

## DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MÁQUINA BOLSEADORA

Billy Flores-Medero Navarro<sup>1</sup>, Gabriel Hurtado Chong<sup>2</sup>, David Marroquín García<sup>3</sup>, Alejandro Elías Rodríguez<sup>4</sup>,  
Brenda González<sup>5</sup>, David Cortez<sup>6</sup>

Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, UNAM,  
Avenida Universidad 3000, Col. Copilco Universidad, C.P. 04510, Del. Coyoacán, México D.F.

e-mails: <sup>1</sup>billy\_fmederonavarro@cancun.fi-a.unam.mx, <sup>2</sup>gahucho@dimeifi.unam.mx, <sup>3</sup>marromas@hotmail.com,  
<sup>4</sup>mr.eira@gmail.com, <sup>5</sup>b\_glz@msn.com, <sup>6</sup>dgasca@gmail.com

### RESUMEN.

El objetivo de este artículo es mostrar cómo puede aplicarse la teoría del diseño mecatrónico para el diseño y construcción de un prototipo funcional de una máquina para el sello y corte de bobinas de polietileno de alta densidad.

Este proyecto surge por la necesidad de la compañía patrocinadora de mejorar la calidad del sello y al tratarse de un proyecto académico con la industria, contribuye a la formación integral de los alumnos participantes.

Para la realización del proyecto se emplearon diferentes herramientas de las distintas áreas que conforman a la ingeniería mecatrónica. Así, se emplean entre otros, la “Casa de Calidad” para determinar las necesidades y requerimientos del cliente; herramientas de CAD para la elaboración de planos, visualización y fabricación de las piezas y software para la simulación y elaboración de los circuitos eléctricos.

En síntesis, el desarrollo de este prototipo constituye un proyecto académico patrocinado por la industria y es un claro ejemplo de cómo diseñar un producto mecatrónico.

**PALABRAS CLAVE:** diseño mecatrónico, apartarrayos, borseadora, polietileno.

### ABSTRACT

*The purpose of this paper is to present an example of how the mechatronics design theory is applied in the design and construction of a prototype machine capable to seal and cut a high density polyethylene roll in order to produce polyethylene bags.*

*This project is actually sponsored by a mexican enterprise which needs to improve the quality of their bags' seals. Academic projects for the industry, like this one, highly contribute to the education and skills development of all the participating students.*

*Several tools from different areas involved in mechatronics engineering were required in order to accomplish this project. For instance, the “House of Quality” helped to determine the client's needs and requirements; CAD and simulation software were used to develop the design and construction plans of all mechanical parts, electric circuits and electronic cards.*

*Therefore, this sponsored academic project constitutes a good example of how to design a mechatronic product.*

### NOMENCLATURA.

%	por ciento
ADOM	Apartarrayo de Óxidos Metálicos
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CD	Corriente Directa
cm	centímetros
GPa	Gigapascales
kg	kilogramos fuerza
m	metros
mm	milímetros
MPa	Megapascales
PLC	Controlador Lógico Programable
PTR	Perfil Tubular Rectangular
QFD	“Quality Function Deployment” (Despliegue de la Función de Calidad)
V	volts

## 1. INTRODUCCIÓN.

La empresa patrocinadora se dedica a la fabricación de apartarrayos. Estos son dispositivos utilizados para la protección de instalaciones y subestaciones eléctricas y su función es limitar la aparición de sobretensiones del tipo atmosférico. Estas sobretensiones son drenadas a tierra a través de un cuerno de arqueo conectado en serie con los elementos de resistencia no lineal de óxidos metálicos encapsulados con una envoltura de material de concreto polimérico. Este tipo de material, es un buen aislante de uso ante la intemperie, constituido principalmente por arena sílica y una resina polimérica.



Figura 1. Alfileres aislados y ADOM.

A lo largo de su historia, la compañía ha desarrollado dispositivos aislantes que son utilizados por empresas mexicanas de distribución de energía eléctrica. Desde sus inicios, en 1999, y hasta el momento ha comercializado más de 150,000 unidades de “Alfiler Aislado” y “Alfiler ADOM” así como de otros productos, figura 1.

Como parte de la línea de producción, se cuenta con un área dedicada al empaquetamiento de los diferentes tipos de apartarrayos. En esta etapa del proceso, se requiere de la elaboración de bolsas de polietileno de alta densidad a partir de bobinas de tubo de polietileno.



Figura 2. Proceso manual de corte de la bobina de polietileno

Actualmente la elaboración de las bolsas es un proceso completamente manual. En otras palabras, la bobina de tubo de polietileno se desenrolla sobre una mesa de trabajo y con la ayuda de una regla graduada y una navaja se cortan al largo necesario, véase la figura 2. Posteriormente cada pieza de polietileno se lleva a una máquina selladora de bolsas accionada por un pedal, figura 3.

De acuerdo con la empresa y con base en sus análisis, este proceso presenta principalmente las siguientes fallas:

1. Al tratarse de un proceso manual, la presión ejercida y la fuerza distribuida a lo largo del sello varía de una bolsa a otra. Esto tiene como consecuencia que, debido a la falta de uniformidad y a mala calidad del sello, las bolsas se desfonden al introducir los apartarrayos.
2. La calidad del sello depende del operador. Si se trata de una mujer ésta logrará, en su mayoría, un sello uniforme, sin embargo en muchos casos no ejerce la fuerza suficiente para sellar completamente las bolsas. Por otra parte, si el operador es un hombre, generalmente al accionar el pedal ejerce una fuerza mucho mayor y como consecuencia corta la bolsa.



Figura 3. Vista general de la máquina selladora de pedal.

## 2. Estado del arte.

Para el diseño del prototipo se comenzó por investigar las características y principios de funcionamiento de los equipos comerciales. Se encontró que los sistemas de corte más utilizados son los de tipo puntual [1] debido a su menor consumo de energía, por ejemplo una cizalla.

Con respecto al sistema de sellado se encontró que existen dos tipos de sello [2]. El primero de ellos del tipo lineal, conocido comúnmente como sello por presión. En este, dos piezas de película termoplástica se unen mediante la fusión de ambas superficies. Debe aclararse que este sistema se utiliza normalmente en películas delgadas de entre 125 y 150 micras.

El segundo tipo de sello se denomina como sello-corte. En este sistema, una cuchilla o una mordaza afilada se calienta para fundir y cortar las películas de polietileno.

Generalmente se emplean resistencias eléctricas como elementos calefactores. Sin embargo, para el mismo fin de corte y sello, también se utilizan el aire caliente, el ultrasonido y el arco eléctrico.

Por otra parte, la mayoría de las máquinas bolseadoras que existen en el mercado, realizan tres operaciones simultáneamente; llenado, sello y corte.

En este punto es importante aclarar que dada la diversidad de productos del cliente y a petición suya, no se requiere incorporar la operación de llenado de las bolsas dentro del diseño del prototipo en cuestión.

De la misma manera y como consecuencia del bajo volumen de producción de la empresa (del orden de 10000 unidades totales por año) no se justifica económicamente la compra de alguna de las máquinas disponibles en el mercado cuyo precio oscila entre los \$300,000.00 y \$2,500,000.00 [3].

Finalmente, como resultado de las entrevistas entre la empresa y el Departamento de Ingeniería Mecatrónica y el Centro de Diseño Manufactura e Innovación Tecnológica, se determinó que se requiere una máquina automática de bajo costo, que le permita a la empresa lograr uniformidad en su producción de bolsas, garantizando un sellado adecuado para evitar daños o mermas del producto terminado, así como reducir o eliminar el desperdicio de material de empaque.

## 3. Diseño del prototipo.

Uno de los principales requerimientos a considerar, de acuerdo con las necesidades del cliente, en el diseño de dicha máquina, incluyen en orden jerárquico son: que garantice la calidad del corte y del sello del polietileno; que sea lo suficientemente robusta para soportar el uso y abuso del personal que labora en la empresa y que tenga un costo total inferior al 25% del que tienen los equipos comerciales.

Como necesidades secundarias, el cliente no ha establecido como parámetros de diseño el volumen de producción, peso, dimensiones y consumo de energía, de tal forma que han quedado abiertos a la consideración del equipo de diseño.

De acuerdo con la percepción del cliente, y dado que no existe un producto en el mercado que satisfaga sus necesidades, los objetivos y las oportunidades para el diseño del prototipo quedan definidos de la siguiente manera.

Partiendo de la información recabada, en la QFD, se decide que uno de los parámetros principales para el diseño y fabricación este prototipo es la temperatura de fluencia del polietileno de alta densidad, que de acuerdo con las propiedades del material de trabajo, se encontró que dicha temperatura [4] es de 100°C. Para garantizar un sello uniforme se requiere de un elemento que aplique una presión uniforme a largo de la bolsa y para obtener un corte limpio se decide que la mejor opción es mediante un hilo caliente. Adicionalmente se considera que la estructura sea lo suficientemente robusta y que permita el reemplazo de sus componentes en una forma sencilla. Finalmente deberá contar con un sistema para poder colocar la bobina de polietileno en forma rápida y que proporcione una tensión adecuada para facilitar el corte y sello del mismo.

De esta forma para cumplir con los parámetros de diseño se decide, dividir la configuración de la máquina en cinco diferentes sistemas, en donde cada uno de ellos se selecciono de entre varias alternativas:

1. Soporte o estructura.
2. Alimentación del material.
3. Sellado.
4. Corte.
5. Control.

A continuación se mencionan brevemente cada uno de estos cinco sistemas:

### 3.1 Soporte o estructura.

Para realizar la estructura se consideraron aleaciones de aluminio y de acero. Sin embargo, para satisfacer los requerimientos de resistencia y robustez del cliente y de acuerdo con los análisis de elemento finito, el material cuyas propiedades mecánicas garantiza estos dos aspectos es un PTR cuadrado de una pulgada de calibre 10. Este material posee las siguientes características [5] relevantes para este proyecto:

- Modulo de elasticidad 205 GPa.
- Esfuerzo de fluencia 370 MPa.

En la figura 4 se muestra la estructura final, la cual fue seleccionada de entre otras configuraciones por permitir el soporte y rigidez adecuados, por la facilidad de transporte y la ergonomía.



Figura 4. Vista general de la estructura.

### 3.2 Alimentación del material.

De acuerdo con las matrices de decisión, el sistema que cumple en mejor medida con las necesidades del cliente, está compuesto por un eje sobre el cual se monta la bobina de polietileno y a su vez, éste descansa sobre apoyos de nylamid colocados en los extremos del PTR. Para alimentar el sistema de corte y de sello se cuenta con un conjunto de cuatro rodillos metálicos. Dos de ellos funcionan como rodillos motrices impulsados por un motorreductor de corriente directa de 12VCD, lo que alimenta longitudinalmente a estos sistemas, y una transmisión de cadena [6]. Adicionalmente, los rodillos recibieron un recubrimiento de caucho para aumentar el coeficiente de fricción y facilitar así la alimentación del material, ver figura 5.

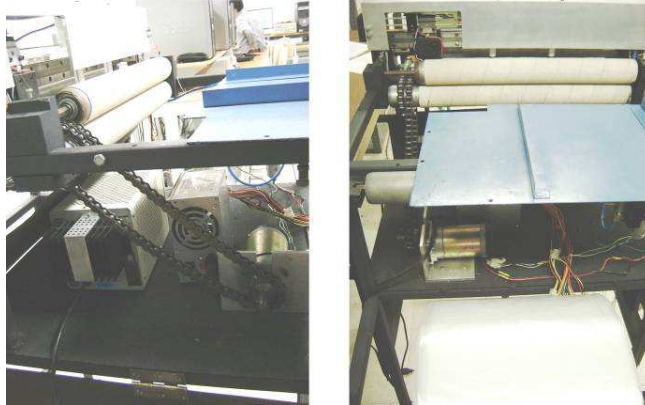


Figura 5. Sistema de alimentación.

### 3.3 Sellado

Para el sellado de la bolsa, después de analizar diferentes opciones como resistencias tubulares, aire caliente y ultrasonido, la matriz de decisión arrojó como mejor opción el calentamiento mediante un alambre de nicromel. Este es instalado en forma horizontal y sobre él se coloca cinta teflón de 1cm. para evitar que el polietileno se adhiera al nicromel caliente. Para garantizar la temperatura de fluencia del polietileno se alimenta el nicromel con una fuente de corriente directa de 12 VDC para obtener una temperatura de 120°C y por efecto de la transferencia de calor, se consigue una temperatura de 100°C en la superficie de contacto con el polietileno.

Para reducir las pérdidas de calor por conducción [7] a través de la estructura se utilizó una base de hule silicón recubierta de teflón, sobre la cual se colocó el alambre de nicromel, figura 6.

Para garantizar un sellado uniforme se diseñó un apisonador, accionado por dos cilindros neumáticos de simple efecto [8], provisto igualmente de un recubrimiento de hule silicón en la superficie de contacto con el polietileno, lo que reduce defectos en el sellado por ser un material flexible que se adapta fácilmente a la geometría de dicha superficie de contacto.

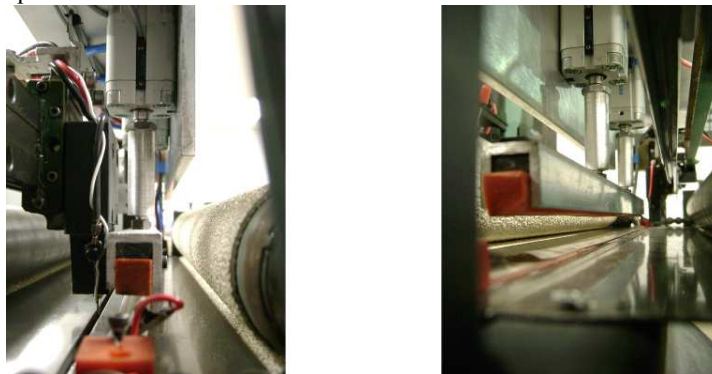


Figura 6. Vista general del sistema de sello

### 3.4 Corte

Una vez más, de acuerdo con las matrices de decisiones se selecciona como elemento de corte a un alambre de nicromel, de menor calibre, en forma de cuchilla. Este alambre es calentado al rojo vivo mediante una fuente de 5 V de corriente directa.

Para obtener un corte limpio, el nicromel se monta en una base de nylamid, la cual solo tiene movimiento transversal, perpendicular a la bobina de polietileno, y a su vez, éste se instala sobre un riel. Adicionalmente se dispone de un motor de corriente directa que se encarga de realizar el movimiento del alambre de nicromel a lo largo de dicho riel. Ver figura 7.

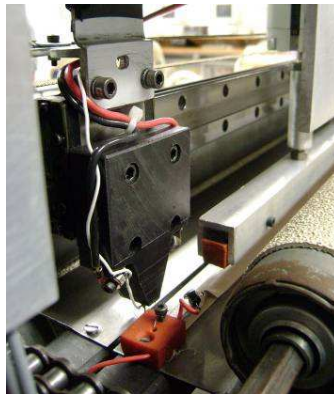


Figura 7. Sistema de corte.

### 3.5 Control.

Para el sistema de control, de acuerdo con la QFD, se consideran como diferentes opciones el control mediante microcontrolador [9] y con un PLC [10]. Para ambos casos se considera como estrategia de control un control *On/Off* en lazo de control cerrado [11].

Para hablar de un producto mecatrónico, en donde se aplican los conocimientos de las distintas áreas de la mecatrónica [12], y como resultado de las matrices de decisión, se opta por utilizar el alambre de nicromel, empleado en los sistemas de sello y corte, como un sensor de temperatura. Para este fin, se implementa un circuito de amplificación de señal que se encarga de regular el voltaje para mantener la temperatura constante mediante un sistema de control de lazo cerrado.

El sistema de control se basa en un microprocesador PIC 16F877 de Microchip. Se selecciona este tipo de microprocesador por el número de puertos disponibles y que pueden ser configurados como entradas o como salidas. Las características principales [13] de este microcontrolador son: cuenta con un convertidor analógico digital de 10 bits, opera a una frecuencia máxima de 20MHz, tiene tres “timers” internos capaces de producir desbordamientos, dos módulos que pueden configurarse como entrada (en comparación y captura) o como salida (para PWM), cuenta con cuarenta terminales de las cuales 32 pueden utilizarse como puertos de entrada o de salida, configurables cada una de ellas.

El PIC gobierna el accionamiento de los actuadores, el motorreductor del sistema de alimentación, el motor de directa del sistema de corte y la electroválvula, además de los tiempos para el precalentado del alambre de sellado y de presionado del apisonador neumático.

Para determinar el largo de las bolsas, en el motorreductor se cuenta con un encoder incremental, éste envía una señal al PIC. El microcontrolador se encarga también de calcular el número de vueltas necesarias para alcanzar el tamaño requerido de la bolsa a producir, con base en el número de pulsos generados por el encoder.



Finalmente, el PIC tiene también la función de establecer la comunicación entre el usuario y la máquina, mediante una interfaz. Para este fin se utiliza una pantalla de cristal líquido de 20x4 líneas y un teclado matricial alfanumérico de 3x4. Mediante esta interfaz el operador puede seleccionar los diferentes largos de bolsa requeridos, el número de bolsas a fabricar o bien establecer nuevos valores para la longitud de la bolsa. Ver figura 8.



**Figura 8. Sistema de control e interfaz de comunicación.**

Adicionalmente, el prototipo está instrumentado con diferentes sensores, ópticos y mecánicos, con la finalidad de garantizar el corte y sello de la bobina de polietileno, así como el envío de las diferentes señales para el sistema de control en el PIC y que así, éste pueda determinar el estado actual de la máquina y su operación.

#### **4. Resultados y conclusiones**

La realización de este proyecto es una clara muestra de cómo se puede desarrollar un producto mecatrónico aplicando las herramientas adecuadas de la ingeniería mecánica, la ingeniería eléctrica y la ingeniería de control. Una característica muy particular de este prototipo, y que lo destaca como un producto mecatrónico, es el hecho de cortar la bobina de polietileno con un alambre de nicromel y que, a su vez, éste funcione como un sensor de temperatura.

Con la fabricación del prototipo, se ha logrado obtener un sello uniforme que es capaz de soportar una carga estática de 6 kg. De acuerdo con la información proporcionada por el cliente, es suficiente para la aplicación deseada, pues el apartarrayos más grande que fabrica la empresa tiene un peso de 5.2 kg.

El volumen de producción de este prototipo para la elaboración de las bolsas de 25cm, 35cm y 45cm, de largo, es de 4 bolsas por minuto. Si bien, por especificaciones del cliente, este parámetro no es importante, es un área de mejora. Para ello, sería necesario incrementar el consumo de energía, es decir, incrementar el voltaje del nicromel de sello, pues de esta forma se alcanzaría más rápidamente la temperatura de fluencia y se reduciría el tiempo de apisonado. Así, el volumen de producción puede incrementarse de 4 a 10 bolsas por minuto.

Si bien es cierto, que la QFD aporta información valiosa para el diseño de productos, en la mayoría de los casos, se deben contemplar características adicionales. Como ejemplo de ello puede tomarse a manera de ejemplo, el largo de las bolsas. De acuerdo con las necesidades del cliente, éste sólo requiere de cuatro diferentes largos, sin embargo, para dar flexibilidad a la máquina, se agregó una opción dentro de la interfaz humano-máquina que permite seleccionar longitudes de producción diferentes a las preestablecidas, es decir, desde 250mm. hasta 2,000 mm.

Durante el desarrollo de este proyecto quedó de manifiesto la importancia de adoptar un enfoque que permita integrar los aspectos mecánicos, electrónicos y de control, que intervienen en el diseño y construcción de un producto mecatrónico.

Al visualizar y analizar algún problema de forma integral, es decir abarcando los enfoques de las tres grandes áreas que componen la mecatrónica, es posible prever y evitar problemas tales como las interferencias físicas; además de que se puede lograr una disposición óptima de los diferentes dispositivos, una distribución eficiente del cableado y es posible reducir las pérdidas de energía; entre otras ventajas.

Por otra parte, la participación de los alumnos en proyectos de esta índole contribuye de forma importante para su formación integral durante su estancia en la universidad, ya que un proyecto en donde los alumnos participan activamente les permite conocer las diferentes etapas en el desarrollo de productos y simultáneamente les permite adquirir experiencia en el quehacer diario de la ingeniería.

##### **5. Referencias y mesografía.**

- [1] Máquinas, Sellados y Envases SA., <http://www.msemaquinaria.com.mx>
- [2] Delgado Rosas Eduardo, “La bolsa de plástico, el comodín de los empaques”, Tecnomag, 2005
- [3] García Santillán, “Proyectos de inversión: evaluación integral, un enfoque practico”, 2006
- [4] Referencia de materiales y/o plásticos
- [5] Mathweb, Material Property Data, <http://www.mathweb.com>
- [6] Moring Faires, Virgil, “Diseño de elementos de máquinas”, Ed. Limusa, México, 2001
- [7] Incropera, Frank P., DeWitt, David, Fundamentos de transferencia de calor, 4a ed., Pretince Hall, México, 1999
- [8] Creus Solé, Antonio, “Neumática e Hidraulica”, Ed. Alfaomega, México, 2007.
- [9] AnguloUsategui, José M, “Microcontroladores PIC, Diseño práctico de aplicaciones, 1ra. parte., Ed. McGraw Hill, México.
- [10] Petruzella, Frank D., “Programmable Logic Controllers”, Ed. McGraw-Hill, E.E.U.U., 1998.
- [11] Ogata, Katsuhiko, Ingeniería de control moderna, 4a ed., Madrid, Pearson – Pretince may, 2003
- [12] Bolton, Wiliam, Mecatrónica: sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica, 2ª ed., México, Alfaomega, 2001
- [13] Manual de Microchip, “PIC16F87X Data Sheet”.
- [14] Bolton, William, Ingeniería de control, 2a ed., México, Alfaomega, 2001
- [15] Kart T. Ulrich, “Diseño y desarrollo de productos”, Ed. McGraw-Hill