



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Identificación de modos y efectos  
de fallas para la implementación de  
soluciones a un sistema de sellado  
de ampollitas de PVC.**

**OSCAR FUENTES RIOS**

**AGOSTO 2010**

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA**

**POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH.**

**SECCIÓN DE MECÁNICA,  
POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA,  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.  
MÉXICO C.P. 11200**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente:

Dr. Marcelo López Parra.

Secretario:

Dr. Vicente Borja Ramírez.

Vocal:

Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

1<sup>er</sup> Suplente:

Dr. Espinoza Bautista Adrián.

2<sup>do</sup> Suplente:

Dr. Víctor Javier González Villela.

Lugar o Lugares donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, México Distrito Federal.

Colomer, Querétaro.

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

---

**FIRMA**

## **D E D I C A T O R I A S**

### **A MI MADRE Y HERMANA:**

María del Carmen Ríos Velásquez y Erika Fuentes Ríos, a quienes no podré pagar todo su esfuerzo y desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo, porque gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar una más de mis metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

### **A MIS ÁNGELES:**

José Fuentes González, Hermelinda Velásquez y Leandro Ríos, a quienes les agradezco con profundo amor, admiración y respeto el permanecer conmigo, no desampararme y cuidarme en todo momento.

### **A UNA PERSONA MUY ESPECIAL:**

Liliana Montes de Oca Reyes, quien con su amor, paciencia y respeto hacia mi persona estuvo conmigo en situaciones buenas y malas incondicionalmente y que comparte una gran parte de su vida conmigo y a quien amo y respeto.

### **A MIS AMIGOS, COMPAÑEROS Y COLEGAS:**

Fermín Pérez Trejo, Ángel Luis Rodríguez Morales, Gustavo Olivares Guajardo, Gustavo Zarza Xingu, Bruno Levario Díaz, Ricardo Pérez Gaytan, por sus ratos de compañía y apoyo, compartiendo preocupaciones, alegrías y éxitos.

### **A LOS PROFESORES:**

Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich, Dr. Saúl Santillán Gutiérrez y Dr. Marcelo López Parra, que me apoyaron, creyeron en mí y me dieron la oportunidad de conocerlos.

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme alcanzar una meta más en mi vida académica y profesional.

Al programa de investigación (PAPIIT) por apoyar económicamente el área y línea de investigación en la que trabajé, terminando con éxito el presente proyecto de maestría.

A la Coordinación de Estudios de Posgrado (CEP) por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

## **CONTENIDO.**

### **Introducción**

### **Objetivos**

### **Antecedentes generales**

Proceso de envasado de ampollitas

Máquinas selladoras desarrolladas con anterioridad

### **Antecedentes del diseño de la primera iteración de máquina de envasado continuo (llenado y sellado)**

Nuevo proceso de Envasado

Antecedentes del diseño

Análisis funcional

### **Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)**

Introducción

¿Qué es AMEF?

Beneficios del AMEF

Requerimientos del AMEF

Pasos para llevar a cabo un AMEF

### **Metodología AMEF aplicada a un caso de estudio**

Requerimientos para el sistema

Definición del producto en términos de sistema

Subdivisiones del sistema por funciones

Identificación de modos, efectos, frecuencia y consecuencia de fallas

Estimación de la severidad o peligro para cada efecto

Elaboración de la matriz de fallos y efectos

Determinación de las causas de los modos de fallo

### **Desarrollo de acciones correctivas**

Transición sistema de llenado – sistema de sellado

Calentamiento

Cabezal de sellado y conformado

### **Resultados**

### **Conclusiones**

### **Referencias**

## **Resumen.**

El presente trabajo, muestra el desarrollo de una máquina compleja y eficiente, partiendo de una de máquina simple e ineficiente. La creación soluciones para un Sistema de Sellado de ampollitas de PVC a partir de la identificación de modos y efectos de fallas en base a la metodología AMEF. Implementación de soluciones para diseñar, fabricar, operar y probar el sistema. Desarrollo dentro de la planta Colomer ubicada en el estado de Querétaro. Documentación del proceso.

Para ayudar a entender el trabajo de manera más fácil al lector, se presenta el proceso de envasado de ampollitas utilizado por la empresa hasta antes de la realización de éste proyecto, de igual forma se hace una breve descripción de las máquinas selladoras desarrolladas e implementadas con anterioridad.

El proceso de envasado que consiste en llenar y sellar las ampollitas de PVC, era realizado en forma individual en máquinas distintas, debido al incremento en la demanda del producto en un 200%, se llevo a cavo un cambio en el proceso de envasado para poder agilizarlo y satisfacer el mercado. Se genera entonces un nuevo proceso de envasado en donde se integran el llenado y el sellado en una sola máquina rotativa. Llegando a un prototipo funcional (primera iteración), el cual era una máquina simple y con una eficiencia de sellado del 50% (ampollitas no selladas entre total de ampollitas procesadas).

Con el afán de aumentar la eficiencia del sellado, se aplica la metodología (AMEF) que ayuda a identificar modos y efectos de fallas, señalando de forma acertada las causas de los distintos fallos, ayudando a crear soluciones que llevan a la construcción de una segunda iteración de máquina.

Dando como resultado el incremento en la eficiencia del sistema de sellado, llegando a un 99.95% (ampollitas no selladas entre total de ampollitas procesadas).



## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las empresas que se encuentran en México no están dispuestas a invertir en Investigación y Desarrollo ya que lo ven como un riesgo, pues no cuentan con los recursos económicos y humanos para poder tener un propio centro de investigación y desarrollo, es por esto que el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) busca desarrollar proyectos con empresas ofreciendo investigación y desarrollo tecnológico.

El CDMIT es un grupo de profesores, investigadores y alumnos con el interés común de investigar técnicas y metodologías en diseño mecánico y mecatrónico, aplicarlas en proyectos de desarrollo tecnológico y divulgar entre los alumnos y las empresas las mejores prácticas de diseño. Una de las tareas más importantes también, es continuar y hacer cada vez más exitosa la vinculación universidad-empresa para generar bienes a la sociedad.

La vinculación entre The Colomer Group y la UNAM es un proyecto interesante, ya que los alumnos viven el proceso de diseño, construcción y puesta en producción dentro de la empresa. The Colomer Group es una empresa dedicada a la industria de los cosméticos, en donde el proceso de envasado de ampollitas originalmente se realizaba en envases de vidrio, la demanda de estos productos en el mercado nacional e internacional fue cada vez mayor, volviéndose un mercado cada vez mas competido. Es por eso que la empresa Colomer realizó una vinculación con la UNAM para poder resolver un problema específico; el envasado de ampollitas termoplásticas a una mayor velocidad y eficiencia, ante el incremento de la demanda, de la diversidad de productos que fueron generando en los últimos tres años.

La ampollita plástica es una variación de la ampollita de vidrio como envase para pequeñas cantidades de producto. Debido a la facilidad y costo del envase vítreo, esta empresa cosmética planteó hace varios años la necesidad de generar un envase plástico que tuviera geometría semejante, pero con materiales plásticos más seguros para eliminar el peligro de cortaduras la fragilidad de éste y disminuir sus costos asociados.

Es por esto que desde 1996 el CDMIT ha diseñado y fabricado maquinas llenadoras y selladoras que han ido satisfaciendo sus necesidades. Con el afán de aumentar la velocidad de producción y disminuir los desperdicios, el sistema de envasado cambia su configuración de un sistema en bloques de 105 ampollitas, es decir, el proceso de llenado y sellado se realizan de forma independientes con máquinas y personal independientes (figura 1.1), a una sistema donde se integran el llenado y el sellado en una sola máquina (figura 2.1), volviéndose un proceso secuencial y con mayor capacidad de producción.

Es por ello que el diseño de una maquina llenadora y selladora se desarrollo y puso en funcionamiento. El proyecto se divide en dos grandes iteraciones, en donde la primera parte se realizó por un grupo de diseñadores del CDMIT, el cual sugiere un sistema con el uso de carruseles para transportar y procesar los envases, llegando a la construcción de la primera iteración de la máquina llenadora y selladora descritos en el capítulo II, **Mancilla, A. [1]**.

La segunda iteración realizada por alumnos de licenciatura, maestría, doctorado en diseño y profesores del CDMIT, **Fuentes O., Levario B., Pérez F., Olivares G., Ramírez A.C., López M., [10]**, entre ellos el autor de este documento, en donde tomamos como referencia la primera iteración de la máquina. Dado que la máquina llenadora y selladora es un sistema que se divide en varios subsistemas, en este documento el autor se enfocará solamente al sistema de sellado. Para realizar una segunda iteración, el autor sigue una metodología ideal para identificar aspectos importantes en el diseño, y poder mejorarlos de ser necesario, para cumplir con el objetivo general, por ello se realiza un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) sobre la primera iteración solo del sistema de sellado, así se identifican todas las fallas, los efectos de estas y la relación que existe entre los componentes y las fallas, para poder generar solución y así evaluar una segunda iteración y cumplir con el objetivo general de este documento, que es obtener un aumento en la eficiencia (ampollitas mal selladas entre el total de ampollitas procesadas) del sellado de ampollitas de material termoplástico (PVC).

## **Objetivos:**

- Desarrollar una máquina compleja y eficiente, a partir de una máquina simple e ineficiente.
- Crear soluciones para el Sistema de Sellado en base a un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y poder así mejorar el rendimiento del sistema de sellado de ampollitas de PVC.
- Implementar soluciones para diseñar, fabricar, operar y probar el sistema.
- Trabajar el diseño, la fabricación, operación y las pruebas del sistema, dentro de la planta (Colomer Querétaro).
- En base a la metodología empleada, documentar el proceso de diseño.

## **1. Antecedentes generales**

### **1.1 Proceso de envasado de ampollitas.**

En un principio el envasado era realizado en recipientes de vidrio, que debido a la versatilidad costo/suministro de los plásticos se cambió el material del envase por un termoplástico Policloruro de vinilo (PVC). Por esto el proceso de envasado fue evolucionando, además del tipo de máquinas para llenar y sellar éstos envases.

Recién se cambio el material del envase, de vidrio a termoplástico, el proceso de envasado evolucionó, a continuación se presentan los pasos aplicados para el envasado:

- Ampollitas de material termoplástico vacías entran a la línea de envasado por medio de cajas de cartón, las cuales son agrupadas en lotes de 105 ampollitas.
- Una persona capacitada transfiere los lotes de ampollitas a una canastilla metálica de acuerdo al tipo de ampollita a envasar y lo lleva al área de llenado.
- Una operadora recibe las canastillas y llena las ampollitas en una maquina especializada operada de forma manual.
- Una vez realizada la operación, la operadora transfiere los lotes llenos a un área de secado, debido a que el proceso de llenado, deja residuos de producto líquido en la boquilla. La remoción de liquido es necesaria para el proceso de sellado posterior.
- Una vez removido el excedente de la boquilla, una operadora introduce los lotes secos a una máquina para sellar las ampollitas.
- Las ampollitas que salen de la maquina selladora son transportadas por otra operadora a una máquina verificadora, la cual se encarga de mostrar cuales ampollitas han sido selladas correctamente y cuáles no.
- Al salir de máquina de verificación, la operadora del área de verificación descarta las ampollitas no selladas y enjuaga el resto de las ampollitas selladas correctamente.
- Posteriormente las ampollitas son introducidas a una máquina de secado para eliminar líquidos residuales en el exterior de la ampollita.

- Un operador recibe las ampollitas de la máquina de secado. Lleva a cabo una inspección final del producto envasado.
- Dependiendo de la planeación de la producción, las ampollitas llenas pueden ir a un inventario o pueden ser introducidas directamente a la línea de etiquetado y empaquetado.
- Las ampollitas etiquetadas y embaladas son llevadas a un área de inventario de producto terminado, esperando su distribución para el mercado nacional y/o internacional.

La figura 1.1 muestra el diagrama funcional del proceso antes descrito. Como puede observarse, este tipo de operaciones permite que el proceso tenga flexibilidad para el envasado de una variedad de productos. Sin embargo, el aumento en la producción requiere incrementar el número de maquinaria y personal involucrados.

Además que la línea se encuentra influenciada por la habilidad de los operadores, de tal forma que cuando se requiere aumentar la producción, se tiene que recurrir al mismo personal en turnos extra de trabajo, debido a que la introducción de personal nuevo implicaría una baja en la producción debido a su falta de experiencia en el proceso.

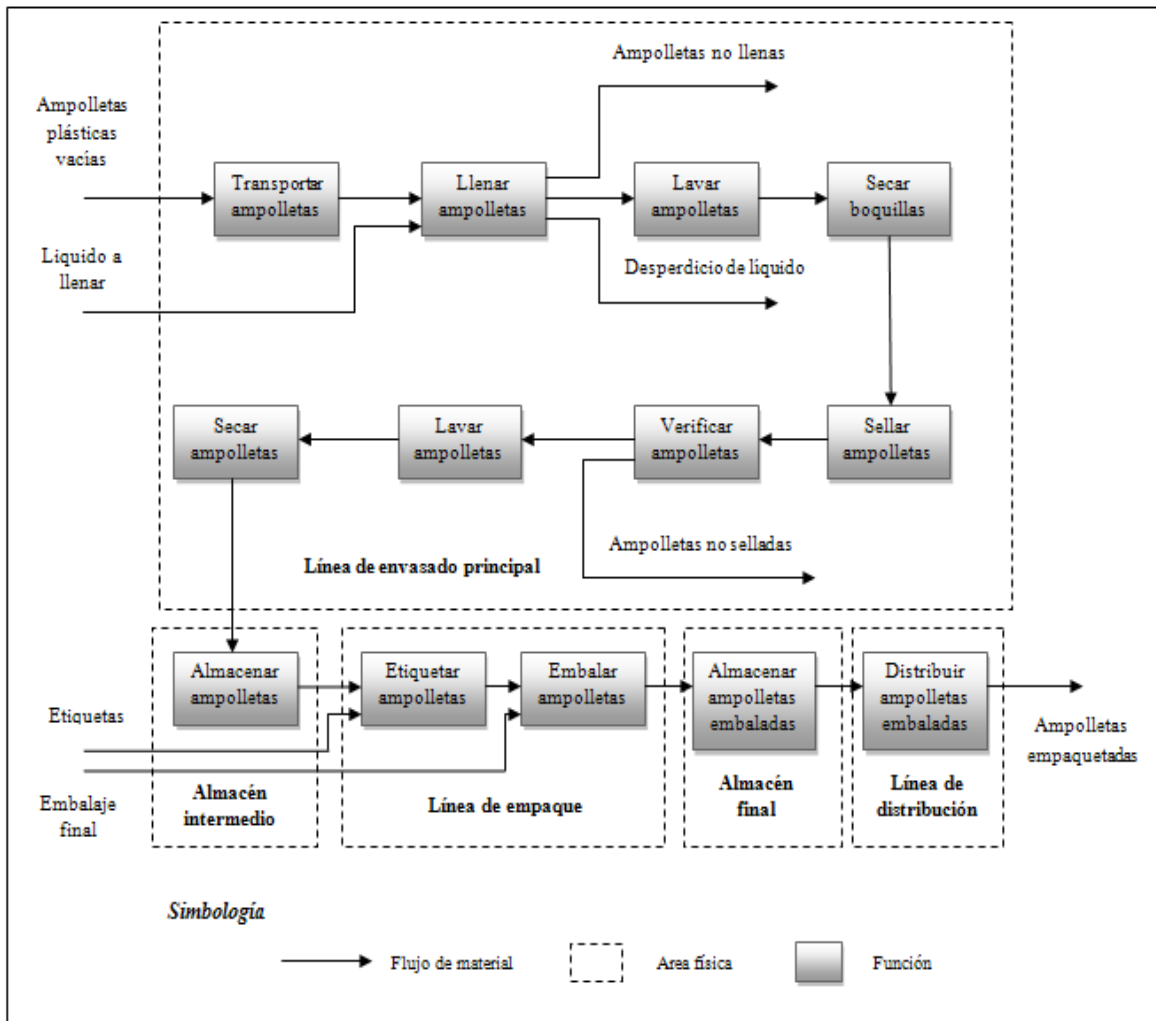


Figura 1.1, Diagrama funcional del proceso de envasado

## 1.2 Máquinas selladoras desarrolladas con anterioridad.

La línea de envasado principal, que contiene al sellado de ampollas se lleva a cabo por dos generaciones de máquina selladora diseñadas anteriormente.

Se observaron y tomaron mediciones del desempeño de las dos máquinas selladoras de ampollas termoplásticas, que a lo largo de la última década fueron diseñadas, construidas y se encuentran en operación, (operan en la industria de los cosméticos en el estado de Querétaro).

La 1ª. Generación de máquina desarrollada para sellado mostrada en la figura 1.2, conduce a la ampollita por el siguiente proceso:

- Un operador introduce la canastilla con 105 ampolletas llenas de granel y con la boquilla limpia, a un carril que viaja de manera lineal.
- Se presiona un botón de arranque, la canastilla se desliza por un carril que mide 80 cm de largo, hasta que se detiene en la zona de calentamiento.
- Se detiene medio lote de bajo de la resistencia para que por medio de radiación la boquilla llegue a la temperatura requerida.
- Después esa media canastilla pasa a ser conformada mediante placas planas paralelas, mientras la otra mitad se calienta debajo de la resistencia.
- Por último se conforma el resto de las ampolletas, regresa la canastilla al punto inicial y termina el proceso (135 segundos).

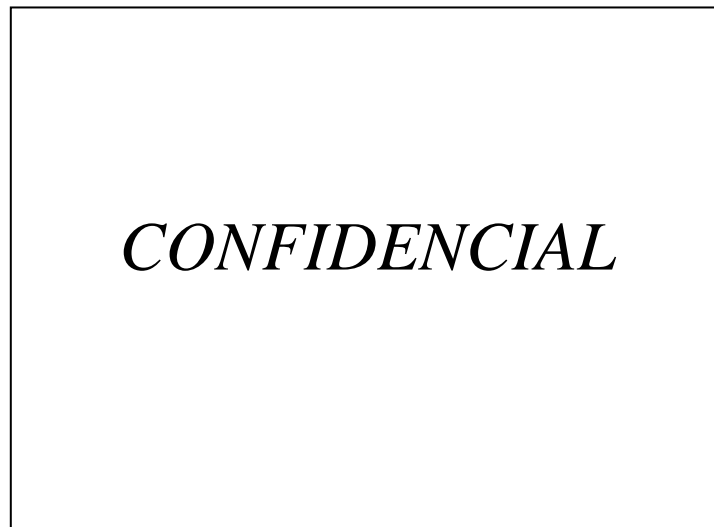


**Figura 1.2, 1ª. Generación de máquina desarrollada para sellado.**

La 2ª. Generación de máquina desarrollada para sellado se muestra en la figura 1.3, conduce a la ampolleta por el siguiente proceso:

- Un operador introduce la canastilla con 105 ampolletas llenas de granel y con la boquilla limpia, a un carril que viaja de manera lineal.
- Se presiona un botón de arranque, la canastilla se desliza por un carril que mide 60 cm de largo, hasta que se detiene en la zona de calentamiento.

- Se detiene medio lote de bajo de una fuente de aire caliente para que por medio de la convección la boquilla llegue a la temperatura requerida.
- Después esa media canastilla pasa a ser conformada por unos dados con forma semiesférica, mientras la otra mitad se calienta debajo de la resistencia.
- Por último se conforma el resto de las ampollitas y termina el proceso (75 segundos).



**Figura 1.3, 2ª. Generación de máquina.**

Las máquinas selladoras de ampollitas termoplásticas que fueron desarrolladas poseen un esquema de diseño conceptual que integra las funciones de la siguiente manera, Figura 1.4:



**Figura 1.4. Secuencia e integración de las funciones en el esquema de diseño conceptual de las máquinas estudiadas.**



## **2. Antecedentes del diseño de la primera iteración de máquina de envasado continuo (llenado y sellado).**

### **2.1 Nuevo proceso de Envasado.**

La empresa buscó que su nueva línea de envasado tuviese una mayor capacidad de producción respecto a la antes mencionada (un aumento del 200%), además de requerir una menor cantidad de recursos humanos, con el objeto de reducir sus costos, tiempos de envasado y depender en menor medida de la capacitación y habilidades de sus operarios. La configuración de la nueva línea lleva a cabo las siguientes funciones básicas:

- Recepción, manejo y posicionamiento de ampollitas.
- Llenado con líquido seleccionado y sellado de ampollitas.
- Verificación.
- Etiquetado.
- Embalaje.

La figura 2.1 muestra el diagrama funcional de dicha configuración. Con este tipo de configuración, se podrán eliminar de manera razonable los desperdicios de granel y de ampollitas mal selladas.

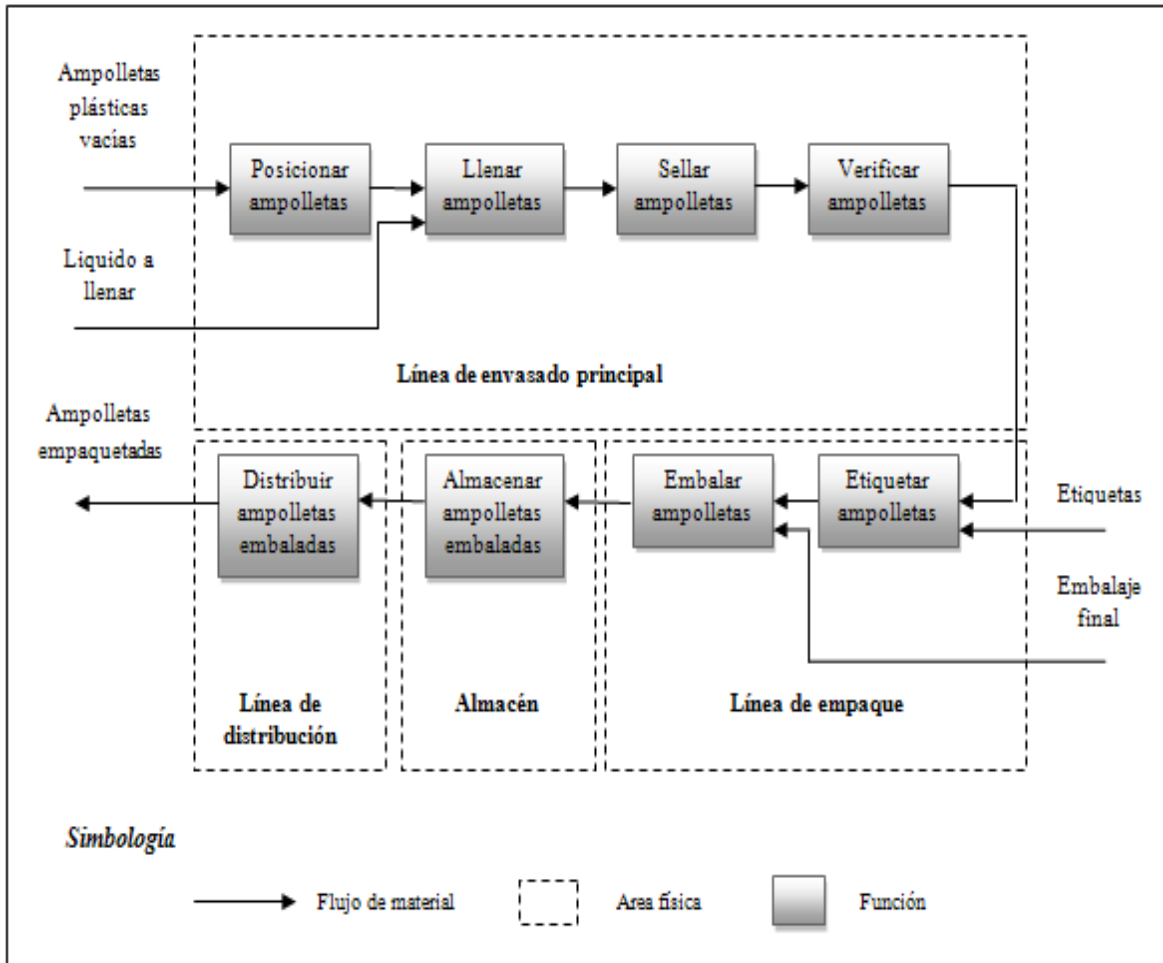


Figura 2.1, Diagrama funcional del proceso de envasado nuevo

## 2.2 Antecedentes del diseño.

### 2.2.1 Modelo de caja negra

Mancilla, A. [1]. El modelo de caja negra tiene como objetivo identificar las entradas y salidas del sistema para tomarlas en cuenta en su diseño. Tiene 2 partes: un diagrama que identifica dichas entradas y salidas (figura 2.2) y la definición del modelo, la cual expresa con palabras la interacción de las entradas con las salidas.

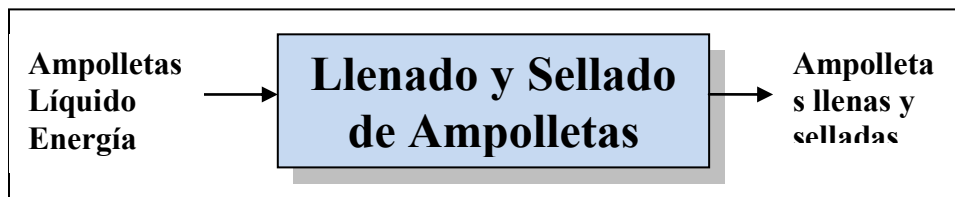


Figura 2.2, Modelo de caja negra.

**Mancilla, A. [1].** Las entradas al sistema, serán las ampollitas, el líquido para el tratamiento capilar y la energía necesaria para mover las partes del sistema, las ampollitas deberán ser transportadas. En principio, las ampollitas serán alimentadas a granel, un usillo de paso variable hará el indexado de las ampollitas para pasar a la máquina a una distancia conocida, las ampollitas se transferirán de la alimentación automática hacia el proceso de llenado, el cual debe obedecer a las exigencias de carga para inyectar las diferentes densidades del producto, lavarse sin ningún problema para la sustitución del producto. En el llenado se debe evitar la generación de espuma, ya que si el producto toca las paredes de la boquilla, el proceso de sellado no podrá llevarse a cabo, porque los elementos orgánicos que componen al producto forman una película delgada que impiden que el plástico se una. Las ampollitas serán transferidas al proceso de plastificación o calentamiento, donde la boquilla de las ampollitas será calentada hasta lograr la plastificación del material, inmediatamente después las puntas deben ser deformadas para aprovechar la plastificación lograda, no debe pasar mucho tiempo entre el calentamiento y el sellado, ya que se debe aprovechar la energía transferida al material.

Finalmente, las ampollitas llenas y selladas serán transferidas a un transportador que llevará a las ampollitas a una zona de almacenamiento para su etiquetado posterior.

La máquina llenadora y selladora se construirá en base al siguiente diagrama de funciones:

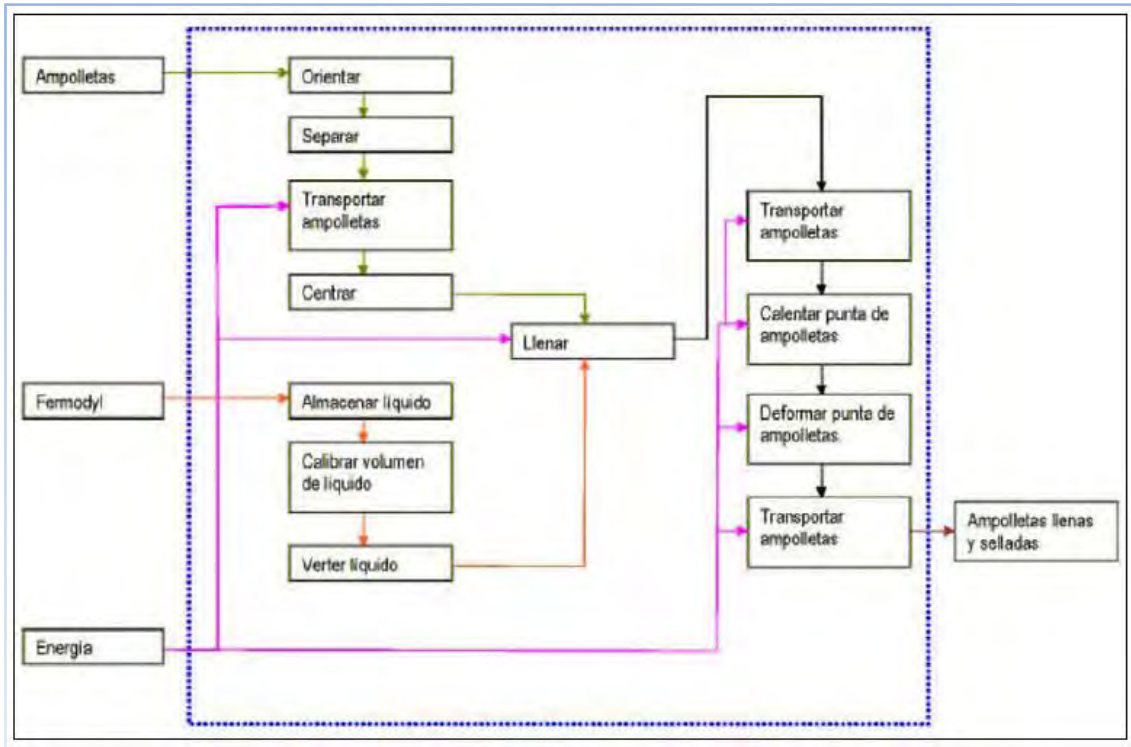
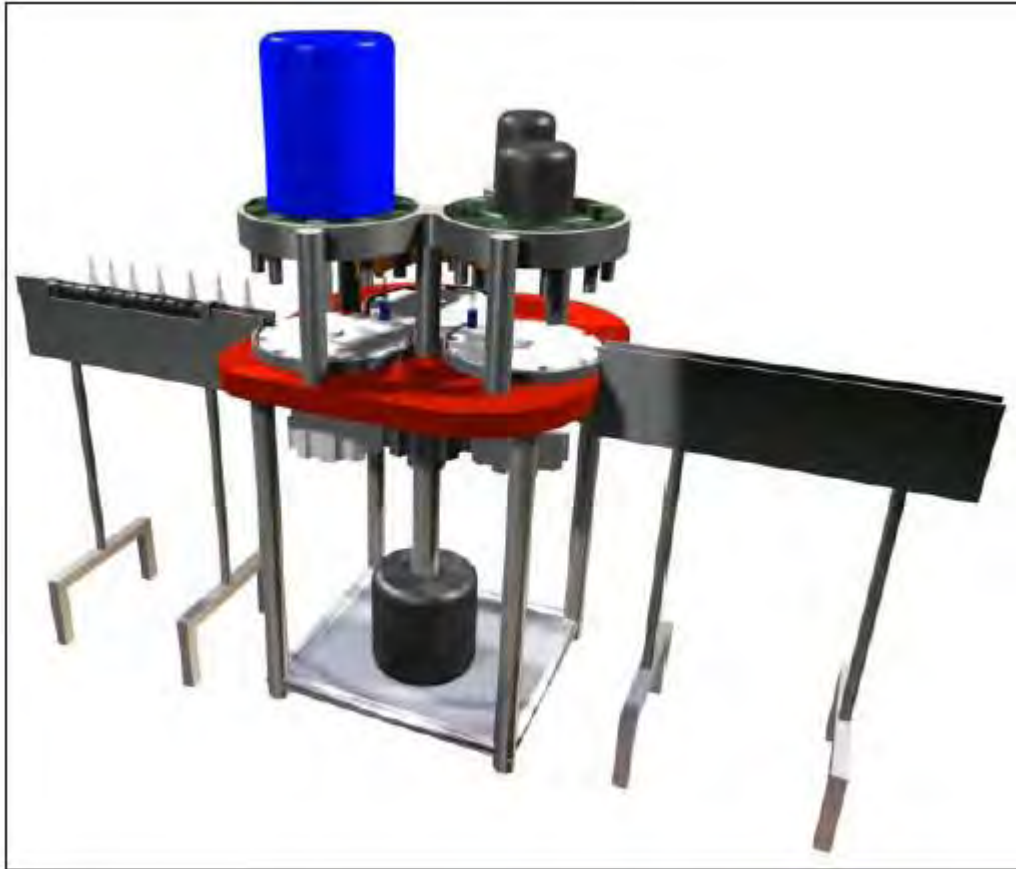


Figura 2.3, Diagrama de funciones (máquina llenadora y selladora) Mancilla, A. [1].

### 2.2.2 Configuraciones propuestas por el grupo de diseño de CDMIT.

Mancilla, A. [1]. Con el establecimiento de las funciones del sistema se busca un arreglo en el cual las funciones convivan en armonía, a esto se le llama configuración, para su organización intervienen criterios de estética, funcionalidad, espacio, intercambio de piezas, mantenimiento preventivo y correctivo, limpieza, etc.

Recordemos que uno de los requerimientos más importantes es la configuración acordada entre el cliente y el grupo de diseño y por ello se conceptualizaron las siguientes arquitecturas de arreglo general.



**Figura 2.4, Propuesta A de arreglo general. Mancilla, A. [1].**

**Mancilla, A. [1].** La configuración de la propuesta A consistía en una transmisión sencilla, tres carruseles a través de los cuales se transportarían las ampollas, iniciando un transportador y separadas por un usillo en la entrada, las ampollas entrarían separadas equidistantemente al proceso de llenado, se transferirían al proceso de sellado para continuar sobre la misma línea de transporte a una máquina etiquetadora.

La configuración de la propuesta B es la evolución de la primera, después de algunas iteraciones se determinó la distribución de los cabezales de proceso, la entrada de las ampollas será a granel transportadas por una banda y separadas por un usillo a la entrada del sistema, para que de esta manera las ampollas queden separadas equidistantemente y puedan ser alineadas con los dispositivos de proceso montados en cada uno de los cabezales.



Figura 2. 5, Propuesta B de arreglo general. Mancilla, A. [1].

Propuesta final para la construcción de la máquina llenadora y selladora de ampollas:

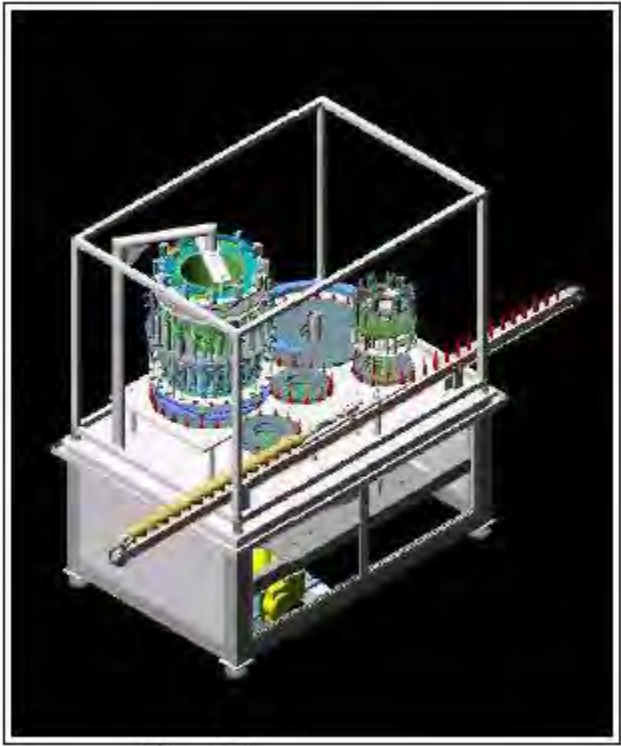


Figura 2. 6, Diseño final de la propuesta en CAD. Mancilla, A. [1].

El autor describe de manera detallada la máquina llenadora y selladora. Cabe resaltar que el grupo de diseño del CDMIT llegó a la propuesta que se muestra en la figura 2.6, siendo la primera iteración de máquina.

### 2.2.3 Descripción detallada de la máquina llenadora y selladora.

Después del análisis funcional descrito anteriormente y de un proceso de diseño muy extenso, se construyó la máquina llenadora y selladora de ampollas de material termoplástico (PVC) figura 2.7 a.

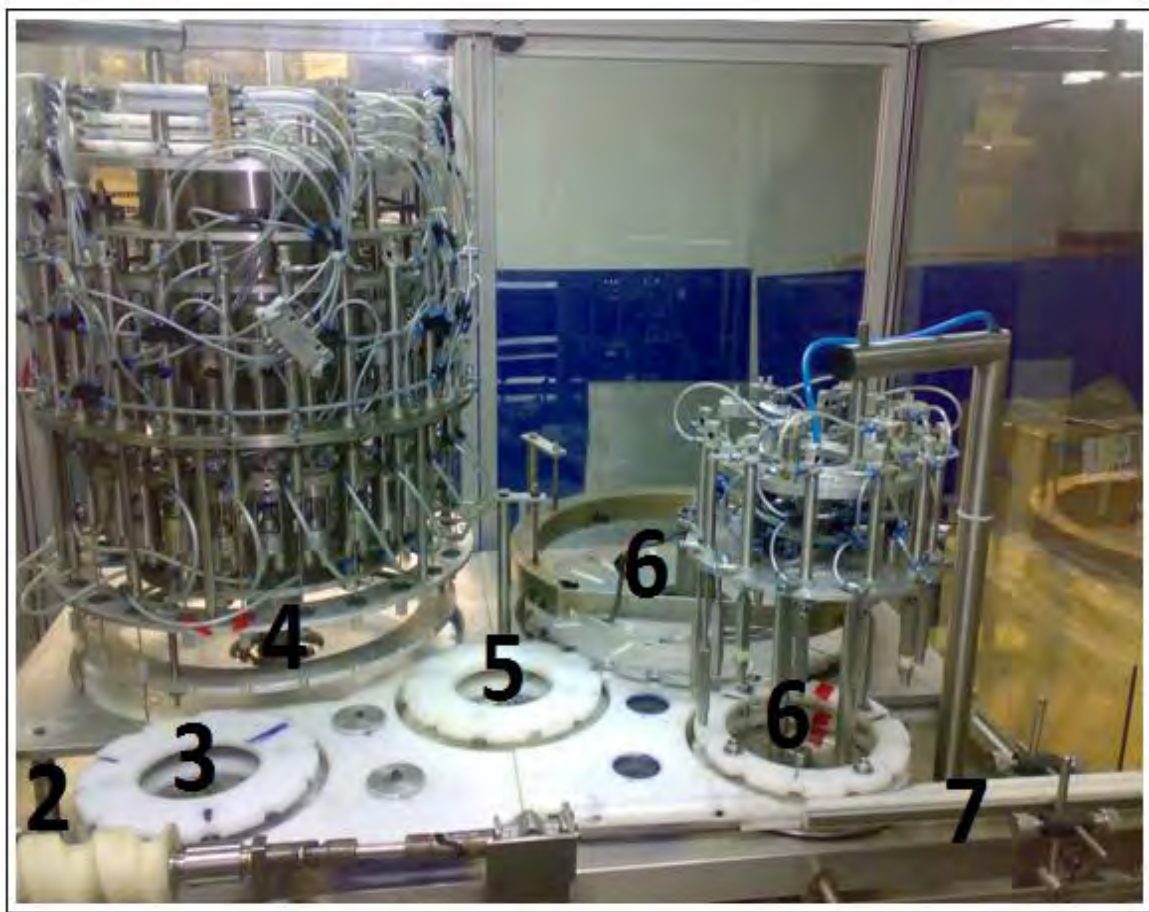
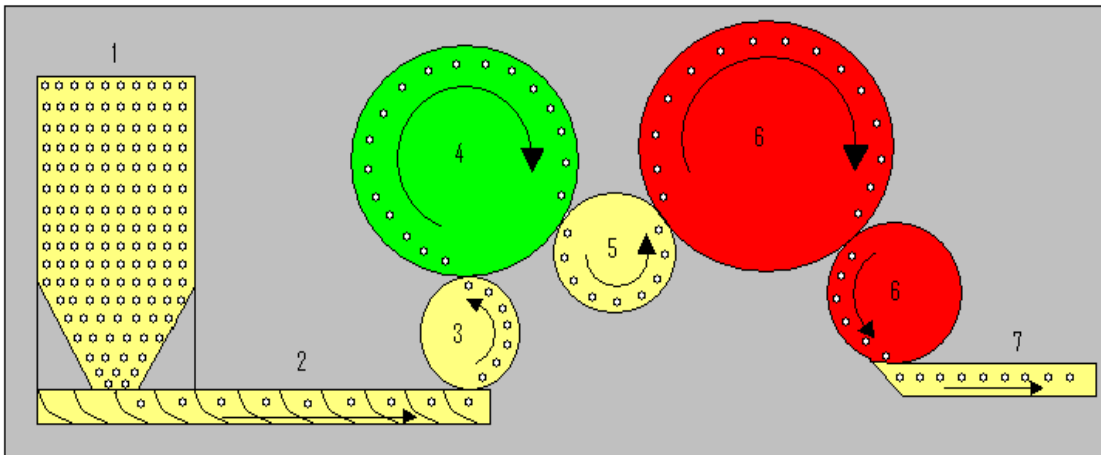


Figura 2. 7 a, Prototipo funcional (Primera iteración) de Máquina llenadora y selladora.

A continuación se muestran los elementos que integran a la maquina llenadora y selladora:

1. Charola alimentadora de ampolletas.
2. Gusano alimentador.
3. Estrella de transporte.
4. Cabezal de llenado.
5. Estrella de transporte.
6. Sistema de sellado
7. Salida de ampolleta.



**Figura 2.7 b, Diagrama descriptivo de máquina llenadora y selladora.**

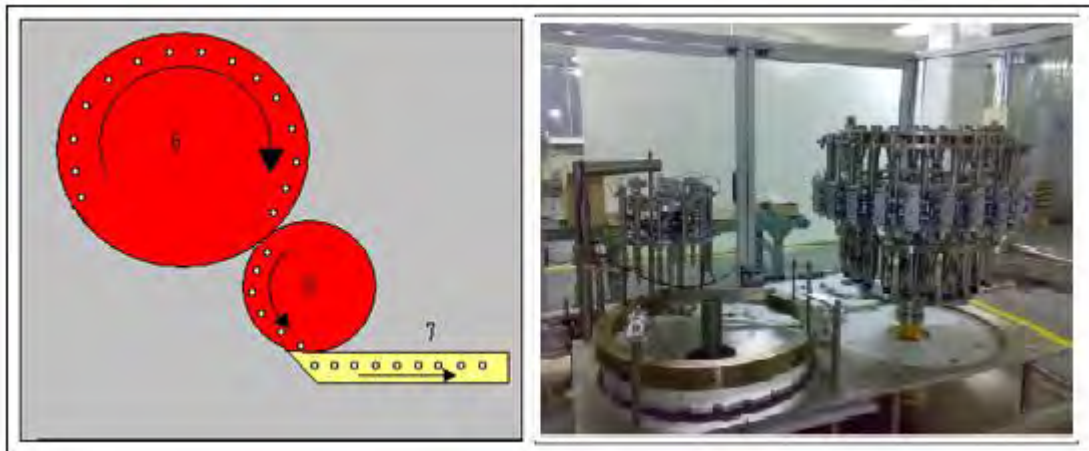
La figura 2.7 b nos muestra un esquema de la máquina llenadora y selladora, donde se ve en el punto 1 la ampolletas a granel orientándose hacia un gusano de transporte 2, que lleva a las ampolletas a un sistema rotacional de transporte 3,4,5,6 y 7, en donde se llevan a cabo los procesos de llenado 4 y sellado 6 respectivamente, llegando a un canal de salida 7.



En este documento nos dirigiremos sobre el sistema de sellado de la máquina descrita anteriormente. Trabajaremos con el punto 6, un sistema que por sí mismo, el fenómeno es muy interesante.

#### 2.2.4 Sistema de sellado.

El sistema de sellado es el proceso donde la ampolleta se sella y conforma para dar fin al proceso de envasado principal. Si observamos el diagrama descriptivo (figura 2.8), vemos los módulos de sellado, así como el viaje y el sentido de rotación que siguen las ampolletas, mientras del lado derecho se presenta una fotografía de la primera iteración de la máquina llenadora y selladora.



Figura

2.8, Sistema de sellado.

### 2.3 Análisis funcional

Alcaide, J., et al. [2]. La generación de una máquina, proceso o mecanismo es un problema muy amplio, el cual puede ser descompuesto en varios “sub problemas”. Éstos presentan una complejidad menor al problema original, por lo que al solucionar exitosamente cada uno de éstos e integrándolos adecuadamente, se llega a la solución de la problemática original.

Bajo esta perspectiva, es necesario descomponer la función principal del sistema en una serie de funciones secundarias. Esta descomposición se puede llevar a cabo de varias maneras, una de las cuales es a través generación de diagramas funcionales.

Para transitar de una ampollita abierta a una ampollita sellada, el proceso comprende al menos cuatro funciones principales, y deben tomarse en cuenta para poder elaborar esquemas de diseño conceptual de sellado de ampollitas plásticas termo-formables. Las funciones se presentan en la figura 3.2, y toman la secuencia presentada durante el desarrollo del presente trabajo.

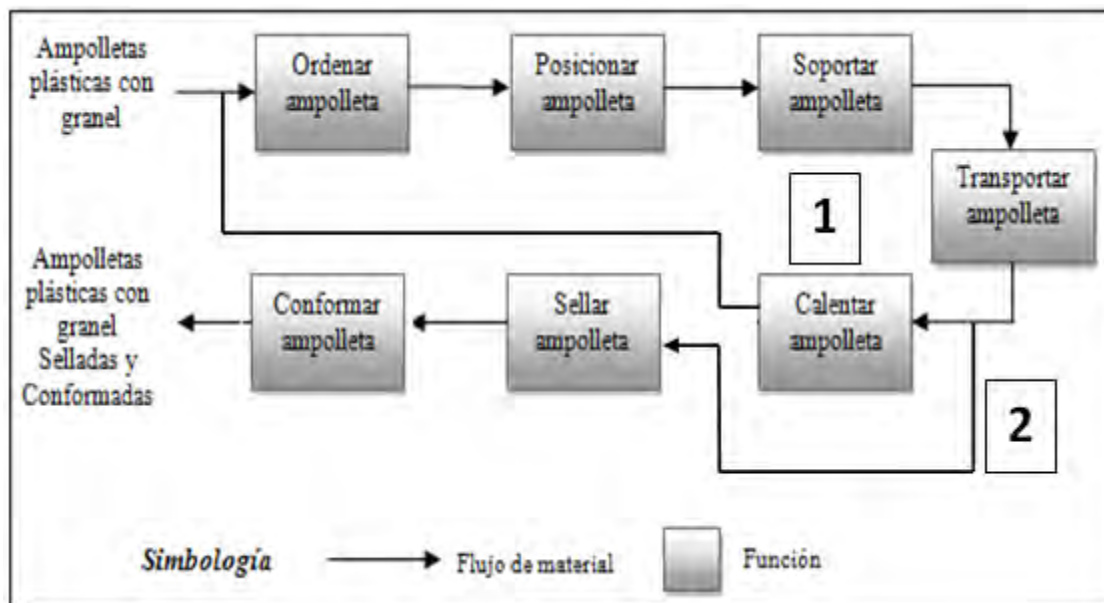


Figura 2.9. Diagrama funcional del proceso de sellado.

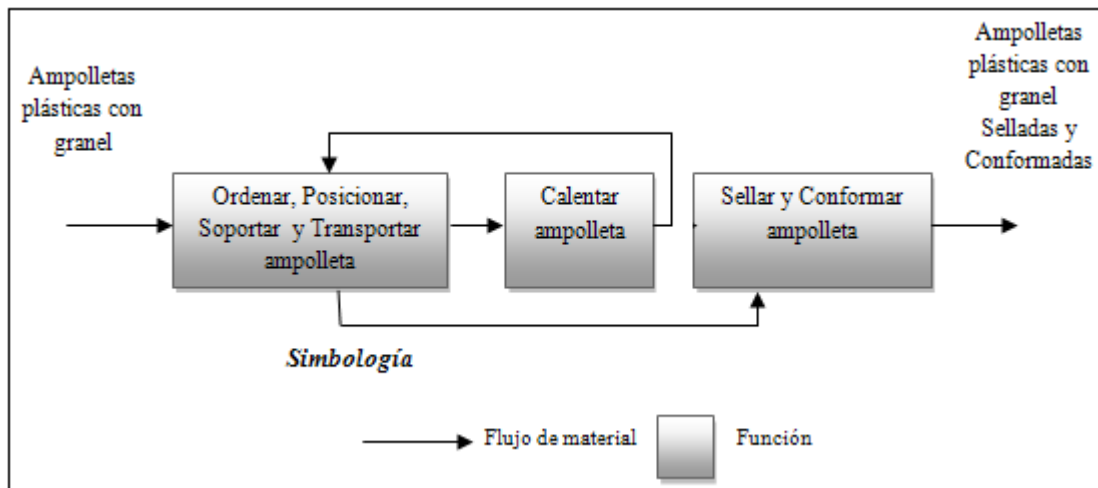
A continuación se exponen cada una de las funciones.

1. **Ordenar.** Es colocar en forma organizada (en cada uno de los espacios de las estrellas) cada una de las ampollitas.
2. **Posicionar.** Ubicar a la ampollita con respecto a los procesos a los que es sometida.

3. **Soportar.** Implica sostener de forma rígida y precisa la ampollita durante el proceso de sellado.
4. **Transportar.** Mover la ampollita a cada uno de los subsistemas.
5. **Calentar.** Su finalidad es llevar el material a condiciones de fundición y moldeo. Para realizar esta función, el plástico es expuesto a radiación.
6. **Sellar.** Es hacer que el material fundido de la punta de la ampollita se pegue y como resultado se tenga un solo componente de material en todo el perfil de la punta de la ampollita.
7. **Conformar.** Es dar la forma deseada a la punta de la ampollita.

Puede elegirse un componente o sistema para llevar a cabo una o más de una función requeridas para sellar ampollitas plásticas termoformables, lo que depende del esquema de diseño conceptual propuesto como solución al problema del sellado.

En este caso se propone un esquema funcional de la siguiente manera:



**Figura 2.10 Diagrama funcional para la tercera generación de máquina selladora.**

A partir de este esquema funcional, se desprende el diseño de segunda iteración de máquina, en donde se ve el sistema de sellado integrado en tres módulos de funciones principales.

### 2.3.1 Ordenar, posicionar, soportar y transportar.

Son funciones que están efectuadas todas al mismo tiempo y por el mismo mecanismo en cada uno de los otros subsistemas (calentamiento y sellado-conformado), que son las estrellas y los formatos (figura 2.11).

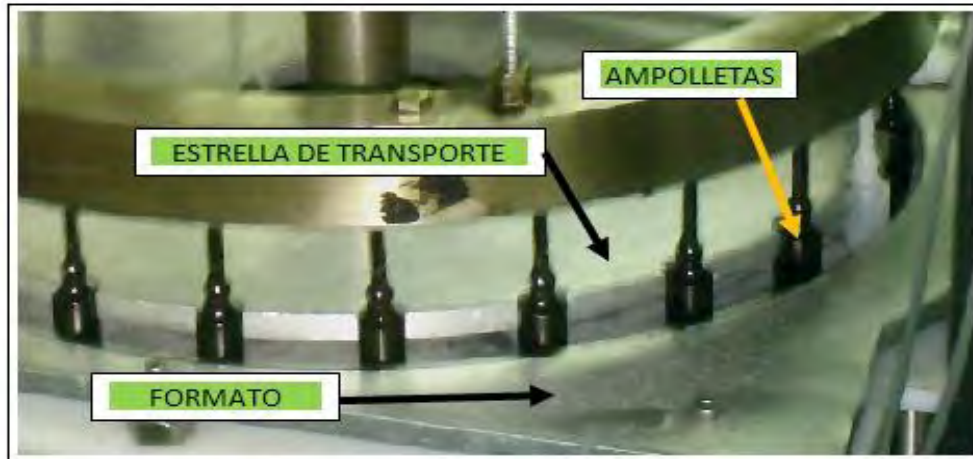


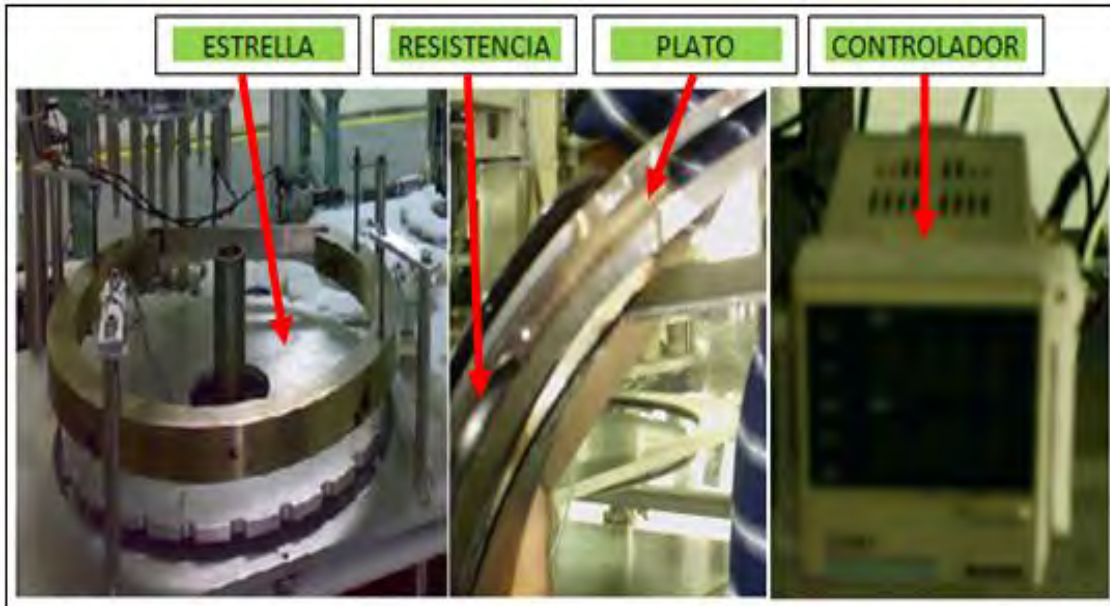
Figura 2.11. Funciones que llevan a cabo las estrellas y los formatos.

### 2.3.2 Calentar.

El calentamiento es la etapa donde la punta de la ampolleta aumenta su temperatura, para poder llegar a un estado donde el material pueda ser sellado y conformado. La capacidad en esta etapa es de este subsistema se integra por cuatro principales piezas:

1. **Plato.**- Componente rígido de AISI 1018, con una cubierta de lámina de acero inoxidable AISI 304 que contiene (sujeta) a la resistencia.
2. **Resistencia Eléctrica.**- Elemento que nos genera la radiación para calentar la boquilla de la ampolleta.
3. **Sujetadores.**- Tornillos que sujetan la resistencia al plato.
4. **Espárragos.**- Elementos que dan variabilidad de altura y soporta al plato.
5. **Postes.**- Componentes que soportan a las bridas de los espárragos.
6. **Estrella.**- Dispositivo que transporta, ordena, posiciona y soporta a la ampolleta.
7. **Formato.**- Elemento fijo que soporta y posiciona a la ampolleta.

**8. Controlador.-** Dispositivo que nos ayuda a controlar la temperatura de la resistencia



**Figura 2.12, Elementos que integran el calentamiento.**

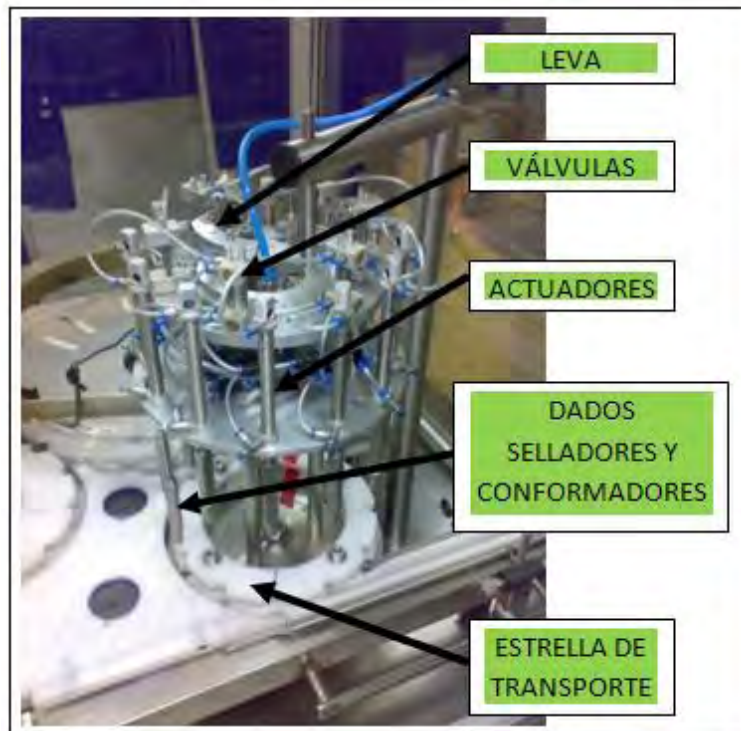
Esta es la parte crítica del sistema de sellado. Sabemos la temperatura a la que debe estar la punta de ampollita para ser sellada y conformada que son  $180^{\circ}$  C. El sistema de calentamiento descrito anteriormente si nos modifica la temperatura de la ampollita, pero el funcionamiento no es el adecuado para asegurar el 100% de las ampollitas selladas y bien conformadas como ya se vio en el capítulo 3.

### **2.3.3 Sellar y Conformar.**

En el cabezal de sellado se realizan dos funciones principales; el sellado y el conformado de la boquilla. Sistema puramente neumático que consta de :

- 1. Levas.** Son placas de aluminio maquinadas con la forma precisa para actuar mecánicamente a las válvulas.

2. **Válvulas.** Dispositivos que sirven para actuar a los pistones cuando estas son empujadas por las levas
3. **Actuadores.** Émbolos neumáticos que son actuados para bajar y subir los dados selladores.
4. **Dados selladores y conformadores.** Elementos que bajo la presión de los actuadores, al bajar sellan y dan forma final a la punta de la ampolleta.
5. **Estrella.-** Dispositivo que transporta, ordena, posiciona y soporta a la ampolleta.
6. **Formato.-** Elemento que soporta y posiciona a la ampolleta.



**Figura 2.13, Elementos que integran el cabezal de sellado.**

El cabezal de sellado es el módulo final del sistema que contiene a los componentes antes mencionados y que no logran al 100% el objetivo principal que es sellar y conformar.

Resultado de ello es el porcentaje de sellado del sistema que es del 50% (ampolletas no selladas entre total de ampolletas procesadas), es decir, si entran 100 ampolletas al sistema, solo 50 salen selladas, en cuanto al conformado es aún menor el porcentaje llegando al 30% (ampolletas mal conformadas entre total de ampolletas procesadas). Por supuesto siguiendo los criterios del capítulo 4.



**Figura 2.14, Muestra de Ampolletas procesadas en el sistema de sellado.**

### **3. Antecedentes de la metodología: Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).**

#### **3.1 Introducción**

**Alcaide, J., et al. [2].** El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) fue desarrollada en el ejercito de los Estados Unidos por los ingenieros de la National Agency of Space and Aeronautical (NASA), y era conocido como el procedimiento militar MIL-P-1629, titulado "Procedimiento para la Ejecución de un Modo de Falla, Efectos y Análisis de criticabilidad" y elaborado el 9 de noviembre de 1949; este era empleado como una técnica para evaluar la confiabilidad y para determinar los efectos de las fallas de los equipos y sistemas, en el éxito de la misión y la seguridad del personal o de los equipos. Posteriormente el AMEF fue adoptado por otras áreas, y los fabricantes de productos de consumo establecieron un sistema nuevo de prioridades, incluyendo la satisfacción del cliente y la seguridad.

**Ford Motor Company [3].** En términos de diseño de producto, un fallo supone que un componente o un sistema no satisfacen o no funciona de acuerdo con la especificación. Los parámetros de la especificación puede representarse en: duración completa / ciclos, dimensiones lineales / tolerancias, carga o flexión, espesores de pinturas, etc. Un fallo de especificación también puede seguir aspectos estáticos tales como cantos vivos, acabado demasiado brillante, etc. Un fallo no debe ser evidente para el cliente.

El modo fallo, por otra parte, es el modo en que se produce el fallo en un componente o sistema. Es la manera en que un sistema no satisface la especificación dada. Responde a la pregunta: ¿Cómo ha podido fallar el componente o sistema?. El modo de fallo potencial se expresa en términos "físicos", y no como síntomas que pudiera expresar el cliente. Un modo de fallo se produce entre una causa y un efecto. La mayoría de los sistemas reales no siguen el modelo causa–efecto simple. Una única causa puede tener efectos múltiples. Una combinación de causas puede llevar a un efecto, o ellos mismos pueden conducir a efectos múltiples.



El AMEF se lleva a cabo hacia el final de la fase del diseño, y pretende encontrar los potenciales fallos del producto antes de llevarlo a producción, evitando que dichos fallos repercutan en el usuario.

### **3.2 ¿Qué es AMEF?**

**Ford Motor Company [3].** El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstos se encuentren en producción, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Documentar el proceso.

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

### **3.3 Beneficios del AMEF**

La eliminación de los modos de fallas potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, representa ahorros de los costos de reparaciones, las pruebas repetitivas y el tiempo de paro.

El beneficio a largo plazo es mucho más difícil medir puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad; esta percepción afecta las futuras compras de los productos y es decisiva para crear una buena imagen de los mismos.

Por otro lado, el AMEF apoya y refuerza el proceso de diseño ya que:

- Ayuda en la selección de alternativas durante el diseño.
- Incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño.
- Proporciona información adicional para ayudar en la planeación de programas de pruebas eficientes.
- Desarrolla una lista de modos de fallas potenciales, clasificados conforme a su probable efecto sobre el cliente.
- Proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas.
- Detecta fallas en donde son necesarias características de auto corrección o de leve protección.
- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos.
- Detecta fallas primarias, pero a menudo mínimas, que pueden causar ciertas fallas secundarias.
- Proporciona un punto de visto fresco en la comprensión de las funciones de un sistema.

### **3.4 Requerimientos del AMEF:**

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subensambles hasta el sistema completo.

- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, subensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formas de AMEF (en papel o electrónicas) y una lista de consideraciones especiales que se apliquen al producto.

### 3.5 Pasos para llevar a cabo un AMEF

a) Definir el producto en términos de sistema.

**Stamatis D.H. [4].** En esta etapa se deben definir:

*Las funciones objetivo:* Dado que todas las valoraciones de riesgo están relacionadas con los modos en que un sistema puede fallar al realizar una función, una definición clara de las funciones que el producto debe realizar es un primer paso importante.

*Los límites:* Muy pocos sistemas funcionan aisladamente. La mayoría interactúa con otros sistemas. El delimitar cuales son estas interacciones es útil para considerar todos los posibles efectos de un fallo, así como para buscar soluciones preventivas.

En este primer paso es muy conveniente llevar a cabo un análisis funcional, si no se ha hecho todavía, para identificar funciones y relaciones.

b) Subdividir el sistema por funciones para el análisis.

Esta fase define los elementos de un sistema que proporcionará la estructura básica para realizar el AMEF. Si el equipo de diseño ha realizado un análisis funcional previamente, estas etapas ya estarán cubiertas.

c) Identificar modos de fallo para elementos del sistema.

Para buscar los posibles fallos el equipo de diseño debe contestarse las siguientes preguntas:

- ¿Qué ocurre si esta función falla?
- ¿Qué ocurre si esta función falla antes o después de otra acción determinada?

- ¿Qué ocurre si esta función no es realizada en la secuencia correcta?
- ¿Qué ocurre si esta función no se realiza completamente?
- ¿Qué ocurre si esta función no se lleva a cabo en la cantidad correcta?

d) Identificar el efecto de cada fallo.

En esta etapa se deben buscar los efectos de un fallo en cada función del producto:

- Si se da un determinado fallo, ¿Qué consecuencias puede acarrear?
- Si esta función falla, ¿Qué más podría ocurrir como consecuencia?

e) La detección de las fallas a través de los controles actuales.

Los controles actuales son descripciones de las medidas que previenen que ocurra el modo de falla o detectan el modo de falla en caso de que ocurran. Los controles de diseño y proceso se agrupan de acuerdo a su propósito:

- Tipo 1: Estos controles previenen la causa o el modo de falla en que ocurran, o reduce su ocurrencia.
- Tipo 2: Estos controles detectan la causa del modo de falla y guían hacia una [acción](#) correctiva.
- Tipo 3: Estos controles detectan el modo de falla antes de que el producto llegue al cliente.

**Alcaide, J., et al. [2].** La detección es una evaluación de las probabilidades de que los controles del proceso propuestos (listados en la columna anterior) detecten el modo de falla, antes de que el producto final llegue al cliente.

**Tabla 3.1, Criterios sobre los controles de detección de fallas utilizados.**

<b>DETECCIÓN</b>	<b>CRITERIOS</b>	<b>FACTOR DE DETECCIÓN</b>
Casi imposible	Ninguno de los controles disponibles detectan accidente modo o causa de fallo	10
Bajo	Los controles actuales tienen una probabilidad baja de detectar modo o causa de fallo	6
Alto	Los controles actuales tienen una alta probabilidad de detectar modo o causa de fallo	3
Casi seguro	Los controles actuales detectan casi seguros al modo o a la causa de fallo	1

f) Estimar una severidad o un peligro para cada efecto.

**Alcaide, J., et al. [2].** Se asigna un número a un posible modo de fallo en función del carácter más o menos crítico del mismo. En las tablas que se incluyen a continuación, extraídas del propio procedimiento militar, se propone una posible clasificación.

**Tabla 3.2, Criterios sobre la frecuencia de fallas encontradas.**

<b>FRECUENCIA DE FALLO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Nivel</b>	<b>Vida del elemento</b>
Frecuente	<b>A</b>	Siempre está presente
Probable	<b>B</b>	Ocurre varias veces durante la vida del elemento
Ocasional	<b>C</b>	Ocurre alguna vez durante la vida del elemento
Posible	<b>D</b>	Ocurre pocas veces
Improbable	<b>E</b>	No ocurre

**Tabla 3.3, Criterios sobre la consecuencia de fallas encontradas.**

<b>CONSECUENCIA DE LA OCURRENCIA (FRECUENCIA) DEL FALLO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Categoría</b>	<b>Definición</b>
Catastrófico	<b>L</b>	Fallo completo del producto y/o peligro muy grave del usuario
Crítico	<b>LI</b>	Graves daños en el sistema y/o peligro grave del usuario
Marginal	<b>LII</b>	Daños menores en el producto y/o bajo riesgo para el usuario
Aceptable	<b>IV</b>	Daños poco importantes, no hay riesgo para el usuario

Tabla 3.4, Matriz de evaluación del riesgo.

<b>MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL RIESGO</b>				
<b>Frecuencia</b>	<b>Categoría del fallo</b>			
	<b>L</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>A</b>	1	3	7	13
<b>B</b>	2	5	9	16
<b>C</b>	4	6	11	18
<b>D</b>	8	10	14	18
<b>E</b>	12	15	17	20

Tabla 3.5, Criterios sobre el índice de riesgos.

<b>Índice de riesgo</b>	<b>Criterio</b>
<b>1-5</b>	Inaceptable
<b>6-9</b>	Indeseable
<b>10-17</b>	Aceptable con revisión del diseño
<b>18-20</b>	Aceptable sin revisión del diseño

**Alcaide, J., et al. [2].** Como se ve, en función de lo crítico que sea el fallo y la probabilidad estimada de que ocurra, se asigna un criterio para cada modo de fallo. Posteriormente se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (NPR): El NPR es el producto de la probabilidad de fallo, la consecuencia y la detección (probabilidad que el fallo sea percibido) y debe ser calculado para todas las causas de fallo. Para calcularlo se emplea la tabla anterior y la siguiente tabla:

**Tabla 3.6, Ponderaciones de frecuencia y consecuencia.**

<b>PONDERACIONES DE FRECUENCIA Y CONSECUENCIA</b>			
<b>Frecuencia</b>		<b>Consecuencia</b>	
<b>A</b>	<b>9-10</b>		
<b>B</b>	<b>7-8</b>	<b>I</b>	<b>9-10</b>
<b>C</b>	<b>4-6</b>	<b>II</b>	<b>7-8</b>
<b>D</b>	<b>2-3</b>	<b>III</b>	<b>4-6</b>
<b>E</b>	<b>1</b>	<b>IV</b>	<b>1-3</b>

El producto de dichos números da una idea de la prioridad del modo de fallo.

g) Elaboración de la matriz de fallos y efectos.

Una manera de determinar las piezas críticas respecto a los modos de fallo consiste en plantear una matriz en la que se comparan las distintas partes del producto frente a posibles modos de fallo. Los pasos a seguir son:

1. Adoptar una puntuación dependiendo de la relación entre cada pieza y cada modo de fallo, que suele ser 9● (relación fuerte), 3 ●(posible relación) y 1 ○ (baja relación).



Aquí se entiende por relación parte/modo de fallo, la posibilidad estimada de fallo de dicha parte en dicho modo de fallo.

2. Aplicar un peso a cada parte, según su importancia, (se puede usar una escala de 1 a 10, por ejemplo). Puede haber piezas de igual importancia.
3. Multiplicar el peso de cada parte por su factor de relación con cada modo de fallo.
4. Sumar horizontalmente para obtener un factor total frente a fallos.
5. Representar mediante porcentaje para cada parte. Las piezas con mayores porcentajes son las que más deben estudiarse dada su relación importancia/nivel de probabilidad de fallo.

**h)** Determinar la causa del modo de fallo.

Para completar una hoja tipo AMEF, además de identificar las piezas críticas respecto a los modos de fallo, también hay que documentar las causas y el plan de acción. Las posibles causas pueden ser:

- Deficiencias del diseño.
- Deficiencias de fabricación.
- Deficiencias del proceso de ensamblaje.

**i)** Fijar y desarrollar las acciones correctivas.

Las acciones correctivas estarán directamente controladas, por el tiempo de ejecución, así como el costo y el buen funcionamiento de estas. Siguiendo los siguientes puntos:

- Objetivo
- ¿Cómo corregir el problema?
- Solución
- Especificaciones de solución
- Conclusión

Para concluir con la metodología y con uno de los objetivos del AMEF, que es documentar el proceso de Análisis de Modos y Efectos de fallas, se presenta la siguiente plantilla:

**Tabla 3.7, Plantilla para documentación de resultados del AMEF.**

Nombre del producto							Equipo de diseño		Pág No. ____ de ____	
Sistema									Fecha	
Subsistema										
Componente										
Nº Pieza y Función	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Grado de Riesgo	Causas de Fallo	Prob. de Frecuencia	Controles actuales	Detección	Acciones Recomendadas	NPR	

## **4. Metodología AMEF aplicada a un caso de estudio (Sistema de Sellado).**

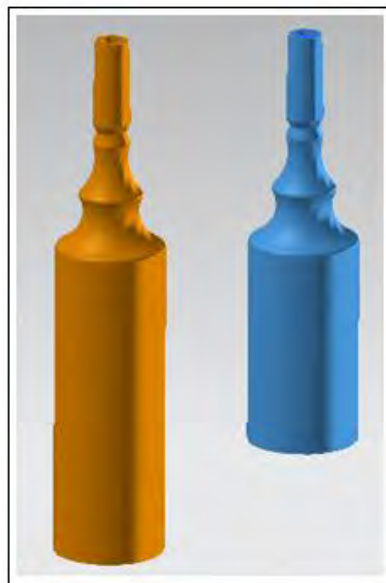
Para aplicar la metodología al sistema, se siguen los pasos descritos en el capítulo anterior (Metodología AMEF):

### **4.1 Requerimientos para el sistema.**

Se necesita conocer las especificaciones de la máquina selladora, para poder saber los límites hasta donde se puede llevar el diseño y construcción de la segunda iteración, así como las características del producto que la máquina procesa, para lograr el objetivo principal que es llegar a un sello perfecto.

#### **4.1.1 Ampolletas y líquidos a envasar.**

Las ampolletas plásticas a llenar y sellar se muestran en la figura 4.1. Se trata de dos tipos de ampolleta, una para llenar 6 y 10 mililitros y la otra para 20 mililitros. La tabla 1 muestra las dimensiones de estos recipientes.

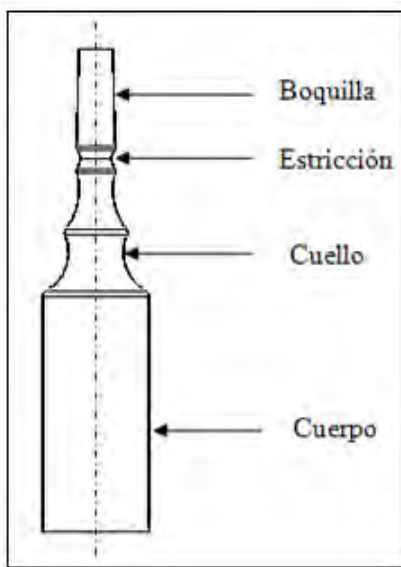


**Figura 4.1, 20 ml y 6-10 ml respectivamente.**

**Tabla 4.1, Dimensiones de los recipientes**

Ampolletas	Tipo 1	Tipo 2
	(mm)	(mm)
<b>Largo total</b>	$95.20 \pm 1.0$	$134.44 \pm 1.0$
<b>Diámetro exterior en punta</b>	$5.0 \pm 0.2$	$5.0 \pm 0.2$
<b>Diámetro interior en punta</b>	$3.5 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
<b>Diámetro de cuerpo</b>	$19.55 \pm 0.2$	$19.55 \pm 0.2$
<b>Volumen disponible en ampolleta</b>	13	25
<b>Volumen de líquido a llenar</b>	10 y 6 (ml)	20 (ml)
<b>Peso de ampolleta</b>	$3.4 \pm 0.2$ (g)	$4.3 \pm 0.4$ (g)

Estas ampolletas poseen un tipo de geometría característica, la cual se describe en la figura 4.2. Las partes que la constituyen son:



**Figura 4.2, Geometría y partes de ampollita.**

**Olagoke O., [5].** El material por el cual están conformados estos envases es de Policloruro de Vinilo (PVC), la tabla 4.2, nos muestra las propiedades térmicas y físicas que nos competen:

**Tabla 4.2, Propiedades importantes del PVC.**

Características	Valor	Unidades
<b>Calor específico</b>	1000-1500	$\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$
<b>Temperatura máxima de utilización</b>	50-75	$^{\circ}\text{C}$
<b>Temperatura mínima de utilización</b>	-30	$^{\circ}\text{C}$
<b>Temperatura de ablandamiento</b>	>80	$^{\circ}\text{C}$
<b>Temperatura de moldeo</b>	120-140	$^{\circ}\text{C}$
<b>Temperatura de degradación</b>	190-200	$^{\circ}\text{C}$
<b>Densidad</b>	1.37-1.42	$\text{Kg}/\text{dm}^3$
<b>Inflamabilidad</b>	Auto extingible	-
<b>Resistencia a la tracción</b>	450-550	$\text{Kg}/\text{cm}^2$
<b>Resistencia a la compresión</b>	610	$\text{Kg}/\text{cm}^2$

La transición entre la boquilla y el cuello de la ampollita se lleva a cabo por medio de una estricción. Esta tiene la función de ser un punto débil que permite al consumidor, romper el sello del envase y verter el líquido contenido con relativa facilidad.

Los líquidos que se envasan en las ampollitas son 12 diferentes. Cada uno de estos posee diferentes características respecto a viscosidad, densidad y formulación química. La tabla 4.3 muestra una lista de los líquidos que se envasan en ampollitas plásticas.

**Tabla 4.3, Líquidos a envasar.**

Líquidos admisibles	Nombre
<b>1</b>	Fermofive
<b>2</b>	07 extra
<b>3</b>	Acondicionador y brillo
<b>4</b>	07
<b>5</b>	2 fases
<b>6</b>	Volumen
<b>7</b>	Special
<b>8</b>	07 Export
<b>9</b>	619
<b>10</b>	619 Extra
<b>11</b>	Color Fix
<b>12</b>	Porosity

Las viscosidades de éstos líquidos varían de  $0.00112 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$  a  $1.154 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$ .

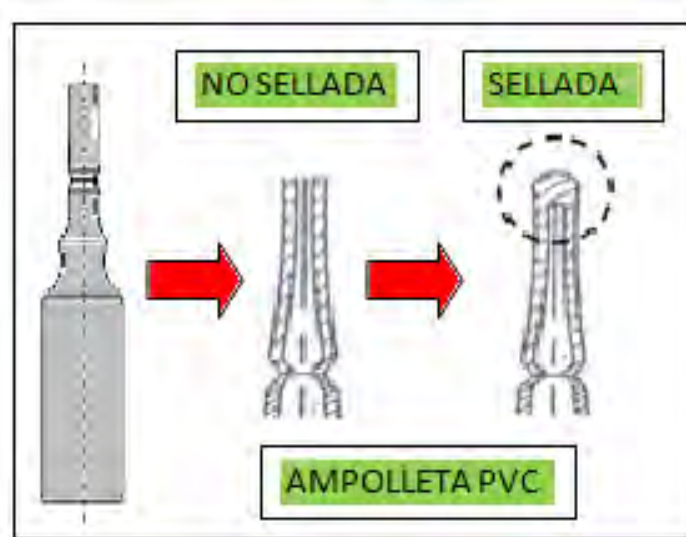
#### **4.1.2 ¿En qué consiste el sello de ampolletas?**

El proyecto se enfoca en sellar la punta de las boquillas de ampolletas de polícloruro de polivinilo (PVC), que es un polímero termo-formable y de alta toxicidad.

El sellado de la ampolleta consiste en el calentamiento del polímero para crear un flujo y deformación del mismo, que pertenece a la punta de la boquilla de la ampolleta.

El sellado de la ampolleta requiere la manipulación del polímero para prepararlo y ser sellado, es necesario que la ampolleta pase por un proceso de exposición al calor, esto para aumentar su temperatura y modificar sus propiedades, y así lograr el sellado y la apariencia requerida.

**Olivares, G. et al, [6].** Durante el calentamiento el polímero sufre una degradación térmica que se caracteriza por el tiempo de exposición al calor y la razón de degradación propia del polímero.



**Figura 4.3, Proceso que sigue la ampollita.**

#### **4.1.3 ¿Cuándo consideramos una ampollita sellada?**

- **Olivares, G., et al. [6].** La unión del material debe ser uniforme en todo el perfil de la punta. Esto se visualiza haciendo pasar un haz de luz natural para observar que no existan discontinuidades dentro del material (fisuras y relieves en el material que pudiesen permitir el paso del fluido contenido).
- La punta de la ampollita no debe cambiar de color, (debe mantener su transparencia y color originales).
- La punta de la ampollita debe tener la geometría determinada por el molde de sellado y conformado, (debe ser estético y acorde con los requerimientos de la empresa).



**Figura 4.4, Ampolleta sellada.**

#### **4.1.4 Parámetros que intervienen en el fenómeno de sellado.**

**Olivares, G., [7].** Para comprender de mejor manera el problema del sellado de ampolletas plásticas termo-formables es necesario identificar y estudiar los diferentes parámetros que intervienen en el fenómeno.

Los parámetros que intervienen en el fenómeno de sellado son:

- Temperatura de calentamiento en la punta de la ampolleta.
- Temperatura del molde para sellar.
- Temperatura ambiente.
- Tiempo de exposición a la fuente de calor.
- Fuerza del molde para sellar.
- Forma final de conformado.
- Las características geométricas de la ampolleta, que cuenta con un diámetro exterior del cuello de la ampolleta de 6 [mm] y un espesor de 0.5 [mm].
- Temperatura de moldeo que se encuentra entre 10°C y 20°C por arriba de la transición vítrea ( $T_g$ ), que para el PVC que es de 120°C. Esta temperatura es la necesaria para preparar la punta del cuello de la ampolleta para sellado.
- El valor numérico de  $k$  cuantifica que el PVC es un pobre conductor de calor.



- La forma cilíndrica de la punta de la ampolleta es un factor para que la temperatura  $T_g$  no sea uniforme en un tiempo corto de exposición al calor.
- El rango de trabajo para la boquilla de la ampolleta es a partir de la temperatura de fundición  $T_g$  hasta la temperatura de degradación del material.
- Por tratarse de PVC su degradación se manifiesta cuando pierde transparencia (toma una coloración café) y se quema sin producir flama (por ser un material auto-extinguible).
- El humo de PVC es altamente tóxico por el componente de cloro que se quema, se requiere que la ampolleta no llegue a este punto.

#### **4.1.5 Requerimientos de Diseño**

A continuación se presentan los requerimientos de diseño del sistema ideal para el sellado de ampolletas termoformables.

1. Rango de temperatura de moldeo [ $85^{\circ}\text{C}$  a  $180^{\circ}\text{C}$ ].
2. Modularidad para sellar ampolletas con diferentes longitudes de cuello (alturas).
3. Eficiencia de sellado ( $\eta$ ) de 99.999% (razón de ampolletas selladas y total de ampolletas procesadas).
4. Cumplir con las especificaciones de sellado previamente mencionadas.
5. Razón de sellado automático de 240 ampolletas por minuto.

Con los elementos anteriores se puede comenzar con la aplicación de la metodología AMEF:

## 4.2 Definición del producto en términos de sistema.

Como se ha visto en los antecedentes, se trata de un concepto de maquina integral (llenado y sellado de ampollas). Se definen los siguientes conceptos:

- *Funciones objetivo:*

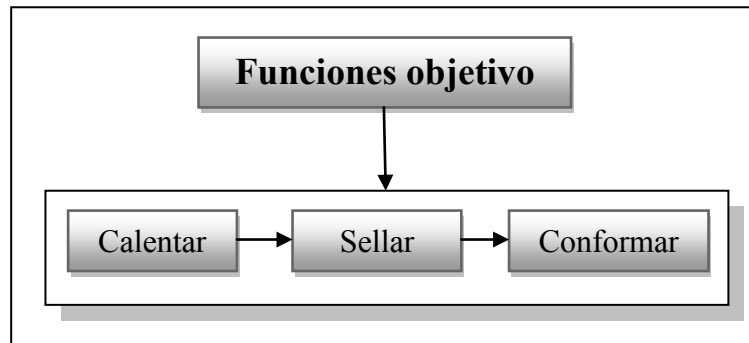


Figura 4.5, Funciones Objetivo

- *Los límites:*

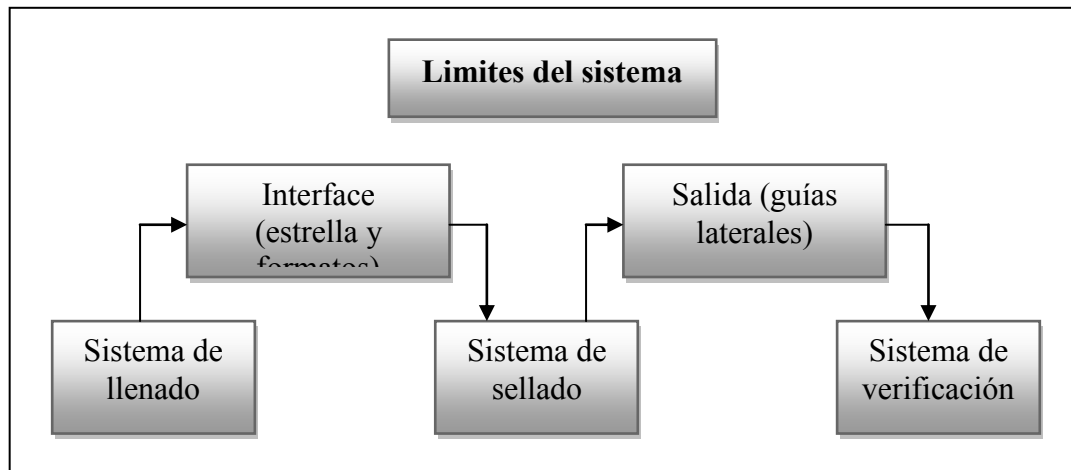


Figura 4.6, Límites del sistema.

### 4.3 Subdivisiones del sistema por funciones.

Dividiendo el sistema por funciones como se hizo en el capítulo uno, el esquema queda de la siguiente manera:

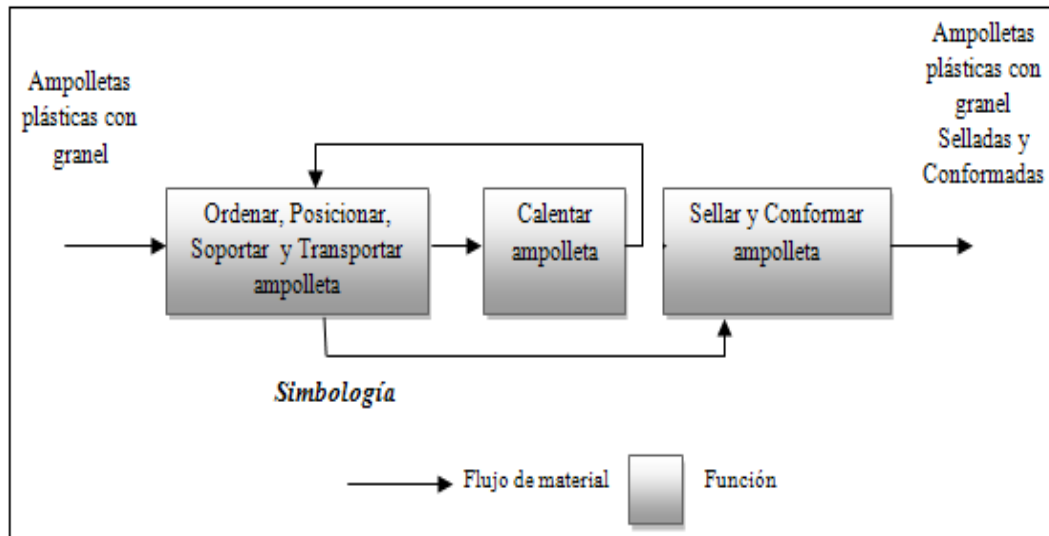


Figura 4.7, Funciones Sistema de Sellado

Ya el sistema está dividido en funciones, entonces se puede comenzar con la aplicación de una de las partes más importantes de la metodología, que es la identificación de los modos, efectos y detección de las fallas del sistema.

### 4.4 Identificación de modos, efectos y detección de fallas.

El control utilizado es el tipo 3, ya que se detecta el modo de falla antes de que llegue al cliente final.

Al tratarse de un AMEF de proceso de diseño con prototipo y los controles son directamente las personas y el sistema de verificación, la detección es seguro que se realiza, de acuerdo a la tabla de ponderaciones presentada en la metodología el valor del factor de detección siempre será de 1.

Como se observó en el análisis funcional, el sistema estará compuesto por: la transición del sistema de llenado al sistema de sellado (precalentamiento), el calentamiento y el cabezal de sellado y conformado, así mismo para poder manejar mejor la información, en este inciso el autor hará uso de tablas informativas.

#### **4.4.1 Transición Sistema de Llenado – Sistema de Sellado (Precalentamiento)**

Como ya se ha visto, este trabajo está enfocado hacia el sistema de sellado, por lo que al revisar los límites de dicho sistema, se encuentra con fallas provenientes de uno de éstos, que es el sistema de llenado, por lo que se tratara la falla de manera aislada al sistema de llenado, es decir se verán el modo, efecto, frecuencia y causa de falla de manera normal al la aplicación de la metodología, siendo la solución aislada, es decir, el fallo se corregirá sin tomar en cuenta el llenado.

**Tabla 4.4, Numero, modo, efecto, frecuencia y consecuencia de fallas en el límite inferior.**

<b>No. De falla:</b>	<b>Modo de falla:</b>	<b>Efecto de falla:</b>	<b>Frecuencia de falla:</b>	<b>Consecuencia de la frecuencia:</b>
<b>1</b>	Pequeñas cantidades de granel se quedan en la punta de la ampollita.	La ampollita no se sella.	Ocasional, ocurre alguna vez durante el proceso.	Crítico, graves daños al producto.

#### 4.4.2 Calentamiento.

A continuación se muestran los modos, efectos, frecuencia y consecuencia de las fallas encontradas en el subsistema de calentamiento:

**Tabla 4.5, Modo, efecto, frecuencia y consecuencia de fallas en el calentamiento.**

<b>No. de falla:</b>	<b>Modo de falla:</b>	<b>Efecto de falla:</b>	<b>Frecuencia de falla:</b>	<b>Consecuencia de la frecuencia:</b>
2	La temperatura no llega al valor deseado.	El material no se une para realizar el sello.	Frecuente, siempre está presente.	Catastrófico, fallo completo del producto.
3	El tiempo de estabilización de la temperatura es alto.	Tiempos muertos.	Frecuente, siempre está presente.	Aceptable, daños poco importantes, no hay riesgo para el usuario o cliente.
4	La parte inferior de la boquilla se reblandece.	La ubicación de la radiación hacia la boquilla de la ampolleta no es la mejor, ya que la temperatura es excesiva en esa zona de la ampolleta.	Frecuente, siempre está presente.	Catastrófico, fallo completo del producto.
5	La boquilla de la ampolleta se mueve cuando éstas se encuentran en movimiento.	La boquilla de la ampolleta hace contacto con el plato de calentamiento presentando coloraciones negras en los puntos de contacto.	Probable, ocurre varias veces durante el proceso.	Crítico, graves daños en el producto final.
6	Tiempos largos en variabilidad de alturas.	Tiempos muertos	Frecuente, siempre está presente.	Aceptable, daños poco importantes, no hay riesgo para el usuario.

<b>No. de falla:</b>	<b>Modo de falla:</b>	<b>Efecto de falla:</b>	<b>Frecuencia de falla:</b>	<b>Consecuencia de la frecuencia:</b>
7	La exposición por altos periodos de tiempo (en caso de un paro general de la máquina) debajo del plato, el material se comienza a quemar y a extinguir.	Se producen gases tóxicos generando daños para la salud. El material se quema y se desecha.	Ocasional, ocurre algunas veces durante el proceso.	Catastrófico, fallo completo del producto y peligro muy grave para el usuario.
8	Rigidez muy mala, conforme el sistema completo trabaja, el plato cambia de posición constantemente.	Las boquillas hacen contacto con el plato generando coloraciones negras en los puntos de contacto.	Frecuente, siempre está presente.	Crítico, graves daños en el producto final.

#### 4.4.3 Cabezal de sellado y conformado

Enseguida se muestra la tabla de los modos, efectos, frecuencia y consecuencia de la frecuencia de los distintos fallos encontrados en el subsistema, el cabezal de sellado y conformado:

Tabla 4.6, Modo, efecto, frecuencia y consecuencia de fallas en el cabezal de sellado y conformado.

<b>No. de falla:</b>	<b>Modo de falla:</b>	<b>Efecto de falla:</b>	<b>Frecuencia de falla:</b>	<b>Consecuencia de la frecuencia:</b>
9	Los pistones son actuados en un solo sentido (hacia abajo).	Los pistones se quedan abajo y no regresan a su posición cero (arriba), por lo que ya no vuelven a sellar ni a conformar.	Probable, ocurre varias veces durante el proceso.	Crítico, graves daños en el producto.
10	Los dados no están alineados respecto al eje de los apoyos de las ampolletas.	No existe repetibilidad en el sello ni en el conformado.	Probable, ocurre varias veces durante el proceso.	Catastrófico, fallo completo del producto.

<b>No. de falla:</b>	<b>Modo de falla:</b>	<b>Efecto de falla:</b>	<b>Frecuencia de falla:</b>	<b>Consecuencia de la frecuencia:</b>
<b>11</b>	Los dados al momento de que los pistones son actuados, bajan y se acuñan en las guías de éstos.	Los dados no pueden sellar ni conformar.	Probable, ocurre varias veces durante el proceso.	Catastrófico, fallo completo del producto.
<b>12</b>	Los dados siguen toda la carrera del vástago del pistón, al momento de bajar y subir.	El conformado de la boquilla no es el adecuado, de acuerdo a las especificaciones.	Frecuente, siempre está presente.	Marginal, daños menores en el producto.
<b>13</b>	La boquilla no se encuentra perfectamente bien alineada respecto al dado sellador y conformador.	No existe repetibilidad en el sello ni en el conformado.	Probable, ocurre varias veces durante el proceso.	Crítico, graves daños en el producto.

#### **4.5 Estimación de la severidad o peligro para cada efecto.**

Siguiendo los criterios de las tablas de ponderaciones dadas a los modos, efectos, frecuencia y consecuencia de la frecuencia (Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3, Tabla 4.4, Tabla 4.5, Tabla 4.6), se realiza la tabla 4.4, que nos indica el Numero de Prioridad de Riesgo en porcentaje, siendo un 100% el máximo porcentaje para la falla que es inaceptable y que justifican su rápida corrección, con forme va disminuyendo el porcentaje, la prioridad de falla irá disminuyendo así como su corrección.

**Tabla 4.7, Ponderaciones para los criterios de modo, frecuencia, efectos y el Número de Prioridad de Riesgo (NPR).**

<b>No. Falla</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Criterio de diseño</b>	<b>Ponderación Frecuencia</b>	<b>Ponderación Consecuencia</b>	<b>Factor Detección</b>	<b>NPR %</b>
1	C	II	6	Indeseable	6	8	1	<b>48</b>
2	A	I	1	Inaceptable	10	10	1	<b>100</b>
3	A	IV	13	Revisión de diseño	10	3	1	<b>30</b>
4	A	I	1	Inaceptable	10	10	1	<b>100</b>
5	B	II	5	Inaceptable	8	8	1	<b>64</b>
6	A	IV	13	Revisión de diseño	10	3	1	<b>30</b>
7	C	I	4	Inaceptable	6	10	1	<b>60</b>
8	A	II	7	Indeseable	10	8	1	<b>80</b>
9	B	II	5	Inaceptable	8	8	1	<b>64</b>
10	B	I	2	Inaceptable	8	10	1	<b>80</b>
11	B	I	2	Inaceptable	8	10	1	<b>80</b>
12	A	III	7	Indeseable	10	6	1	<b>60</b>
13	B	II	5	Inaceptable	8	8	1	<b>64</b>



#### 4.6 Elaboración de la matriz de fallos y efectos.

Como se mostro en el capítulo 2, para la elaboración de esta matriz, se tendran en cuenta las piezas involucradas en los modos y efectos de las fallas, y poder así identificar las piezas críticas. Se crean dos matrices (en calentamiento y el cabezal de sellado y conformado respectivamente), en cuanto a la falla del límite inferior (sistema llenado), no se realizara la matriz, ya que es una falla que proviene de otro sistema que no se esta viendo en este documento, ésta falla se tratará puntual al momento de corregirla, es decir, sin tomar en cuenta su procedencia ó sistema que la genera.

Tabla 4.8, matriz de fallos y efectos para el subsistema de calentamiento.

CALENTAMIENTO									
	Peso	Limite bajo de temperatura	Tiempo de estabilización	Mala incidencia de radiación	Apoyos distantes	Tiempo de ajuste en alturas	Degradación del material	Poca rigidez	TOTAL
Estrella	7	○	○	●	●	○	○	○	119
Formato	7	○	○	●	●	○	○	○	119
Resistencia Eléctrica	10	●	●	○	○	○	●	○	190
Controlador	9	●	●	○	○	○	●	○	171
Plato porta resistencia	9	●	●	●	○	○	●	○	189
Postes sujetadores	8	○	○	○	○	●	●	●	200
Prisioneros (sujetadores)	6	○	○	●	●	○	●	●	126
Espárragos	6	○	○	○	○	●	○	●	102

La matriz de Fallos y Efectos es la parte más importante de la aplicación de la metodología ya que en ella se pueden observar las fallas que están relacionadas a un componente, por ejemplo, en la tabla 4.5 los postes sujetadores se encuentran ligados directamente a las fallas: tiempo de ajuste en alturas, degradación del material y poca rigidez, por lo que al modificar el diseño o configuración de los postes, se deberán corregir las fallas inducidas por éstos. De igual forma se ve en cada uno de los componentes en el calentamiento y en el cabezal de sellado y conformado.

Tabla 4.9, matriz de fallos y efectos para el subsistema de cabezal de sellado y conformado.

<b>CABEZAL DE SELLADO Y CONFORMADO</b>							
	<b>Peso</b>	<b>Actuadores viajan en un sentido</b>	<b>No existe alineación en los dados</b>	<b>Acuñamiento en dados al bajar</b>	<b>Desplazamiento máximo en el actuador</b>	<b>Boquilla desalineada</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Estrella</b>	7	○	○	○	○	●	21
<b>Formato</b>	7	○	○	○	○	●	21
<b>Dados</b>	10	○	●	●	●	○	230
<b>Leva</b>	9	●	○	○	○	○	117
<b>Válvulas</b>	9	●	○	○	●	○	135
<b>Actuadores</b>	9	●	●	●	○	○	207

#### 4.7 Determinación de las causas de los modos de fallo.

Las posibles causas pueden ser:

- Deficiencias del diseño.
- Deficiencias de fabricación.
- Deficiencias del proceso de ensamblaje.

##### Causa de modo de fallo 1:

Como ya se vio, se trabaja con 7 tipos distintos de granel, los cuales varían su viscosidad considerablemente, esto hace que en función de la viscosidad y de la velocidad de llenado, la boquilla de la ampollita se cubre con granel cuando termina el ciclo de llenado, lo cual es una causa que contribuye a que la ampollita no selle ya que para un sello perfecto se necesita una boquilla completamente seca y sin algún tipo de residuo (figura 4.8)

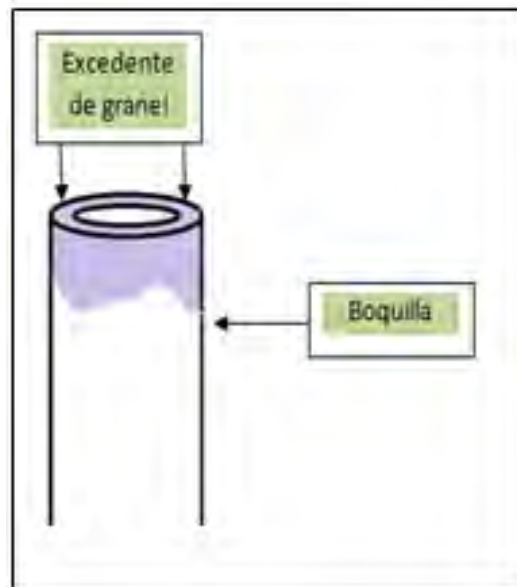


Figura 4.8, Boquilla con granel.

### **Causa de modo de fallo 2:**

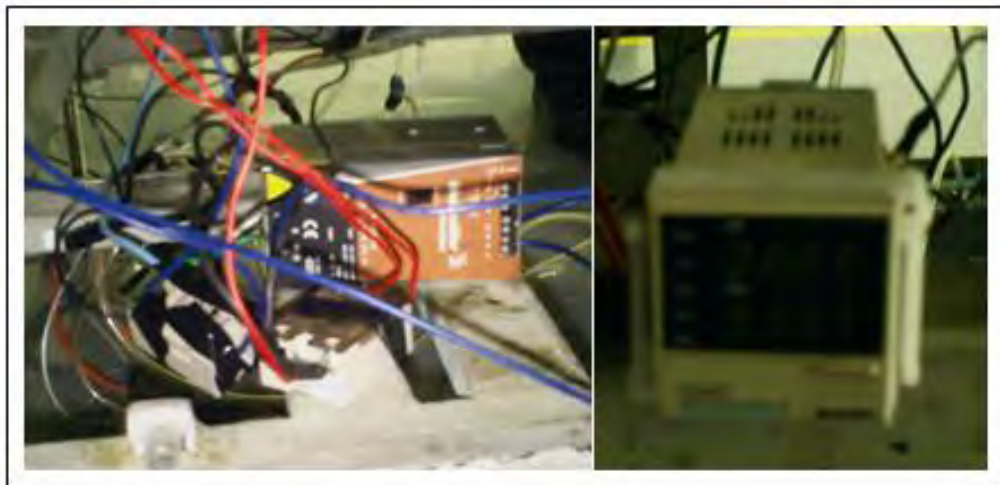
No se sabe el valor real que debe tener la resistencia para poder calentar la boquilla de las ampolletas en altas velocidades de trabajo de la máquina.



**Figura 4.9, Resistencia utilizada.**

### **Causa de modo de fallo 3:**

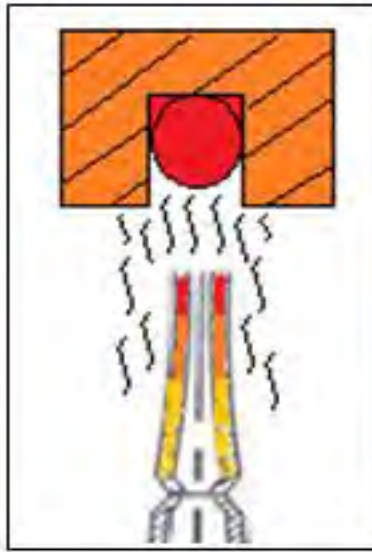
El controlador utilizado no da la libertad ni la capacidad de variar temperaturas muy altas en la resistencia.



**Figura 4.10, Controlador utilizado.**

#### **Causa de modo de fallo 4:**

La boquilla de la ampolleta no está llegando a la temperatura deseada de sello, pero como el diseño del plato no es adecuado, la radiación generada se dispersa hacia todos lados por debajo de la resistencia, por lo que se está calentando demasiado la parte que se encuentra por debajo de los 5[mm] del envase, esto hace que al tratar de sellar la parte inferior no está rígida, entonces la fuerza que se ejerce para sellar se disipa hacia las partes blandas del material caliente, haciendo que no se selle por completo (figura 4.11).



**Figura 4.11 Ubicación de Radiación.**

#### **Causa de modo de fallo 5:**

La boquilla pasa justo por el canal del plato, la distancia que existe entre las paredes de la boquilla y la del plato de la resistencia, es de 2 [mm], esta medida se vuelve crítica ya que en el viaje de la ampolleta, la boquilla se sale del rango y hace contacto, dando como resultado quemaduras en el envase, que por ser un material transparente se logran ver las zonas. Entonces la calidad del producto ya no es la óptima para salir al mercado.

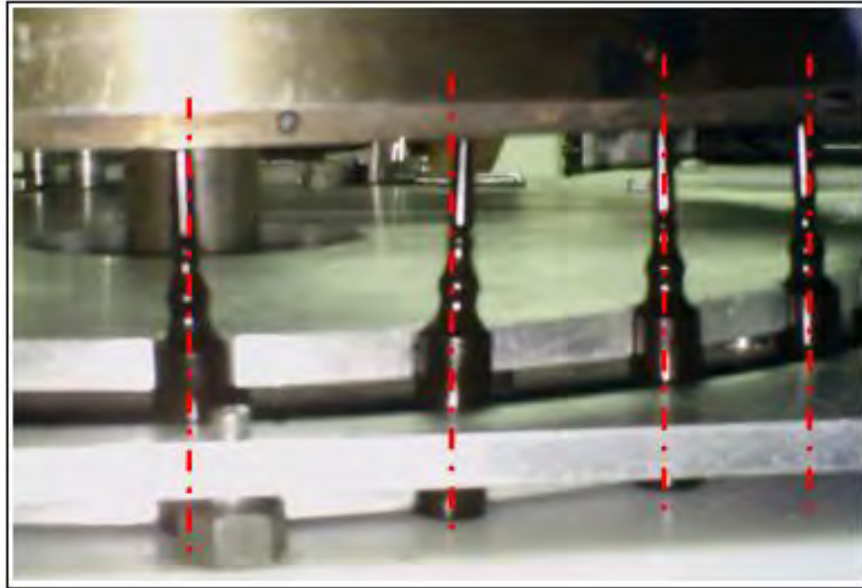


Figura 4.12, Ampolletas desalineadas.



Figura 4.13, Apoyos sobre ampolleta.

**Causa de modo de fallo 6, 7 y 8:**

Como se ha visto, la resistencia esta fija al plato, el plato está sujeto mediante cuatro espárragos a postes que se sujetan en la base del formato. Se puede variar la altura del plato con las cuatro tuercas que están en los espárragos (figura 4.14).

Se tiene altura variable, pero son 4 los elementos para regular las distintas alturas, esto hace consumir mucho tiempo cuando se debe calibrar la altura de la resistencia, aspecto que debe eliminarse. Existe un problema más, en realidad se refiere a una medida de seguridad. Cuando la máquina se llega a parar súbitamente por alguna causa, las ampollas se quedan debajo de la resistencia que maneja temperaturas superiores a los 400°C haciendo que se quemen y generando un peligro de incendio, además de que el PVC genera vapores muy tóxicos.

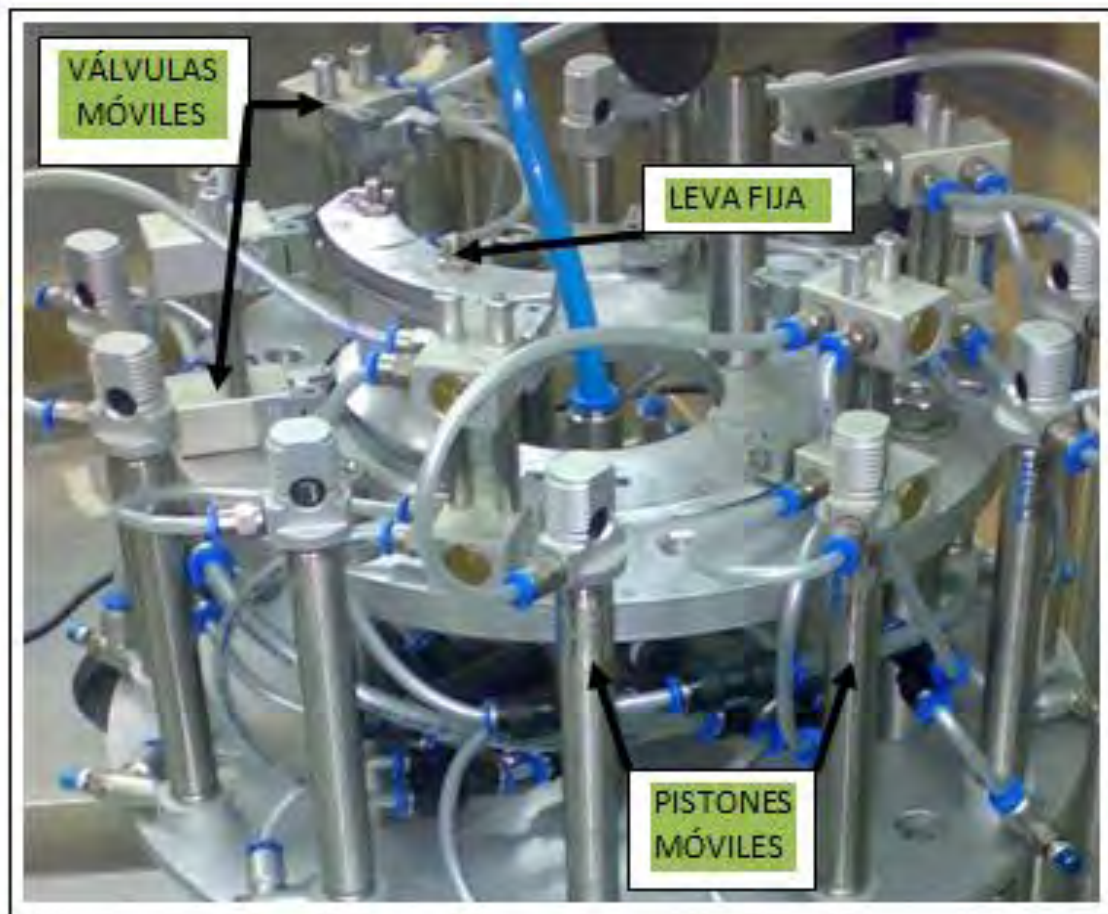


Figura 4.14, Sistema de sujeción y elevación del plato de calentamiento.

#### **Causa de modo de fallo 9:**

El sistema cuenta con 12 pistones neumáticos fijos al cabezal giratorio que son actuados mediante unas válvulas que a su vez son accionadas por una leva fija que se encuentra en la parte superior del cabezal. La acción del pistón es hacia abajo (positiva) para realizar el sello y el conformado mediando unos dados sujetos a los vástagos de los pistones.

La leva actúa a las válvulas solo en un sección de la trayectoria circular, éste instante es justo cuando las ampollas salen del calentamiento y entran al cabezal de sellado (figura 4.15). En el instante en que las válvulas dejan de ser actuadas por la leva, los pistones se quedan abajo, esto ocasiona diversos problemas: el dado se queda en la punta de la ampollita y hace que al salir del cabezal se atoren con el mismo dado, otro problema es que cuando los dados se quedan abajo y la trayectoria llega a donde está la transición del calentamiento al cabezal, éstos pegan en una parte del plato ocasionando que los vástagos de los pistones se doblen y se desalineen con respecto a la posición de las boquillas. Concluyendo con ampollitas no selladas adecuadamente.



**Figura 4.15, Sistema neumático.**



### Causa de modo de fallo 10:

Los actuadores (pistones) se encuentran fijos sobre la estructura del cabezal, los vástagos sujetan a los dados selladores que no cuentan con algún tipo de guía o alineamiento para el sellado perfecto.

Los dados selladores sujetos a los vástagos, suben y bajan un número considerable de ciclos a velocidades de giro del cabezal altas y a grandes temperaturas cercanas, por lo que los dados se encuentran desalineados, esto hace que el proceso no sea repetible, ya (figura 4.16).

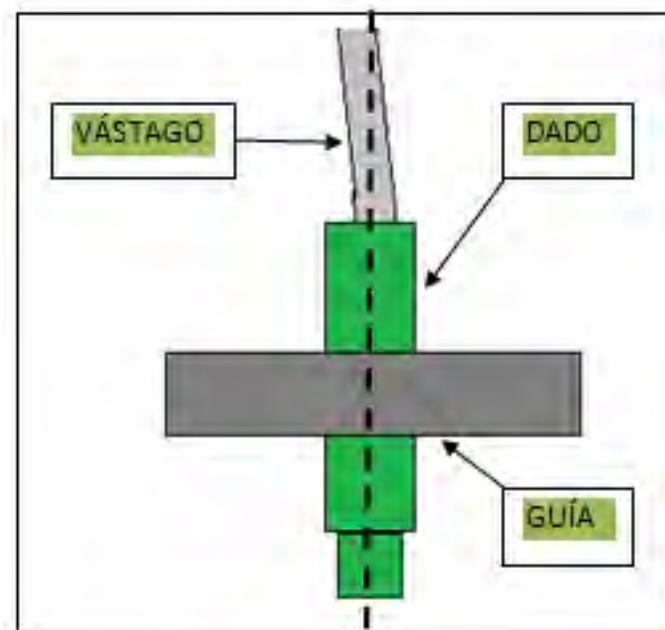


Figura 4.16, Dados sin guías.

### **Causa de modo de fallo 11:**

Los vástagos se encuentran unidos directamente a los dados selladores. Los selladores tienen un barreno con cuerda que entran en la cuerda que tienen los vástagos.

Los vástagos de los actuadores (pistones) se doblaron al no regresar después de sellar, esto y las guías de los dados definitivamente hacen que se atoren en las guías, ya que todos los elementos son rígidos.



**Figura 4.17, Unión vástago con dado.**

### **Causa de modo de fallo 12:**

Los dados selladores que ya tienen guías cuando se actúan los pistones bajan y suben toda la carrera de pistón.

Como se sabe, la máquina está diseñada para dos alturas distintas de envases. Cuando la boquilla aumenta su temperatura enseguida se debe sellar con el dado, el sello y el conformado se realizará en los primeros 5 [mm], esta especificación no es llevada a cabo porque los dados selladores viajan toda la carrera de los actuadores. Esto genera variaciones de altura en el conformado de la ampollita.

### **Causa de modo de fallo 13:**

Después que la ampolleta sale del sistema de calentamiento, entra al cabezal de sellado siendo trasladada por la estrella inferior del cabezal y apoyada en el formato para que el dado sellador baje y ejerza presión sobre la boquilla.

Los tres apoyos en el cuerpo inferior de la ampolleta no son suficientes, pues están muy alejados de la boquilla, esto hace que no exista repetibilidad en el proceso. Los resultados de esto se muestran en la siguiente figura (figura 4.18).



**Figura 4.18, Resultado de las boquillas desalineadas.**

## 5. Desarrollo de acciones correctivas.

Las acciones correctivas estarán directamente controladas, por el tiempo de ejecución, así como el costo y el buen funcionamiento de estas. Siguiendo los siguientes puntos:

- Objetivo
- ¿Cómo corregir el problema?
- Solución
- Especificaciones de solución
- Conclusión

### 5.1 Transición sistema de llenado – sistema de sellado.

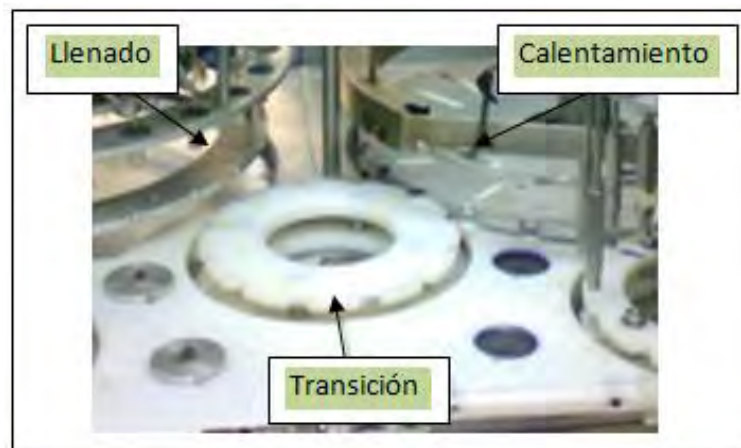
#### 5.1.1 Limite inferior (Precaentamiento).

##### Objetivo

- Diseñar un sistema para que la boquilla de la ampolleta esté completamente seca y sin residuos de ningún tipo, por lo menos en los primeros 5 mm de la boquilla.

##### ¿Cómo corregir el problema?

Como no se puede eliminar o hacer algún cambio en el sistema de llenado, se puede utilizar la transición del sistema de llenado al sistema de sellado que ahora se renombrará precaentamiento, para eliminar ó reducir al máximo el problema. Entonces la transición pasaría a formar parte del sistema de sellado.



### Figura 5.1, Transición, Sistema Llenado – Sistema Sellado

Se trata de un sistema continuo, por lo que el tiempo no es estacionario, es decir los envases pasan por el precalentamiento en menos de un segundo. No se puede eliminar por completo el granel excedente en la punta, pero si podemos eliminar una parte y el resto solo moverlo hacia abajo de los 5 mm de la boquilla y eliminarla más tarde en el calentamiento (figura 5.3). Se necesita entonces aire, seco y libre de microorganismos, a presión para poder eliminar el granel de la parte superior de la boquilla y el resto moverlo a la parte inferior de los 5 mm de la boquilla (figura 5.2).

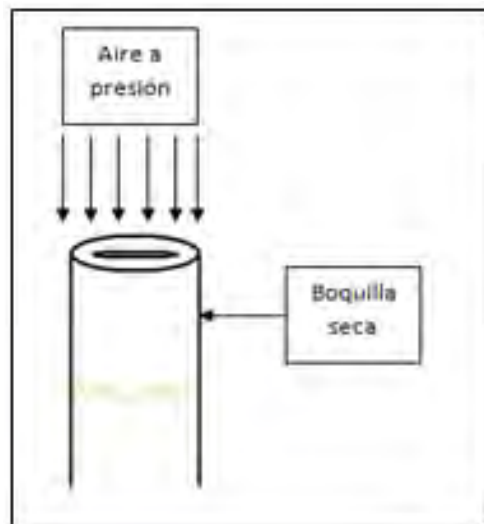


Figura 5.2, Boquilla libre de granel.

### Solución

Entonces se construye un una base que sostenga a un tubo, para que éste se encuentre en la parte superior de la estrella de precalentamiento, justo por encima del paso de las ampollas, la sujeción del tubo a la base deberá ser con altura variable. El tubo tendrá pequeños orificios por debajo (perpendiculares a la boquilla), por donde saldrá el aire a presión (figura 5.3).

***CONFIDENCIAL***

**Figura 5.3, Sistema de Pre calentamiento.**

### **Especificaciones**

- Altura variable 1[in]
- Tubo 1[in] de diámetro exterior
- Sección 1/3 del diámetro de la estrella (10 [in])
- 60 barrenos de 1/16 [in].
- Presión de aire seco 7 [bar]
- Racor 1/4 [in]

### **Conclusión**

Para un granel con mayor viscosidad y con las especificaciones antes mencionadas, la maquina deberá trabajar a una velocidad de 180 amp/min, para no tener problemas de sello. Los demás líquidos a envasar, por tener menor viscosidad, la maquina puede trabajar a su máxima capacidad, 240 amp/min, sin problemas en sello.

## 5.2 Calentamiento.

### 5.2.2 Control de temperatura.

#### Objetivos

- Calcular la potencia de la resistencia para poder elevar la temperatura de la boquilla a una temperatura no mayor a 180°C.
- Contar con un controlador adecuado para tener variaciones de temperatura y poder encontrar la temperatura óptima en la resistencia para calentar la boquilla de la ampollita.

#### ¿Cómo corregir el problema?

Se realiza el cálculo de la resistencia en base al material, y el tiempo requerido para calentar la boquilla de las ampollitas, se obtendrá un valor de resistencia óptimo.

**MAXIWATT [8]**. Para calcular la potencia de la resistencia, se tiene que hacer uso de las propiedades del PVC, los tiempos y temperaturas deseadas, para resolver la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V \rho Cp (T_2 - T_1)}{860 T}, \text{ (MAXIWATT [8])}$$

Donde:

P – Potencia [KW]

V – Volumen a calentar [ $dm^3$ ]

$\rho$  - Densidad del material [ $\frac{Kg}{dm^3}$ ]

Cp – Calor específico [ $\frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C}$ ]

T2 – Temperatura final [ $^\circ C$ ]

T1 – Temperatura inicial [ $^\circ C$ ]

T – Tiempo de calentamiento en horas

Se cambiará el controlador por otro que nos dé el mapeo de temperaturas, además de mayor precisión y menor tiempo de establecimiento, se podrá elevar en tiempo y forma la temperatura de la boquilla.

Con el resultado que se obtiene de la potencia de la resistencia, entonces se busca un proveedor para adquirir un controlador que sea capaz de entregar esa potencia a la resistencia, además de que nos dé un tiempo de establecimiento entre cambios de temperatura, no mayor a 10 minutos.

### Solución

Para poder calcular el valor real en la configuración de este sistema, debe tomar en cuenta el número de ampollitas que está por debajo de la resistencia, y el tiempo mínimo que tardan en pasar cada una de estas.

Se tomaran los valores requeridos para la ecuación unitarios, es decir, se tomara el mínimo tiempo que tarde en pasar una ampollita, así como el volumen a calentar en una ampollita (según el fabricante).

El volumen a calentar lo tomaremos siguiendo las medidas del siguiente diagrama:

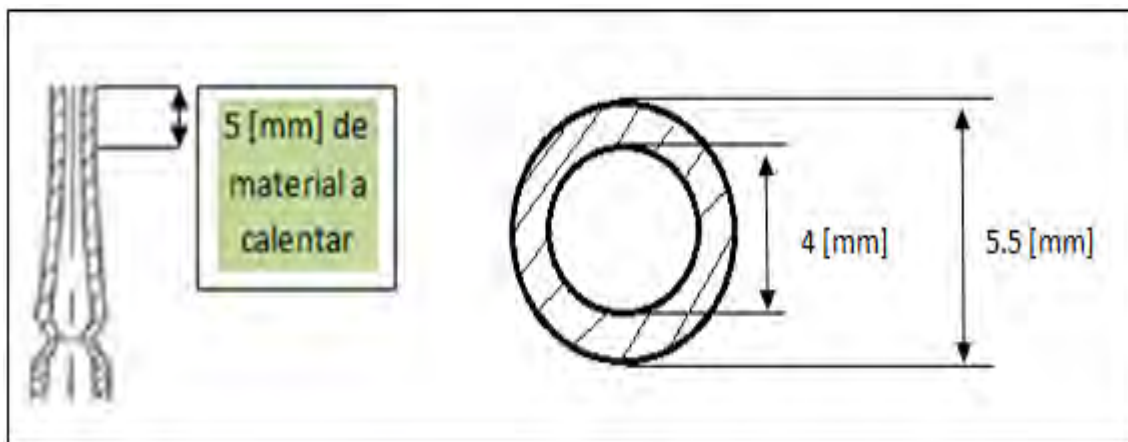


Figura 5.4, Zona de máxima temperatura.

El tiempo que tarda en pasar una ampollita por la resistencia, tomando como velocidad máxima 240 amp/min, es de 4.5 [s]. Los demás valores se toman de la tabla de propiedades físicas que se presentó en los antecedentes.



Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$P = \frac{(\pi(0.275^2 - 0.2^2)0.5)[dm^3](1.42) \left[ \frac{Kg}{dm^3} \right] (0.28) \left[ \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \right] (180 - 27)[^\circ C]}{860 (1.25 \times 10^{-3})[h]}$$

$$P = 3.16 [KW]$$

Este no es un valor de potencia comercial en resistencias, pero nos da pauta a elegir el valor comercial más cercano. La resistencia comercial con valor más cercano, es una resistencia de 3 [KW].

**WATLOW [9].** Ya que se tiene el valor de la resistencia que se manejará, ahora si se puede elegir un controlador adecuado, según el proveedor (WATLOW), se utilizará un sistema, que consta de un controlador, un relevador y un termopar, además claro de la resistencia (figura 5.5).

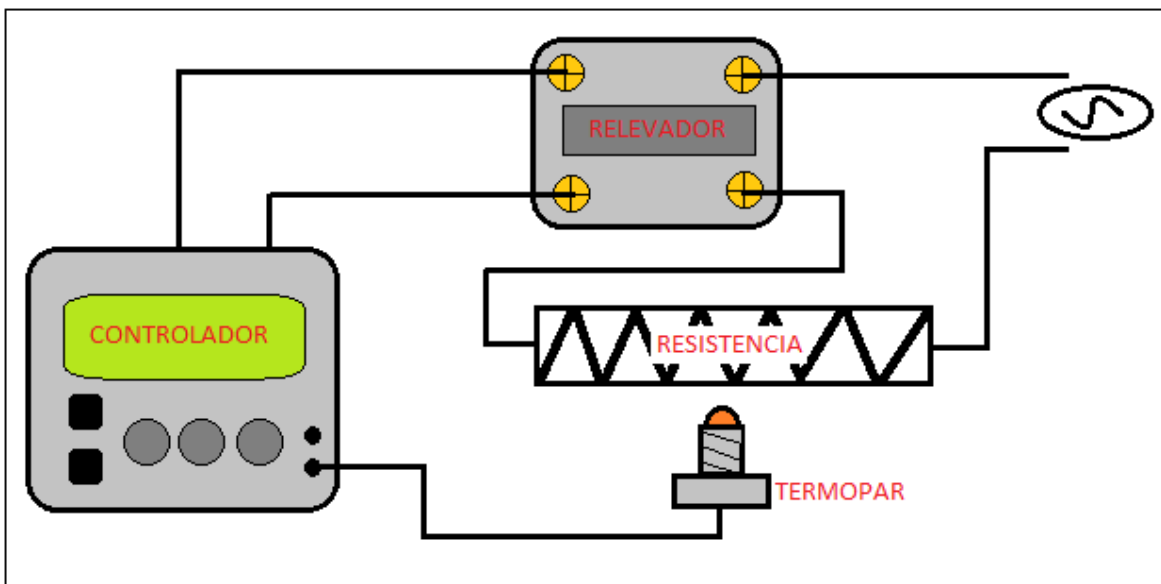


Figura 5.5, Diagrama del sistema de control.

### **Especificaciones**

- Resistencia para calentamiento de moldes
- Potencia 3000 [W]
- Sección 3/8 [in]
- Longitud 1.44 [m]
- Radio de curvatura 10 [in]
- Temperatura máxima 750[°C]
- Voltaje 230[V]
- Controlador modelo:
- Relevador:
- Termopar tipo J

### **Conclusión**

Los 3[KW] de potencia funcionaron perfectamente para elevar la temperatura de la boquilla hasta 200 °C a su velocidad máxima (24 amp/min), temperatura a la cual, el PVC se comienza a degradar.

El controlador fue el ideal para variar la temperatura de la resistencia respecto a las velocidades de funcionamiento de la máquina, teniendo un tiempo de estabilidad al arranque de 10 [min] y en variaciones con intervalos de temperatura de 10 [°C], la estabilización se logra en 5 [min].

#### **5.2.2 Sección transversal del plato de calentamiento.**

##### **Objetivo**

- Diseñar un sistema para que la boquilla de la ampollita llegue a la temperatura deseada, sin que el cuerpo inferior aumente de más su temperatura.

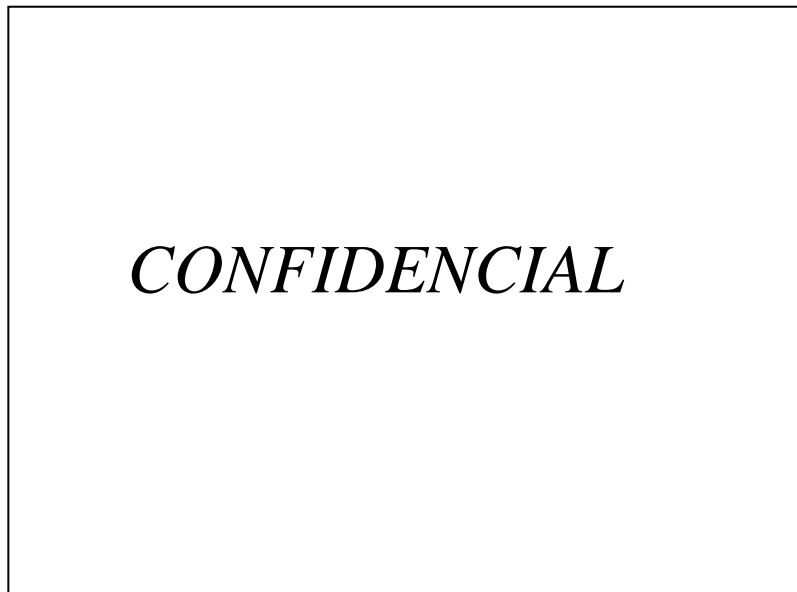
##### **¿Cómo corregir el problema?**

Al cambiar las medidas de la sección transversal del plato de la resistencia, podremos contener mayor la temperatura y dirigirla hacia la parte que nos interesa de la boquilla.

Se requiere calentar los primeros 5[mm] de la boquilla, mismos que son los que deberán estar más expuestos a la radiación para elevar su temperatura. La radiación debe incidir perpendicularmente en la parte superior de la punta que es donde se realiza la unión del material, mientras que en las paredes la temperatura debe ser menor para que pueda conformarse, por lo que en las paredes, se aumentará el material del porta resistencia para que absorba la radiación y se transmita menor temperatura que en la parte superior. Se pondrá un aislante entre el plato de la resistencia y la guarda que se encuentra sobre ésta, para no dejar escapar el calor generado por la radiación.

### **Solución**

Aumento en el ancho y el alto de la sección transversal. El canal por donde pasa la resistencia se hace más ancho y con mayor profundidad como se muestra (figura 5.6):



**Figura 5.6, Sección transversal del plato.**

### **Especificaciones**

- Acero AISI 1018
- Algodón de fibras de teflón [aislante]
- Guarda de acero inoxidable calibre 16

***CONFIDENCIAL***

**Figura 5.7, Medidas de la sección transversal.**



**Figura 5.8, Vista inferior del plato.**

## **Conclusión**

El comportamiento de la sección transversal es muy bueno, ya que cumple muy bien los objetivos, es decir, la boquilla tiene un aumento de temperatura, justo como lo necesitamos, la máxima temperatura se encuentra en la parte superior, y debajo de los 5 [mm], si hay alta temperatura, pero está por debajo de la temperatura de ablandamiento (60°C).

### **5.2.3 Apoyos sobre la ampollita.**

#### **Objetivo**

- Evitar que la boquilla toque el plato de la resistencia, ni la propia resistencia.

#### **¿Cómo corregir el problema?**

Si se hace que la ampollita tenga el mínimo de juego sobre el canal del plato, eliminaremos las quemaduras causadas por el contacto de la boquilla en el plato.

Los apoyos sobre el envase no deben dejar que éste se mueva durante el trayecto, esto quiere decir que alguno de los apoyos está más separado del envase, por lo que se debe mover o poner un aumento en el apoyo.

#### **Solución**

Los formatos y la estrellas son fijas, por lo que no pueden moverse, entonces se pondrá un aumento en el apoyo fijo (formato) para que el envase no tenga juego al momento de transportarse por el canal de la resistencia.



Figura 5.9, Guía para reducir la separación en apoyos.

### Especificaciones

- Teflón 2[in]x 3/16[in]
- 10 tornillos cabeza plana en acero inoxidable



Figura 5.10, Vista del sistema armado.

## **Conclusión**

Con el aumento de teflón que se puso, se logro eliminar el golpeteo que existía entre la boquilla y el carril del plato de la resistencia. Esto hace que al envase se le formen algunas marcas del contacto del teflón, pero no afecta ya que ningún granel es transparente entonces no se logran observar las pequeñas marcas.

### **5.2.4 Elevador y bastidor de plato de calentamiento.**

#### **Objetivo**

- Diseñar un sistema de sujeción que nos permita variar la altura del plato de una forma más práctica.
- Diseñar un sistema de seguridad para evitar que las ampollitas se quemen cuando la máquina pare súbitamente.

#### **¿Cómo corregir el problema?**

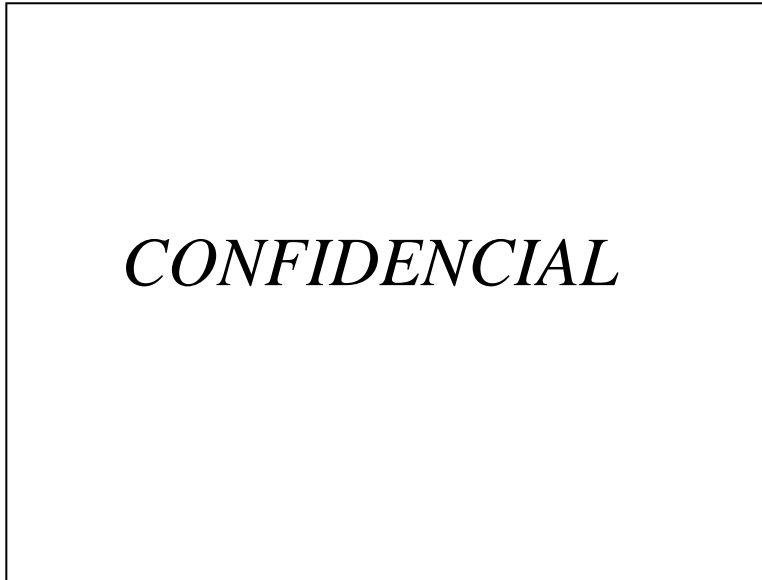
La variación de la altura debe manejarse con una sola variable, de igual forma para el sistema de seguridad. Cuando la máquina pare, el sistema de calentamiento será elevado automáticamente.

Se debe tener una estructura que soporte al plato, ésta estructura será la que podremos manipular variando su altura con algún mecanismo. A su vez ésta estructura junto con el mecanismo será la que se elevará por completo cuando la máquina se detenga y así se evitará que se quemen los envases.

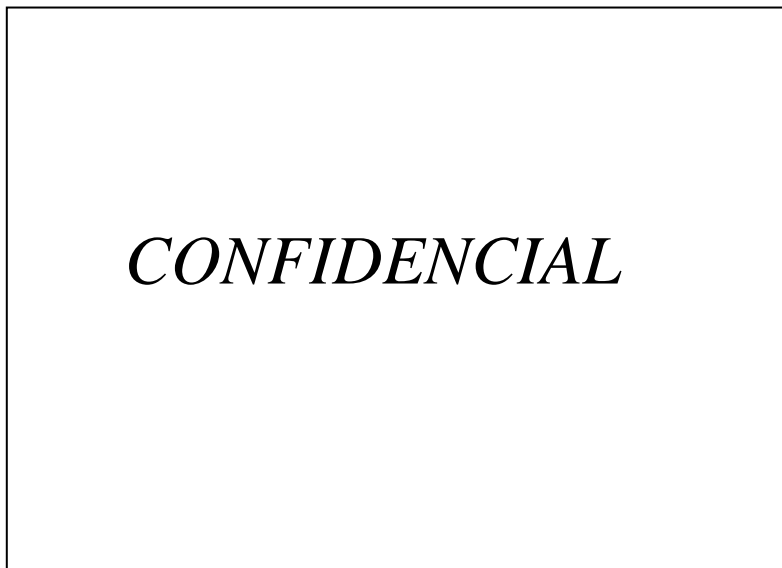
#### **Solución**

Se siguen ocupando los espárragos, pero ahora solo serán calibrados cada que se cambie la medida del envase. Estos espárragos están sujetos a una estructura cuadrada (figura 3.23), que a su vez está unida a un mecanismo tipo cremallera para dar la altura al plato con precisión de 0.5 [mm].

Todo el sistema anterior está sujeto sobre un pistón neumático que está controlado por una electroválvula que se actúa cuando la máquina se detiene, elevando todo el sistema de calentamiento. Se aislaran los cables que alimentan a la resistencia (figura 5.11).



**Figura 5.11, Vista superior del sistema de calentamiento.**



**Figura 5.12, Vista del sistema elevador.**

### **Especificaciones**

- Pistón neumático FESTO serie:
- Electroválvula FESTO 24 [v] CD



- Estructura perfil inoxidable cuadrado de 1.5[in]
- Espárragos de 1/2 [in]
- Cremallera en acero inoxidable

### **Conclusión**

Con la estructura que se adicionó al sistema se logro dar mayor rigidez, ahora se puede variar la altura que requiera dar a la resistencia con respecto a la boquilla. En cuanto a la seguridad, cuando la máquina para súbitamente, se actúa el pistón, elevando la estructura del calentamiento evitando que se quemen las ampolletas.

### **5.3 Cabezal de sellado.**

#### **5.3.1 Leva y válvulas del cabezal.**

##### **Objetivo**

- Hacer que el pistón regrese (acción negativa) en cuanto la válvula se deje de actuar con la leva, sin restarle la presión de los 7 [bar] cuando el pistón es accionado hacia abajo.

##### **¿Cómo corregir el problema?**

Se pensaría en utilizar un pistón con resorte interno pero se tendrían que comprar pistones nuevos lo cual representa un gasto mayor. También si podría tapan la salida de aire inferior para generar una presión hacia arriba, pero esto restaría presión al momento de bajar.

Así que lo más viable, sería poner una válvula extra a cada pistón para meter presión de aire en dirección contraria (acción negativa).

Se adicionarían al sistema, las válvulas para accionar negativamente al pistón. Para lograr este efecto es necesario hacer una leva para actuar las válvulas de acción negativa.

##### **Solución**

Las válvulas que se instalaron al sistema son colocadas en los mismos postes donde están colocadas las de acción positiva, se tiene justo el espacio para que entren cuatro válvulas en los pares de postes.

Se fabricó una leva con la misma forma de las levas de acción positiva. La configuración es la siguiente: Las válvulas esta acomodadas en torres de cuatro, donde la de arriba y la de hasta abajo son de acción positiva, de igual forma las levas que accionan a estas válvulas están en la misma posición. Las válvulas de acción negativa están en la parte central de la torre entre las dos de acción positiva, la leva que acciona estas válvulas se encuentra, siguiendo la trayectoria circular, después de las levas de acción positiva hasta donde vuelven a empezar las de acción positiva (la altura), están en medio de las levas de acción positiva (figura 5.13).



**Figura 5.13, Sistema de levas y válvulas.**

### **Especificaciones**

- 24 Válvulas FESTO con accionamiento manual mecánico No. 8984
- Levas fabricadas en aluminio y nylamid

### **Conclusión**

Con el aumento de las válvulas y la leva, se logro respetabilidad en el proceso y el objetivo principal que el pistón regresara a su posición original justo después de sellar la ampollita.

### 5.3.2 Guías en dados selladores.

#### Objetivo

- Eliminar el desalineamiento de los dados selladores con respecto a las boquillas de las ampolletas.

#### ¿Cómo corregir el problema?

Cambiar la geometría de los dados selladores, para evitar acuñamientos si hay fuerzas de rotación en estos. Poner unas guías para el desplazamiento de los dados.

Se cambiara la geometría cuadrada por una sección circular para poder poner un plato con bujes como guías.

#### Solución

Se maquinaron los dados selladores haciéndolos redondos y se mando hacer un plato de aluminio con bujes de bronce siendo estos últimos las guías (figura 5.14).



Figura 5.14, Guías en dados.

### Especificaciones

- Dados selladores de acero inoxidable 1/2 [in] de diámetro
- Plato de aluminio 10[in] de diámetro y 12 barrenos 3/4 [in]
- Bujes de bronce

### Conclusión

Efectivamente las guías alinean a los dados, para que siempre bajen en el mismo lugar, al centro de la boquilla.

### 5.3.3 Junta vástago – dado sellador.

#### Objetivo

- Poner una junta que pueda absorber el desfase de los vástagos respecto al centro, que sea variable en eje X y que se comporte rígido en el eje Y.

#### ¿Cómo corregir el problema?

El problema podría resolverse con una junta cinemática. El costo es muy elevado si se considera comprar las 12 juntas, así que se diseñara una junta con las características deseadas, a partir de los materiales comunes encontrados en el taller de mantenimiento (figura 5.15).

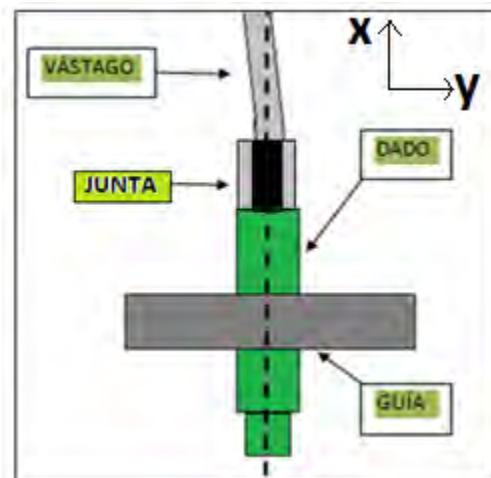
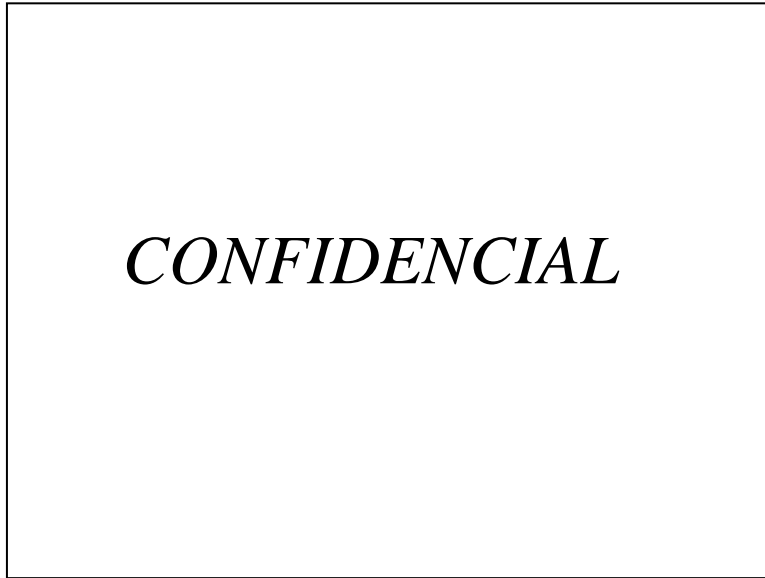


Figura 5.15, Dado desalineado sin junta.

## **Solución**

Las mangueras de plástico flexible de FESTO dan la flexibilidad deseada, si se unen los vástagos con los dados, se tendrá tolerancia en el eje X. Esta misma manguera por supuesto que no se logrará la rigidez en el eje Y, entonces se añadirán pequeños tornillos que sean delgados y quepan dentro de la manguera, entonces ya se tiene libertad en el eje X y rigidez en el eje Y (figura 5.16).



**Figura 5.16, Junta Vástago – Dado.**

## **Especificaciones**

- Manguera FESTO 1/4 [in]
- Prisioneros de acero inoxidable 1/8 [in]

## **Conclusión**

El diseño de la junta funciona de maravilla, en 6 meses de ciclos reiterados, las juntas han aguantado las exigencias de la máquina en operación, se logro corregir por completo la desalineación en los vástagos.

### **5.3.4. Limitadores de carrera en dados selladores.**

#### **Objetivo**

- Limitar la carrera de los dados selladores dependiendo del tamaño de la ampolleta a sellar.

### ¿Cómo corregir el problema?

Al poner limitadores en los dados podemos manipular la carrera y así tener respetabilidad en la altura de las ampolletas.

Deben ser dos límites, uno superior y otro inferior, ambos deberán ser ajustables para conformar los 5 [mm] de la boquilla. Previendo los cambios en las medidas de las ampolletas (figura 5.17).

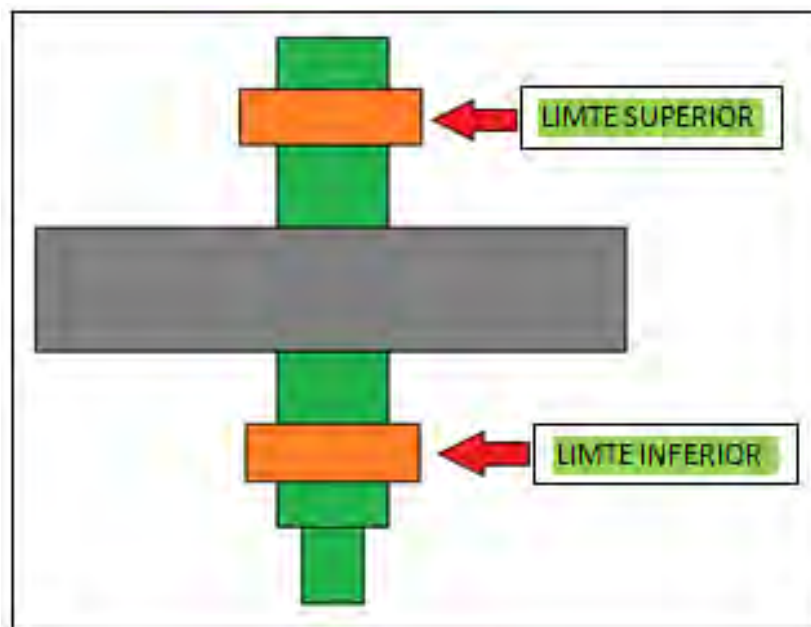


Figura 5.17, Límites del dado.

### Solución

Se pondrán para los límites superior e inferior, unos collarines con un prisionero para poder fijarlos. Para evitar el golpeteo de los collarines sobre el disco de las guías se pone una rondana de goma en las partes superior e inferior del plato (figura 5.18).

*CONFIDENCIAL*

**Figura 5.18, Sistema de limitadores de carrera.**

### **Especificaciones**

- Collarines en acero inoxidable 1/2 [in] diámetro interior
- Gomas de silicón de 1/2 [in] de espesor
- <prisioneros de alta resistencia 1/4 [in]

### **Conclusión**

En efecto los collarines hacen su trabajo a la perfección ya que limitan un rango de carrera de los dados selladores.

### **5.3.5 Apoyos para boquilla.**

#### **Objetivo**

- Que exista repetibilidad en el posicionamiento de la boquilla.

### ¿Cómo corregir el problema?

Por la configuración de los apoyos inferiores el cuerpo de la ampolleta, deben agregarse dos apoyos más en la parte superior, lo más cercanos a la zona de sello y conformado para asegurar repetibilidad en el proceso.

Se agregan dos apoyos más, un móvil y uno fijo. El apoyo fijo debe estar contenido en el cabezal giratorio, mientras que el apoyo fijo deberá estar sujeto al formato, a diferencia de los demás apoyos éste no deberá ejercer una fuerza constante, ya que en esta zona la parte inferior boquilla sale a temperaturas cercanas al moldeo, sin llegar a ellas, que si ejerce una fuerza constante puede llegar a aplastar esta zona y descentrar la boquilla con respecto al dado sellador.

### Solución

El apoyo móvil es de igual forma que las guías, un plato con un espacio que contiene a la boquilla con tenga entrada y salida en forma de V a 45°, para que no exista algún tipo de oposición (figura 5.19).



Figura 5.19, Alineación de boquilla.

Atendiendo que la presión del apoyo no debe ser constante, éste es un mecanismo que consta de una pluma empujadora, que ejerce presión con un resorte, el cual se puede variar la fuerza de empuje con un tornillo, las características del mecanismo son idóneas para dar la presión exacta justo cuando el dado sellador baja ejerciendo presión en la boquilla (figura 5.20).





***CONFIDENCIAL***

**Figura 5.20, Empujador de boquilla.**

**Especificaciones**

- Disco de aluminio de 10 [in] de diámetro
- 12 espacios en V a 45°
- Mecanismo en acero inoxidable (figura 4.39)



***CONFIDENCIAL***

**Figura 5.21, Empujador montado.**

**Conclusión**

Los apoyos corrigieron el problema, la boquilla de la ampolleta queda perfectamente alineada respecto los dados selladores.

## Resultados

Como se analizó, la metodología proporciona una plantilla que sirve como herramienta para documentar los resultados que se obtienen al aplicar la metodología a un caso de estudio.

En dicha plantilla se presentan los siguientes puntos que son resultado del análisis aplicado:

**Pieza y Función:** Muestra cada una de las piezas de los subsistemas y su función.

**Modo de Fallo:** Indica de que manera fallan las piezas.

**Efectos de Fallo:** Describe el ó los efectos que tiene la falla al producto.

**Grado de Riesgo:** Arroja un número y un criterio que va, en el peor de los casos, un diseño inaceptable y en el mejor un criterio aceptable sin revisión de diseño.

**Causas de Fallo:** Indica las causas de la falla.

**Prob. de Frecuencia:** Da un criterio que es, en el peor de los casos, frecuente: que siempre esta presente y en el mejor es improbable: que n o ocurre.

**Controles actuales:** Es el tiempo en que sucede la detección de fallas, es decir, si se previenen (tipo 1), si se detectan y se corrigen durante el procesamiento del producto (tipo 2), o si se detectan y se corrigen antes de que el producto llegue al cliente (tipo 3), en este caso siempre fue del tipo 3.

**Detección:** En este caso de estudio los controles de detección de fallas es el mismo grupo de diseño, por los controles detectan casi seguros al modo y a la causa de fallo ya que en el peor criterio se maneja una detección casi imposible. Entonces la ponderación siempre será de 1.

**Acciones Recomendadas:** El proyecto recomienda y lleva a cabo las soluciones a las fallas planteadas.

**% NPR:** Es el número de prioridad de riesgo, expresado en porcentaje

**Tabla 6.1, Resultados Obtenidos Documentados en Plantilla de AMEF de Subsistema Calentamiento.**

Nombre del producto		Máquina Llenadora y Selladora de Ampolletas			Equipo de diseño			Tabla No. 1 de 2	
								Nº de AMEF	1
Sistema	Sellado de Ampolletas			Fecha				15/01/09	
Subsistema	Calentamiento								
Componente	Calentamiento								
Pieza y Función	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Grado de Riesgo	Causas de Fallo	Prob. de Frecuencia	Controles actuales	Detección	Acciones Recomendadas	% NPR
<b>Estrella</b>	La boquilla de las ampolletas se mueve cuando están en movimiento	La boquilla de la ampolleta hace contacto con el plato.	5 <b>Inaceptable</b>	Apoyo alejado del cuerpo de la ampolleta	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Disminuir la distancia que hay entre los apoyos.	64
<b>Formato</b>	La boquilla de las ampolletas se mueve cuando están en movimiento	La boquilla de la ampolleta hace contacto con el plato.	5 <b>Inaceptable</b>	Apoyo alejado del cuerpo de la ampolleta.	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Disminuir la distancia que hay entre los apoyos.	64
<b>Resistencia</b>	La temperatura no llega al valor deseado.	El material no puede unirse y realizar un buen sello.	1 <b>Inaceptable</b>	No se sabe el valor real que debe tener la resistencia para poder calentar la boquilla a velocidades altas de trabajo.	<b>Frecuente</b> , siempre está presente	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Calcular el valor óptimo de la resistencia para cumplir con los requerimientos.	100
<b>Controlador</b>	Tiempos de estabilización muy largos.	Tiempos muertos	13 <b>Revisión de diseño</b>	El controlador no es el adecuado para los tiempos y el valor de resistencia requeridos.	<b>Frecuente</b> , siempre está presente	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Cambiar el controlador por uno que cumpla con las exigencias y el valor de la resistencia.	30

Pieza y Función	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Grado de Riesgo	Causas de Fallo	Prob. de Frecuencia	Controles actuales	Detección	Acciones Recomendadas	% NPR
<b>Plato porta resistencia</b>	La ubicación de la radiación hacia la boquilla no es la mejor	La parte inferior de la boquilla se reblandece por la temperatura excesiva en esta zona.	1 <b>Inaceptable</b>	Las dimensiones y el diseño del plato de calentamiento no es el adecuado.	<b>Frecuente</b> , siempre está presente	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Diseñar la sección transversal del plato, orientando la radiación hacia los puntos de interés.	100
<b>Postes sujetadores</b>	Rigidez muy mala, el plato varía su posición. En caso de un paro general el plato se queda en la misma posición	Las boquillas hacen contacto con el plato generando defectos en el producto. Generan gases tóxicos dañinos para la salud	4 <b>Inaceptable</b>	No existe un mecanismo de elevación rápida para el plato de calentamiento. Los cuatro postes no dan la suficiente rigidez a velocidades tope.	<b>Frecuente</b> , siempre está presente	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Diseñar un sistema mucho más rígido y que permita elevar el plato en caso de paros sorpresivos en la máquina.	80
<b>Prisioneros</b>	La resistencia se mueve de su posición origina en ciertos puntos.	La resistencia hace contacto con las boquillas y degrada el material	7 <b>Indeseable</b>	La distancia entre ellos es muy amplia	<b>Ocasional</b> , ocurre algunas veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Disminuir la distancia entre ellos. Colocar más prisioneros.	60
<b>Espárragos</b>	Tiempos largos en variación de alturas	Tiempos muertos	13 <b>Revisión de Diseño</b>	4, Son demasiados los puntos para nivelar la altura del plato	<b>Frecuente</b> , siempre está presente	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Diseñar un sistema que nos permita variar la altura del plato en tiempos mucho mas cortos.	30

**Tabla 6.2, Resultados Obtenidos Documentados en Plantilla de AMEF de Subsistema Sellado y Conformado.**

Nombre del producto		Máquina Llenadora y Selladora de Ampolletas			Equipo de diseño			Tabla No. 2 de 2	
								Nº de AMEF	1
Sistema		Sellado de Ampolletas						Fecha	29/04/09
Subsistema		Sellado y Conformado							
Componente		Cabezal							
Pieza y Función	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Grado de Riesgo	Causas de Fallo	Prob. de Frecuencia	Controles actuales	Detección	Acciones Recomendadas	% NPR
<b>Estrella</b>	La boquilla no se alinea con respecto al dado	No hay repetibilidad en el sello y conformado	5 <b>Inaceptable</b>	No hay apoyos en la parte superior de la ampolleta (boquilla)	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner apoyos en la parte superior de la ampolleta.	64
<b>Formato</b>	La boquilla no se alinea con respecto al dado	No hay repetibilidad en el sello y conformado	5 <b>Inaceptable</b>	No hay apoyos en la parte superior de la ampolleta (boquilla)	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner apoyos en la parte superior de la ampolleta.	64
<b>Dados</b>	Los dados no están alineados, respecto al eje de las ampolletas.	No hay repetibilidad en el sello y conformado	2 <b>Inaceptable</b>	No existe ningún tipo de guías o apoyos para los dados.	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner guías sobre los dados selladores y conformadores para auto alinearlos.	80
<b>Guías de Datos</b>	Los dados se acuñan en las guías	Se quedan trabados y ya no trabajan	2 <b>Inaceptable</b>	Los vástagos de los pistones están desalineados.	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner una junta que nos permita absorber el desalineamiento entre el vástago el dado.	80

Pieza y Función	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Grado de Riesgo	Causas de Fallo	Prob. de Frecuencia	Controles actuales	Detección	Acciones Recomendadas	% NPR
<b>Actuadores</b>	Siguen la carrera completa del pistón	El conformado no es el adecuado	5 <b>Inacceptable</b>	No existen límites en la carrera del pistón	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner límites en los dados selladores y conformadores.	64
<b>Válvulas</b>	Solo están las necesarias para actuar al pistón en un sentido	Los pistones se quedan abajo, por lo que no regresan a su posición	5 <b>Inacceptable</b>	El aire comprimido que se queda para regresarlo no es suficiente.	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner válvulas que actúen a los pistones en sentido contrario.	64
<b>Levas</b>	Solo está la necesaria para actuar al pistón en un sentido	Los pistones se quedan abajo, por lo que no regresan a su posición	5 <b>Inacceptable</b>	El aire comprimido que se queda para regresarlo no es suficiente.	<b>Probable</b> , ocurre varias veces durante el proceso	Tipo 3, detección antes de que llegue al cliente.	1	Poner levas que actúen a los pistones en sentido contrario.	64

Se muestra en la figura 6.1 la primera iteración de la máquina llenadora y selladora de ampollitas, en la cual, se tenía una eficiencia de sellado del 50% (ampollitas selladas entre total de ampollitas procesadas), es decir, en pruebas realizadas con lotes de 1000 ampollitas procesadas, 500 sellaron satisfactoriamente y en el resto se produjeron fugas. Se pueden identificar fácilmente el módulo de llenado y el de sellado (desarrollo mostrado en el documento).

Por último, en la figura 6.2 se muestra la segunda iteración de máquina llenadora y selladora de ampollitas de PVC, al final de todo el proceso descrito en el presente trabajo, sólo de la parte del sellado de ampollitas. Como resultado de todo el proceso de diseño y poder evaluar los resultados obtenidos por la segunda iteración, se hicieron pruebas de forma gradual, es decir, por lotes de ampollitas a procesar.

Primero en lotes de 1000 ampollitas (50 lotes), segundo en lotes de 10000 ampollitas (25 lotes) y por último en lotes de 500000 ampollitas (producción promedio por semana), todas a velocidad promedio de 200 ampollitas por minuto.

Para las primeras pruebas 50 lotes de 1000 ampollitas se logró obtener una eficiencia de sellado del 99.9% (ampollitas selladas entre total de ampollitas procesadas), es decir, 999 sellaron satisfactoriamente y en el resto (una ampollita) se produjeron fugas. Esto para ambos casos de:

- Velocidad promedio de 200 ampollitas / minuto.

Líquido Fermofive (viscosidad de  $0.00112 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$ )

- Velocidad promedio de 160 ampollitas / minuto.

Líquido Porosity (viscosidad de  $1.154 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$ ).

En el segundo periodo de pruebas que se realizaron 25 lotes de 10000 ampollitas se obtuvo una eficiencia del 99% (ampollitas selladas entre total de ampollitas procesadas), es decir, 9900 sellaron satisfactoriamente y en el resto se produjeron fugas. Esto para ambos casos de:

- Velocidad promedio de 200 ampollitas / minuto.

Líquido Fermofive (viscosidad de  $0.00112 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$ )

- Velocidad promedio de 160 ampollitas / minuto.

Líquido Porosity (viscosidad de  $1.154 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$ ).

Por último para la última prueba y la más importante, se procesaron lotes de 500000 ampollitas (producción promedio por semana, durante dos meses), se obtuvo una eficiencia del 99.95% (ampollitas selladas entre total de ampollitas procesadas), es decir, 499750 sellaron satisfactoriamente y en el resto se produjeron fugas (250 ampollitas). Esto solo para el caso:

- Velocidad promedio de 200 ampollitas / minuto.

Líquido Fermofive (viscosidad de  $0.00112 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$ )

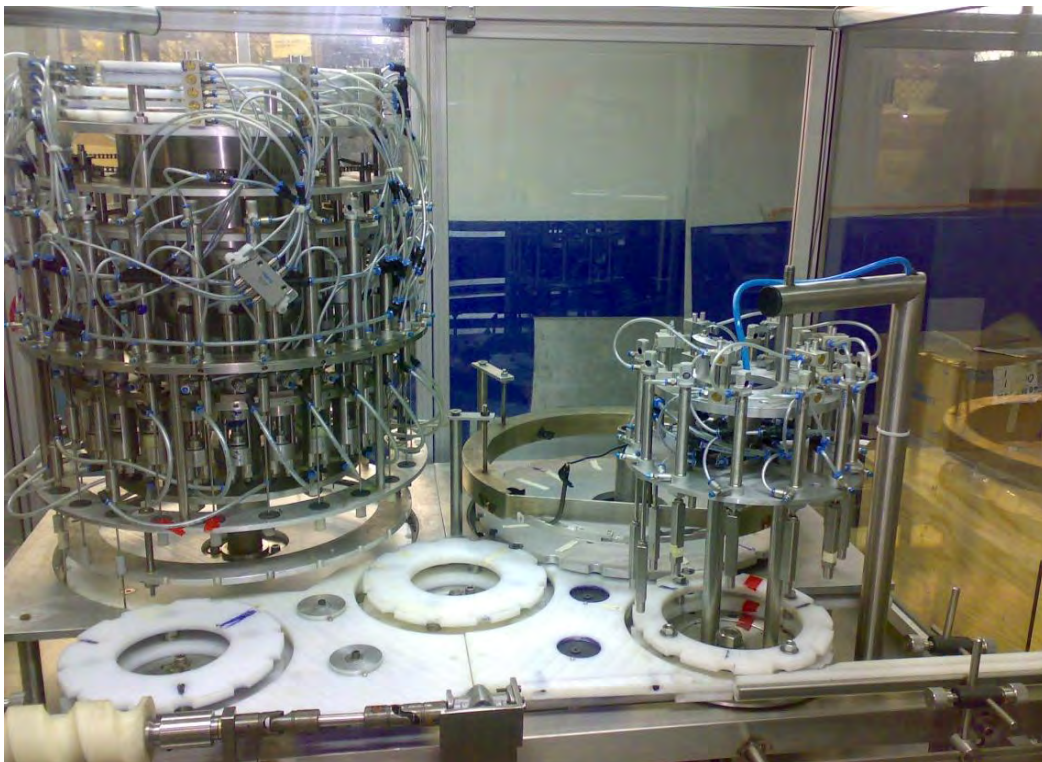


Figura 6.1, Primera iteración de máquina llenadora y selladora de ampollitas.





**Figura 6.2, Segunda iteración de máquina llenadora y selladora de ampolletas.**

## 7. Conclusiones.

Los resultados obtenidos a partir de la metodología AMEF aplicada al caso de estudio, se divide en 13 distintos modos de falla ubicados en la primera iteración del diseño del sistema de sellado para ampollitas de PVC, los cuales arrojan un número de prioridad, tomando en cuenta los efectos, la frecuencia y la consecuencia de las fallas (Tabla 4.7). De donde podemos observar que 2 de las fallas localizadas en el sistema con un número de prioridad de 100, son las más significativas y con mayor prioridad para corregirlas, ya que éstas son la esencia para el sellado de materiales termoplásticos (temperatura), siendo las demás fallas no menos importantes, pero con la cualidad de que se puede corregir la falla después de que ya se hallan corregido las de mayor amenaza al desempeño del sistema. Atacando de manera individual cada una de las fallas se pueden identificar las causas de dichas fallas, cerrando la primera parte de los resultados arrojados por la metodología. En la siguiente tabla se describen las fallas, los efectos, frecuencia, consecuencia de la frecuencia y causa, con mayor % NPR (100 %).

**Tabla 7.1, Fallas con máximo Número de Prioridad de Riesgo.**

<b>No. de falla:</b>	<b>Modo de falla:</b>	<b>Efecto de falla:</b>	<b>Frecuencia de falla:</b>	<b>Consecuencia de la frecuencia:</b>	<b>Causa</b>
2	La temperatura no llega al valor deseado.	El material no se une para realizar el sello.	Frecuente, siempre está presente.	Catastrófico, fallo completo del producto.	La resistencia no da la potencia requerida.
4	La parte inferior de la boquilla se reblandece.	La temperatura es excesiva en esa zona de la ampollita.	Frecuente, siempre está presente.	Catastrófico, fallo completo del producto.	La ubicación de la radiación hacia la boquilla de la ampollita no es la mejor.

Se conocen todos los tipos de fallas arrojadas por el sistema, la causa y la prioridad con la que se deben atender. Cabe señalar que no fue posible aplicar al resto de las fallas (las que obtuvieron % menor al 100%), la ponderación al momento de corregir las fallas, debido a cuestiones de producción y tiempo en la entrega del diseño de la máquina. Sin embargo el autor estima que a pesar de esta situación, el diseño de la máquina logrado permite obtener resultados satisfactorios.

Las matrices de fallas y efectos nos dan la pauta para identificar los elementos mecánicos que están ligados de manera directa e indirecta a las fallas del sistema.

La falla número 1 (la boquilla se ensucia de granel), no se puede introducir a la matriz de fallas y efectos ya que se trata de una falla generada por un sistema que se encuentra antes del sistema de sellado (sistema de llenado), entonces esta falla se maneja de manera individual, a los elementos mecánicos que la generan y se le da solución de manera particular como ya se observó en el punto 5.

La metodología utilizada (AMEF), ayuda de manera muy importante a la ubicación de las fallas y los elementos que las generan de manera particular, que nos arroja casi de manera automática las causas. Dando veracidad a nuestra hipótesis en donde planteamos que al conocer las fallas, las causas y los elementos ligados a éstas podemos entonces establecer soluciones eficaces dependiendo solo de las especificaciones del diseño y la capacidad de los integrantes del equipo de trabajo.

Por lo tanto, el proceso que se llevó a cabo en este caso de estudio arroja resultados satisfactorios ya que se toma una primera iteración del sistema de sellado con un porcentaje de sellado del 50% (50 de cada 100 ampollitas no sellan), se aplica la metodología AMEF y se llevan a cabo soluciones, dando como resultado un porcentaje de sellado del 99.95% (ampollitas selladas entre total de ampollitas procesadas), es decir, 499750 sellaron satisfactoriamente y en el resto se produjeron fugas (250 ampollitas).

Se concluye que se cumplió con el objetivo principal que fue crear una segunda iteración en base a una metodología de diseño que nos ayudara a identificar las fallas, los efectos y las causas de estas y poder así implementar soluciones para mejorar el rendimiento del sistema de sellado de ampollitas de PVC.

## 8. Referencias

- [1] **Mancilla, A.**, Máquina Rotatoria Llenadora y Selladora de Ampolletas Plásticas. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, 2010.
- [2] **Alcaide, J., Diego, J.A., Artacho, M.A.**, Diseño de Producto Métodos y Técnicas. Universida Politécnica de Valencia, Alfaomega 2004.
- [3] **Ford Motor Company** Manual AMEF (1991).
- [4] **Stamatis D.H.** , Failure Mode and Effect Analysis. FMEA from Theory to Execución ASQC Quality Press. Milwaukee, Wisconsin. 1995.
- [5] **Olagoke Olabisi**. Handbook of Thermoplastics (Plastics Engineering, Volume 41).
- [6] **Olivares, G. and Ramírez A.C.**, Diseño de un banco de Pruebas para la Evaluación del Sello en Ampolletas, Proceedings of the XV Conference of the Mexican Society of Mechanical Engineering (SOMIM), 2009.
- [7] **Olivares, G., Ramírez A.C., and López M.**, Estudio Sobre Ampolletas de PVC. Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, 2010.
- [8] **MAXIWATT** Resistencias Industriales, Proveedor de Resistencias de Cartucho de Alta Carga de Watios a Nivel Industrial. <http://www.resistencias.com>
- [9] **WATLOW**, Fabricante y Diseñador de Calefactores eléctricos, sensores, controles y software en la industria térmica. <http://www.watlow.com.mx>
- [10] **Fuentes O., Levario B., Pérez F., Olivares G., Ramírez A.C., López M.**, Autores responsables de la segunda iteración de máquina, módulo de sellado de ampolletas de PVC, 2007-2009.