

## Tema A1a Diseño Mecánico: Principios de diseño

### “Problemática en las tecnologías de sellado. Proceso de diseño como solución”

*M. I. Jorge Enrique Uribe Juárez<sup>a</sup>, Dr. Alejandro C. Ramírez-Reivich<sup>a</sup>, Dra. Ma. del Pilar Corona-Lira<sup>a</sup>, Dr. Crisanto Mendoza Covarrubias<sup>b</sup>*

<sup>a</sup>UNAM, Circuito Exterior, CD. Universitaria, Ciudad de México 04510, México

<sup>b</sup>UMSNH, Avenida Francisco J. Mújica s/n, Morelia 58030, México.

\*Autor contacto. Dirección de correo electrónico: [devilfim@hotmail.com](mailto:devilfim@hotmail.com)

---

#### RESUMEN

En este trabajo se muestran los principales factores que afectan la selección de un método de sellado para películas de polímero en líneas de producción. En la superficie de la mordaza se generan gradientes de temperatura que afectan la calidad del proceso de sellado. A través de la caracterización y reproducción de estos fenómenos en el laboratorio se puede diseñar una mordaza de sellado que mitigue estos efectos.

#### ABSTRACT

In this work show principal factors that affect the selection a heat sealing method for polymer films in production lines. On the surface of the jaw, temperature gradients are generated which affect the quality of the sealing process. Through the characterization and reproduction of these phenomena in the laboratory, a sealing jaw can be designed to mitigate these effects.

---

*Keywords: Engineering design, Sealing jaw, Temperature gradients.*

---

#### 1. Introducción

A partir de la evolución científica y tecnológica la humanidad ha cambiado sus hábitos, pasamos de ser nómadas a sedentarios. En esta transición nuestros ancestros buscan formas de transportar comida, herramientas, bebes; a su disposición solo tenían la naturaleza, se adaptaron a esas condiciones empleando pieles y hojas como barrera protectora. Estos aspectos se han arraigado más con el transcurrir de nuestra forma de vida, actualmente buscamos reducir el tiempo empleado en preparar alimentos recurriendo a formas más cómodas, por ejemplo: bolsas de arroz instantáneo, sopas, etc. Las compañías que proveen estos productos están al tanto de los requerimientos del usuario han creado una necesidad a cambio de minimizar el tiempo empleado en obtener nuestros alimentos, cosméticos y fármacos. La competencia en el mercado implica constantes cambios e innovaciones, el empaque y la interacción con el usuario es lo que más se ha estudiado; y es simple, los empaques tienen impreso el nombre de una

marca que es sinónimo de calidad. Los empaques tienen algunos inconvenientes, la formación de una junta y la integridad del producto contenido.

En películas de polímero se emplean mordazas calientes generando un cambio de fase en la interfaz polímero-polímero después de un enfriamiento se forma la junta, sin embargo, en las líneas de producción hay gran cantidad de desperdicio porque esta no se forma adecuadamente. En la actualidad los gobiernos están creando regulaciones para limitar la cantidad de desperdicio y que las empresas sean amigables con el medio ambiente. Se han comenzado a realizar esfuerzos por parte de las empresas, pero, persiste un desconocimiento de las causas que generan deficientes uniones. Los fabricantes de maquinaria de sellado se limitan a desarrollar nuevas tecnologías de acuerdo a la película de polímero utilizada en la línea.

En este trabajo se analizan esos factores que generan deficiencias en la zona de sellado. Los factores están ampliamente relacionados con la máquina de sellado, específicamente en la interfaz mordaza película; ahí se observa un fenómeno interesante, gradientes de temperatura

en la superficie de la mordaza y en la zona sellada. La delimitación del trabajo es conocer los factores que afectan el correcto sellado de las películas para reproducir estos factores en el laboratorio y a través de su caracterización proponer el uso de principios de diseño en el futuro diseño de las mordazas de sellado.

En el transcurso de la investigación se elaborarán prototipos de la mordaza propuesta, y en etapas más avanzadas se construirá la nueva mordaza. Este trabajo sirve como preámbulo en la investigación a desarrollar.

## 2. Tecnologías de sellado

El principio de funcionamiento de las tecnologías de sellado es transferir energía a la interfaz de sellado para generar un cambio de fase y después de un enfriamiento a temperatura ambiente generar una junta de las dos películas de polímero.

Los parámetros del proceso son ajustados de manera empírica por los operadores, en cada oportunidad de cambio de la película es donde mayor desperdicio hay. Es vital conocer las tecnologías de sellado, y también los fenómenos que se presentan en la superficie de la mordaza para comenzar por dar una solución científica y no solamente tecnológica a este problema.

### 2.1. Sellado con mordazas de cartucho

Esta tecnología de sellado es ampliamente utilizada en líneas de producción por su versatilidad y bajo precio. Su diseño consiste en una resistencia eléctrica alojada en un cartucho con arena como medio aislante entre el cartucho y la resistencia, además, otra función de la arena es absorber parte de la energía de los impactos generados en cada ciclo.

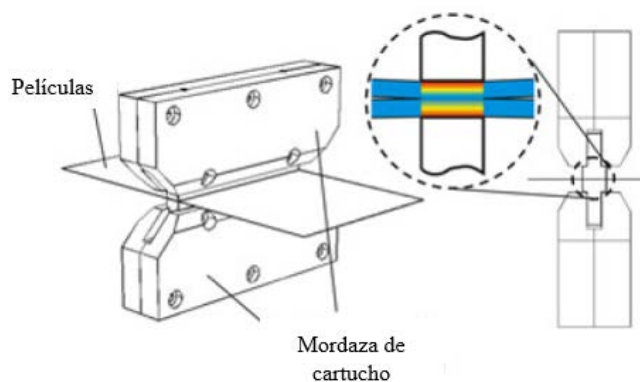


Figura 1. Interfaz de sellado mordaza de cartucho-película de polímero [14].

La contaminación por partículas sólidas que se adhieren a la superficie de la mordaza o a la película, los continuos golpes en los ciclos de trabajo que generan desalineamiento (figura 3 y figura 4) entre los elementos y los gradientes de temperatura en la superficie de la mordaza (figura 2) contribuyen a la presencia de zonas en donde la formación

de la junta no se garantiza; esta es la desventaja de las mordazas de cartucho.

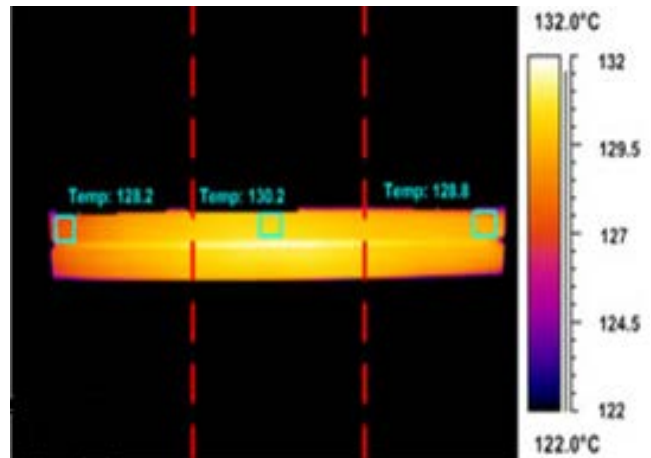


Figura 2. Gradientes de temperatura en la superficie de la mordaza [7].

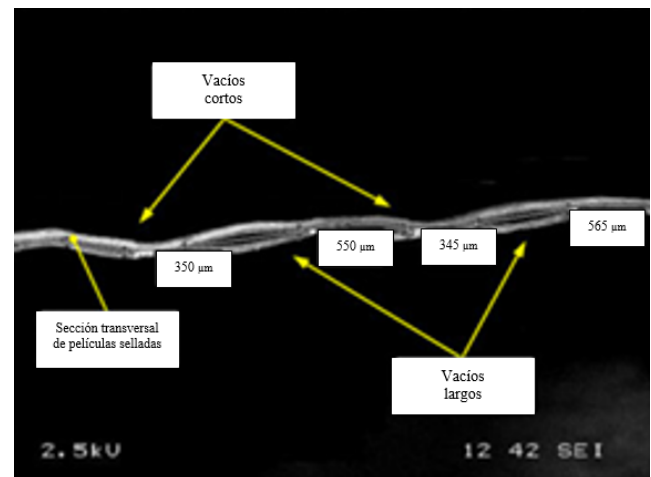
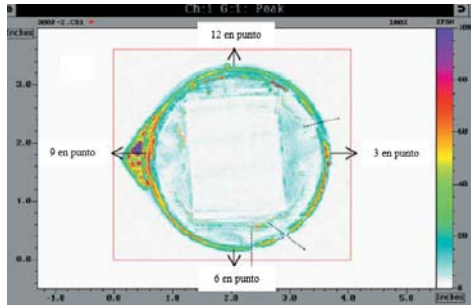


Figura 3. Sección transversal de una zona de sellado en donde se observan los efectos de procesos deficientes [7].

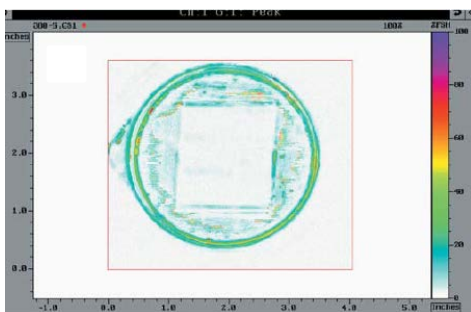
### 2.2. Sellado por inducción

En el sellado por inducción se hace pasar un pulso eléctrico por un alambre conductor, transformando este en calor. El sellado en esta tecnología solo se da en películas que sean conductoras.

Otro de los inconvenientes es el espesor de la película que debe ser el adecuado para una rápida conducción del calor evitando la pérdida de calor por el medio ambiente.



(a)



(b)

Figura 4. Imagen por ultrasonido de la región sellado por inducción de una taza semirrigida: (a) 150 °C y (b) 170 °C [1].

### 2.3. Sellado por ultrasonido

Esta tecnología es la más actual reportada en artículos de investigación y folletos de maquinaria.

La tecnología se promociona como una tecnología en frío como se observa en la figura 5, cuando las películas se colocan entre las mordazas empieza un movimiento de oscilación longitudinal generando fricción en la interfaz película-película que forma la unión. Algunas compañías, como por ejemplo Bosh®, promueven el cambio de las líneas de producción con mordazas de cartucho a sellado por ultrasonido, realizando las ventajas de la tecnología.

Las altas frecuencias a las que los inductores longitudinales se desplazan provocan su desalineamiento, aunando también al espesor de la película, la junta se obtiene en películas de espesor delgado. En películas de espesores considerables las altas frecuencias no son suficientes para generar un cambio de fase en la interfaz película-película.

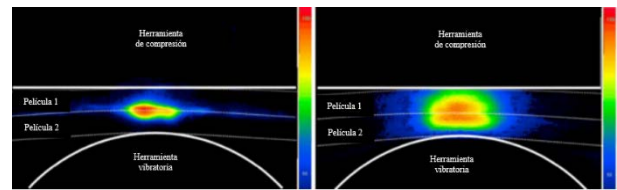


Figura 5. Comparación de la distribución de temperatura en la interfaz de sellado por ultrasonido para diferentes materiales, cloruro de polivinilo (izquierda) y polietileno (derecha) [14].

### 3. Sellado quirúrgico

En el desarrollo del trabajo se hace énfasis en el sellado de películas de polímero, que pertenece al área de diseño mecánico, sin embargo, hay tecnologías de sellado en otras áreas de estudio. El ejemplo más claro es el sellado quirúrgico, cuya función es el sellado de venas o tejidos donde el área de sellado afecte lo menos posible el tejido circundante.

El sellado bipolar electro térmico (EVBS por sus siglas en Inglés) es una tecnología implementada en unas pinzas quirúrgicas de 7 mm de diámetro. En el sellado las pinzas sujetan el tejido que se cauterizara, después se aplica un pulso de corriente eléctrica que genera calor seccionando o disecando el área del tejido seleccionada.

Las investigaciones se enfocan en analizar la diversidad de EVBS disponibles en el mercado e identificar cual de todos daña la menor cantidad de tejido circundante. Lo interesante es que en estos estudios se observan gradientes de temperatura en el área sellada y se reporta en base a la figura 6, sin embargo, esta problemática no ha sido estudiada en el sellado de polímeros.

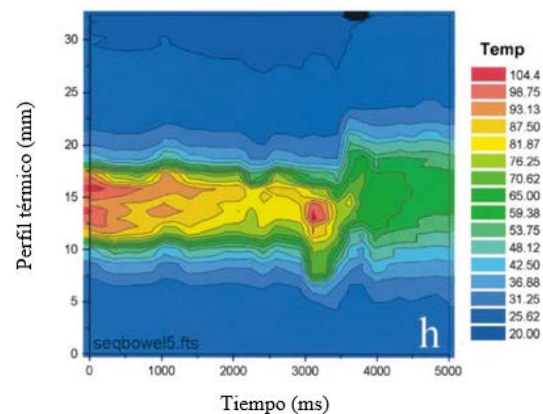


Figura 6. Gráfica de contorno con código de color, se observa el comportamiento de la temperatura después de sellar una sección intestinal [3].

#### 4. Influencia de la geometría de la mordaza en el sellado

Empíricamente en las líneas de producción la mordaza influye en la resistencia del sellado, cuando una nueva película es colocada en la selladora el operador ajusta progresivamente los parámetros del proceso hasta obtener la junta correcta; si esto no sucede el operador recurre a su experiencia y fabrica una mordaza que permita la formación de la junta.

Investigaciones sobre la influencia de geometría de la mordaza en el proceso son escasas, y no hay evidencia reportada para encontrar de manera matemática o experimental los parámetros de su diseño.

La primera investigación que reporta el uso de distintas geometrías de la mordaza es realizada por [13] dentro de sus resultados experimentales encuentra que la mordaza dentada (figura 7) genera mayor resistencia de sellado en películas de polipropileno de alta densidad (HDPE), sin embargo, en películas de polipropileno de baja densidad (LDPE) la misma geometría no genera gran variación en la resistencia del sellado.

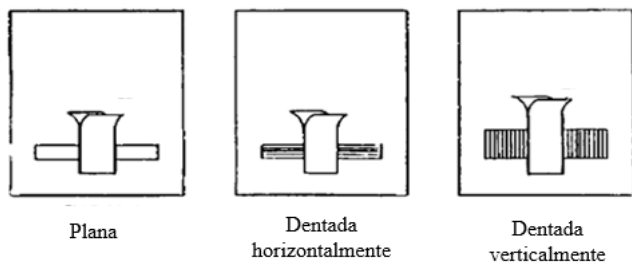


Figura 7.- Orientación de las películas de polímero durante el proceso y geometrías de mordaza utilizadas [13].

Otra de las investigaciones en donde la influencia de la geometría de la mordaza en la resistencia del sellado es la que realiza [10] en donde, también se estudia el efecto que contaminantes líquidos (agua, aceite y leche) en la interfaz de sellado ocasionan a la resistencia.

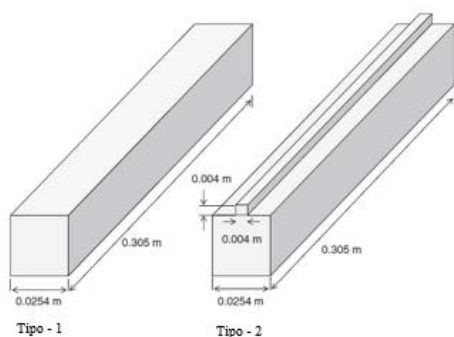


Figura 8.- Tipos de mordaza que utilizados para remover la mayor cantidad de líquido en la interfaz de sellado [10].

La dispersión del contaminante en el área de sellado es interés que tiene [10] por utilizar dos geometrías de mordaza, la geometría tipo - 2 de la figura 8 es la que remueve mejor el contaminante de la interfaz de sellado.

El número de investigaciones de diseño de la mordaza es muy reducido, hay relaciones empíricas solamente, hace falta realizar investigaciones formales de como diseñar una mordaza de sellado. Sería de utilidad caracterizar el proceso de sellado en laboratorio y tablas de parámetros de diseño de la mordaza.

Para comenzar recapitularemos la problemática del problema a través del proceso de diseño.

#### 5. Diseño como un factor de investigación

La industria del sellado se concentra en la participación que tiene en el mercado y que futuros competidores no absorban a sus clientes. Las necesidades del usuario están cubiertas, pero, se deja de lado la necesidad de investigar y caracterizar la interfaz mordaza-película, como se observa en la figura 9.

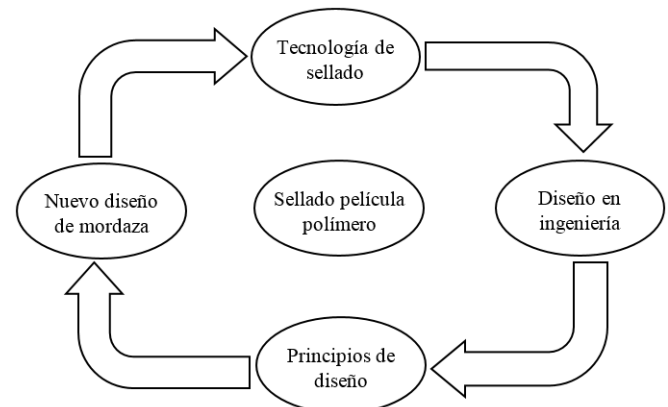


Figura 9. Comprender el proceso de sellado para diseñar una nueva mordaza.

Con las regulaciones actuales las compañías están obligadas a reducir su desperdicio y avanzar hacia la sustentabilidad. Una opción en este rubro es que las compañías caractericen las películas a usar antes de montarlas en las selladoras. Sin embargo, difícilmente harán esto, ya que piensan en producir más en un menor tiempo. El proceso de diseño (figura 10) parte de un problema para dar una solución a una necesidad, justo como el problema que tiene en las líneas de sellado, además, no se ha aunado en este tema aún.

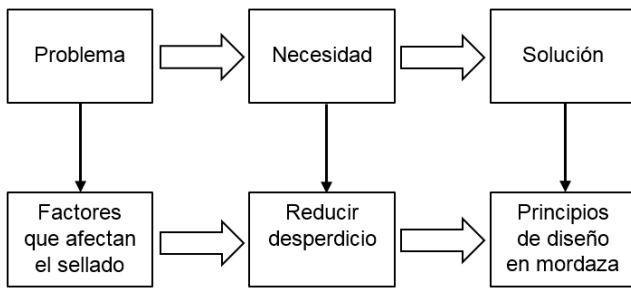


Figura 10. Formulación del proceso de diseño en sellado de polímeros.

No solo las compañías son responsables de las mejoras del sellado en las líneas de producción, los fabricantes de maquinaria pueden contribuir. Una reducción en la masa de las mordazas disminuye la inercia de los golpes en cada ciclo y atenúa los efectos de desalineamiento, y, la disminución de la masa conlleva una disminución en su consumo energético. Si además de lo anterior hay más productos que presentan una adecuada resistencia del sellado se puede contribuir a la sustentabilidad y reducción de desperdicio.

*¿Se puede encontrar una relación entre el sellado en condiciones reales de operación con el diseño en ingeniería?* Si, al entender los gradientes de temperatura se puede desarrollar una nueva mordaza de sellado.

*¿Cómo desarrollar una tecnología que pueda ser utilizada en líneas de producción?* Obteniendo mejores resistencias de sellado en condiciones de laboratorio usando los factores que la afectan en condiciones de operación, y después, usar la tecnología desarrollada en condiciones reales.

*¿Se construirá una mordaza con gradientes de temperatura?* No, trabajar con una mordaza de sellado complicaría el modelo de transferencia unidimensional desarrollado por [9], también el diseño del experimento se complicaría debemos diseñar la mordaza de tal suerte que los experimentos deben ser simples y sencillos.

*Los gradientes de temperatura están presentes en la superficie de la mordaza en condiciones de laboratorio y en las líneas de producción, ¿cómo diseñar una nueva mordaza de sellado?* Utilizando para su diseño algunos principios de diseño específicos identificados por [5].

## 6. Principios de diseño a utilizar en la nueva mordaza

### 6.1. Claridad de la función

La interfaz mordaza-película se ha investigado a través de la transferencia de calor, pero, no se ha observado algún análisis de la interfaz creando una caja negra como dice [11] y encontrar las funciones necesarias para el proceso.

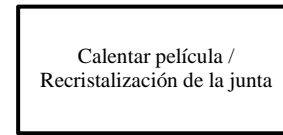


Figura 11. Funciones involucradas en el proceso de sellado en películas de polímero.

### 6.2. Minimizar la masa en movimiento

En las líneas de producción la maquinaria de sellado es pesada, lo que implica componentes pesados y grandes masas en movimiento. Los impactos constantes de estas masas causan desalineamiento en los componentes, específicamente en las mordazas de sellado y áreas de con diferentes resistencias de sellado. Reducir la masa de las mordazas de sellado aminora el desalineamiento de los elementos por los constantes impactos.

### 6.3. Transferir movimiento a la mejor relación

Los ciclos de apertura y cierre de las mordazas son ajustados por el operador, a través de un sistema de control, esto no garantiza que los tiempos de apertura y cierre estén controlados y ocasiona deficiencias en la resistencia del sellado. Una carrera larga en los ciclos de las mordazas consume tiempo, reducir la carrera en la apertura y cierre reducirá el tiempo del proceso sin afectar la resistencia de la junta.

### 6.4. Utilizar la termodinámica más barata

Mantener las mordazas calientes requiere un elevado consumo de electricidad, la diminuta Resistencia en el cartucho necesita calentar toda la masa de la mordaza, termodinámicamente esto es muy caro. Menor masa ayuda a tener una menor demanda de energía.

### 6.5. Tratar las diferencias de temperaturas como problemas de disposición

El sellado por calor presenta gradientes de temperatura en la superficie de la mordaza, de acuerdo con este principio estos gradientes pueden ser tratados como múltiples problemas de temperatura, esto complica el diseño de la mordaza. En lugar de eso, se puede dividir el problema en disposiciones de temperatura utilizando control y generar una temperatura uniforme en la superficie de la mordaza.

## 7. Trabajo pendiente

En este trabajo se expone la problemática que la interfaz película-mordaza genera en la resistencia del sellado. El alcance de la investigación es generar y diseñar una mordaza de sellado, quedando como trabajo pendiente por reportar.

Con los argumentos descritos e investigaciones reportadas por el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM [2, 4 y 12] se establece una breve metodología de diseño a utilizar, la cual se modificará y fortalecerá con el avance de la investigación. La metodología propuesta para el diseño de una nueva mordaza de cartucho es:

- Revisión de Patentes que presenten geometrías de la superficie diferentes a las descritas aquí.
- Elaboración de esquemas [6], es decir, bosquejos de mordazas en donde se contempla la geometría que se pretende utilizar sin tomar en cuenta las dimensiones o material a utilizar.
- Matrices de toma de decisión, de los esquemas elaborados se ponderan las características consideradas relevantes y se eligen tres propuestas de diseño.
- Selección de materiales, los materiales del cartucho y la mordaza deben tener una elevada difusividad térmica y además generar una baja adherencia a las películas laminadas utilizadas. En esta etapa también se pueden utilizar matrices de toma de decisión.
- Un aspecto importante en la selección de materiales es la sustentabilidad de los materiales empleados [7]. Se debe tener importante interés en la energía necesaria para el maquinado de la mordaza, que los materiales empleados puedan ser reutilizados o reciclados una vez haya cumplido su vida útil y finalmente que la superficie de la mordaza conserve la energía suministrada la mayor cantidad de tiempo posible.
- Finalmente se realiza la experimentación correspondiente con los 3 diseños de mordaza y las películas laminadas correspondientes

Los datos y resultados obtenidos en un futuro se publicarán.

---

## 8. Resultados

Las investigaciones en películas de polímero son extensas, en estas las condiciones de los parámetros se estudian de manera constante. Sin embargo, en condiciones de operación esto no sucede así, se presentan gradientes de temperatura en la superficie de la mordaza y variaciones del proceso por el desgaste de las máquinas de sellado.

Los gradientes de temperatura no solo afectan al sellado de polímeros también están presentes en el sellado quirúrgico. Este campo presenta una interesante propuesta la obtención del historial de la temperatura en el área de sellado con cámaras termográficas.

Caracterizando el proceso para entender los fenómenos que se presentan en la interfaz película-mordaza se puede generar una solución tecnológica para reducir los desperdicios en líneas de producción.

Artículos en donde se investiga el diseño de la mordaza son reducidos, y los dos que hay se concentran en la

iteración de la geometría con la resistencia del sellado. Dejando de lado el proceso de diseño como una oportunidad de investigación.

El diseño en ingeniería representa un área de investigación para el diseño de una nueva mordaza de sellado y generar tablas de sus parámetros de diseño para que sean usadas por los operadores.

---

## 9. Discusión

El proceso de sellado es complejo, se estudia la interfaz mordaza-película porque es la que influye directamente en la resistencia del sellado [15].

También hay otros factores que afectan la integridad del sellado, en las líneas de producción, estos factores repercuten directamente en la interfaz de sellado. De manera individual algunos de los factores se citan en las investigaciones. Estos factores son:

- Datos insuficientes.
- Diferentes proveedores.
- Condiciones del medio ambiente.
- Contaminación en la superficie de la mordaza.
- Accesibilidad a los elementos de la máquina.
- Desalineamiento de los componentes mecánicos.
- Desgaste de los elementos.
- El control que los operadores realizan.

Los avances en la tecnología de sellado están relacionados con el desarrollo de las nuevas películas de polímero, y el diseño de las mordazas de sellado se deja de lado. Hay oportunidad de desarrollar una nueva mordaza de sellado, para ello, se presentan algunos inconvenientes. Los principales son:

- Colaboración con una empresa que esté dispuesta a compartir parte de su conocimiento en el desarrollo de la investigación.
- Conseguir un proveedor de película de polímero que garantice la misma composición en cada rollo adquirido, y que esta esté libre de contaminación por partículas en el laminado.
- Un nuevo método de instrumentación y adquisición de datos en la mordaza.

---

## 10. Conclusiones

Obtener datos directamente de líneas en producción es difícil, por otra parte, se complica caracterizar todas las condiciones en el laboratorio de la Universidad. Para atraer su atención y colaboración es necesario proporcionarles la adecuada información y conocimiento científico de la investigación, esta información tiene que serles de utilidad para poderla explotar de manera comercial.

Al reproducir en el laboratorio las condiciones presentes en las líneas de producción se puede construir un nuevo diseño de mordaza que reduzca el desperdicio de las líneas.

Los principios de diseño representan la mejor alternativa en el diseño de la mordaza para generar las condiciones de operación de las líneas en el laboratorio.

### Agradecimientos

Este artículo es posible gracias a los profesores de diseño en ingeniería del Centro de Ingeniería Avanzada de la UNAM.

### REFERENCIAS

- 
- [1] Ayhan, Zehra y Zhang, Q. Howard, *European Food Research Technology* **217** (2003) 365.
- [2] Borja Ramírez, Vicente, *Memorias del XIX Congreso Internacional Anual de la SOMIM* (2013) 129.
- [3] Campbell, P. A. y Cresswell, A. B., *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques* **17** (2003) 1640.
- [4] Flores Calderón, Alejandro, IMECE2010-39271 (2010).
- [5] French, Michael Joseph, *Journal of Engineering Manufacture* **208** (1994) 229.
- [6] French, Michael Joseph. *Conceptual design for engineers* (3rd ed.). Loughborough: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (1999).
- [7] Lozada Bastida, Ricardo, *Memorias del XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM* (2011) 404.
- [8] Matthews, Jason y Hicks, Ben, *Packaging Technology and Science* **26** (2012) 355.
- [9] Meka, Prasadarao y Stehling, Ferdinand C., *Journal of Applied Polymer Science* **51** (1994) 89.
- [10] Mihindikulasuriya, S. y Lim, L.-T., *Packaging Technology and Science* **25** (2012) 271.
- [11] Pahl, Gerhard y Beitz, W., (Eds.), *Engineering design: A systematic approach* (pp. 27-62), London: Springer (2007).
- [12] Ramírez-Reivich, Alejandro C., *Journal of Engineering Manufacture* **201** (1996) 543.
- [13] Theller, H. W., *Journal of Plastic Film & Sheeting* **51** (1989) 66.
- [14] W. Bach, Sascha y Thürling, Karsten, *Packaging Technology and Science* **25** (2012) 233.
- [15] Zinsmeister, G. E. y Younes, Y. K., *Journal of Vibration Acoustics Stress and Reliability in Design* **105** (1983) 292.