

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**



**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SELLADORA TÉRMICA EN**  
**LÍNEA DE FUNDAS CIERRA-FÁCIL PARA LA EMPRESA**  
**TERRAFÉRTIL S.A.”**

**AUTOR: SANMARTÍN BERMEO DANNY JAVIER**

**DIRECTOR: ING. ZAMIR MERA**

**IBARRA – ECUADOR**

**2015**

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SELLADORA TÉRMICA EN LÍNEA DE FUNDAS CIERRA-FÁCIL PARA LA EMPRESA TERRAFÉRTIL S.A.”

Danny Sanmartín

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**Ibarra / Ecuador**

dannyjaviers@gmail.com

## **I RESUMEN**

El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de dar solución al sistema de sellado de fundas cierra fácil en la empresa TERRAFÉRTIL S.A, en especial en el área de producción y empaque, en la dificultad que se tiene al no poder utilizar un proceso de sellado continuo y adecuado, el mismo que se realiza manualmente usando selladoras a pedal, cuyo rendimiento no es acorde con la producción.

Esta máquina consta de un control que se basa en una sincronización de varios mecanismos motrices, este nuevo sistema viene a sustituir un control electromecánico que requiere de excesivo mantenimiento debido al desgaste mecánico y eléctrico que sufren las máquinas. El sistema reduce el tiempo de puesta en marcha de la máquina, y le facilita al operador el cambio de la producción de un producto a otro, debido a que no es necesario realizar

ajustes mecánicos para darle la longitud de sellado a la bolsa.

## **II INTRODUCCIÓN**

La empresa TERRAFÉRTIL S.A. ha llegado a constituirse en una de las empresas pioneras a nivel nacional e internacional, en la categoría de pequeña y mediana empresa, cuya actividad social y económica es la elaboración, producción, y comercialización de frutos secos y deshidratados, destinados al consumo humano, garantizando su inocuidad en cada uno de sus procesos.

Para el proceso de sellado, actualmente en la empresa de utilizan selladoras a pedal, como se muestra en la (figura 1.1), con un rendimiento efectivo de 15 a 20 fundas por minuto, y teniendo una productividad tan alta se hace difícil controlar la hermeticidad y estética de sellado funda a funda.



Figura: Proceso actual de sellado

Para la elaboración de cada uno de estos productos la empresa se rige por varios estándares de calidad. Inclusive han llegado a implementar las buenas prácticas de manufactura BPM's, en cada uno de sus procesos, que empieza con la rigurosa selección de la materia prima, en la que los proveedores son sometidos a evaluaciones de carácter de calidad. Luego el proceso de transformación de la materia que es canalizado e implantado por el departamento de control de calidad, que son los encargados de liberar los lotes tanto de materia prima como de producto terminado.

Para el embalaje de los productos se utilizan fundas doy pack que son fundas prefabricadas y que están dotadas de un cierra-fácil en la parte superior como se detalla en la figura 1.2.



Figura: Fundas prefabricadas

### III PROBLEMA

El sellado térmico es el proceso más crítico dentro de la industria alimenticia, ya que de este depende la vida útil del producto, sin embargo existen industrias en donde todavía se realiza dicho proceso manualmente ocasionando problemas estéticos y más aún si repercute en el tiempo de producción.

En la empresa el proceso de sellado de las fundas cierra-fácil se realiza mediante selladoras de pedal, en donde la presión y temperatura de los selladores no son controladas, por ende no se puede garantizar la hermeticidad y presentación del producto.

Se está produciendo una gran revolución con las nuevas tecnologías, de las que cada vez obtenemos mayor precisión y fiabilidad en los diferentes procesos, por lo tanto con la selladora de fundas cierra-fácil se mejorará en gran cantidad la productividad de la empresa, cabe destacar que, gracias a las nuevas

tecnologías, el control de la contaminación y la salud ocupacional es cada vez mayor.

Desarrollando el presente proyecto se brindará una solución real a una necesidad de renovar un proceso en la industria local, demostrando así como las máquinas y los procesos pueden ser mejorados con la tecnología y con una alta visión empresarial.

#### **IV OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una máquina selladora térmica en línea de fundas cierra-fácil, que satisfaga las necesidades de la producción, en la empresa TERRAFÉRTIL S.A.

#### **V OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las variables que intervienen en el proceso de sellado para tener un previo diseño del prototipo.
- Diseñar y seleccionar los diferentes elementos mecánicos, eléctricos, y de control, para cumplir las expectativas de diseño inicialmente planteadas.
- Construir y ensamblar cada uno de los elementos de la máquina.
- Realizar las diferentes pruebas y ajustes para el funcionamiento óptimo de la selladora.

## **VI FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **TÉCNICAS DE SELLADO**

Para el sellado de los plásticos se emplean algunos métodos utilizados en el ámbito industrial, entre ellos se tiene:

- Sellado térmico
- Sellado ultrasónico
- Sellado adhesivo

### **SELLADO TÉRMICO**

El sellado térmico consiste en sellar dos porciones superpuestas de un material, mediante el uso de calor generado por resistencias calefactoras sobre barras calientes que unen las porciones del material.

Entre sus principales características se encuentran:

- Sencillo en cuanto a la implementación y uso.
- No requiere maquinaria ni controles sofisticados.
- Es de bajo costo de implementación.
- No utiliza solventes ni sustancias de relleno.
- Sellado confiable y resistente.
- Requiere un previo tiempo para calentamiento de niquelinas y barras.

## SELLADO ULTRASÓNICO

El sellado ultrasónico es una técnica innovadora en la que se utiliza la frecuencia de ultrasonido para unir entre si molecularmente dos porciones de un material

Entre sus principales características se encuentran:

- Tiempos de proceso muy rápidos.
- Alto control y monitoreo del estado del proceso.
- Sellado confiable y resistente sin imperfecciones visual.
- Tecnología de bajo consumo de energía muy amigable con el ambiente.
- No utiliza solventes ni sustancias de relleno para el sellado.
- Empaques impermeables.
- No requiere previo calentamiento de la máquina.

## SELLADO ADHESIVO

Este procedimiento de sellado involucra el uso de pegamentos y sustancias adhesivas para la unión de las partes plásticas y formación de la funda.

Entre sus principales características se encuentran:

- Sellado de materiales compatibles con el tipo de pegamento.
- El sellado no es completamente impermeable.
- Tiempos de proceso moderados.
- Bajo consumo de energía.
- Uso de pegamentos, siliconas o resinas en el sellado.
- Sellado resistente pero sin posibilidad de re uso del empaque.

## POLÍMEROS

Los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros, en este caso las macromoléculas son el polietileno y los monómeros corresponden al etileno.

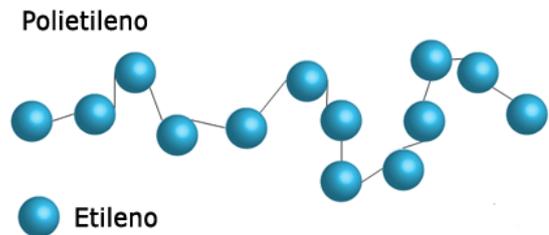


Figura: Composición de un polímero

Para tener en conocimiento de donde surge el polietileno, que es la materia prima de las fundas prefabricadas se tiene un gráfico en donde se puede observar que pertenece a los termoplásticos.

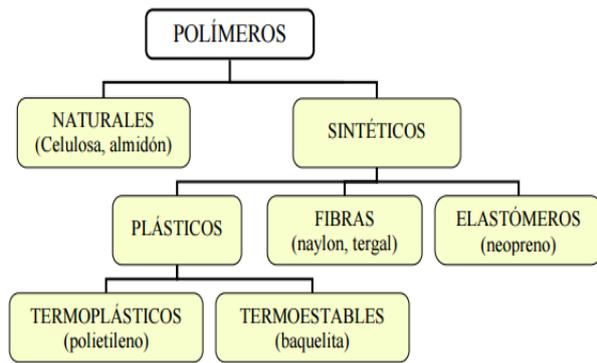


Figura: Clasificación de los polímeros

### PROPIEDADES DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

EL Polietileno de baja densidad es la materia prima del envase a usarse para la presentación de los productos, por lo que se va a ver algunas características necesarias de estos plásticos para su análisis.

Tabla: Propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Módulo elástico E (N/mm <sup>2</sup> )	200
Módulo de tracción (GPa)	0,1-0,3
Resistencia a tracción (MPa)	5 - 25
Esfuerzo de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	8 - 10
Elongación a ruptura (%)	20

Tabla: Características térmicas del polietileno de baja densidad

PROPIEDADES TÉRMICAS	
Calor específico (J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1900-2300
Coefficiente de expansión (x 10 <sup>6</sup> K <sup>-1</sup> )	100-200
Conductividad térmica a 23 °C (W/mK)	0,33
Temperatura de reblandecimiento (°C)	110
Temperatura de cristalización (°C)	105-110

Tabla: Características eléctricas del polietileno

PROPIEDADES ELÉCTRICAS	
Constante dieléctrica a 1 MHz	2,2-2,35
Factor de disipación a 1 MHz	1-10 X 10 <sup>-4</sup>
Resistencia dieléctrica (kv mm <sup>-1</sup> )	27
Resistencia superficial (ohm/sq)	1013
Resistencia de volumen (ohm cm)	10 <sup>15</sup> -10 <sup>18</sup>

### PARÁMETROS DE DISEÑO

La empresa TERRAFÉRTIL S.A. como productores de frutos secos y deshidratados pretenden obtener muy buenos resultados con la selladora, ahorrar tiempo y a la vez tener una mayor producción, por lo que se debe cumplir con los siguientes requerimientos de diseño.

## **FUNCIONALES**

### *Tareas a realizar*

- Ingreso manual de la fundas.
- Alimentación horizontal de las fundas.
- Arrastre de las fundas al área de los rodillos de sellado, por medio de bandas de silicona.
- Sellado de las fundas que se alimenten a la máquina.
- Posterior arrastre de la funda para mantener estabilidad por medio de rodillos de silicona.
- Ayudar al empaque a recorrer la etapa mediante una banda transportadora.
- Despacho de bolsa para su posterior empaquetado.

### *Parámetros de diseño*

- Tipo de empaque a sellar: Fundas Prefabricadas tipo Doy pack.
- Temperatura de operación: 100-160 °C
- Temperatura ambiente del producto a sellar: 18 °C.
- Energía de alimentación, debe ser 110 Vac Monofásico, 60 Hz.
- Las dimensiones ajustadas a instalaciones (mediana y pequeña empresa), ser ligero y versátil.
- En cuanto a las partes de control sea netamente eléctrico y de fácil

intercambio y reemplazo de repuestos.

- Construcción en acero inoxidable 304 y materiales grado sanitario, aptos para el contacto con alimentos según normas internacionales.

## **OPERACIONALES**

- Debe ser de fácil movilidad y ajuste.
- Que sea de fácil desmontaje.
- Diseñar pensando en el operador, para personal con poca calificación.
- Ergonómica y pensada en la seguridad del personal.
- De fácil instalación y operación, de fácil entendimiento.

## **COMERCIALES**

- Las dimensiones de la máquina deben ajustarse a los espacios en la micro, pequeña y mediana empresa.
- Vida útil: 10 años aproximadamente.
- Uso de materiales o repuestos de proveedores locales preferiblemente.
- Uso de materiales poco degradables para garantizar su vida útil.

## 1.1 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En la formulación de alternativas de diseño se tiene un banco de opciones para luego ser elegidas estratégicamente tanto en el mecanismo de sellado como en el mecanismo de tracción de movimiento del equipo, la alternativa a elegir será la que mediante el estudio en una matriz de decisión y la opción apropiada va a ser en la que se obtenga un mayor puntaje.

### SELLADO

- *Sellado por inducción (opción A)*
- *Sellado por mordazas (opción B)*
- *Sellado por rodillos (opción C)*
- *Sellado por ultrasonido (opción D)*

Tabla: Matriz de decisión del sistema de sellado

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ALTERNATIVAS DE DISEÑO				
	A	B	C	D	IDEAL
Seguridad	20	20	25	18	30
Bajo costo inicial	4	8	12	1	15
Silencioso	8	5	7	8	10
Bajo costo de operación y mantenimiento	1	4	4	1	5
Buen desempeño	4	3	4	4	5
Tamaño pequeño y ligero	2	1	4	4	5
Facilidad de manufactura	2	1	4	3	5
Facilidad de servicio y reemplazo de piezas	5	3	4	3	5
Facilidad de operación	4	3	5	4	5
Componentes de fácil adquisición en el mercado	2	4	4	2	5
<b>TOTAL %</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>73</b>	<b>48</b>	<b>100</b>

La alternativa más adecuada para el diseño del sistema de sellado, es el sellado por rodillos térmicos con un porcentaje del 73%. La segunda opción es el sellado por inducción o por mordazas.

## TRACCIÓN DE MOVIMIENTO

Tracción por engranajes (opción A)

Tracción por cadena (opción B)

Tracción por banda (opción C)

Tabla: Matriz de decisión del sistema de tracción

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ALTERNATIVAS DE DISEÑO			
	A	B	C	IDEAL
Seguridad	21	26	25	30
Bajo costo inicial	6	12	12	15
Silencioso	4	6	7	10
Bajo costo de operación y mantenimiento	2	4	4	5
Buen desempeño	1	4	2	5
Tamaño pequeño y ligero	2	4	3	5
Facilidad de manufactura	1	4	3	5
Facilidad de servicio y reemplazo de piezas	4	3	5	5
Facilidad de operación	4	4	4	5
Componentes de fácil adquisición en el mercado	2	4	2	5
TOTAL %	47	71	67	100

La alternativa que mejor se adapta a los requerimientos de tracción es por medio de cadenas, la opción B, debido a que se obtuvo un porcentaje del 71% teniendo como segunda opción a la tracción por bandas.

## CAPACIDADES



Figura: Funda prefabricada

Ecuación: Fórmula para encontrar la cantidad de fundas selladas por minuto

$$Q = \frac{Rs}{Ls + Ef}$$

Donde:

Ls = Longitud de sellado de la funda=16 cm = 0,16 m

Ef = Espacio entre funda y funda=15 cm = 0,15 m

Rs = Recorrido de sellado en un minuto: 10 m

Q = Cantidad de fundas selladas por minuto

Reemplazando se tiene:

$$Q = \frac{10 \text{ m}}{0,16 \text{ m} + 0,15 \text{ m}}$$

$$Q = \frac{10}{0,31} = 32,2581$$

= 32 fundas por minuto

## DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La estructura es la parte primordial dentro del diseño ya que de esta depende que el equipo no colapse, para realizar los cálculos hay que elaborar una tabla, como la tabla 3.11, en la que se detalla el peso de cada elemento de la máquina

Tabla: Peso de los componentes de la máquina

DESCRIPCIÓN	CANT.	PESO (kg.)	CARGA (N)
MOTOR - REDUCTOR	1	2	19,62
MECANISMO DE SELLADO	1	17,32	169,9
BANDA TRANSPORTA DORA	1	2,559	25,1
<b>TOTAL</b>		<b>21.987</b>	<b>215,69</b>

## TAMAÑO

ALTO: 1350 mm  
 ANCHO: 750 mm  
 LARGO: 450 mm

## ESFUERZO MÁXIMO DE VON MISES

En el análisis se obtiene el esfuerzo de Von Mises con un valor de 10,63 Mpa como se observa en la figura.

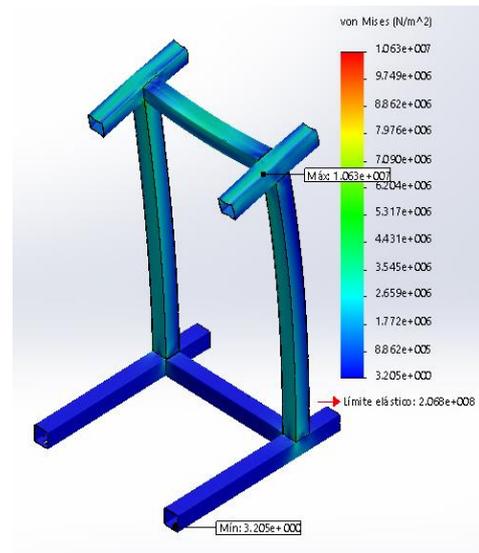


Figura: Esfuerzo máximo de Von Mises  
 Es decir:

$$\sigma \leq S_y$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de Von Mises

$S_y$  = Es la resistencia a la fluencia del material

$$10,63 \text{ MPa} \leq 310 \text{ MPa}$$

Se puede concluir que el esfuerzo de Von Mises es menor que la resistencia a la fluencia del material, por lo que garantiza que el sistema no va a colapsar y esta bien dimensionado.

## FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTRUCTURA

Para la estructura se utiliza acero inoxidable 304, con las características de:

$$S_y = 310 \text{ MPa} \quad Y \quad S_{ut} = 620 \text{ MPa}$$

Con lo anteriormente detallado, se procede a encontrar el FDS en la estructura; para esto se acude a la ecuación.

Ecuación: Factor de seguridad

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

Fuente: (BUDYNAS, 2008)

Donde:

$n$  = Factor de Seguridad

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del material

$\sigma$  = Esfuerzo de Von Mises

Entonces:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{310 \text{ MPa}}{10,63 \text{ MPa}}$$

$$n = 29,16$$

## CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Para el desarrollo del presente proyecto, en cuanto al control de temperatura se usará un controlador Watlow de la serie 935A-1CC0-000R, ver

(figura 4.4), es un controlador de temperatura con temporizador de conteo regresivo para aplicaciones industriales, comerciales o científicas.



Figura : Controlador de temperatura Watlow 935A-1CC0-000R

Se puede observar a continuación en la figura, las características del controlador:

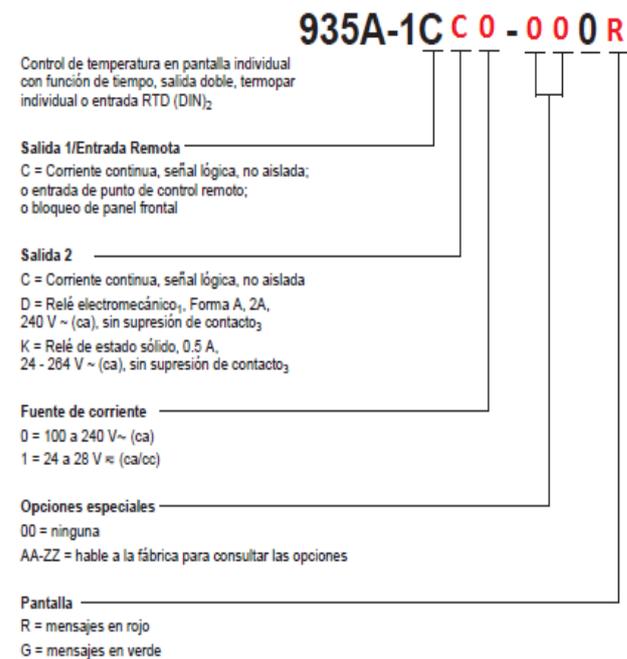


Figura: Características del pirómetro Watlow 935A

## SENSOR DE TEMPERATURA

En este caso se emplea una termocupla tipo J ver figura 4.8, que no es más que dos

alambres de distinto material unidos en uno de los extremos y el otro se lo conecta al pirómetro, al momento de aplicar calor en la punta unida se produce un diferencial de voltaje, en la orden de los mili voltios el mismo que varía proporcionalmente con la temperatura. La termocupla tipo j que es totalmente compatible con el pirómetro Watlow, y permite lecturas de 0 a 750 °C. A continuación sus características ver (tabla 4.7).



Figura: Termocupla tipo J

Tabla: Características de la termocupla Termokew tipo J

PARÁMETRO	VALOR
Material	Hierro -constantán
Rango de temperatura	0 - 760 °C
Tolerancia	± 2.2 - 0.75%
Recubrimiento	Inoxidable 304
Diámetro	3/16 in

## CONTROL Y AJUSTE DE VELOCIDAD

Para el control de la velocidad de la máquina se ha elegido un controlador netamente adaptable para un motor de corriente continua ver figura 4.9, basado en un circuito por triacs el cual consiste en la variación del voltaje y a su vez la velocidad proporcional a este.

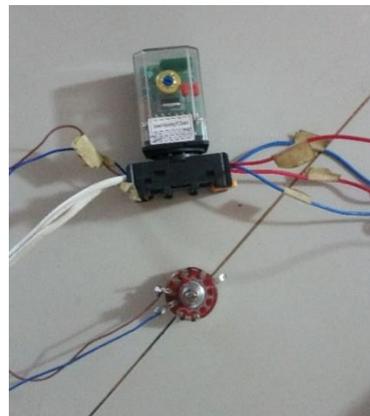


Figura: Variador de velocidad

## VIII CONCLUSIONES

- Se cumple con el principal objetivo del proyecto que es el diseño y construcción del equipo, logrando cumplir las expectativas y los parámetros inicialmente planteados.
- Con la implementación de la selladora térmica en línea se elevó la eficiencia del proceso en un 40%, y a su vez se incrementó la tasa producción en un 75% en la empresa.
- Se debe tener en cuenta antes de ejecutar la marcha del proyecto,

realizar un estudio previo de las variables de temperatura y velocidad de sellado de los empaques a sellar, ya que estas variables se constituyen en un pilar esencial en el diseño.

- El acero inoxidable 304 empleado es un excelente material ya que es capaz de resistir los esfuerzos a los que será sometida la máquina, como además sus propiedades que lo constituyen en un material aséptico e idóneo para trabajar con alimentos.
- Si bien es cierto la selladora continúa está diseñada para sellar fundas con cierra fácil de calibre 94  $\mu$ , se la puede adaptar para su trabajo en cualquier otro tipo de funda de menor o mayor calibre.
- En la rama de diseño se debe contar con las herramientas necesarias para poder hacer un prototipo que a su vez ofrezca las garantías pertinentes, en este caso se ha optado por dos software de diseño asistido por computador como lo son Autodesk Inventor y Solid Works que resultaron ser de gran ayuda para la ejecución y validación de cada una de las piezas, simulaciones y corroboración de medidas.

## IX RECOMENDACIONES

- Tener presente al momento de realizar un previo diseño, que los materiales y repuestos que se necesitan para la manufactura del equipo se puedan conseguir fácilmente en el mercado industrial, y así evitar que las dimensiones asignadas o calculadas a cada elemento sean inconsistentes con el material disponible.
- Procurar que los materiales a usarse en la manufactura de la máquina se rijan en base a las normativas alimenticias estandarizadas y aceptadas a nivel internacional, para evitar la posible contaminación del producto y garantizar la seguridad y asepsia del proceso.
- Para ejecutar un proyecto de implementación de una máquina en la industria, es necesario realizar un previo análisis económico, en donde se dará cuenta prematuramente si es o no viable efectuar dicho proyecto, tanto para el diseñador como para la empresa.
- Para convalidar los datos de diseño es necesario apoyarse en un software de diseño y modelado, tanto para simulaciones como para

generación de planos de manufactura.

- Realizar los trabajos de mantenimiento siguiendo una a una las actividades propuestas en el plan de mantenimiento, para prevenir daños prematuros en la máquina y mantener una vida útil mayor.

## X BIBLIOGRAFÍA

- ASKELAND, D. R. (2004). *Ciencia e Ingeniería de lo Materiales* (4ta. ed.). México: Editorial Thomson.
- Basantes, E. (18 de Septiembre de 2014). *El empaque conversion*. Obtenido de [//www.elempaque.com/temas/Mas-potencia-con-el-sellado-por-induccion-de-la-Super-Seal-Touch+4094062](http://www.elempaque.com/temas/Mas-potencia-con-el-sellado-por-induccion-de-la-Super-Seal-Touch+4094062)
- Budinas R., N. J. (2008). *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill/Interamericana.
- Incropera, I. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México DF, México: Prentice Hall.
- KREITH, F. (1986). *Principios de transferencia de calor (s/e)*. Madrid, España.
- Larburu, N. (2003). *Máquinas prontuario*. Magallanes, España: thomson.
- MOTT, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta. ed.). México: Editorial Pearson.
- NORTON, R. L. (2005). *Diseño de Máquinas* (3ra. ed.). México: Editorial Mc Graw Graw Hill.
- Verdugo, C. (2010). *Diseño e implementación del sistema de control y monitoreo para la máquina de corte y sellado de fundas tepack*. Previo a la obtencion de título de ingeniero en electrónica, EPN. Quito.
- WATLOW. (2014). *Controladores de temperatura Watlow serie 935*. En Watlow, *Manual de usuario* (págs. 1-58). Mexico.
- Solution, N. (12 de Agosto de 2014). *Soluciones del empaque*. Obtenido de <http://www.novamart.com/tienda/index.php/empaque/selladoras/selladoras-de-banda/selladora-de-banda-vertical-continua.html>
- Surtirodamientos. (16 de Agosto de 2014). *Transmision y potencia*. Obtenido de <http://www.surtirodamientos.com/transmision-y-potencia/>

- TERMOKEW. (11 de Agosto de 2014). *Fabricación de y diseño de termopares*. Obtenido de <http://www.termokew.mx/>

