialuminio. El proceso se describe de acuerdo al siguiente flujo tecnológico:

**Recepción de material.** La empresa recibe el tetrapack de post-consumo en pacas compactadas (Figura 1) cuyo peso es de aproximadamente 500 kg y cuyas dimensiones son: 1,20 x 1,20 x 2,10 a 2,40 m.

**Separación de material compactado/empaquetado.** Varios trabajadores dedican horas de esfuerzo para separar el tetrapack en las pacas. Las pacas compactadas son duras, razón por la cual el proceso de separación del tetrapack es lento; esto impide asimilar flujos elevados de producción.

**Selección de material útil.** En el mercado existe gran variedad de envases de tetrapack a los se les agregan colorantes, algunos en gran cantidad (por ejemplo, los envases de Jumex).

Estos se separan del resto para evitar que tiñan la celulosa durante el tratamiento en el “Hydro pulper” y disminuyan así la calidad de éste material que es vendido a las papeleras y otras empresas.

**Prelavado.** El material útil seleccionado se enjuaga para quitar los restos sólidos que pudieran encontrarse, luego se almacena y transporta a la siguiente fase.

**“Pulpeado”** o separación en “Hydro pulper”. Este proceso consiste en colocar el tetrapack de post-consumo en un recipiente con agua, donde con el movimiento continuo y a velocidad moderada de unas aspas se logra la separación de la celulosa del polietileno y del aluminio.

**Obtención de celulosa.** Las fibras de cartón y papel compuestas por celulosa son separadas de la mezcla filtrando el agua.

**Obtención de polialuminio.** La mezcla de polietileno y aluminio que queda al final del proceso se calienta y prensa formando láminas de un material conocido como polialuminio. Las láminas se utilizan en la industria de la construcción de casas y muebles.

Desde la creación de Ziklum se han llevado a cabo las primeras siete fases de este procedimiento reciclando a pequeña escala celulosa, la que es empleada para fabricar papel.

Así mismo se fabrican láminas de polialuminio mediante un prensado en caliente. El problema que se presenta es que al sacar las láminas del molde, éstas se deforman y pierden rigidez, lo que imposibilita su comercialización. El presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar la máquina para

trasladar dichas láminas a donde recibirán un choque térmico mediante un prensado en frío. Es con este tratamiento que se ha conseguido que no se doblen al sacarlas del molde.



FIGURA 1. Pacas de tetra pack.

## MÉTODOS

Se realizaron diversas visitas a la empresa para conocer la problemática e investigar los elementos fundamentales a tener en cuenta en el diseño, tales como manufactura, materiales, fuente energética, espacios, necesidades inmediatas, sub-estación eléctrica, circuito eléctrico e hidráulico, entre otros. Con base en estos criterios y en las políticas de confiabilidad de la empresa se realiza la propuesta de diseño y se valida a través del análisis por el método de los elementos finitos, empleando el programa NX.

Se proponen y analizan los parámetros de diseño fundamentales de la propuesta. Estos son: dimensionamiento de la estructura, determinación de la potencia de la fuente motriz, dimensionamiento de los rodillos cargadores.

El trabajo experimental se llevó a cabo en la empresa Ziklum, S.A. de C.V. ubicada en el Municipio de Acolmán, Estado de México y en el laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma de Chiapas. Se simuló la separación de las pacas de tetra pak compactado en pacas de 1,20 m x 0,6 m, las que se colocan sobre una plataforma con un grado de movilidad en la dirección lineal, de modo tal que al pasar frente a un ducto de aire comprimido se compruebe la hipótesis de que la separación por medios neumáticos no contamina la celulosa con el polietileno y el aluminio (Norton, 2004 y 2005; Budynas & Nisbett. Se realizó la prueba de separación por medios mecánicos e hidráulicos (Hall *et al.*, 2001; Hibbeler, 2010; Hibbeler, 2012). Así mismo, se consideró la metodología empleada en los proyectos de diseño mecánico (Mott, 2011; Shigley, 2011; Faires, 1999; Neely *et al.*, 2011). Identificación de la problemática, diseño conceptual, lluvia de ideas para generar alternativas de solución, elección y definición de la mejor alternativa (en conjunto con Ziklum), diseño a detalle,

construcción y evaluación del prototipo. Se define el flujo de producción, recepción de las pacas, separación, pre-selección, pre-lavado y la entrega (salida) del material listo para llegar a la siguiente máquina (hidro pulper).

**Dimensionamiento de la estructura.** La estructura soporta el peso distribuido de las láminas, la cinta transportadora, los rodillos de carga, los tensores, las chumaceras y el juego de sprokets que soportará la cadena. Se propone que la estructura sea de acero inoxidable PTR de 51x51 mm de lado y 2,8 mm de espesor.

**Determinación de la potencia de la fuente motriz.** El análisis de los componentes y/o requerimientos del sistema se realiza para determinar la potencia mínima del motor que moverá la banda transportadora. La potencia que requiere la polea principal para mover al sistema se determina según la ecuación (1):

$$PWRDP = \frac{TORQDP \cdot \omega DP}{0,95} \quad (1)$$

donde:

PWRDP- potencia requerida por la polea motriz para mover al sistema;

TORQDP- magnitud del torque generado en la polea motriz;

$\omega DP$ - magnitud de la velocidad angular de la polea motriz.

Se considera 95% de eficiencia mecánica para sistemas de sprockets-cadena en el reductor de velocidades (Ulrich & Eppinger, 2008). Por lo tanto la potencia en el reductor se determina según ecuación (2):

$$PWRED = \frac{PWRDP}{0,95} \quad (2)$$

donde:

PWRED-potencia en el reductor

Y la potencia requerida a la salida del motor se determina según la ecuación (3):

$$PWRMOT = \frac{PWRED}{\eta_{mot}} \quad (3)$$

donde:

$\eta_{mot}$ - eficiencia mecánica del motor y se considera igual a 90 (Ulrich & Eppinger, 2008);

PWRMOT- potencia transmitida por el eje del motor.

La potencia requerida para mover el sistema depende de la tensión efectiva en los ramales de la banda. La tensión efectiva en la faja toma en cuenta factores de pérdidas por fricción, por el peso de la faja, de los rodillos y de la lámina. La tensión efectiva  $T_c$  se determina según la ecuación (4)

$$T_c = \frac{1}{F_t} \{ F_r \cdot L \cdot [W_m + (2 \cdot W_b)] + (R_t \cdot C_t) + (R_p \cdot C_p) + (R_i \cdot C_i) \} \quad (4)$$

donde:

$F_t$ - factor de pérdidas terminales,  $F_t = 0,85$ ;

$F_r$ - factor de fricción en el soporte de los rodillos cargadores,  $F_r = 0,075$ ;

$L$ - longitud de la faja tomando en cuenta los tambores,  $L = 13,3$  m;

$M_p$ - masa de las piezas de polialuminio,  $M_p = 600$  kg;

$W_m$ - peso de las piezas de polialuminio por unidad de longitud de la banda,  $W_m = M_p \cdot g / L = 442,6$  N/m;

$W_b$ - peso de la faja por unidad de longitud de la banda,  $W_b = 271,1$  N/m;

$R_t$ - peso unitario del rodillo cargador menos el eje sólido,  $R_t = 32,6$  N;

$R_p$ - peso unitario del rodillo tensor menos el eje sólido,  $R_p = 32,6$  N;

$R_i$ - peso unitario del rodillo de retorno menos el eje sólido,  $R_i = 32,6$  N;

$C_t$ - número de rodillos cargadores por metro de la banda transportadora,  $C_t = 43/L$ ;

$C_p$ - número de rodillos tensores por metro de la banda transportadora,  $C_p = 2/L$ ;

$C_i$ - número de rodillos de retorno por metro de la banda transportadora,  $C_i = 2/L$ .

A partir de la tensión efectiva se determinan la tensión superior y la tensión inferior de la banda (Figura 2). Primero se determinan las constantes  $k_1$  y  $k_2$ , según las ecuaciones (5), (6) y (7), respectivamente; luego se sustituyen los resultados en las ecuaciones de Euler (8) y (9) (Shigley, 2011):

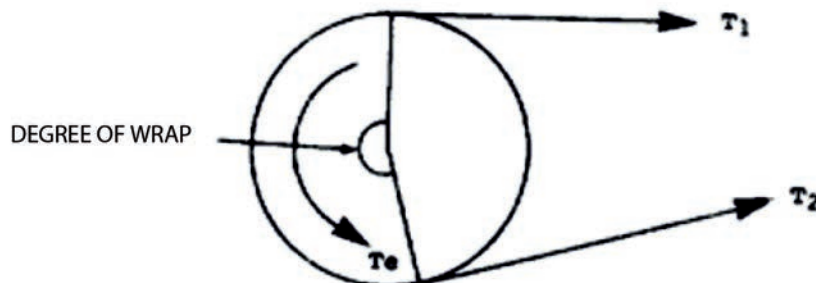


FIGURA 2. Representación de las tensiones de la polea motriz.

$$C = e \frac{\pi \cdot f \cdot \alpha}{180} \quad (5)$$

$$k_1 = \frac{c}{c-1} \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{c}{c-1} \quad (7)$$

$$T_1 = k_1 \cdot T_e \quad (8)$$

$$T_2 = k_2 \cdot T_e \quad (9)$$

donde:

- C- constante para la obtención de las tensiones;
- $k_1$  y  $k_2$ - constantes para la obtención de las tensiones;
- $T_e$ - tensión efectiva de la banda, N;
- $T_1$ - tensión mayor de la banda, N;
- $T_2$ - tensión menor de la banda, N;
- f- coeficiente de fricción entre la banda y la polea;
- $\alpha$ - ángulo de contacto entre la banda y la polea.

El torque transmitido por la polea motriz al eje solidario se determina según ecuación (10). Se considera la tensión efectiva por el radio de la polea motriz:

$$TORQDP = T \left( \frac{dot}{2} \right) \quad (10)$$

donde:

dot- diámetro de la polea motriz, dot=0,2 m.

La velocidad angular de la polea motriz se determina según ecuación (11):

$$DP = \frac{vel}{\frac{dot}{2}} \quad (11)$$

donde:

vel- velocidad lineal de la banda.

## RESULTADOS

Al sustituir en la ecuación 1 las cantidades calculadas se tiene que la potencia de la fuente motriz debe ser iguala 377,1 W (0,5 hp).

### Dimensionamiento de los rodillos cargadores

Los rodillos cargadores son aquellos sobre los que descansa la faja (banda o cinta transportadora). Para el diseño mecánico de estos elementos de máquina se considera como carga el peso de las láminas de polialuminio, las propiedades mecánicas de

un material A-36 y una geometría hueca. Los criterios de Von Mises y Tresca se emplean para dimensionar los elementos antes mencionados (Shigley, 2011). En la Tabla 1 se citan las especificaciones técnicas.

La propuesta de diseño se validó mediante el análisis por el método de los elementos finitos.

Se determinaron los principales parámetros de diseño, se construyó y evaluó un prototipo de máquina transportadora capaz de recibir las láminas manufacturadas en la prensa en caliente con la finalidad de mejorar la calidad de las láminas de polialuminio. El costo de fabricación de la máquina es de aproximadamente 500 mil pesos mexicanos. Se realizó un análisis por el método de los elementos finitos, el cual permitió corroborar los resultados entregados a la empresa los cuales son confiables y se puede realizar la inversión correspondiente y la puesta en marcha del proceso de producción.

**TABLA 1. Especificaciones de diseño para el rodillo cargador**

Parámetros	Especificaciones
Masa de la paca	600 kg
Longitud frontal de la paca	1,5 m
Distancia entre ejes de cada rodillo cargador	0,3 m
Velocidad lineal de desplazamiento de la faja	0,1 m/s
Ancho del rodamiento del rodillo	0,04 m
Distancia entre soportes del rodamiento	0,8 m
Longitud de la sección tubular	0,714 m
Relación entre diámetro exterior e interior del tubo	0,871766
Acero	A -36
Carga por unidad de longitud del rodillo	1635 N/m
Diámetro exterior del tubo	8,88 cm
Diámetro interior del tubo	7,75 cm
Espesor del tubo	0,57 cm
Diámetro del eje sólido	2,85 cm
Peso del tubo	196,66 N
Pesos del eje sólido	94,6 N
Peso total del rodillo	285,33 N
Momento flector máximo en el tubo	546,41 N·m
Momento flector máximo en el eje sólido	42,18 N·m
Esfuerzo máximo de tensión en el tubo	18,76 MPa
Esfuerzo máximo de tensión en el eje sólido	18,52 MPa
Deflexión máximo del tubo	0,6 mm
Deflexión máxima del eje sólido	2,6 mm
Velocidad angular a la que funcionará el rodillo	21,5 rpm
Rango de velocidades críticas del eje sólido	1674 -1917,6 rpm
Velocidad angular crítica del tubo	1186,5 rpm

Con los criterios expuestos y a solicitud del cliente se realizó la propuesta de diseño, la misma se muestra en las Figuras del 3 al 9.



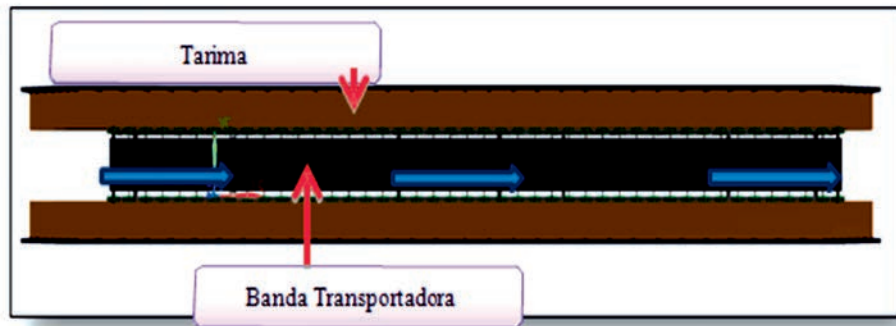


FIGURA 3. Vista superior.

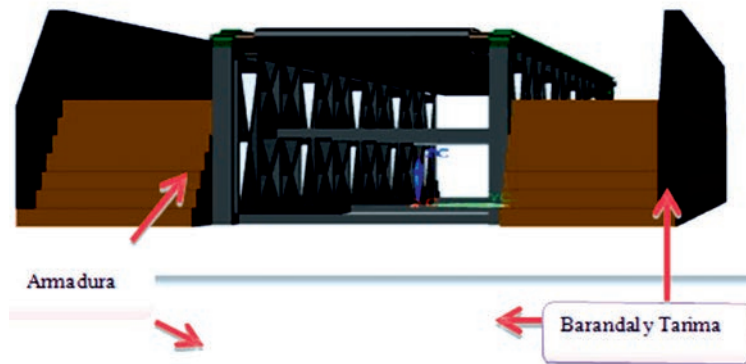


FIGURA 4. Vista frontal.

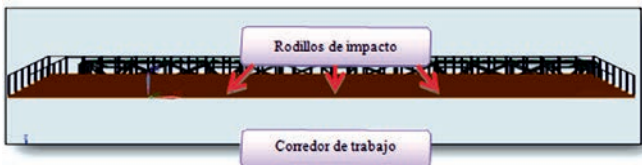


FIGURA 5. Vista lateral del módulo de separación.

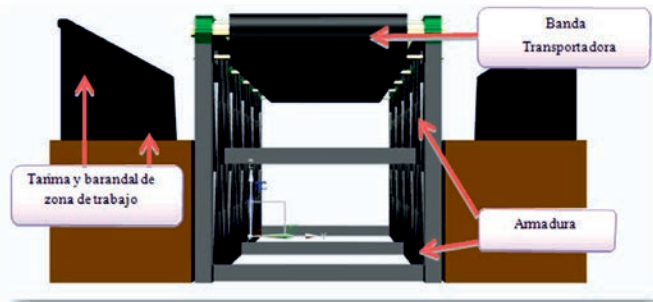


FIGURA 6. Vista frontal del módulo de separación.

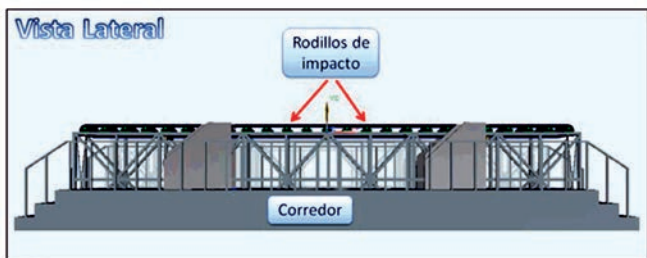


FIGURA 7. Vista lateral.

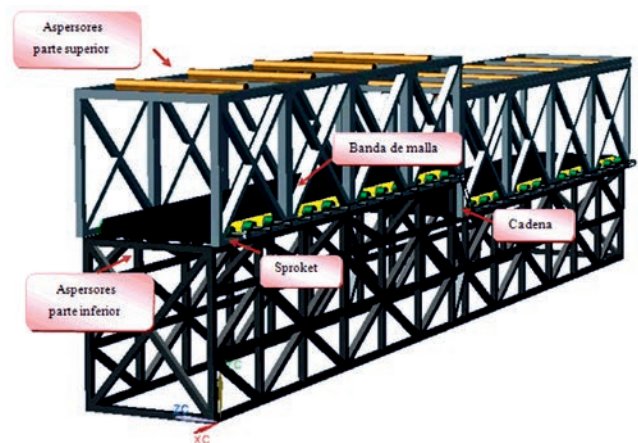


FIGURA 8. Vista isométrica del sistema.

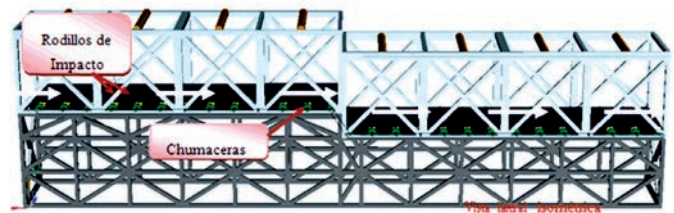


FIGURA 9. Vista lateral isométrica del sistema.

## CONCLUSIONES

- Después de determinar los principales parámetros de diseño, se construyó y evaluó un prototipo de la máquina transportadora.

- tadora capaz de recibir las láminas manufacturadas en la prensa en caliente con la finalidad de mejorar la calidad de las láminas de polialuminio.
- El costo de fabricación de la máquina es de aproximadamente 500 mil pesos mexicanos.
- Los resultados entregados a la empresa son confiables y se puede realizar la inversión correspondiente y la puesta en marcha del proceso de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUDYNAS, R. G.; K. NISBETT: *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*, Octava Edición,. Mc Graw Hill. ISBN 978-970-10-6404-7. México, 2008.
- FAIRES, V. M.: *Diseño de elementos de máquinas*, Limusa Noriega, México, 1999.
- HALL, A.S.; A.R. HOLOWENCO; H. LAUGHLIN: *Diseño de máquinas*, McGraw-Hill, México, 2001.
- HIBBELER, R. C.: *Dinámica*, Prentice Hall. Décimo segunda edición, México, DF, 2012.
- HIBBELER R.C.: *Mecánica de materiales*, Prentice Hall. Décimo segunda Edición, México, DF, 2010.
- Hytrol Conveyor Company: CRB-Horizontal Belt Conveyor product specifications, Hytrol Conveyor Company Inc. Product Catalog [en línea] 2011, Disponible en: <http://www.hytrol.com/web/products-services/catalog.php?prodid=11> [Consulta: enero 22 2012].*
- MOTT, R.: *Machine Elements in Mechanical Design*, Prentice Hall, Cuarta Edición, USA, 2011.
- NEELY, J. E.; R.O. MEYER; W. BLANCO: *Manual de Máquinas Herramientas*, Prentice Hall, 0132702320/97801327023,. Sexta Edición. USA, 2011.
- NORTON, R. L.: *Diseño de Maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*, Tercera Edición, ISBN 970-10-4656-0, 2005, McGraw-Hill Interamericana, México, 2005.
- NORTON, R. L.: *Diseño de Maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*, Segunda Edición, ISBN 970-10-2655-1, 2004, McGraw-Hill Interamericana, México, 2004.
- Reciclaje y Recolección–Tetra Pak: Tecnologías de reciclaje Medio Ambiente: Reciclaje y recolección–Tetra Pak Colombia [en línea] (s.f), Disponible en: [http://www.tetrapak.com/co/environment/recycling\\_and\\_recovery/recycling\\_technologies/pages/default.aspx](http://www.tetrapak.com/co/environment/recycling_and_recovery/recycling_technologies/pages/default.aspx). [Consulta: enero 22 2012].*
- SHIGLEY, J.E.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, Décima edición, México, DF, 2011.
- Sistema Tetra Brik Tetra Pak: Composición del envase (s.f) Productos/Servicios: El sistema Tetra Brik Tetra Pak Argentina [en línea] (s.f), Disponible en: [http://www.tetrapak.com/ar/products\\_and\\_services/elsistemadetrabrik/composic%C3%B3n%20del%20envase/Pages/default.aspx](http://www.tetrapak.com/ar/products_and_services/elsistemadetrabrik/composic%C3%B3n%20del%20envase/Pages/default.aspx). [Consulta: enero 22 2012].*
- Tecnologías de reciclado-Tetra Pak: Del cartón al papel (s.f) Medio Ambiente: Tecnologías de reciclado-Tetra Pak Argentina [en línea] (s.f), Disponible en: [http://www.tetrapak.com/ar/environment/recycling\\_and\\_recovery/recycling\\_technologies/from\\_carton\\_to\\_paper/Pages/default.aspx](http://www.tetrapak.com/ar/environment/recycling_and_recovery/recycling_technologies/from_carton_to_paper/Pages/default.aspx) [Consulta: enero 22 2012].*
- ULRICH, K. T. & D. EPPINGER: *Product design and development*, 4ta Ed., McGraw-Hill/Irwin, Boston, Massachusetts, USA, 2008.

**Recibido:** 10 de febrero de 2013.

**Aprobado:** 9 de julio de 2014.

María Victoria Gómez Águila, Profesora, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA), km 38.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Chapingo, Texcoco, México, Correo electrónico: [mvaguila@hotmail.com](mailto: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.



Instituto de Investigaciones  
de Ingeniería Agrícola



### DATOS DE LOCALIZACIÓN DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA AGRÍCOLA (IAgric)

#### **Sede Boyeros:**

Dirección General y Económica. Dirección: Carretera de Fontanar, km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: [IAgricdireccion@minag.cu](mailto:IAgricdireccion@minag.cu); [direccion.general@iagric.cu](http://direccion.general@iagric.cu) Teléfonos: (53) (7) 645-1731; 645-1353.

#### **Sede Arroyo Naranjo:**

Direcciones Científica y de Desarrollo Institucional, Unidad de Producciones Tecnológicas y Comercial. Dirección: Avenida Camilo Cienfuegos y Calle 27, Municipio Arroyo Naranjo, Apartado Postal 6090, Habana 6, Cuba. E-mail: [directoradjunta@iagric.cu](mailto:directoradjunta@iagric.cu) Teléfonos: (53) (7) 691 2533/ 691 2665 Telefax: (53) (7) 691 7595/ 691 1038.