



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

**OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SELLADO
DE UN EMPAQUE RESELLABLE**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA - CAMPO MECATRÓNICA

P R E S E N T A :

ALFONSO REYES QUEZADA

TUTOR:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

2012

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Marcelo López Parra

Secretario: Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich

Vocal: Dr. Vicente Borja Ramírez

1er. Suplente: Dr. Adrián Espinosa Bautista

2do. Suplente: Dr. Víctor Javier González Villela

Ciudad Universitaria, México D.F.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Vicente Borja Ramírez

FIRMA

Tabla de contenido

Dedicatoria	x
Agradecimientos.....	xi
1. Introducción	1
2. Antecedentes.....	4
2.1. Polímeros utilizados en películas plásticas para empaques y envases	4
2.2. Acido Poliláctico (PLA)	5
2.2.1. Obtención de ácido poliláctico	6
2.2.2. Propiedades del PLA	7
2.3. El proceso de sellado de películas plásticas	9
2.3.1. ¿Qué es un sellado?.....	9
2.3.2. Conceptos básicos de adhesión.....	9
2.3.3. El proceso de sellado caliente	11
2.3.4. Definición de <i>Peel Seal</i> y <i>Tear seal</i>	11
2.3.5. Requerimientos para una fácil apertura del sellado (<i>easy peel</i>).....	14
2.3.6. Problemas debidos al sobrecalentamiento del sellado	15
2.3.7. Fallas en el sellado	16
2.3.8. Tecnologías de sellado de plásticos.....	17
2.4 Máquinas de Envasado Vertical (VFFS)	21
2.4.1 Elementos de una máquina envasadora vertical	22
3. Objetivos.....	30
3.1 Alcances	30
4. Metodología	31

5.	Diseño conceptual del sistema para la obtención de los parámetros	33
5.1.	Equipos comerciales	34
5.2.	Evaluación y selección del equipo	35
6.	Búsqueda y selección de equipo, accesorios y sensores.....	36
6.1.	Máquina envasadora	36
6.2.	Selección de sensores	37
6.2.1.	Sensores de temperatura	37
6.2.2.	Sensores de posición	38
6.3.	Equipo adicional.....	39
6.3.1.	Cámara de alta velocidad	39
6.3.2.	Tarjeta de adquisición de datos	40
7.	Instrumentación de la máquina	42
7.1.	Sensores de posición.....	42
7.2.	Termopares.....	43
8.	Realización de pruebas.....	46
8.1.	Puesta en marcha de la máquina envasadora.....	46
8.2.	Medición de la distribución de la temperatura en la cara de sellado de las mordazas	47
8.2.1.	Variación de la temperatura en la cara del sellador vertical	47
8.2.2.	Variación de la temperatura en la cara de la mordaza horizontal.....	50
8.3.	Medición de la variación de la presión en la cara de sellado de las mordazas.	51
8.3.1.	Medición de la variación de la presión en la mordaza vertical	52
8.3.2.	Medición de la variación de la presión en la mordaza vertical	54

8.4. Medición de la temperatura de la superficie de las mordazas con la máquina en marcha	55
Prueba puesta en marcha para el sellador vertical	55
Prueba puesta en marcha mordaza horizontal	56
8.5. Sellado del empaque flexible	59
8.5.1. Obtención de la temperatura de sellado vertical.....	59
8.5.2. Obtención de la temperatura del sellado horizontal	67
8.6. Sellado dispositivo resellable.....	74
8.6.1. Pruebas con herramienta caliente	75
8.6.2. Pruebas ultrasonido.....	82
8.6.3. Modificación al dispositivo resellable.....	85
9. Trabajo futuro.....	88
10. Conclusiones	89
11. Bibliografía.....	91

Índice de figuras

Figura 1. Prototipos de envase flexible resellable.....	2
Figura 2. Adhesión en microescala, Kazuo Hishinuma (2009).	10
Figura 3. Adhesión en el sellado interfacial y por fusión, , Kazuo Hishinuma (2009).	12
Figura 4 .Cambio de la resistencia a la tracción en películas selladas por calor, Kazuo Hishinuma (2009).	12
Figura 5. Medios de falla del sellado interfacial y por fusión, Kazuo Hishinuma (2009).	13
Figura 6. Diferentes tipos de fallas mostrados en la norma ASTM F88-00.....	16
Figura 7. Sellador vertical	22
Figura 8. Mordazas horizontales	23
Figura 9. Elementos de la mordaza horizontal.....	23
Figura 10. Elementos para el avance de la película.....	24
Figura 11. Sensor de ajuste de longitud de la bolsa.....	25
Figura 12. Hombro formador	26
Figura 13. Desenrollador	27
Figura 14. Cabezal sensor	28
Figura 15. Pirómetro.....	29
Figura 16. Metodología	31
Figura 17. Máquina envasadora vertical	37
Figura 18. Cámara digital casio EX-F1.....	39
Figura 19. DAQ USB-9213.....	40
Figura 20. Ubicación del microinterruptor en el sellador vertical	42
Figura 21. Ubicación del microinterruptor en la mordaza horizontal.....	43
Figura 22. Termopar	43
Figura 23. Sellador vertical con termopares instalados	44
Figura 24. Mordaza horizontal con termopares instalados	45

Figura 25. Bolsa de película laminada metalizada.....	46
Figura 26. Variación de temperatura en la superficie de sellado del sellador vertical.....	48
Figura 27. Variación de temperatura por rangos.....	49
Figura 28. Variación de temperatura en la superficie de sellado de la mordaza horizontal	50
Figura 29. Variación de temperatura por rangos.....	51
Figura 30. Variación de la presión en la superficie de sellado del sellador vertical.....	52
Figura 31. Variación de presión por rangos.....	53
Figura 32. Variación de la presión en la superficie de sellado en la mordaza horizontal	54
Figura 33. Variación de presión por rangos.....	55
Figura 34. Grafica de la temperatura sellador vertical vs. tiempo (60 s).....	56
Figura 35. Grafica de la temperatura de las mordazas horizontales vs. tiempo (60s).....	57
Figura 36. Grafica de la temperatura de las mordazas horizontales vs. tiempo (180s).....	58
Figura 37. Segmento de tubo de película plástica T=85°C.....	60
Figura 38. Segmento de tubo de película plástica T=95°C.....	61
Figura 39. Segmento de tubo de película plástica T=105°C.....	62
Figura 40. Segmento de tubo de película plástica T=120°C.....	63
Figura 41. Segmento de tubo de película plástica T=135°C.....	64
Figura 42. Segmento de tubo de película plástica T=145°C.....	65
Figura 43. Segmento de tubo de película plástica T=160°C.....	66
Figura 44. Sellado horizontal T=70°C.....	67
Figura 45. Acercamiento sellado horizontal T=70°C.....	67
Figura 46. Sellado horizontal T=80°C.....	68
Figura 47. Acercamiento sellado horizontal T=80°C.....	68
Figura 48. Sellado horizontal T=90°C.....	69
Figura 49. Acercamiento sellado horizontal T=90°C.....	69
Figura 50. Sellado horizontal T=100°C.....	70
Figura 51. Acercamiento sellado horizontal T=100°C.....	70
Figura 52. Sellado horizontal T=110°C.....	71
Figura 53. Acercamiento sellado horizontal T=110°C.....	71

Figura 54. Sellado horizontal T=120°C.....	72
Figura 55. Acercamiento sellado horizontal T=120°C	72
Figura 56. Sellado horizontal T=130°C.....	73
Figura 57. Acercamiento sellado horizontal T=130°C	73
Figura 58. Pieza inyectada en PLA	74
Figura 59. Diferentes vistas de la pieza maquinada	75
Figura 60. Vista superior.....	76
Figura 61. Acercamiento del área de sellado	76
Figura 62. Vista superior.....	77
Figura 63. Acercamiento del área de sellado	78
Figura 64. Vista isométrica mordaza anterior	79
Figura 65. Vista isométrica mordaza posterior	79
Figura 66. Vista superior mordaza anterior.....	80
Figura 67. Vista isométrica mordaza anterior	80
Figura 68. Vista superior mordaza posterior	81
Figura 69. Vista isométrica mordaza posterior	81
Figura 70. Equipo de sellado con ultrasonido	82
Figura 71. Sellado en película de 30mil	84
Figura 72. Sellado en película de 75mil	84
Figura 73. Fórmula para los directores de energía.....	85
Figura 74. Corte transversal del faldón del dispositivo resellable	86
Figura 75. Base del dispositivo con los anillos concentradores de energía	86
Figura 76. Vista lateral del dispositivo.....	87

Índice de tablas

Tabla 1. Empresas productoras de PLA	8
Tabla 2. Tabla comparativa de equipos comerciales	34
Tabla 3. Tabla comparativa de sensores de temperatura.....	38
Tabla 4. Tabla comparativa de sensores de posición	38

Dedicatoria

Este trabajo de tesis está dedicado mi madre, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional y me ha regalado su confianza durante toda mi vida.

Agradecimientos

Quiero dar un especial agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Vicente Borja Ramírez por su ayuda y confianza durante la realización de este trabajo.

Al Dr. Alejandro Ramírez Reivich por haberme asesorado para la instrumentación, instalación y selección del equipo utilizado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme apoyado económicamente para la realización de mis estudio de posgrado

Al CONACyT y el ICyTDF por su apoyo para la realización del proyecto del cual forma parte esta tesis.

A la empresa colaboradora por darme la oportunidad de participar en este proyecto

Finalmente quiero agradecer a la UNAM, por proporcionarme una excelente formación académica.

1. Introducción

Actualmente sólo existen un par de marcas extranjeras que acaparan el mercado de empaques flexibles resellables. Un ejemplo de una empresa que domina el mercado de los empaques flexibles resellables es Ziploc, quien posee una porción muy representativa de las patentes de dispositivos resellables para empaques flexibles existentes en el mercado, y que en cuyo caso los elementos resellables son principalmente cremalleras. Las empresas que desean adquirir este tipo de dispositivos, se ven obligadas a mantener un contrato de exclusividad con dichas marcas, ya sea para uso de tecnología o para el del elemento de resellado. Por ello, la producción y venta de este tipo de empaque en México llega a ser costoso o difícil de adquirir.

Por otro lado, el plástico se ha convertido en un producto indispensable para la vida cotidiana. Algunos de sus beneficios, como bajo peso, resistencia, protección contra humedad, transparencia, facilidad de sellado, facilidad de impresión y durabilidad; lo hacen altamente utilizable. Sin embargo, su eliminación del medio ambiente puede tardar cientos de años, debido a su lento proceso de degradación natural.

Actualmente, existen empaques de plástico que contienen tecnología que permite que el proceso de degradación se realice en relativamente poco tiempo, pero ningún empaque resellable de plástico se puede decir que es 100% biodegradable, debido a que el elemento que permite el resellado no lo es.

El trabajo presentado en esta tesis forma parte de un proyecto cuyo objetivo es desarrollar un empaque flexible resellable biodegradable compatible con cualquier tipo de producto. Además, la tecnología debe ser factible de ser implementada en equipo existente de envasado automático requiriendo sólo modificaciones menores.

Originalmente se presuponía un empaque que incluyera un elemento resellable de algún polímero extruido, una cremallera, pero luego de encontrar patentes con otros tipos de soluciones y de sesiones de generación de ideas que proponían otros medios de sellado, se eliminó la restricción de contar con un elemento extruido ampliando el espectro de posibles soluciones y permitiendo una mayor actividad innovadora.

El proyecto consiste tres etapas:

La primer etapa, comenzó con la búsqueda de información, se revisaron patentes relacionadas con dispositivos resellables no convencionales.

Se realizaron varias sesiones de lluvias de ideas con distintos grupos de personas para aportar propuestas de solución de dispositivos resellables, como resultado de las sesiones lluvias de ideas se generaron varios conceptos de dispositivos resellables. De los conceptos obtenidos fueron seleccionados los mejores y se construyeron 4 prototipos de empaques flexibles resellables con los que se realizaron pruebas de funcionamiento y pruebas con usuario.



Figura 1. Prototipos de envase flexible resellable.

En la segunda etapa del proyecto los integrantes se dividieron dos equipos, uno encargado del diseño del dispositivo resellable y otro encargado de la obtención de encontrar la tecnología para la unión de la parte flexible del empaque con el dispositivo resellable, en este trabajo de tesis se expone esta parte.

En la tercera y última etapa del proyecto, se incorporó un nuevo equipo encargado de la obtención de los parámetros necesarios para inyección del dispositivo resellable con PLA y posteriormente para el diseño de los moldes del dispositivo resellable. Como parte de la verificación de la factibilidad y la obtención de los parámetros de sellado, se hicieron pruebas pegando película flexible de PLA y piezas del mismo material fabricadas por miembros del equipo de inyección con un molde existente; estas pruebas fueron utilizadas en este trabajo para la evaluación de tecnologías de sellado del dispositivo resellable con la película plástica. En esta etapa también se obtuvo un diseño final del dispositivo

resellable, y se realizaron prototipos rápidos con las modificaciones proporcionadas por los equipos de inyección y de sellado; estas modificaciones consistían en facilitar la inyección y extracción del dispositivo del molde y la incorporación de concentradores de energía para su posible sellado utilizando ultrasonido.

El empaque está formado por dos partes, una parte flexible compuesta en su totalidad de película plástica de PLA; y de una parte rígida que consiste en el dispositivo resellable. El dispositivo resellable tiene la función de proporcionar la abertura y cerrado del empaque. Para accionar el dispositivo es se gira la parte expuesta en sentido contrario a las manecillas de reloj.

2. Antecedentes

2.1. Polímeros utilizados en películas plásticas para empaques y envases

En la industria del envase y embalaje se han desarrollado una gran variedad de polímeros, a continuación se listan los más utilizados.

- *Polietileno de alta densidad*: Es más sencillo de todos los polímeros, es bastante cristalino, posee una buena barrera para el vapor de agua. Se utiliza en la elaboración de botellas, jarras, vasos.
- *Polietileno de baja densidad (LDPE)*: Es el polímero más comúnmente utilizado para sellado, es de bajo costo y utiliza bajas temperaturas de sellado, su olor es bajo si se procesa correctamente. Mantiene la presión/ peso de los sólidos, líquidos y gases
- *Polietileno de baja densidad lineal (LLDPE)*: Es realmente un copolímero, es más fuerte y resistente que el LDPE, pero ligeramente más costoso.
- *Polipropileno (PP)*: Es más costoso que el LDPE, y presenta más resistencia en *Hot Tack* (mientras está todavía caliente el sellado) que el LDPE. Debido a su mayor temperatura de fusión, el LDPE permite su utilización en otras aplicaciones como retort y autoclave.
- *Polipropileno orientado (OPP)*: Tiene una buena barrera para el vapor de agua para productos secos (snacks). Las propiedades y características de la película son controlables por medio de recubrimientos y coextrusión. Posee buenas características de hot tack para líneas de alta velocidad

- *Policloruro de vinilo (PVC)*: Tiene una excelente malla de termoformado, es un polímero amorfo con alta transparencia, principalmente es utilizado en blisters y clamshells, también se utiliza en sellado en películas, laminaciones y papeles recubiertos con agentes de sellado de policloruro de polivinilo
- *Poliestireno*: Es un polímero amorfo (presenta benceno que inhibe la cristalización), es bueno para termoformado y moldeado por inyección, su utilización principalmente es en vasos, películas y bandejas.
- *Teraftalato de polietileno (PET)*: Es un polímero semicristalino. Existen varios tipos como son el orientado PET, APET, CPET. Puede ser claro u opaco dependiendo del porcentaje de cristalinidad y el tamaño del cristal. Se utiliza para películas, vasos, bandejas, botellas.

2.2. Acido Poliláctico (PLA)

Ante la problemática actual de los altos costos del petróleo, se están desarrollando polímeros que no sean derivados del petróleo, uno de los que presenta mayor potencial para ser utilizado en la industria del empaque y envasado es el PLA (Acido poliláctico). El PLA es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, éste biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre los isómeros D(-) y L(+), los pesos moleculares y la copolimerización.

El ácido láctico es utilizado ampliamente en la industria alimenticia, química, farmacéutica, del plástico, textil, la agricultura, la alimentación animal, entre otros; sin embargo, la aplicación más interesante del ácido láctico radica en la posibilidad que ofrece de producir ácido poliláctico (PLA).

El ácido láctico, ácido 2-hidroxipropanoico, es el ácido carboxílico más simple con un átomo de carbono asimétrico. Puede producirse por fermentación anaeróbica de substratos orgánicos, con microorganismos como hongos y bacterias. El ácido láctico obtenido de la fermentación es ópticamente activo, por lo que la producción específica de los isótopos L (+) o D (-) puede determinarse utilizando un lactobacilo apropiado.

2.2.1. Obtención de ácido poliláctico

La obtención ocurre generalmente en dos etapas consecutivas: la primera la síntesis del ácido láctico y la segunda la polimerización.

La obtención del ácido láctico ha sido ampliamente estudiada y desarrollada. El primer paso en el proceso es la extracción del almidón de la biomasa. Industrialmente se utilizan como sustratos, sacarosa proveniente de azúcar de caña y remolacha azucarera, lactosa proveniente de lactosuero, y dextrosa procedente de almidón hidrolizado. La sacarosa refinada y glucosa son los más utilizados.

Para la extracción del almidón de productos no refinados se realiza un molido húmedo. El almidón obtenido se convierte en azúcar por hidrólisis enzimática o ácida. Bacterias fermentan entonces el licor azucarado. *Lactobacillus delbrueckii* es el microorganismo utilizado en la producción industrial, ya que tiene la ventaja de consumir eficientemente glucosa y ser termófilo con temperatura óptima de crecimiento en el rango de 45 a 62°C, lo que reduce costos de enfriamiento y esterilización, así como riesgos de contaminación microbiológica en el fermentador.

En el método de obtención comercial, al sustrato se le adiciona una fuente de vitaminas y de cofactores, se utiliza una mezcla de 10 a 15 % de glucosa, 10% CaCO₃, cantidades menores de fosfato de amonio y extracto de levadura. El medio se inocula y se agita sin aireación para optimizar la neutralización del ácido formado. La fermentación dura entre 2 a 4 días y se termina cuando todo el azúcar es consumido, con el fin de facilitar la purificación. Al final de la fermentación el medio es ajustado a pH 10 y calentado para solubilizar el lactato de calcio y coagular proteínas presentes. Posteriormente el medio se filtra para remover sustancias insolubles, así como biomasa. Después de concentrar por

evaporación, el ácido libre se obtiene por adición de ácido sulfúrico seguido de filtración para remover el sulfato de calcio formado.

La conversión alcanza en general valores por encima del 95% en sustrato de carbohidratos. La fermentación puede realizarse tanto en procesos batch como continuos. El ácido láctico debe separarse del cultivo fermentable y purificarse antes de la polimerización en la mayoría de los casos. Los procesos de purificación más comunes involucran neutralización con bases seguido por filtración, concentración y acidificación.

2.2.2. Propiedades del PLA

Las propiedades físicas y mecánicas, farmacéuticas y de reabsorción dependen de la composición del polímero, de su peso molecular y de su cristalinidad. La cristalinidad puede ajustarse desde un valor de 0% a 40% en forma de homopolímeros lineales o ramificados, y como copolímeros al azar o de bloque.

La temperatura de procesamiento (Tg.) está entre 60 y 125°C y depende de la proporción de D o L ácido láctico en el polímero. Sin embargo el PLA puede ser plastificado con su monómero o alternativamente con ácido láctico oligomérico y esto permite disminuir Tg.

El PLA tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación. Sin embargo esta propiedad puede ser afinada durante la polimerización (por copolimerización) o por modificaciones post polimerización (por ejemplo plastificantes).

El PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede además ser formulado para dar una variedad de resistencias. Las resinas de PLA pueden ser sometidas a esterilización con rayos gama y es estable cuando se expone a los rayos ultravioleta. Al PLA se le atribuyen también propiedades de interés como la suavidad, resistencia al rayado y al desgaste.

Aplicaciones

La aplicación más prometedora del PLA es en envases y empaques para alimentos y producción de películas para la protección de cultivos en estadios primarios. Sin embargo, el alto crecimiento fúngico en los materiales obtenidos de bases biodegradables es un factor negativo para el uso en alimentos. Por lo tanto los bioempaques son más

convenientes para alimentos con alta respiración y de vida de almacenamiento corto como vegetales, y para el empaque de algunos productos de panadería.

En los tejidos vivos, el PLA se despolimeriza totalmente por hidrólisis química. Esta característica hace que el PLA sea ampliamente utilizado para la producción de hilo para sutura, implantes, cápsulas para la liberación lenta de fármacos, prótesis, etc.

Empresas productoras a nivel global

Empresa	Ubicación	Producto comercial
Cargill LCC	EE.UU.	NatureWorks
Mitsubishi	Japón	Ecoloju
Chronopol	EE.UU.	Heplon
Hycail	Holanda	Hycail HM, LM
Toyota	Japón	Toyota Eco-Plastic
Purac Biomaterials	Holanda	Purasorb
Durect	EE.UU.	Lactel
Shimadzu	Japón	Lacty
Total & Galactic	Bélgica	Futero
Treofan	Holanda	Treofan
Mitsui Chem	Japón	Lacea

Tabla 1. Empresas productoras de PLA

El consumo de PLA en 2007 fue de alrededor de 60 mil toneladas y, hasta el momento, sólo el 30% del ácido láctico producido se utiliza para fabricar PLA. El productor más importante es sin dudas el de NatureWorks (Nebraska, EEUU) con una capacidad de 140 mil ton/año y precios de venta (por kilogramo) entre los € 2,5 y los € 5,5.

2.3. El proceso de sellado de películas plásticas

2.3.1. ¿Qué es un sellado?

Un sellado es un método de cerrado de un empaque usando las propiedades de flujo y adhesión /cohesión de un material plástico. Un sellado caliente es un tipo de sellado realizado usando material termoplástico cuya temperatura es elevada con la adición de energía.

Existen varios métodos para suministrar esta energía: Mordazas calientes, impulso, inducción, ondas de radiofrecuencia, fricción y vibración ultrasónica

La función del sellado es prevenir la separación del producto del empaque, previenen ingreso de microorganismos, controlan el flujo de oxígeno, vapor de agua, sabores y aromas.

Los sellados se pueden clasificar con diferentes criterios, a continuación se presentan algunas de las clasificaciones más comunes:

- **Clasificación por el método de aplicación de la energía:** Solo presión (sellado frío), mordaza caliente, por impulso y por ultrasonido.
- **Clasificación por el tipo de mecanismo de falla:** Cohesivo, adhesivo, rotura de la interface, falla estructural
- **Clasificación de por el tipo de empaque:** Pouches, bolsas, blisters, vasos, cajas de cartón

2.3.2. Conceptos básicos de adhesión

Existen dos métodos diferentes para adherir dos objetos. Uno involucra suministrar adhesivo en la superficie a unir. El otro método involucra calentamiento en polímeros termoplásticos, derretirlos y presionarlos juntos para después enfriarlos, un proceso similar a lo que sucede en la soldadura de metales. La tecnología de sellado con calor utiliza el último método descrito para adherir películas termoplásticas

En la figura 2 se muestran los diferentes mecanismos de adhesión en microescala

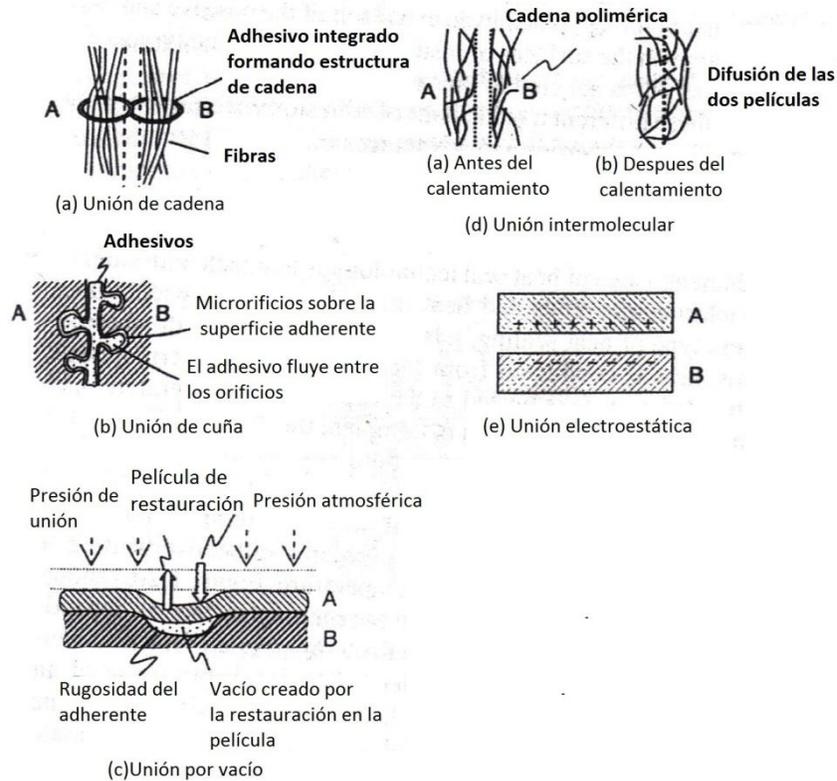


Figura 2. Adhesión en microescala, Kazuo Hishinuma (2009).

- Unión de cadena "*Chain bonding*". Utiliza la naturaleza permeable del agua y otros solventes. El adhesivo se encuentra entrelazado entre las fibras del material adherente. Se forma una estructura tipo cadena y los materiales adherentes son unidos. Un ejemplo típico de esta unión es la adhesión del papel. Figura 1(a)
- Unión de cuña "*Wedge bonding*", Ucorre cuando un adhesivo liquido fluye por los microrifícios del material adherente. El adhesivo se solidifica y los objetos son unidos usando el efecto de cuña debido a la forma de olla. Figura 1(b)
- Unión por vacío "*Vacuum bonding*". Esta unión es hecha utilizando alta presión para sacar el aire que se encuentra entre los microrifícios de la rugosidad de la superficie. Después de que el aire es removido, materiales poliméricos son agregados para restaurar la forma original del material adherente. Posteriormente se aplica vacío en los microrifícios. La adhesión ocurre como resultado de la

diferencia del vacío formado y la presión atmosférica. Por ejemplo, un papel mojado es un material adherente para un vidrio plano, porque no existe aire entre el papel y el vidrio. Figura 1(c)

- Unión intermolecular “*Intermolecular bonding*”. Es el mecanismo de unión que se utiliza en la tecnología de sellado por calor. Esta tecnología utiliza la unión intermolecular que existe entre dos materiales adherentes fusionados. Comparada con otras uniones, es más fácil obtener una excelente adhesión y enlazado a escala molecular. Figura 1(d)
- Unión electroestática “*Static electric bonding*”. Es obtenida como resultado de las cargas estáticas en las superficies de los materiales. Un ejemplo típico cuando dos película plásticas se adhieren una a otra por fricción. Figura 1(e)

2.3.3. El proceso de sellado caliente

La idea fundamental de la tecnología de sellado con calor es juntar ambos lados de dos adherentes termoplásticos y calentarlos. El tipo más ampliamente usado de sellado con calor, es cuando una mordaza caliente presiona las películas termoplásticas, el calor es conducido a través de las superficies de las películas termoplásticas; en donde la superficie de unión es calentada a la temperatura apropiada e inmediatamente se enfría para finalizar la unión.

En la tecnología convencional de sellado con calor, no se controla la temperatura de la superficie de sellado, sino mas bien se controla la temperatura del elemento de calentamiento, como puede ser una resistencia eléctrica. Esto provoca problemas de sobrecalentamiento o de enfriamiento inapropiado.

2.3.4. Definición de *Peel Seal* y *Tear seal*

Para películas selladas con calor existen dos tipos de sellados que dependen de la temperatura de calentamiento. La primera es la interfacial/ pseudo-adhesión (*peel seal*), la cual muestra un incremento en la resistencia con el incremento de la temperatura de

sellado y la segunda es la de fusión/cohesiva-adhesión (*tear seal*), cuyo valor de resistencia alcanza un valor máximo.

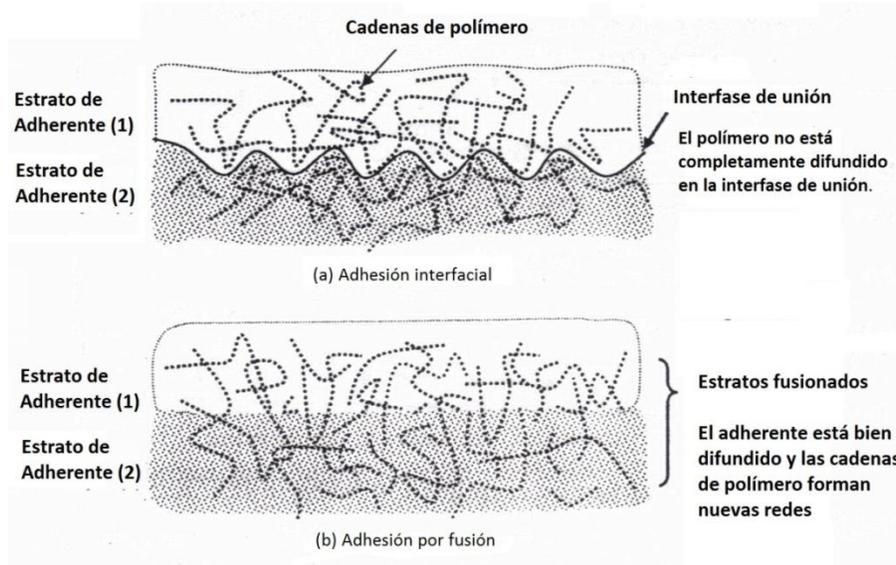


Figura 3. Adhesión en el sellado interfacial y por fusión, , Kazuo Hishinuma (2009).

La figura 4 muestra la relación entre la temperatura en el punto de fusión de la superficie y la resistencia a la tracción del sellado caliente de la película plástica. La pendiente del incremento de la resistencia con el aumento de la temperatura de calentamiento es dependiente del tipo de película termoplástica y de su peso molecular

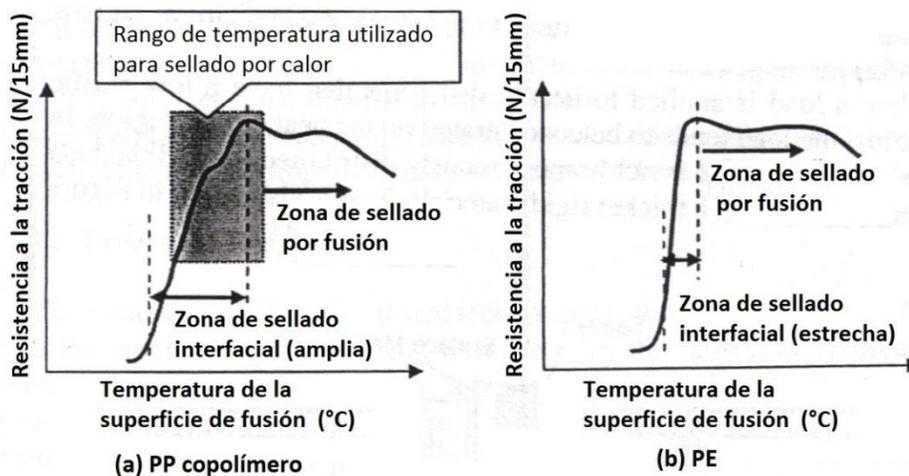


Figura 4 .Cambio de la resistencia a la tracción en películas selladas por calor, Kazuo Hishinuma (2009).

La figura 5 muestra la diferencia entre un sellado interfacial (peel seal) y un sellado por fusión (tear seal), cuando se realiza una prueba de tracción para películas selladas por calor. Para un sellado interfacial se produce una delaminación de las películas en la zona de sellado, dado que las moléculas no están completamente difundidas y la interface entre las dos películas es todavía idéntica. Por el otro lado, en el sellado por fusión, se produce una fractura de la película cerca del área de sellado, la razón de esto es porque en el sellado por fusión las moléculas están bien difundidas en relación una con otra. El sellado interfacial presenta una menor resistencia comparado con el sellado por fusión.

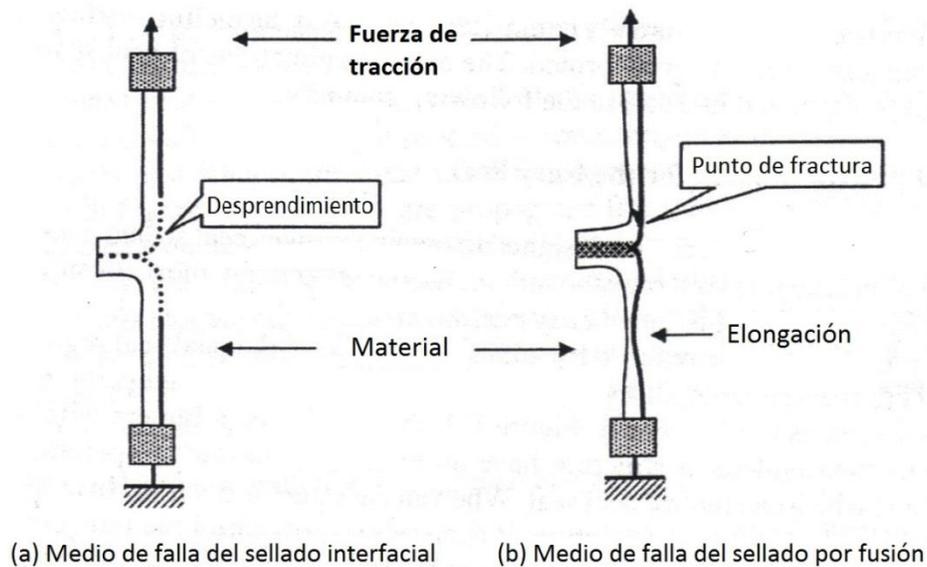


Figura 5. Medios de falla del sellado interfacial y por fusión, Kazuo Hishinuma (2009).

Las características que tiene el sellado interfacial son las siguientes:

1. Los empaques que son sellados con el sellado interfacial son fáciles de abrir
2. La fuerza aplicada a los empaques sellados por calor puede ser absorbida como energía interfacial. Esto puede eliminar la necesidad del sellado por fusión

3. El sellado por fusión frecuentemente presenta defectos debido a sobrecalentamiento. El sobrecalentamiento provoca menor resistencia en el sello.
4. La formación de *Polyballs*, que es material extruido debido al derretimiento de las películas durante el proceso de sellado por calor, causan perforaciones y por consiguiente fracturas en el empaque. El sellado interfacial con un control cuidadoso de la temperatura puede evitar la formación de *Polyballs*.
5. Siempre que la temperatura este controlada para el sellado interfacial, la adhesión entre las películas selladas por calor puede ser maximizado. En otras palabras se puede alcanzar la máxima resistencia entre la frontera de la región de sellado interfacial y el sellado por fusión, como se ve en la figura 1.3

2.3.5. Requerimientos para una fácil apertura del sellado (*easy peel*)

Anteriormente se describió como obtener una unión resistente por medio del sellado por calor en empaques; a fin de evitar fracturas en el empaque. Por el otro lado los consumidores prefieren lo que es llamado *easy peel* o apertura fácil del sellado.

El *easy peel* puede ser realizado tomando en cuenta la ventaja la región de sellado interfacial donde la resistencia se incrementa con la temperatura; sin embargo, como se ve en la figura 1.3 los polímeros termoplásticos con una estructura molecular consistente tienen un rango muy estrecho de temperatura en el que se puede realizar el sellado interfacial. Cuando el sellado interfacial es obtenido contralando la temperatura, es necesario contralar la temperatura en incrementos de 2-5°C.

La investigación y desarrollo deben apuntar a un nuevo método de control de la temperatura de sellado, incluyendo la temperatura en la frontera del sellado interfacial y el sellado por fusión.

2.3.6. Problemas debidos al sobrecalentamiento del sellado

En el sellado por fusión del material (*tear seal*) las moléculas del polímero interactúan con una gran fuerza intermolecular, por lo tanto la resistencia del sellado esta maximizado; en realidad la evaporación de materiales no polimerizados, la degradación térmica u oxidación de los materiales termoplásticos afectan el sellado disminuyendo su resistencia.

Este fenómeno ocurre solo cuando el proceso de alta temperatura se ha terminado

Dado que las películas termoplásticas tienen un bajo modulo de elasticidad

En el monitoreo convencional del sellado con calor, los operadores cambian la temperatura de sellado de la máquina, y después inspeccionan visualmente en busca de defectos en el área de sellado. Con este método es fácil encontrar los defectos debido a temperaturas demasiado bajas, como resultado es un método aplicado en todo el mundo.

Sin embargo, este método no permite a los operadores poder saber directamente o controlar la temperatura actual de fusión de la superficie. Por lo que es difícil saber en término cuantitativos cual es el rango de temperatura en el que el sobrecalentamiento ocurre. Como resultado de esto los operadores tienden a sobrecalentar las películas plásticas. Las operaciones de sellado por calor en el área de producción están basadas en prueba y error, dado que no hay estándares para un control cuantitativo de la temperatura.

Los problemas provocados por el sobrecalentamiento son perforaciones y material derretimiento de material fuera del área de sellado.

Tradicionalmente tres parámetros, temperatura, tiempo y presión han sido utilizados para controlar el proceso del sellado por calor. Sin embargo, estos parámetros nunca han sido universalmente aclarados o definidos. Como resultado, estos parámetros son interpretados de forma diferente por los operadores conforme a su experiencia.

El factor principal en el sellado por calor es el control de la temperatura. Para la mejorar la eficiencia es necesario controlar la temperatura de fusión en el área de sellado, sin embargo hasta ahora un método de propósito general para medir directamente la temperatura en el área de sellado. Como resultado la temperatura controlada es en la barra de calentamiento y no la temperatura actual en el área de sellado en la película plástica. La calidad de la unión por sellado caliente está determinada por la resistencia a la tracción de muestras de 15-25mm de ancho de la región del sellado. [JIS 0238, ASTM F88-00].

La presión es necesaria para reducir los huecos que puedan existir entre las superficies de las películas plásticas. El rango apropiado de presión obtenido experimentalmente ha sido de 0.08-0.2MPa. Una presión menor a 0.08MPa provocará pérdida de conductividad térmica, resultando en una adhesión defectuosa. Una presión mayor a 0.2MPa forzara al plástico derretido salir del área de sellado y crear *polyballs*.

2.3.7. Fallas en el sellado

En sellado por calor existen diferentes tipos de fallas, en la figura 6 aparecen las fallas descritas en la norma ASTM F88-00 obtenidas con una prueba de tracción

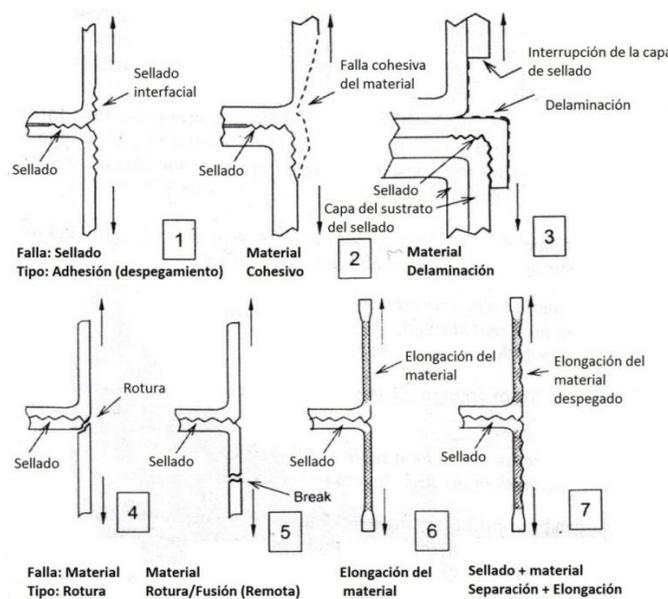


Figura 6. Diferentes tipos de fallas mostrados en la norma ASTM F88-00

2.3.8. Tecnologías de sellado de plásticos

Existen diferentes tecnologías para el sellado de envases; el mecanismo de acción así como las propiedades de cada una, son explicadas en la siguiente sección.

Sellado con herramientas calientes

También es llamado sellado con mordaza caliente o sellado a temperatura constante, normalmente se utilizan mordazas rectangulares pero también se utilizan mordazas con formas rectangulares, circulares y rollers.

Es por mucho el método más utilizado para sellar, es de bajo costo y las formas que se pueden obtener del sello no están limitadas. Para controlar la temperatura se utilizan termostatos pero también se siguen utilizando reóstatos.

Proceso del sellado por herramientas calientes

1. Energía. Se suministra calor por medio de una resistencia eléctrica en un barra de metal u otra herramienta de sellado
2. Se aplica presión para juntar las dos capas de película
3. Esto se realiza por un determinado tiempo

Las aplicaciones más comunes en empaques son: Pouches, tapas de las bandejas, tapas de los vasos, blisters y bolsas.

Polímeros que se sellan utilizando este método

Todos los polímeros pueden ser sellados usando sellado con temperatura constante, pero algunos polímeros pueden no disipar bien el calor, entre los más comunes tenemos el LDPE, PP, PVC, PS y el PET.

Ventajas

- Simplicidad
- Bajo costo de los elementos
- Fácil entendimiento del control de temperatura y de los calentadores
- Todos los polímeros sellables responden al calor directo
- Se pueden realizar sellos de casi cualquier forma

Desventajas

- El calor debe de ser disipado después de realizado el sello, el hot tack puede ser un problema

- Se tiene calor en todas las etapas
 - Se debe de tener un tiempo de calentamiento de la mordaza
 - El material se calienta por radiación mientras se acerca al área de sellado

Sellado por impulso

Las características de este proceso son que posee un calentamiento instantáneo y un enfriamiento inmediato bajo presión. Es de bajo costo, pero tiene un mayor costo de operación que el sellado por herramienta caliente, tiene variables adicionales como son el tiempo de enfriamiento y la temperatura, la forma de la herramienta de sellado es limitada y presenta dificultad para sellar piezas con formas circulares

Proceso del sellado por impulso

1. La mordaza está fría antes de que el material entre al área de sellado
2. Las mordazas se cierran
3. La corriente fluye en el hilo o cinta nicrome, la resistencia del nicrome cause calentamiento cuando la corriente fluye a través de él.
4. Cuando la corriente se detiene el enfriamiento comienza por un tiempo determinado
 - a. La presión mantiene los materiales unidos
5. La presión se libera después del enfriamiento

Puede ser utilizado en casi todas las aplicaciones en donde se utiliza el sellado por herramienta caliente, algunos ejemplos son: Shrink-wraps, bolsas de arroz, comidas empacadas en vacío, retort pouches, bolsas de material médico.

Casi todos los polímeros pueden ser sellados utilizando sellado por impulso, los más utilizados son: LDPE, PP, PVC, PS, PET

Como variables que intervienen en el proceso tenemos las siguientes: la potencia o temperatura, el tiempo (velocidad de producción, tiempo del ciclo), la presión, temperatura de enfriamiento y el tiempo de enfriamiento

Ventajas

- Previene la excesiva radiación de calor hacia el empaque
- El enfriamiento bajo la presión previene la distorsión en el área de sellado
- El enfriamiento mejora la fuerza del sello recién hecho
- Bastante simple

- Bajo costo del capital
- Todos los polímeros sellables reaccionan al calor directo
- Sellos delgados permiten una reducción en el costo del material

Desventajas

- El costo de mantenimiento es más alto que el de sellado por herramienta caliente
- Posee más variables que controlar
- Los sellos delgados pueden no ser tan confiables
- Su aplicación es complicada para sellos de formas no lineales (vasos, bandejas, etc.)
- Es difícil determinar la temperatura alcanzada
- Debe de transmitir el calor a través de la estructura la interface

Sellado por inducción

Este método de sellado se basa en generar un campo magnético por medio de alimentar energía eléctrica a una bobina conductora.

Proceso del sellado por inducción:

1. Se aplica presión (varios métodos)
2. La bobina crea un campo magnético que esta alternando
3. El campo induce corrientes Eddy en el metal
4. Debido a la resistencia del metal las corrientes Eddy provocan calentamiento
5. El calor se transfiere al polímero para fundirse y realizar el sellado
6. La presión mantiene al material unido

Las aplicaciones comunes para este tipo sellado son, cajas de cartón para jugo, sellos de botellas y mermeladas y tubos.

Los polímeros que se pueden sellar con este método son LDPE, HDPE, PP, PVC, PS y PET. Pero siempre es necesario utilizar un metal para lograr el calentamiento. Las variables del proceso son: la potencia, el tiempo, la presión, el tiempo de enfriamiento y la distancia.

Ventajas

- Simple de configurar y controlar
- La potencia se controla fácilmente
- Es relativamente barato

Desventajas

- Debe de tener siempre un componente de metal, lo cual hace más difícil la detección de piezas metálicas y lo hace menos versátil que otros métodos.
- El tiempo de sellado es mayor comparado con el ultrasonido
- Se tiene que realizar un diseño apropiado de la línea de producción, no se pueden usar conveyors metálicas, rieles, etc.

Sellado por ultrasonido

Utiliza ondas ultrasónicas que se transmiten por de los sólidos a frecuencias arriba del umbral audible (16 KHz- 1GHz), es un método interno que no depende de la transferencia de calor para sellar. Las ondas ultrasónicas son transmitidas al empaque por medio de un sonotrodo, se pueden realizar varias formas de sellos.

Las variables del proceso son el tiempo de sellado, el tiempo de sujeción, la presión, la amplitud, en algunos sistemas se pueden controlar la cantidad de energía suministrada al sello, la frecuencia aunque no es una variable si es una característica importante del equipo.

Ventajas

- Se puede utilizar en un amplio rango de polímeros
- Se puede controlar la cantidad de energía que va al sello
- Utiliza menos energía que la utilizada en la de sellado por herramienta caliente
- Previene la radiación excesiva de calor al empaque
- Es más limpio que los métodos que utilizan calor
- Es de alta velocidad
- Los sellos se pueden realizar bien aunque exista contaminación

Desventajas

- Es más costoso
- Puede dañarse si el sello se quema
- Es más complicado que los procesos que utilizan calor

2.4 Máquinas de Envasado Vertical (VFFS)

El término vertical indica la dirección principal de avance del material durante la confección del envase. El material de envase se alimenta desde la bobina a partir de la cual se da forma, llena y sucesivamente se cierra por termosellado (por arriba y por abajo). El material se desenrolla de la bobina y es conducido por diferentes rodillos guía hacia un conformador. El material flexible se enrolla alrededor del conducto de alimentación del producto, formando un tubo continuo en el que se suelda un pliegue longitudinalmente (parte posterior de la bolsa). El tubo ya formado, es arrastrado hasta las mordazas transversales en donde se produce el sellado transversal y corte de las bolsas. Mientras se está sellando (fondo de la bolsa) se introduce el producto a envasar y una vez hecha la dosificación, la máquina vuelve a arrastrar el material para formar otro paquete.

En el momento que se para el arrastre, las mordazas transversales vuelven a ejercer presión para sellar y cortar. Es decir, cierra la bolsa ya formada (parte superior) y con el producto al mismo tiempo que se sella la parte inferior de la siguiente. Las bolsas son evacuadas bien por gravedad o por una banda de arrastre.

Los tipos de bolsas que pueden formarse son muy diferentes están en función de las características de la máquina:

- Conducto de formación redondo para formar bolsas tipo "pillow" (almoahadilla) y cuadrado para bolsas paralelepípedos.
- Formación de pliegues en la base para obtener bolsas que se mantengan su posición vertical.

2.4.1 Elementos de una máquina envasadora vertical

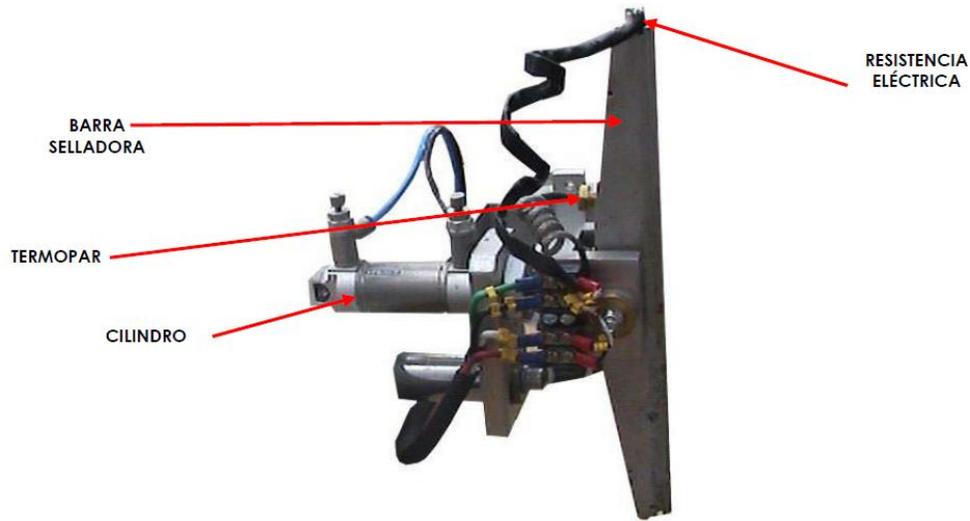


Figura 7. Sellador vertical

Mordazas

El juego de mordazas son las barras que nos permiten realizar el sello horizontal de la bolsa y dar la longitud de la misma por medio del corte.

Para la realización del sellado horizontal se tienen dos resistencias alojadas una en cada mordaza y controladas por medio de un pirómetro y una señal de retroalimentación de un termopar. Este último nos permite controlar la temperatura de trabajo de las mordazas y establecer los límites máximos y mínimos, así como la alarma para los casos de fuera de rango.

La apertura y cierre de las mordazas es controlada por medio de un PLC. La fuerza de las mordazas es controlada por un regulador de presión.

Como se mencionó las mordazas tienen la función llevar a cabo el proceso de sellado y corte, las mordazas sellan la película y el corte se realiza por medio de una cuchilla alojada en la misma mordaza accionada por un cilindro neumático.

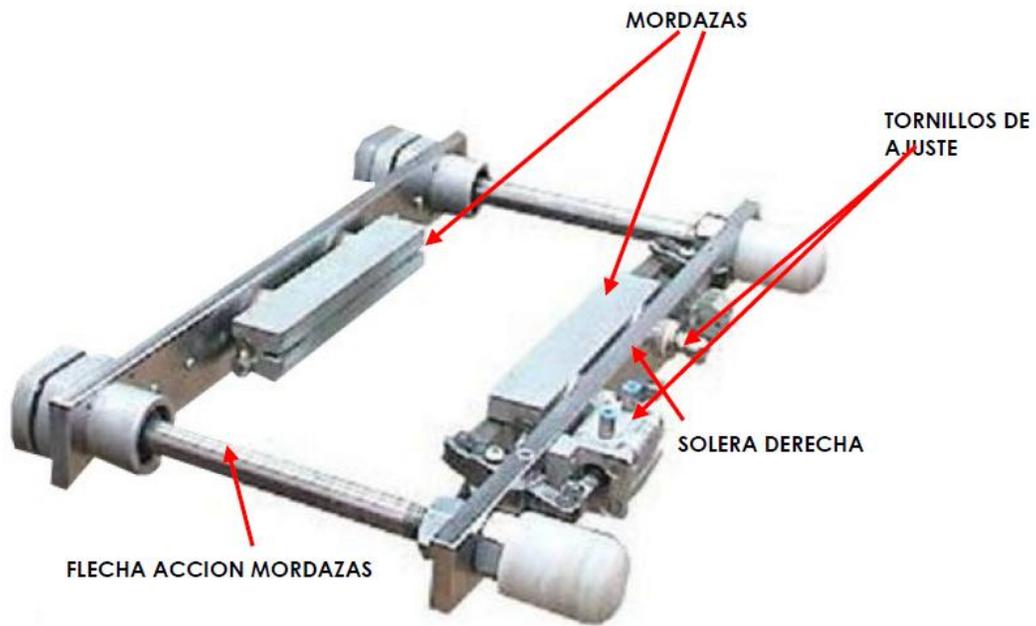


Figura 8. Mordazas horizontales

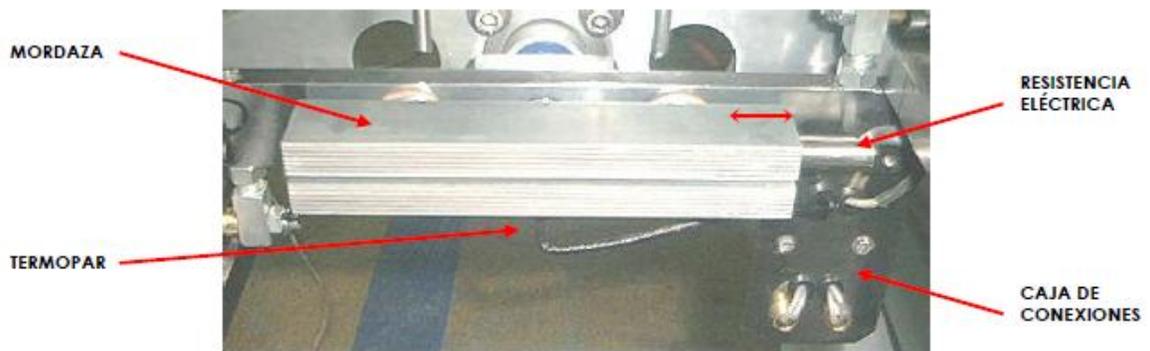


Figura 9. Elementos de la mordaza horizontal

Avance de la película

El avance de la película se realiza mediante los pads de arrastre que se encuentran a los costados del tubo formador. La presión necesaria de estos pads sobre la película se regula mediante la perilla localizada a cada lado del soporte de la corredera.

El ajuste debe efectuarse de tal forma que la tracción se efectúe de manera uniforme, sin que se jale o deforme el paso de la película en el tubo formador.

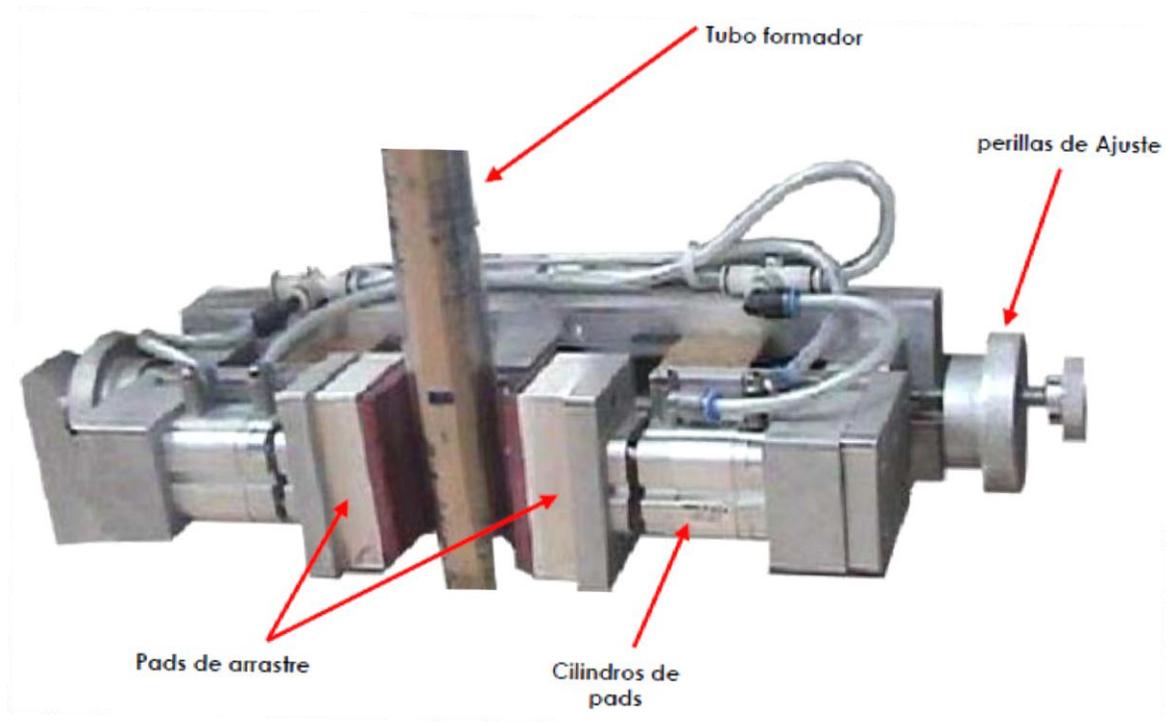


Figura 10. Elementos para el avance de la película

Para el ajuste de tamaño de bolsa, se utiliza el sensor en la corredera colocada en el extremo izquierdo de la máquina, garantizando que ese largo sea mayor que la distancia que tiene el fotoregistro de la película. Una vez ajustado el largo mecánico se tendrá que programar el amplificador de la fotocelda para que el largo de bolsa se ajuste automáticamente por medio del sensor, cuando la película tiene impreso el cuadro de fotoregistro, el procedimiento se explica a detalle más adelante.

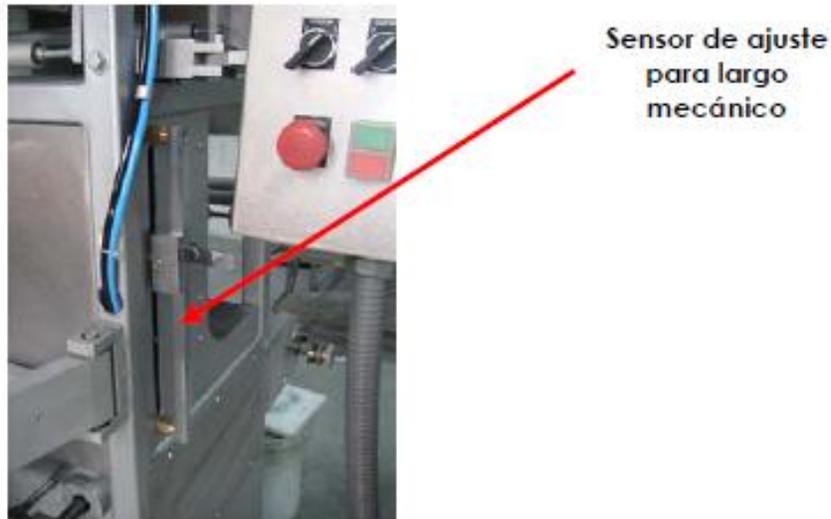


Figura 11. Sensor de ajuste de longitud de la bolsa

Hombro formador

Este dispositivo, permite en una sola operación, pasar una superficie plana a una cilíndrica con la película, está construido en lámina de acero inoxidable, sirve como guía y soporte al material de empaque, sirve de apoyo al sellador vertical y es por donde se suministra el producto a envasar.

Existen algunos productos tales como el azúcar, granos, semillas, etc. en los cuales puede requerirse otros accesorios adicionales al formador, como tubos de descarga y tubos de respiración.



Figura 12. Hombro formador

Desenrollador

El desenrollador guía la película plástica desde la flecha porta bobina hasta la entrada en el hombro formador, sus principales partes son las siguientes:

1. Flecha porta bobina
2. Conos porta bobina
3. Perillas de ajuste (para desplazamiento horizontal de la película)
4. Freno de disco
5. Balata freno
6. Brazo basculante
7. Tubos embalados
8. Contra Peso Basculante

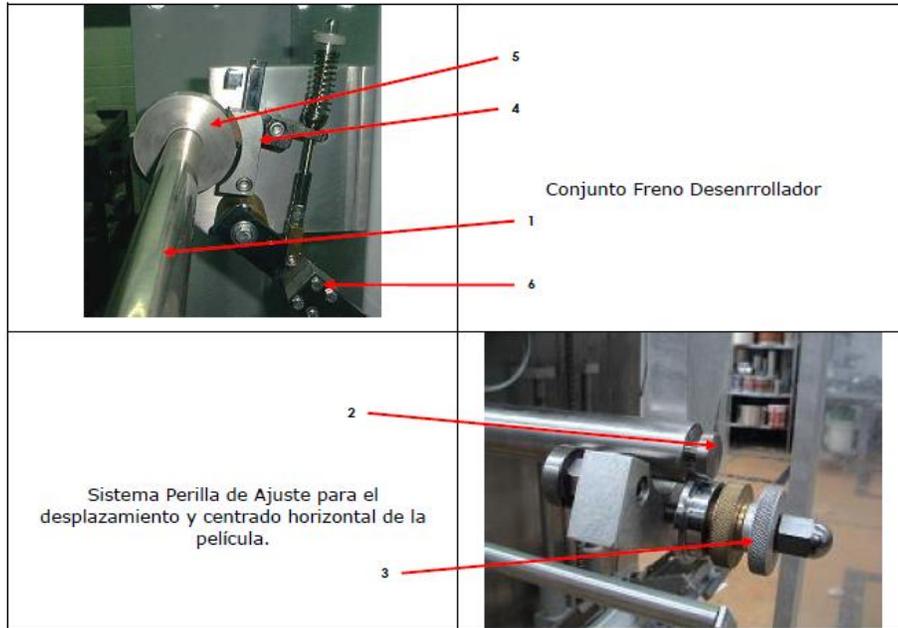


Figura 13. Desenrollador

Fotoregistro

El principio mecánico de registro consiste en proporcionar largos exactos de bolsa iguales a la repetición impresa en la bobina, por muy precisa que sea una máquina o la impresión de las repeticiones de un papel, existirán pequeños errores que por ser de diferentes procedencias (mecánico e impresión) se harán acumulativos originando cambios en el largo de la bolsa requerida.

Como dato promedio se considera que el largo máximo de carrera mecánica debe ser de 5 a 10 mm mayor que la repetición exacta, con esto se obtiene un margen de corrección suficiente para las condiciones normales de operación.

Al ser ligeramente mayor la carrera mecánica de la película, la tracción del papel se interrumpe cada vez que la marca de foto registro manda una señal eléctrica, debido a la acción de ésta sobre la válvula de las mordazas, origina que la película se detenga siempre en el mismo lugar.

La posición exacta del centrado del sellado y corte horizontal de la bolsa con respecto a la impresión de la misma se hace automáticamente durante la operación al variar la posición del cabezal sensor de foto registro.

Como en la práctica existen defectos en las impresiones del papel o puede haber interferencias de otras marcas o reflejos indeseados durante el movimiento del papel se dispone de una entrada del PLC que solamente permite la acción del control foto eléctrico en el momento requerido para la corrección.

Cabezal sensor

Este dispositivo es el medio de enlace entre la marca de foto registro y el circuito electrónico de control, para ello dispone en su interior de una fibra óptica que es el elemento que detecta los cambios de intensidad de luz.

Para ajustar la posición del cabezal sensor es necesario aflojar tanto la perilla, como la manija que lo sujetan, de este modo conseguimos movimiento transversal y longitudinal para posicionarlo en la marca de registro impreso en la bobina, como se muestra en la siguiente ilustración.



Figura 14. Cabezal sensor

Pirómetro

Se encarga de controlar la temperatura de las mordazas. El pirómetro obtiene la temperatura de las mordazas por medio de una señal eléctrica proveniente del termopar, la compara con la temperatura deseada y controla el encendido y apagado de la resistencia hasta obtener el valor correcto.



Figura 15. Pirómetro

3. Objetivos

De acuerdo a lo anterior los objetivos de esta tesis son:

- Obtener los principales parámetros involucrados el sellado de película plástica biodegradable del empaque flexible resellable.
- Identificar y obtener los parámetros físicos para la unión del dispositivo resellable con la película flexible del empaque.
- Generar conocimientos para el desarrollo de la tecnología requerida para la producción comercial del empaque flexible resellable biodegradable en equipo automático de envasado

3.1 Alcances

Los alcances de esta tesis son:

1. Diseñar un procedimiento para la obtención de los principales parámetros involucrados en el sellado de la plástica biodegradable, como son la temperatura en el area de sellado de la película plástica biodegradable, el tiempo de cierre y la presión ejercida por las mordzas; asi como también definir el equipo necesario para realizar las pruebas de sellado caliente con la película plástica.
2. roponer tecnologías y realizar pruebas de unión del dispositivo resellable con la película plástica biodegradable.
3. Identificar posibles proveedores de material y tecnología de sellado para el empaque flexible biodegradable.

4. Metodología

A continuación se describe la metodología utilizada para la realización de este trabajo.

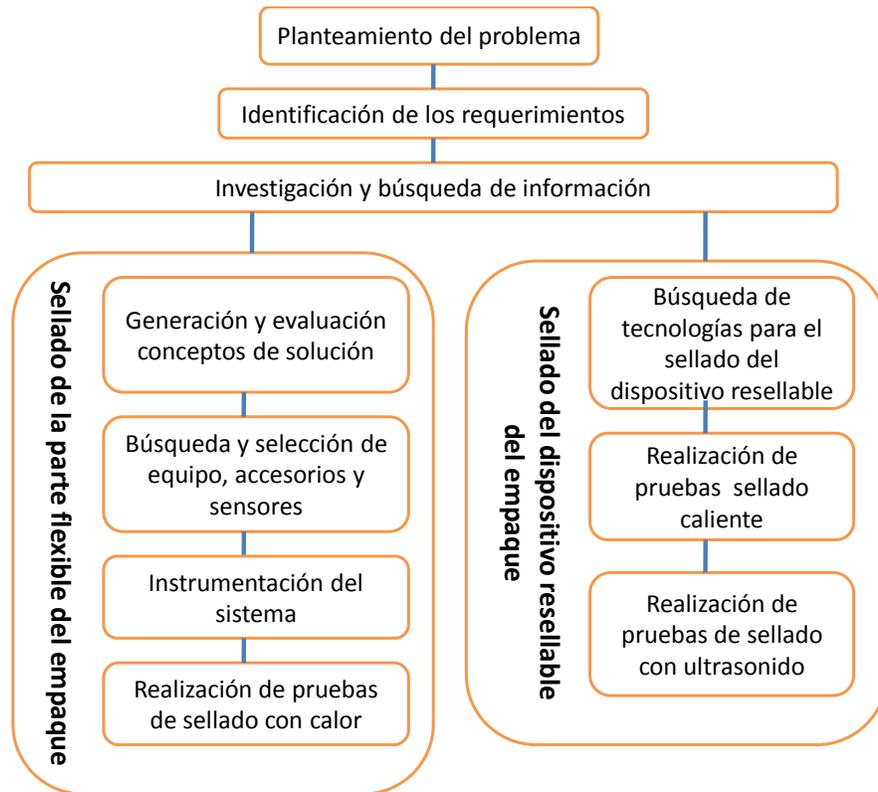


Figura 16. Metodología

Identificación de los requerimientos

Con base en los requerimientos de la empresa y después con ayuda de la búsqueda de información en donde con patentes y equipos comerciales.

Investigación y búsqueda de información

La búsqueda se dividió en buscar información sobre sistemas para obtener los parámetros de sellado con calor de la película plástica biodegradable y en buscar tecnologías y realizar pruebas para el sellado del dispositivo rígido resellable.

Selección e instrumentación del sistema

En base a los requerimientos del sistema se realizó una búsqueda y selección de los sensores necesarios para posteriormente realizar su montaje en el sistema.

Instrumentación del sistema

Se realizó la instalación y adaptaciones necesarias de los sensores sobre la máquina envasadora vertical.

Realización de pruebas de sellado con calor en la película plástica de PLA

Estas pruebas consistieron en hacer pruebas de sellado con calor en el sellado vertical y en el sellado horizontal para obtener los parámetros de sellado

Búsqueda de tecnologías para el sellado del dispositivo resellable

Se realizó una búsqueda del estado del arte de la tecnología de sellado de plásticos para envase y embalaje que pudieran aplicarse en el sellado del dispositivo resellable

Pruebas de sellado caliente

Se realizaron pruebas de sellado con calor con piezas de PLA semejantes en dimensiones al dispositivo resellable y la película plástica.

Pruebas de sellado con ultrasonido

Se realizaron pruebas de sellado con ultrasonido con piezas de PLA semejantes en dimensiones al dispositivo resellable y la película plástica.

5. Diseño conceptual del sistema para la obtención de los parámetros

Los principales parámetros involucrados en el proceso de sellado caliente de una película plástica son: la temperatura en el área de sellado, el tiempo de sujeción de las mordazas, y la presión de sellado. Para la obtención de estos parámetros se necesitaba un sistema en el que se pudiera realizar pruebas de sellado con calor. El sistema necesario debía de cumplir con ciertos requerimientos. Estos requerimientos fueron obtenidos en conjunto con el personal de la empresa responsable del proyecto.

Los requerimientos del sistema son los siguientes:

- Temperatura de sellado: 70-200°C
- Resolución mínima de la temperatura: $\pm 1^\circ\text{C}$
- Tiempo de sellado: 1s~99.9s
- Presión de sellado : 0.05MPa~.9MPa
- Longitud de sellado: 100mm-300mm
- Tipo de calentador: Resistencia de cartucho, hilo y cinta micrón
- Tipos de plástico: Polietileno, polipropileno, laminado, PLA.

Dentro del diseño del sistema para la obtención de los parámetros de sellado para la parte flexible del empaque, se propusieron tres opciones de solución: la primera opción consistió en la compra de un equipo comercial de pruebas de sellado caliente; la segunda opción era diseñar en su totalidad un sistema basado en los parámetros físicos necesarios a medir; y la tercera opción consistió en realizar un sistema basado en la instrumentación de una máquina envasadora de bolsas vertical comercial

5.1. Equipos comerciales

Se realizó una extensa búsqueda de equipos comerciales para pruebas de sellado caliente para películas plásticas. De los equipos encontrados, se seleccionaron los más representativos de cada fabricante para realizar una tabla para comparar sus características, ver tabla 2.

			
Modelo	TS-12	SL-10	HSE-3
Marca	Labthink	Lako tool	RDM
Control de temperatura por PID	si	si	si
Rango de presión	0.05 Mpa-0.7MPa	0.138-2.758 MPa	0 - 689 Kpa
Selección de tiempo de cierre	0.1s~999.9s	0.20 s-99.99s	0.1s~999.9s
Precisión control de temperatura	±0.2°C	±0.7°C	± 1°C
Medición de la fuerza	no	10-362 kg	no
Rango de temperatura	Tamb-250°C	Tamb-350°C	Tamb-250°C
Medición de Hot tack	no	si	no

Tabla 2. Tabla comparativa de equipos comerciales

5.2. Evaluación y selección del equipo

De las tres opciones de solución, la opción de la máquina envasadora vertical instrumentada presenta la ventaja de que el proceso de sellado de la película plástica no está basado en una simulación o simplificación del proceso de sellado, sino que es el proceso real. Esta es una gran ventaja principalmente porque los parámetros encontrados pueden utilizarse directamente en otras máquinas envasadoras verticales. Otros beneficios de esta opción son la eliminación de las etapas de diseño y construcción del sistema desde cero.

6. Búsqueda y selección de equipo, accesorios y sensores

6.1. Máquina envasadora

La selección y adquisición de la máquina se realizó con apoyo de la empresa encargada del proyecto. Se adquirió una máquina envasadora vertical con capacidad para realizar bolsas de polietileno y laminados y que puede utilizar mordazas estándar y mordazas planas. Las características principales de la máquina envasadora son:

- Easy pack mod. V-1250-1521.
- Dimensiones de la máquina:
- Alto 94"
- Frente 46.5"
- Fondo 46.1875"
- Peso aprox. 280 kg.
- Consumo neumático 375 lts/min
- Presión de operación 7 kg/cm² manométrica
- Voltaje 220 volts 2 fases
- Potencia instalada 850 Watts
- Velocidad de producción: 22 bolsas/min



Figura 17. Máquina envasadora vertical

6.2. Selección de sensores

Con base en los requerimientos del sistema se realizó una búsqueda y selección de sensores de posición, fuerza, presión neumática, temperatura y aceleración; pero debido a cuestiones presupuestales no se pudo contar con los recursos necesarios para la instrumentación completa de la máquina.

6.2.1. Sensores de temperatura

Existe una gran variedad de sensores de temperatura disponibles en el mercado, para seleccionar los sensores para el sistema se tenían como los requerimientos principales una alta velocidad de respuesta para poder registrar las variaciones de temperatura durante el proceso de sellado y un rango de operación de 0-180°C, que es el rango en el que se realizan las operaciones de sellado.

sensor	Rango de medición [°C]	Tiempo de respuesta [s]	Exactitud aproximada [°C]	Sensibilidad	linealidad
Termómetro de dilatación	-50 a 500	mala	1	regular	regular
Termopar	-300 a 1200	buena	0.25	mala	regular
RTD	-300 a 1000	mala	0.0025	mala	buena
Termistor	-50 a 130	buena	0.01	buena	mala
Pirómetros de radiación	-300 a 1202	buena	0.5	buena	buena
Cinta bimetálica	-100 a 550	mala	0.025	regular	regular

Tabla 3. Tabla comparativa de sensores de temperatura

6.2.2. Sensores de posición

Para tener un mejor control en el proceso de sellado de bolsas en la máquina envasadora, se deseaba registrar la posición de las mordazas y del sellador vertical durante un ciclo de operación de la máquina. Un ciclo de operación de la máquina, es el tiempo que tarda y los procesos que se realizan para hacer una bolsa.

Sensor	Rango de medición [mm]	Rapidez de respuesta	Resolución [mm]	Costo	Salida de la señal
Potenciometro lineal	0 a 300	buena	0.1	intermedio	analógica
Encoder lineal	0 a 300	muy buena	0.02	intermedio	digital
Laser	0 a 200	buena	0.001	muy alto	analógica
Ultrasónico	0 a 150	buena	1	bajo	analógica
Capacitivo	puntual	buena	NA	bajo	digital
Interruptor	puntual	mala	NA	muy bajo	digital

Tabla 4. Tabla comparativa de sensores de posición

6.3. Equipo adicional

6.3.1. Cámara de alta velocidad

Para poder observar el proceso de sellado de la máquina envasadora con mayor detalle, se adquirió una cámara de alta velocidad teniendo como requisitos para la selección de la cámara ser económica, contar con captura de video en alta velocidad con una velocidad de al menos 400 cuadros por segundo, el equipo seleccionado fue una cámara de la marca Casio modelo Exilim Pro EX-F1 con las siguientes características:

- Captura de video en alta velocidad
300, 600 y 1200 (cuadros por segundo)
- Captura de 60 fotos por segundo
- Zoom óptico de 12X
- Captura de video en alta definición en modo normal



Figura 18. Cámara digital casio EX-F1

6.3.2. Tarjeta de adquisición de datos

Para la adquisición de temperatura de las mordazas se necesitó un equipo que pudiera adquirir las señales de los termopares con una alta velocidad de muestreo, que contará con varios canales de adquisición, compatible con los termopares, y con el menor costo, la selección de este equipo fue realizada de manera simultánea con la selección de los sensores de temperatura para el correcto funcionamiento

El equipo seleccionado fue una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) modelo NI USB-9213 de National Instruments, es un dispositivo de medición de temperatura con termopares, cuya conexión a la computadora es por medio de puerto USB. La tarjeta de adquisición de datos se utilizó en combinación con el programa de computadora LabVIEW para capturar las lecturas de las temperaturas.



Figura 19. DAQ USB-9213

Resumen de especificaciones de la tarjeta de adquisición de datos:

- Modelo USB-9213
- Formato Físico USB
- Tipos de Medida Temperatura , Termopares
- Acondicionamiento de Señales Compensación de unión fría
- Canales 16
- Resolución 24 bits
- Velocidad de Muestreo 100 S/s
- Rendimiento 1200 S/s
- Ancho de Banda 78 Hz
- Máx. Voltaje de Entrada Analógica 78.125 mV
- Rango de Voltaje Máximo -78.125 mV , 78.125 mV
- Muestreo Simultáneo No
- Impedancia de Entrada 78 MOhm

7. Instrumentación de la máquina

7.1. Sensores de posición

Se colocaron microinterruptores para detectar el cierre y la apertura de la mordaza vertical y horizontal.

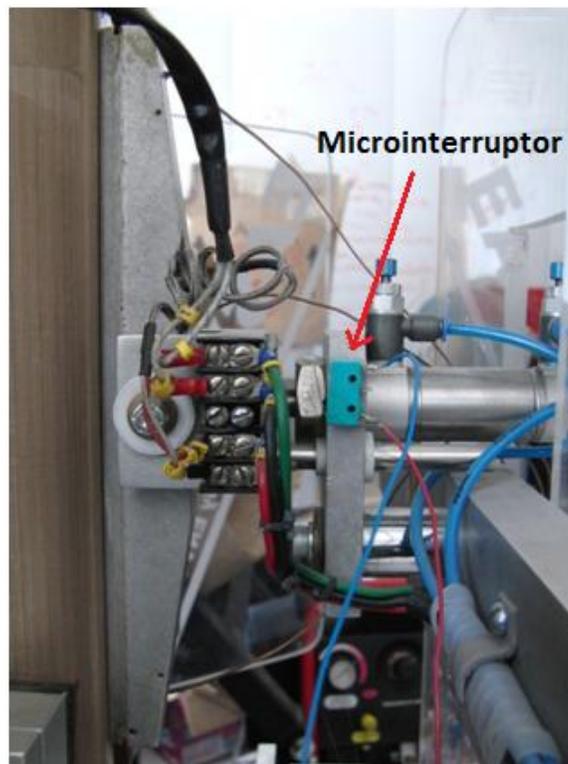


Figura 20. Ubicación del microinterruptor en el sellador vertical

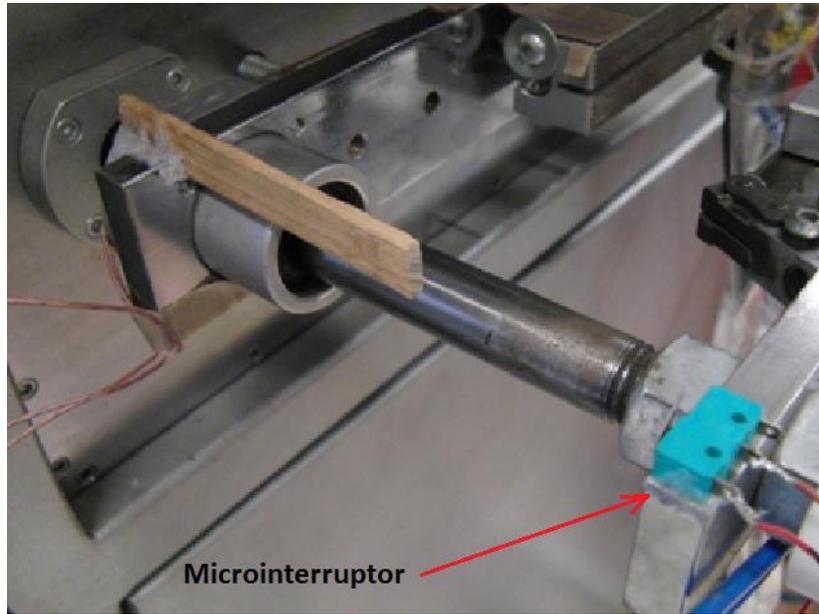


Figura 21. Ubicación del microinterruptor en la mordaza horizontal

7.2. Termopares

Se utilizaron termopares con una alta velocidad de respuesta para detectar las pequeñas variaciones de temperatura que existen durante el proceso de sellado de las bolsas. Se colocaron termopares en la mordaza vertical y en la mordaza horizontal, los termopares se colocaron lo más cerca posible a la superficie de sellado para que la lectura de la temperatura con la cual se está sellando. Se colocaron tres termopares en cada mordaza para poder obtener las variaciones de temperatura lo largo de estas.



Figura 22. Termopar

Las características del termopar son las siguientes:

- Marca: OMEGA
- Rango de temperatura: -73°C a 260°C
- Velocidad de respuesta: <0.1 s
- Tipo E
- Material del parche: Polímero de alta temperatura, y fibra de vidrio con capas de polímero reforzado
- Material del cable: 30 AWG PFA-recubierto

Dimensiones del termopar:

- Largo del parche: 1.0" (25 mm).
- Ancho del parche: 0.375" (9.5 mm).
- Largo del cable: 2m.

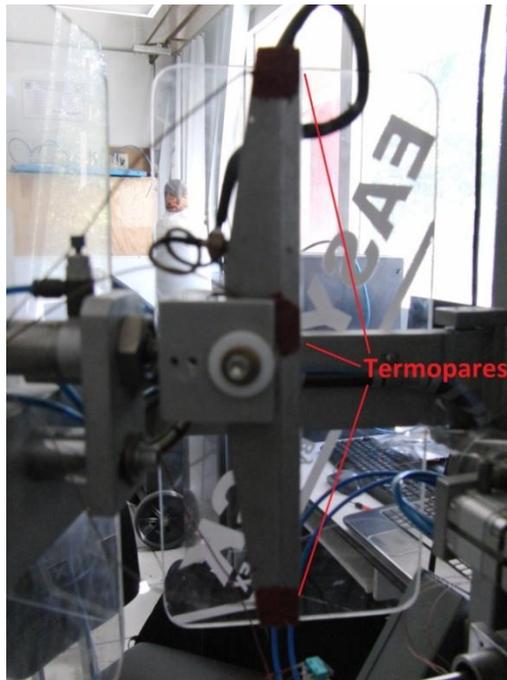


Figura 23. Sellador vertical con termopares instalados

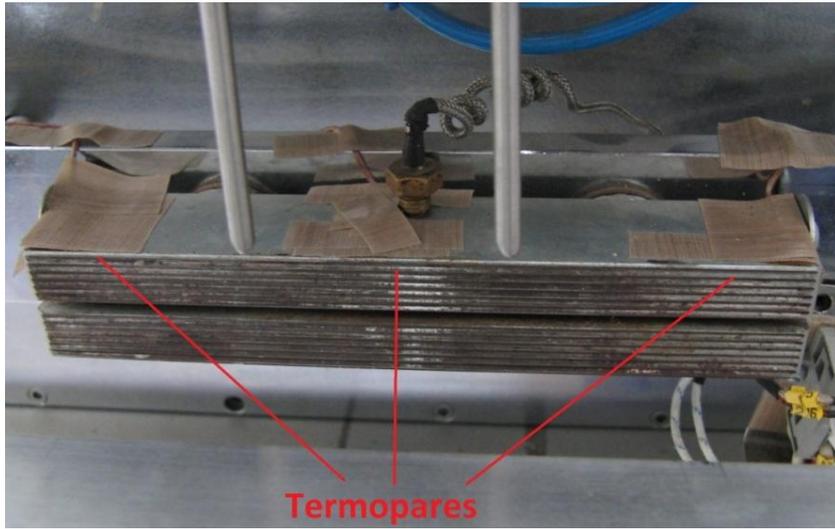


Figura 24. Mordaza horizontal con termopares instalados

8. Realización de pruebas

8.1. Puesta en marcha de la máquina envasadora

Para operar la máquina envasadora vertical, la empresa fabricante de la maquinaria de envasado proporcionó capacitación dentro de las instalaciones de la empresa. Esta capacitación se realizó utilizando la máquina envasadora seleccionada. En la capacitación se vieron los puntos básicos sobre su instalación, puesta en marcha, manejo para los distintos tipos de película y su mantenimiento.

Posteriormente se realizaron las adecuaciones necesarias para el funcionamiento de la máquina y que consistieron en la instalación eléctrica, neumática.

Los ajustes necesarios para la puesta en marcha de la máquina envasadora se realizaron con una película comercial de plástico laminado de 35mil.



Figura 25. Bolsa de película laminada metalizada

8.2. Medición de la distribución de la temperatura en la cara de sellado de las mordazas

Se midió la variación de la temperatura en las caras de sellado de las mordazas para verificar que existiera una variación uniforme. Para la medición de la distribución de temperatura en el área de sellado de las mordazas se utilizó un papel sensible a la temperatura que muestra el perfil de temperatura entre dos superficies en contacto; el papel se torna de color gris/negro al límite inferior del rango de temperatura y desarrolla nivel máximo de color al límite superior del rango de temperatura. Para que exista una buena impresión del papel se requiere de presión entre las dos superficies de contacto.

Las características del sensor son:

- Marca: Thermex
- Rango de temperatura: 90° C a 149° C
- Dimensiones: 280x200mm
- Thickness: 2 mil (0.05 mm):

El procedimiento utilizado para la realización de las pruebas fue el siguiente:

- 1.-Se cortó un tramo de papel del tamaño correspondiente al área de sellado de la mordaza
2. Se colocó el papel dentro de área de sellado de las mordazas
3. Se accionó las mordazas y se remueve el papel expuesto
4. La intensidad del color en el papel es directamente proporcional a la temperatura que fue expuesto

8.2.1. Variación de la temperatura en la cara del sellador vertical

Las condiciones para la realización del experimento fueron las siguientes:

- Presión: 7bar
- Temperatura mordaza: 110 °C
- Temperatura ambiente: 22°C
- Tipo de sensor: Thermex

Como resultado del experimento en la figura 26 se aprecia la impresión en el papel correspondiente a la variación de temperatura en el sellador vertical.



Figura 26. Variación de temperatura en la superficie de sellado del sellador vertical

Utilizando la calibración de color del fabricante se realizó un programa en Matlab; en donde se procesó la imagen escaneada del papel para obtener una imagen donde se puede visualizar más fácilmente la variación de temperatura por medio de colores.

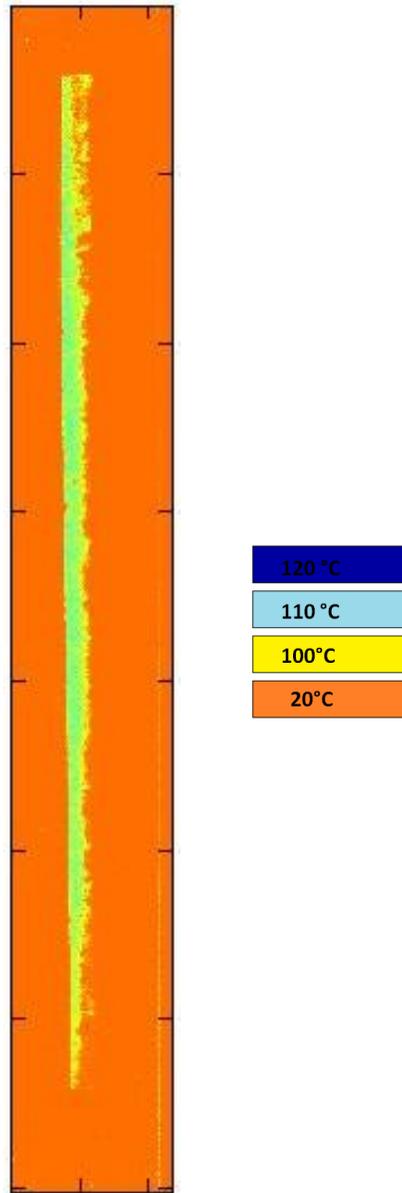


Figura 27. Variación de temperatura por rangos

En la figura 27 se observa que la distribución de temperatura no es completamente uniforme; en los extremo del sellador vertical hay zonas con una diferencia de temperatura de hasta 10°C de variación con respecto a la zona central.

8.2.2. Variación de la temperatura en la cara de la mordaza horizontal

Las condiciones para la realización del experimento fueron las siguientes:

- Presión: 7bar
- Temperatura mordaza: 110 °C
- Temperatura ambiente: 22°C
- Tipo de sensor: Thermex

Como resultado del experimento en la figura 28 se aprecia la impresión en el papel correspondiente a la variación de temperatura en las mordazas horizontales.

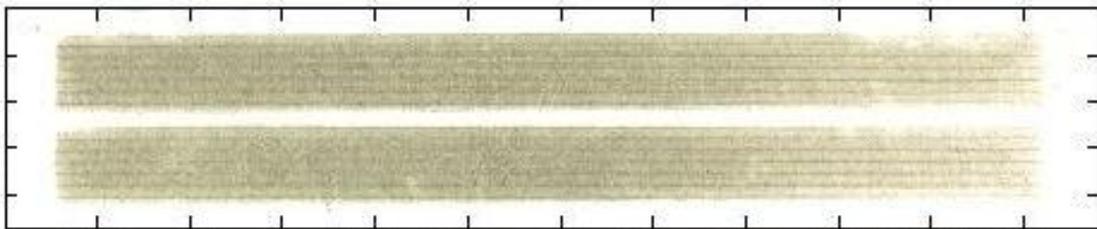


Figura 28. Variación de temperatura en la superficie de sellado de la mordaza horizontal

En la figura 29, se observa que la distribución de temperatura sobre la superficie de sellado de la mordaza no es completamente uniforme y en el extremo derecho se puede apreciar una menor temperatura. Esto es provocado principalmente a que la resistencia eléctrica, encargada de calentar la mordaza, no se calienta de forma uniforme y en el centro de ésta es donde se presenta la mayor temperatura.

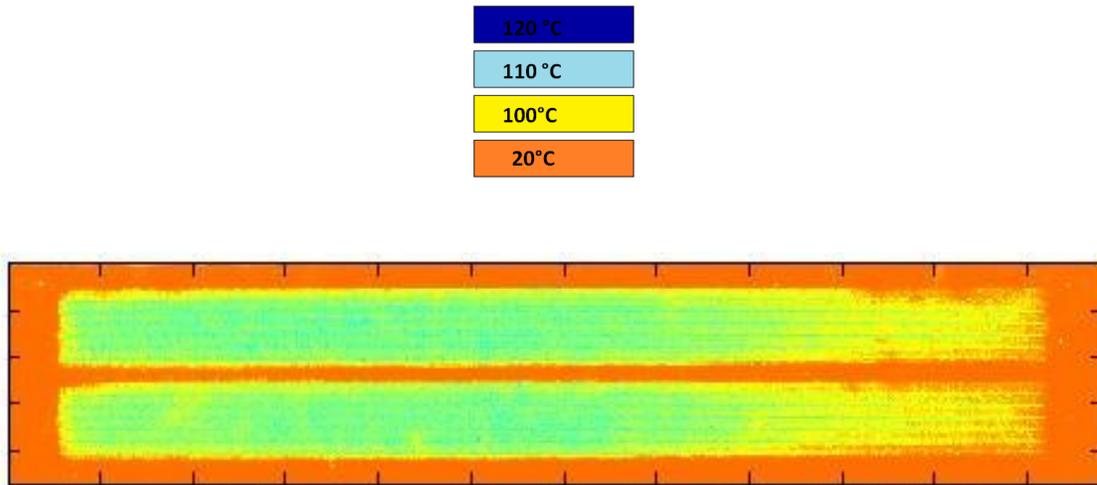


Figura 29. Variación de temperatura por rangos

8.3. Medición de la variación de la presión en la cara de sellado de las mordazas.

Se decidió medir la variación de presión en las caras de sellado de las mordazas para verificar una variación uniforme de presión, para la medición se utilizó una película con base de mylar que contiene una capa de microcapsulas. La aplicación de fuerza en la película causa la rotura de las microcapsulas, lo que produce de forma instantánea y permanente una imagen que corresponde a la variación de presión que existe en el área de contacto de las mordazas.

Procedimiento para la realización de las pruebas:

- 1.-Se corta un área de película donadora y una igual del receptor con las dimensiones de la superficie de las mordazas.
2. Se colocan las dos películas juntas dentro de área de sellado de las mordazas.
3. Se accionan las mordazas y se remueve la película expuesta.
4. La intensidad del color en la película es directamente proporcional a la cantidad de fuerza aplicada.

8.3.1. Medición de la variación de la presión en la mordaza vertical

Las condiciones para la realización del experimento fueron las siguientes:

- Modelo del sensor: Extreme Low
- Dimensiones: (50 x 270 mm)
- Rango de presión: (0.5 – 1.97 kg/cm²)

En la figura 30 se aprecia la impresión en el papel como resultado de la presión ejercida por el sellador vertical.

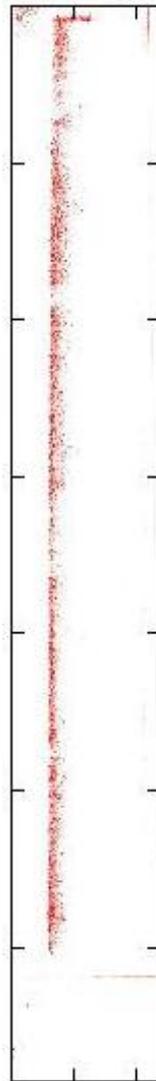


Figura 30. Variación de la presión en la superficie de sellado del sellador vertical

Utilizando la calibración de color del fabricante se realizó un programa en Matlab; en donde se procesó la imagen escaneada del papel para obtener una imagen donde se puede visualizar más fácilmente la variación de presión por medio de colores

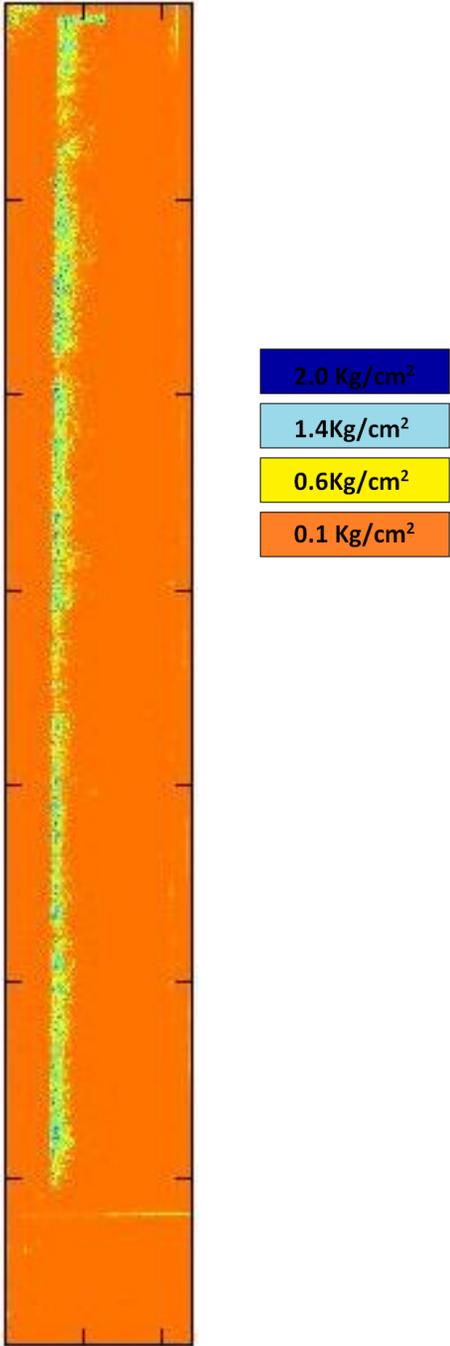


Figura 31. Variación de presión por rangos

En la imagen 31 se observa la variación de presión en el sellador vertical, se aprecia que la mayor presión se encuentra en la parte central del sellador y presenta variaciones de $1.4\text{kg}/\text{cm}^2$.

8.3.2. Medición de la variación de la presión en la mordaza vertical

Las condiciones para la realización del experimento fueron las siguientes:

- Modelo del sensor: Super Low (LLW)
- Dimensiones: (50 x 220 mm)
- Rango de presión: (5 – 25 kg/cm^2)

En la figura 32 se aprecia la impresión en el papel como resultado de la presión ejercida por las mordazas horizontales.

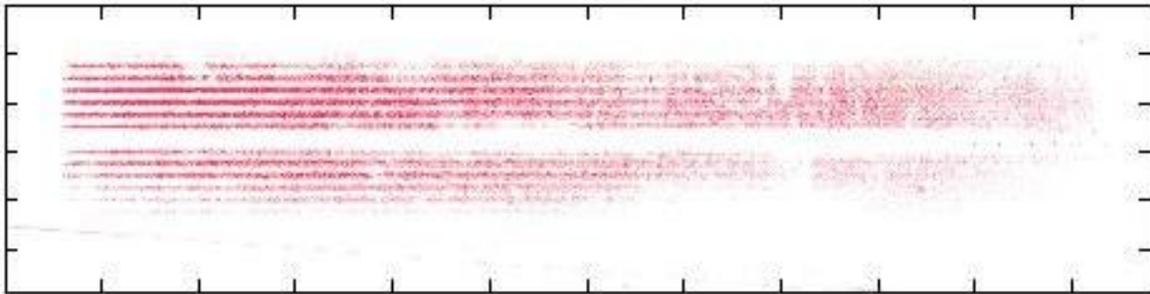


Figura 32. Variación de la presión en la superficie de sellado en la mordaza horizontal

En la imagen 33 se observa la variación de presión en las mordaza horizontales, en esta imagen se puede ver que la presión tiene grandes variaciones a lo largo de la mordaza de hasta $19\text{kg}/\text{cm}^2$ en algunas zonas e inclusive hay zonas donde las mordazas no hacen contacto.

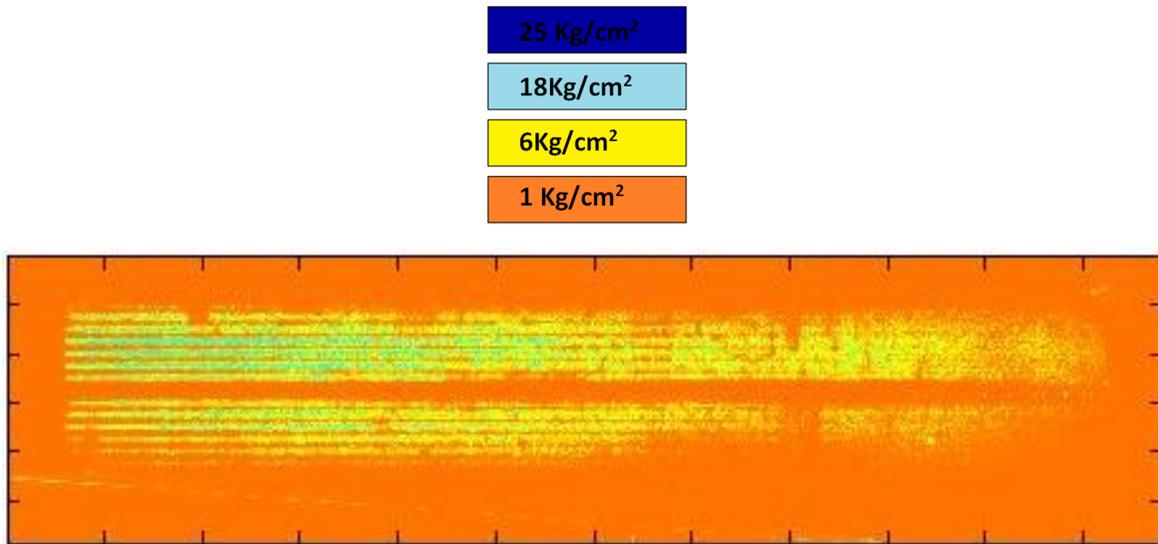


Figura 33. Variación de presión por rangos

8.4. Medición de la temperatura de la superficie de las mordazas con la máquina en marcha

Se realizaron pruebas para medir la variación de la temperatura en tres puntos del sellador vertical y de tres puntos de la mordaza horizontal; esto con el fin de observar el proceso de sellado durante la operación de la máquina con la velocidad de producción normal. Para asegurar un buen registro del proceso el tiempo de muestreo fue de 0.025[s].

Prueba puesta en marcha para el sellador vertical

En la figura 34 se observa el registro de la temperatura en tiempo real de los tres termopares ubicados en el sellador vertical durante un minuto de operación de la maquina envasadora vertical. La curva en color azul corresponde a la temperatura del termopar ubicado en el extremo superior del sellador vertical, la curva en color rojo corresponde a la lectura del termopar ubicado en el centro del sellador vertical y por último la curva de color verde corresponde a la lectura de la temperatura del termopar ubicado en el extremo inferior del sellador vertical.

Se puede apreciar que la curva correspondiente a la lectura del termopar del centro de la mordaza es la que tiene mayor variación de temperatura; esta variación de temperatura corresponde con el ciclo de sellado de las bolsas.

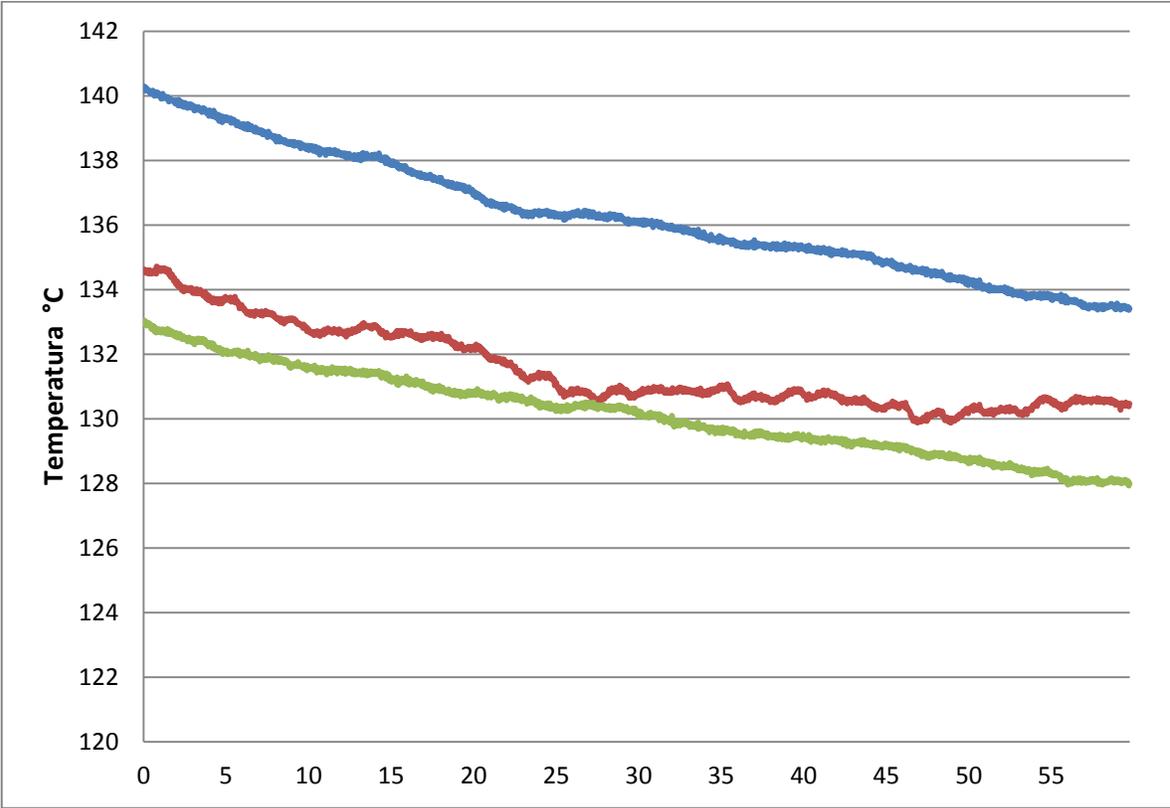


Figura 34. Grafica de la temperatura sellador vertical vs. tiempo (60 s)

Prueba puesta en marcha mordaza horizontal

En la figura 35 se observa el registro de la temperatura en tiempo real de los tres termopares ubicados en la mordaza horizontal durante un minuto de operación de la máquina envasadora vertical. La curva en color azul corresponde a la temperatura del termopar ubicado en el extremo izquierdo de la mordaza, la curva en color rojo corresponde a la lectura del termopar ubicado en el centro de la mordaza y por último la curva de color verde corresponde a la lectura de la temperatura del termopar ubicado en el extremo derecho de la mordaza.

Se puede apreciar que la curva correspondiente a la lectura del termopar del centro de la mordaza es la que tiene mayor variación de temperatura; esta variación de temperatura corresponde al periodo de sellado de la bolsa.

En esta gráfica también se observa que la lectura de la temperatura inicial del termopar de la parte central de la mordaza empieza a descender con el sellado de cada bolsa.

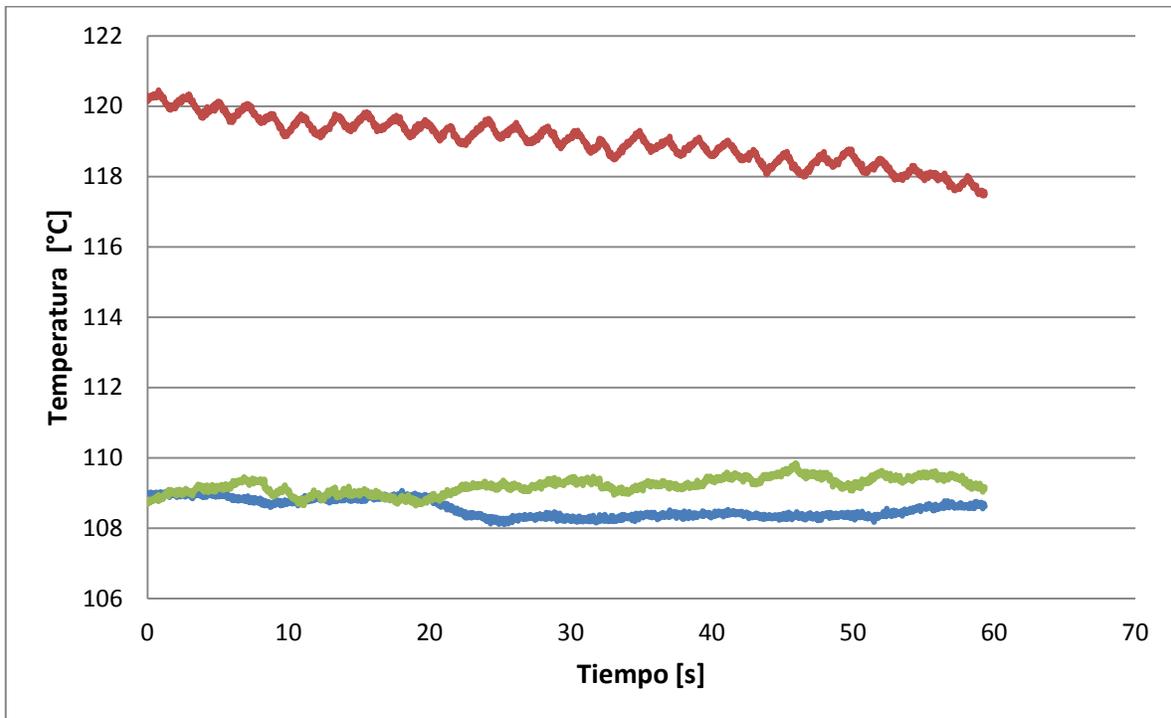


Figura 35. Grafica de la temperatura de las mordazas horizontales vs. tiempo (60s)

Como en la figura 35, en la figura 36 está graficada las lecturas de los termopares de la mordaza horizontal, pero con la diferencia de que la duración de la prueba es de tres minutos. En esta gráfica se aprecia que las tres lecturas mantienen una diferencia constante entre ellas y con respecto al tiempo. También en esta gráfica se encuentra una diferencia de lo observado en la gráfica 35, donde se veía que la temperatura de la parte central de mordaza iba disminuyendo con el tiempo; en esta gráfica la temperatura de la región central vuelve a subir y bajar con una variación pequeña. Esta variación se debe al encendido y apagado en el control de la temperatura de la mordaza.

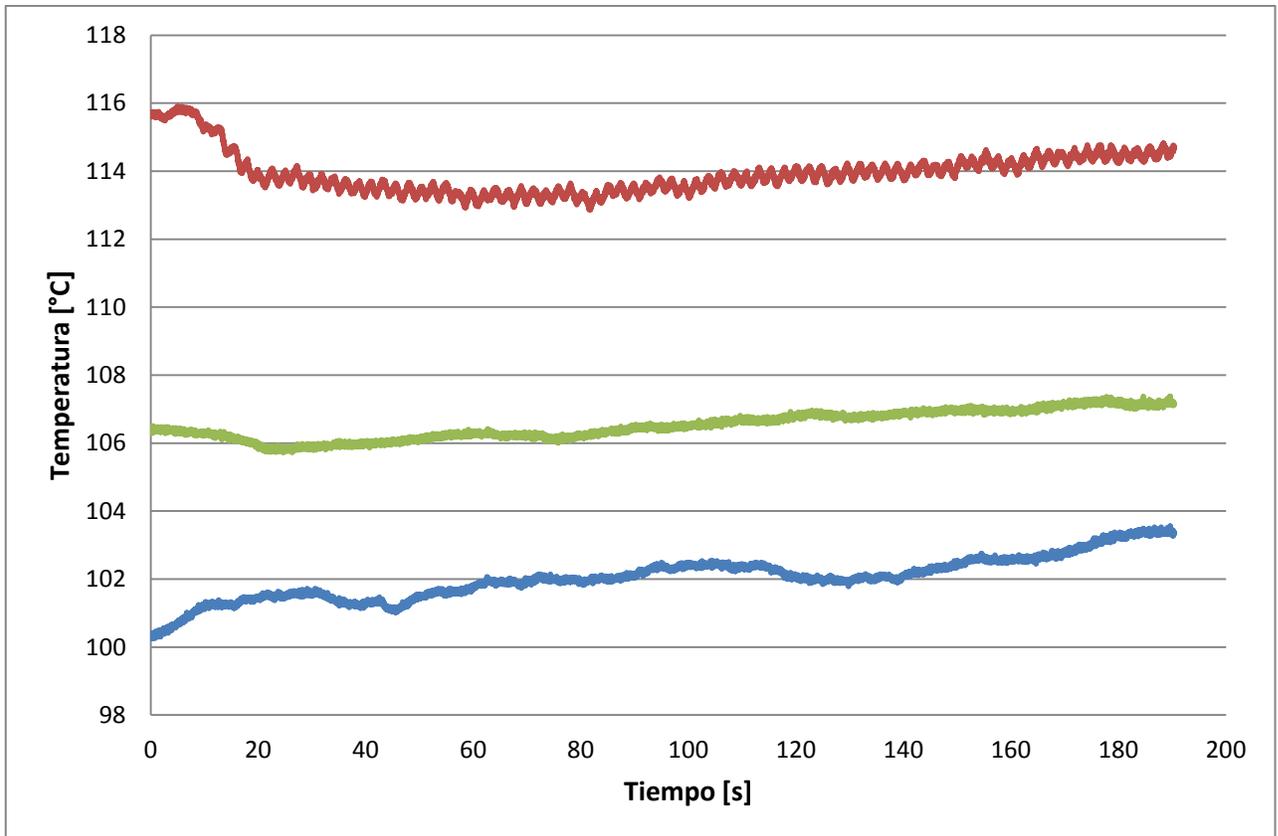


Figura 36. Grafica de la temperatura de las mordazas horizontales vs. tiempo (180s)

8.5. Sellado del empaque flexible

Debido a cuestiones presupuestales no fue posible adquirir todos los sensores necesarios para tener un control completo de todos los parámetros involucrados en el proceso de sellado; pero como se vio en los antecedentes, el parámetro más importante en el sellado de películas plásticas por sellado caliente es la temperatura de la superficie de adhesión; r. Se realizaron bolsas de prueba con la máquina trabajando con la velocidad normal de producción, manteniendo fijos los parámetros de tiempo y presión. Las pruebas consistieron en realizar bolsas durante un minuto variando la temperatura 2°C entre cada experimento; teniendo como temperatura inicial, la temperatura a la cual se empezó a unir la película y posteriormente incrementando la temperatura hasta que existiera una deformación importante o derretimiento de la película.

8.5.1. Obtención de la temperatura de sellado vertical

Temperatura ambiente 21°C

Presión neumática: 8kg/cm²

Tiempo de cierre: 1s

Procedimiento de la prueba

1. Formación de un tubo continuo de película plástica utilizando solamente la mordaza vertical
2. Pruebas con incrementos de temperatura de 2°C
3. Se cortó un segmento de 15cm del tubo
4. Se le aplica una fuerza de tensión al sellado hasta que este se despegue o rompa

A continuación se describen las pruebas más representativas del experimento

Temperatura 85°C

No existe adhesión en el área de sellado. No se obtiene formación de tubo



Figura 37. Segmento de tubo de película plástica T=85°C

Temperatura 95°C

A 95°C ya se obtiene un sellado de tipo interfacial con lo que permite la formación del tubo de película plástica. El sellado presenta una mayor área de adhesión pero de forma discontinua por lo que todavía existen zonas sin unirse.



Figura 38. Segmento de tubo de película plástica T=95°C

Temperatura 105°C

A 105°C se obtiene un sellado de tipo interfacial constante aunque todavía presenta discontinuidades en algunas zonas.



Figura 39. Segmento de tubo de película plástica T=105°C

Temperatura 120°C

En 120°C se obtiene un sellado de tipo interfacial con mayor area de película adherida y de manera continua. Este presenta mayor resistencia al despegamiento.

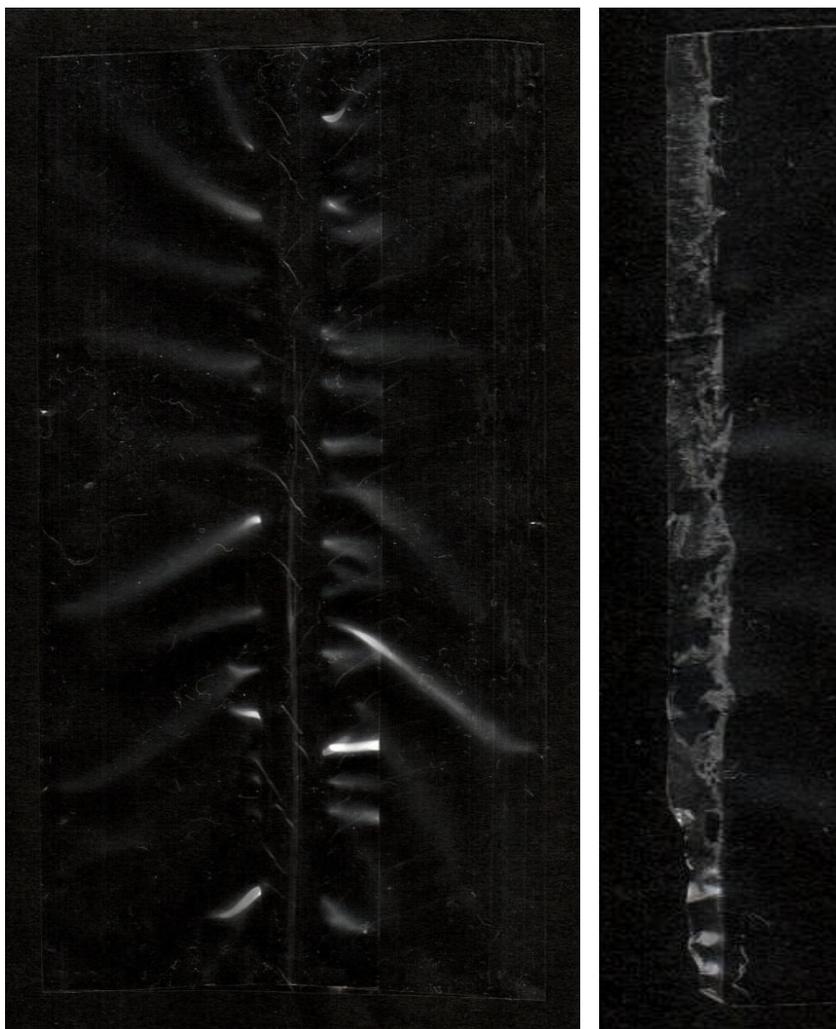


Figura 40. Segmento de tubo de película plástica T=120°C

Temperatura 135°C

En 135°C se obtiene un sellado interfacial con mas ondulaciones al lo largo del sellado, lo que provoca que el material que se encuentra proximo al area de sellado se arrugue. Al despegarse el sellado se encuentra una mayor cantidad de material adherido.



Figura 41. Segmento de tubo de película plástica T=135°C

Temperatura 145°C

A 145°C ya se obtiene un sellado de tipo *tear seal* o de fusión, el material proximo al área de sellado presenta mas arrugas y el material en a rea de sellado se deforma. Al despegar el sellado se rompe la pelicula en algunas zonas donde el material se encuentra fusionado.

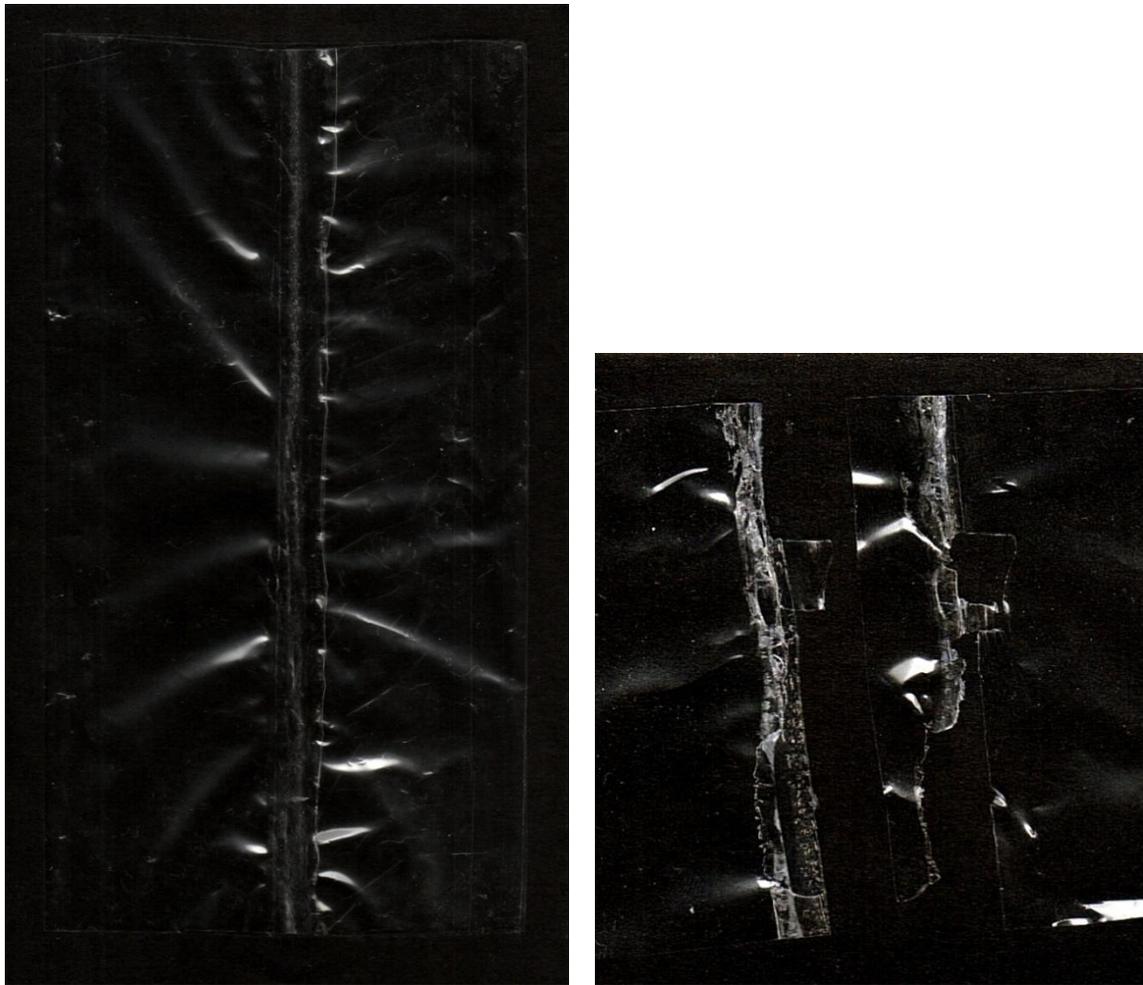


Figura 42. Segmento de tubo de película plástica T=145°C

Temperatura 160°C

En 160°C el sellado presenta fusión del material y es discontinuo en algunas zonas donde se han formado aberturas. Existe extrusión del material en el sellado.

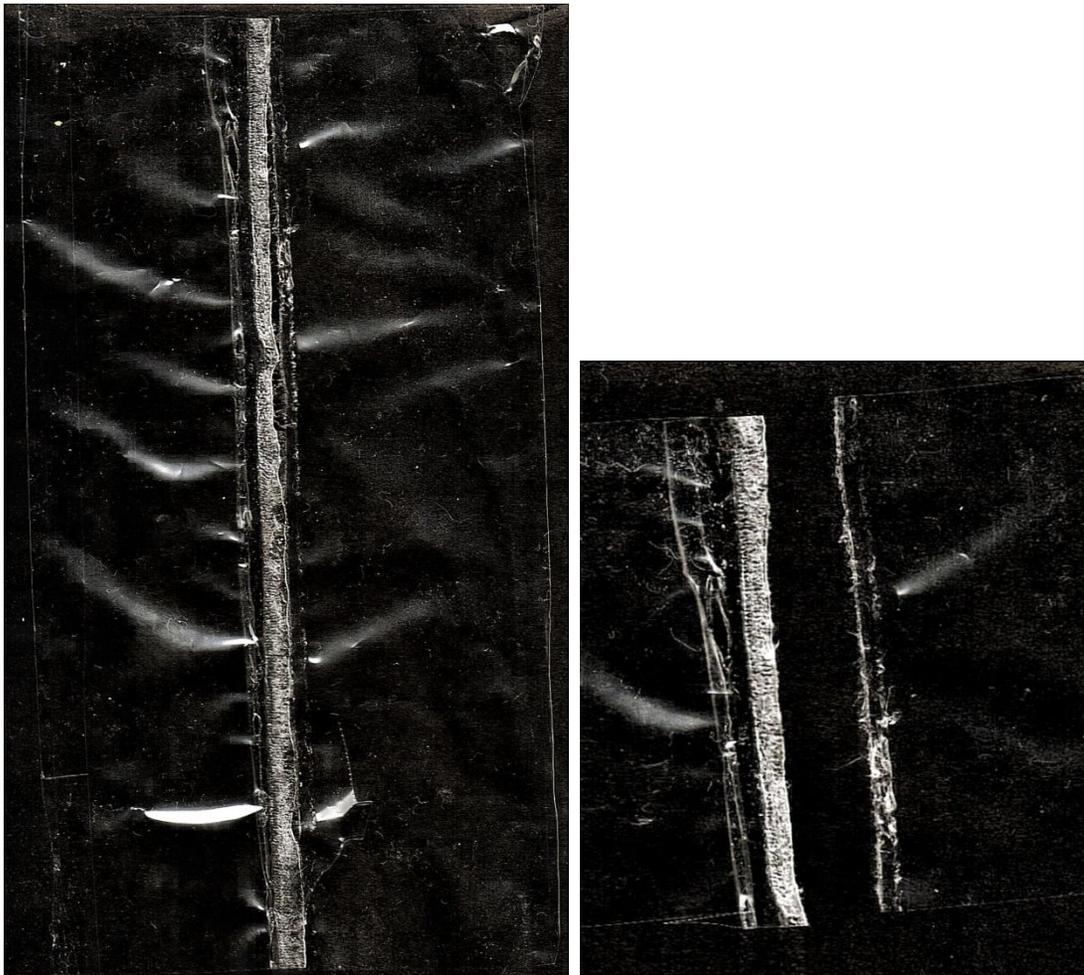


Figura 43. Segmento de tubo de película plástica T=160°C

8.5.2. Obtención de la temperatura del sellado horizontal

Temperatura 70°C

Con la morzada en 70°C no se obtiene sellado en la película plástica



Figura 44. Sellado horizontal T=70°C

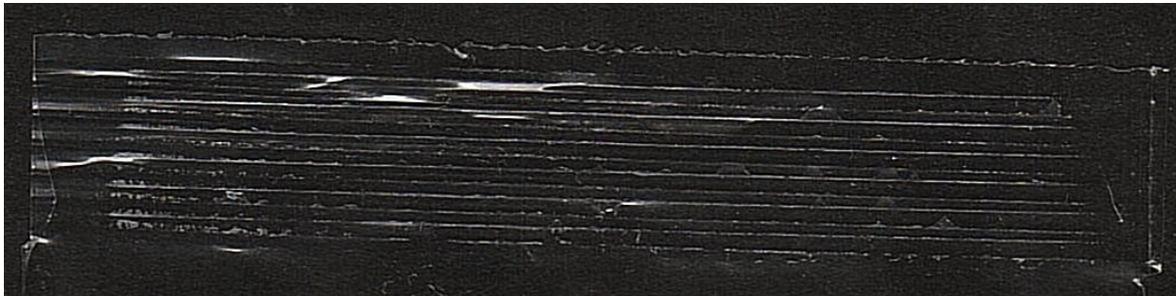


Figura 45. Acercamiento sellado horizontal T=70°C

Temperatura 80°C

En 80°C ya se obtiene un sellado de tipo interfacial ó *peel seal*, existe una buena área de adhesión pero presenta algunas zonas sin adherir.

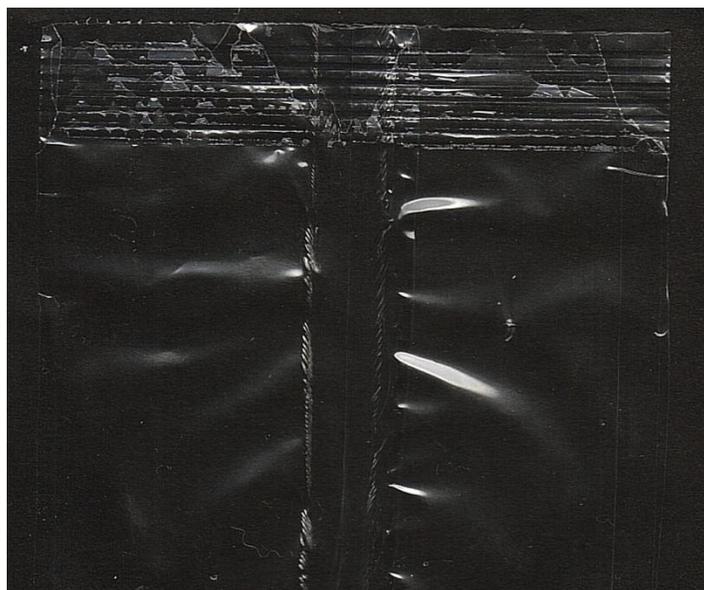


Figura 46. Sellado horizontal T=80°C

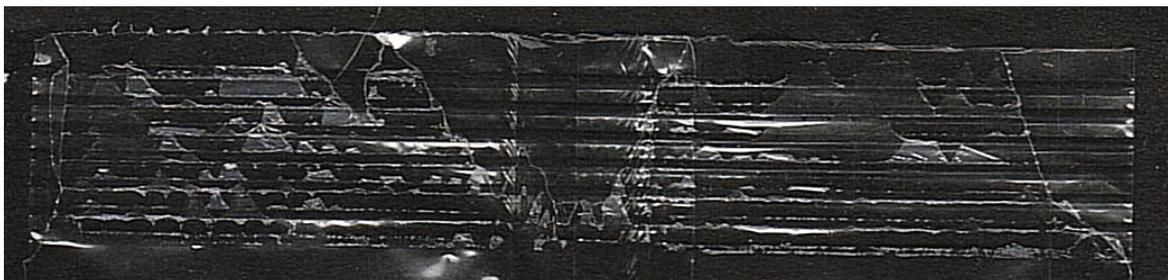


Figura 47. Acercamiento sellado horizontal T=80°C

Temperatura 90°C

A 90°C ya se obtiene una área de sellado mayor y continua. Al despejar el sellado algunas partes de material se han quedado adheridas



Figura 48. Sellado horizontal T=90°C

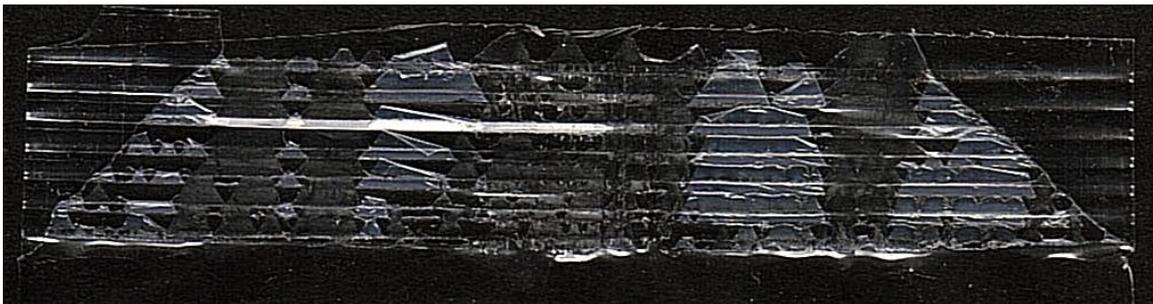


Figura 49. Acercamiento sellado horizontal T=90°C

Temperatura 100°C

En 100°C ya se obtiene un sellado con zonas que presentan fusión del material, al despegarse el sellado se desprende menor material.

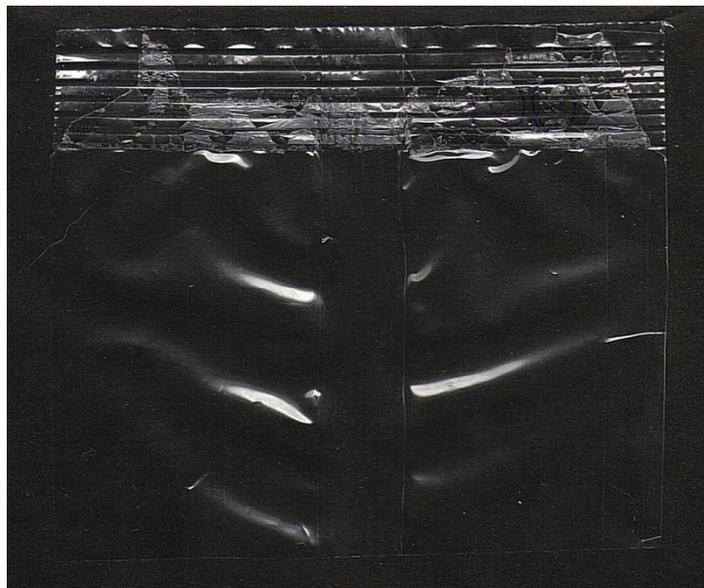


Figura 50. Sellado horizontal T=100°C

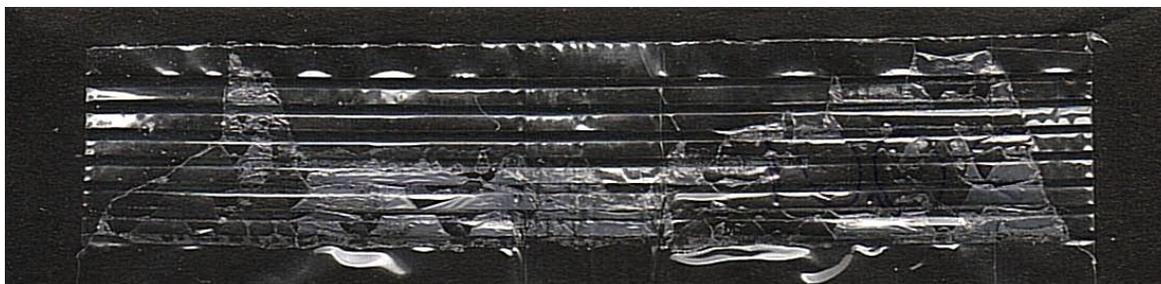


Figura 51. Acercamiento sellado horizontal T=100°C

Temperatura 110°C

En 110°C ya se obtiene un sellado con zonas que presentan fusión del material, se presenta una mejor uniformidad en la unión de las dos películas.

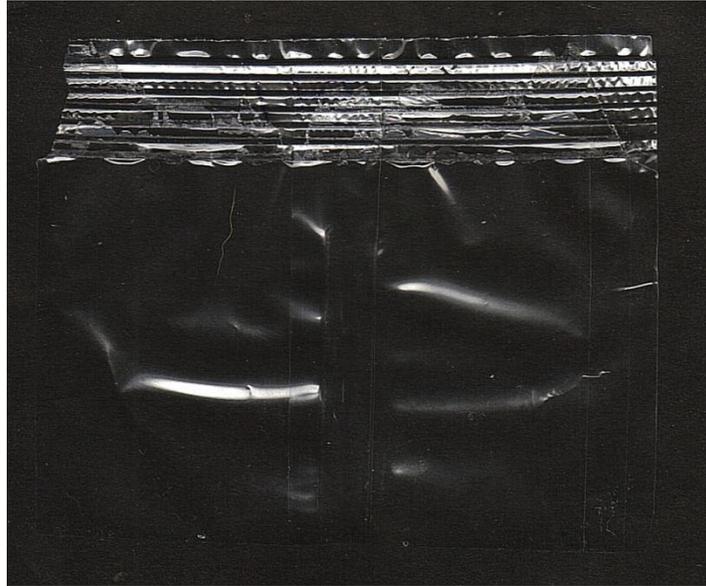


Figura 52. Sellado horizontal T=110°C



Figura 53. Acercamiento sellado horizontal T=110°C

Temperatura 120°C

En 120°C la mayor parte del sellado es de tipo Tear seal o sellado de fusión, el sellado no se despega sino que se rompe en la zona proxima al área del sellado. El área del sellado presenta una ligera ondulación.

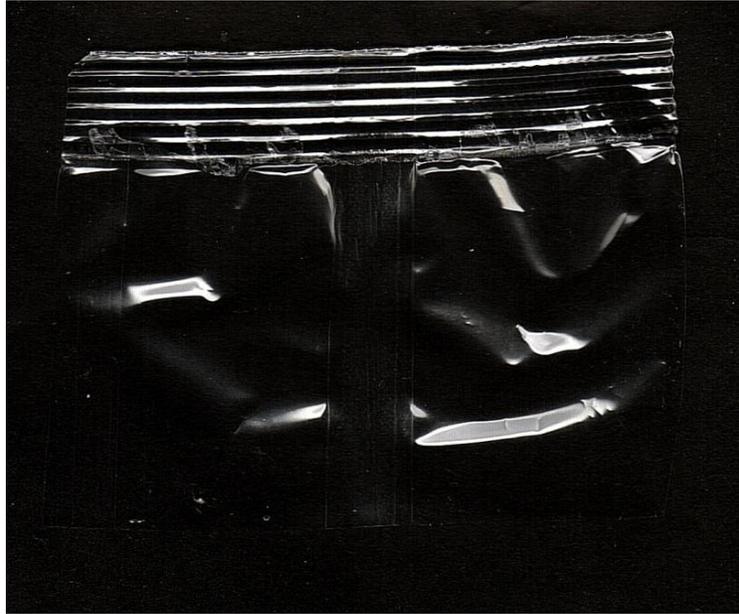


Figura 54. Sellado horizontal T=120°C

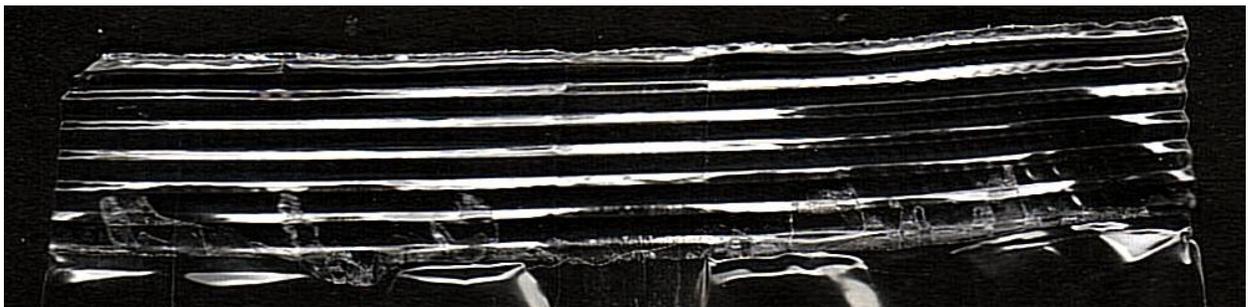


Figura 55. Acercamiento sellado horizontal T=120°C

Temperatura 130°C

En 130°C ya se obtiene el área del sellado el material se encuentra totalmente fusionado. Existe una deformación importante de la bolsa. }

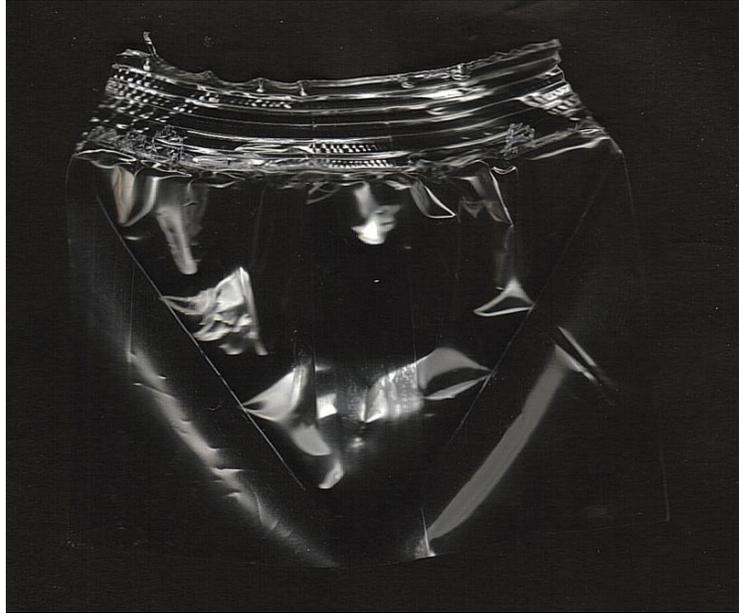


Figura 56. Sellado horizontal T=130°C

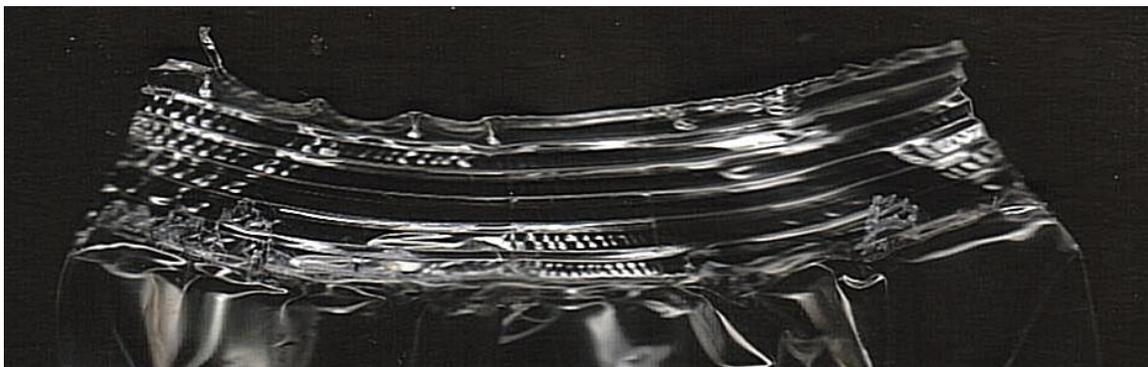


Figura 57. Acercamiento sellado horizontal T=130°C

Como resultado de las pruebas en el sellado vertical y horizontal se obtuvieron los rangos de temperaturas en donde se puede obtener un área de adhesión continua, una buena resistencia y evitando defectos en el área de sellado. Estos rangos de temperatura también consideran una buena estética en las bolsas.

- Temperatura sellado vertical: 125°C-135°C
- Temperatura sellado horizontal: 105°C-120°C

8.6. Sellado dispositivo resellable

Preparación de las piezas



Figura 58. Pieza inyectada en PLA

La piezas utilizadas para las pruebas, fueron proporcionadas por el equipo encargado de la inyección del plástico y la fabricación de los moldes, las piezas están realizadas por medio de inyección de PLA con un molde existente de una perilla de estufa, se optó por esta pieza dado que su área y forma de la base son aproximadas al dispositivo resellable diseñado.

A estas piezas se les realizó operaciones de maquinado para poderse utilizar de mejor forma en las pruebas y asemejarse al dispositivo resellable diseñado



Figura 59. Diferentes vistas de la pieza maquinada

Fig. Pieza maquinada

Dimensiones:

Material: PLA

8.6.1. Pruebas con herramienta caliente

Se utilizaron mordazas planas para realizar pruebas de sellado del dispositivo resellable con la película plástica. Las pruebas se realizaron con películas con espesor de 30 y 75mil, que comprenden el rango comercial de los empaques comerciales para uso domestico.

Se realizaron las pruebas de sellado comenzando con una temperatura de 70°C y se fue incrementando en 10°C. Las pruebas que a continuación se describen fueron las que lograron un sellado de mayor calidad.

Prueba sellado para la primera muestra de película PLA

Espesor de la película: 30mil

Temperatura mordaza: 120°C

Área película: 200 x 200 mm



Figura 60. Vista superior

En la figura 60 se muestra la pieza de PLA adherida a la película plástica de 30mil.



Figura 61. Acercamiento del área de sellado

En la figura 61 se muestra con mejor detalle el área de sellado. Se puede apreciar que existe extrusión de material fuera del área de sellado y perturbación de la película alrededor del área de sellado.

Prueba sellado para la segunda muestra de película PLA

Espesor de la película: 75mil

Temperatura mordaza: 120°C

Área película: 200 x 200 mm

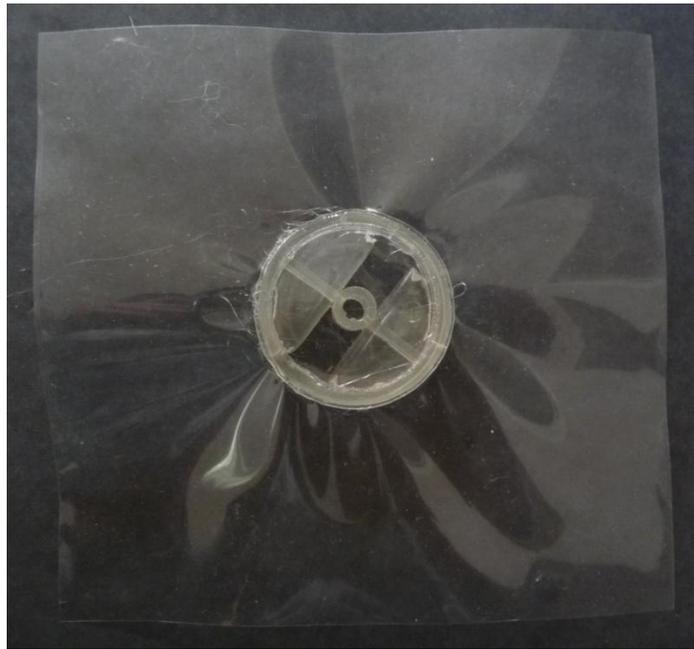


Figura 62. Vista superior

En la figura 62 se muestra la pieza de PLA adherida a la película plástica de 75mil.

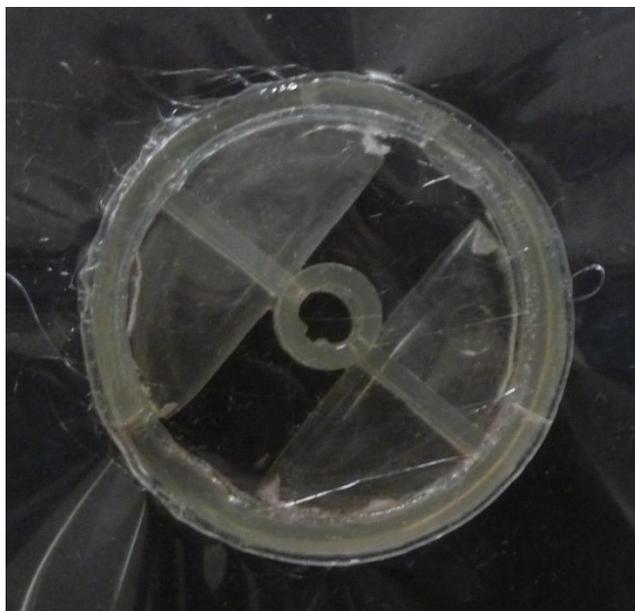


Figura 63. Acercamiento del área de sellado

En la figura 63 se muestra con mejor detalle el área de sellado. Se puede apreciar que existe extrusión de material fuera del área de sellado y perturbación de la película alrededor del área de sellado muy semejante a lo ocurrido con la película de 30mil. El sellado es continuo. En la periferia del área de sellado se formaron algunos hilos de material, provocados por la adherencia de la pieza de PLA caliente con las mordazas.

Diseño de mordazas para el dispositivo resellable

Se diseñaron mordazas para el dispositivo resellable de PLA para hacer pruebas con sellado caliente en la máquina envasadora cuando se tuviera fabricado el dispositivo resellable en PLA, el diseño de las mordazas se realizó en paralelo con el equipo de diseño del dispositivo resellable. El diseño de las mordazas está diseñado para acoplarse en la máquina envasadora utilizada en la pruebas de la parte flexible del empaque.

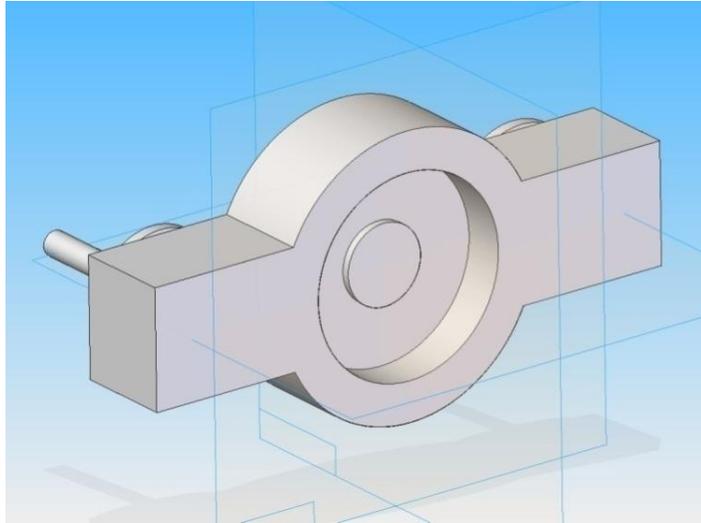


Figura 64. Vista isométrica mordaza anterior

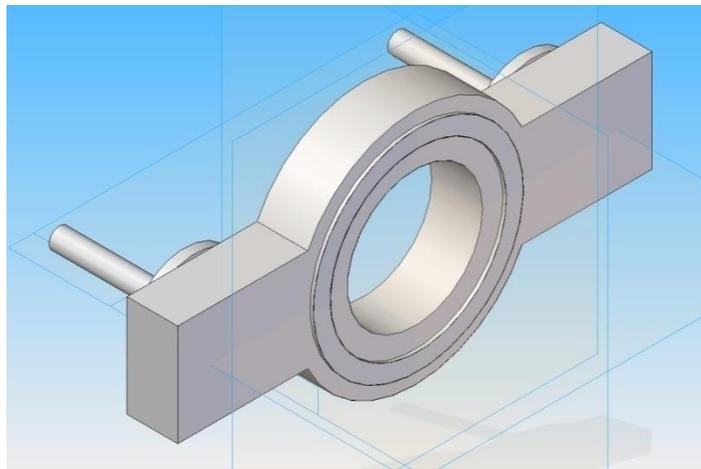


Figura 65. Vista isométrica mordaza posterior

Manufactura de las mordazas

Una empresa especializada en la fabricación de mordazas realizó la manufactura de las mordazas.



Figura 66. Vista superior mordaza anterior



Figura 67. Vista isométrica mordaza anterior



Figura 68. Vista superior mordaza posterior

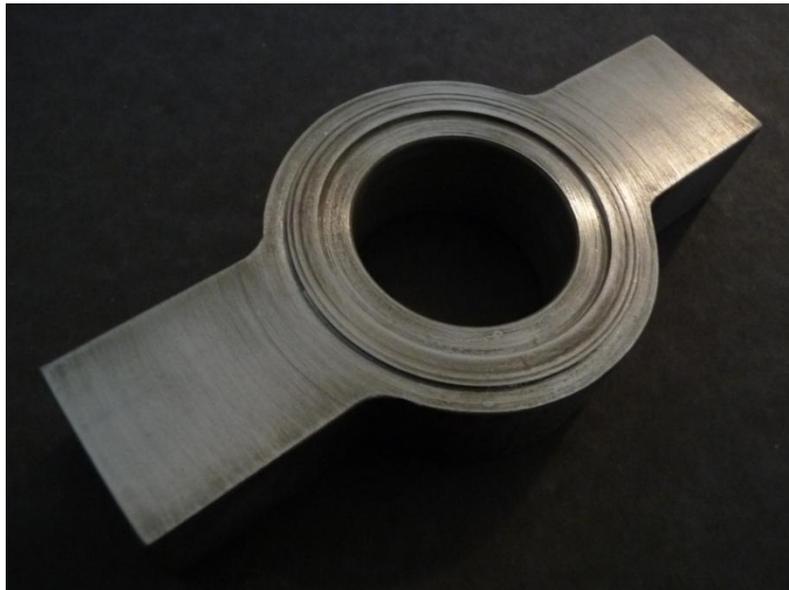


Figura 69. Vista isométrica mordaza posterior

8.6.2. Pruebas ultrasonido

Las pruebas se realizaron con ayuda de un especialista de una empresa dedicada a la venta, reparación y diseño de equipos de ultrasonido, las pruebas tenían el objetivo de probar el sellado por medio de ultrasonido del dispositivo resellable y la parte de película plástica del empaque, se realizó una búsqueda de información sobre esto y se obtuvo poca información, por lo que se decidió hacer las pruebas para verificar su potencial.

Las ventajas que presenta el sellado con ultrasonido son una mayor velocidad de sellado, sellado intermolecular, menor perturbación al material, y una mayor velocidad de producción debido a que el material no es calentado, a diferencia de lo que sucede en el sellado caliente donde para obtener la resistencia final del sellado es necesario que se enfríe.

Las pruebas fueron hechas con un equipo de la marca Branson modelo 2000x con las siguientes características



Figura 70. Equipo de sellado con ultrasonido

Características del equipo utilizado:

- Frecuencia de operación: 20 Khz
- Potencia: 2000 Watts
- Voltaje: 200-240 AC
- Consumo máximo de corriente: 14 A
- Max. Cycle rate: 80 cpm
- Longitud de carrera del cilindro neumático: 101.6mm
- Máxima fuerza de fijación en la pieza: 578N.
- Requerimiento neumático: 130-690 Kpa

Realización de pruebas de sellado con ultrasonido

El procedimiento para la realización de las pruebas comenzó con un ajuste preliminar del equipo de ultrasonido con base en la experiencia del especialista de la empresa en donde se realizaron las pruebas. Este ajuste consistió en aplicar presión a las piezas a sellar por medio del ajuste de la presión en el cilindro neumático que sujeta al sonotrodo. Esta presión sirve para evitar movimiento de las piezas debido a la vibración. El siguiente ajuste realizado fue para determinar la profundidad que iba a descender el sonotrodo sobre la pieza de PLA. Los siguientes ajustes se realizaron ya efectuando pruebas de sellado sobre las piezas de PLA. Estos ajustes involucraban la potencia, tiempo de sellado y tiempo de presión.

En la figura 70 se puede apreciar el sellado con ultrasonido de la película de 30 mil. Como resultado de este sellado se tiene una perfecta adhesión entre la pieza rígida de PLA y la película plástica, el sellado es continuo y homogéneo a lo largo de la base del dispositivo rígido. El sellado presenta una excelente presentación en cuanto estética, dado que existe una cantidad muy pequeña de material extruido fuera del área de sellado.

Las condiciones con las que se realizaron las pruebas fueron las siguientes:

- Potencia del equipo: 50%
- Tiempo de sellado: 0.5s
- Tiempo de presión: 0.5s
- Amplitud: 30mil
- Presión del cilindro neumático: 300N
- Material de la película: PLA
- Espesores de las película utilizadas: 30mil y 75mil.



Figura 71. Sellado en película de 30mil



Figura 72. Sellado en película de 75mil

Como resultado de las pruebas con ultrasonido, se puede decir que es una tecnología que presenta características muy favorables para el sellado de piezas de PLA. Algunas de las características son: una mayor velocidad de sellado comparado con las piezas selladas y la una mejor calidad del sellado .En todas las pruebas realizadas, el sellado obtenido es de forma continua y con una perfecta integración entre los dos materiales.

8.6.3. Modificación al dispositivo resellable

Al dispositivo resellable diseñado por el equipo de diseño se le realizó una modificación en el área de la base para facilitar y hacer más eficiente el sellado por medio de ultrasonido; este cambio consistió en agregar concentradores de energía. El concentrador de energía es material de aporte en alguna de las superficies de la unión; que tiene como característica tener perfil triangular. La función del concentrador de energía es concentrar la energía para iniciar rápidamente el ablandamiento y derretimiento de la superficie de unión.

La fórmula utilizada para diseñar los directores de energía fue proporcionada por el fabricante de equipos de ultrasonido.

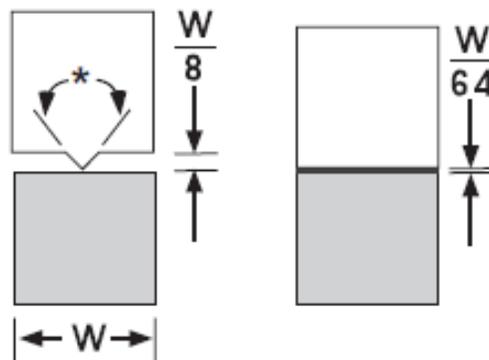


Figura 73. Fórmula para los directores de energía

Donde W es el ancho es el ancho de la pieza

A sugerencia del especialista de la empresa donde se realizaron las pruebas previas de ultrasonido, se realizaron los concentradores de energía de forma que fueran dos anillos concéntricos, esto con la función de lograr hermeticidad en área de sellado.

La figura 74 muestra un corte transversal del dispositivo resellable, en donde se aprecia el perfil de los directores de energía. Los directores de energía no son perfectamente triangulares debido a que las herramientas de corte para la manufactura del molde no lo permiten.

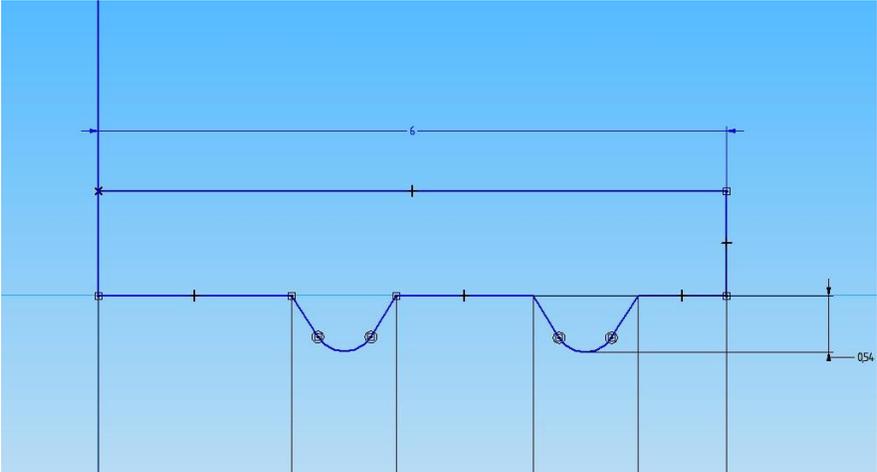


Figura 74. Corte transversal del faldón del dispositivo resellable

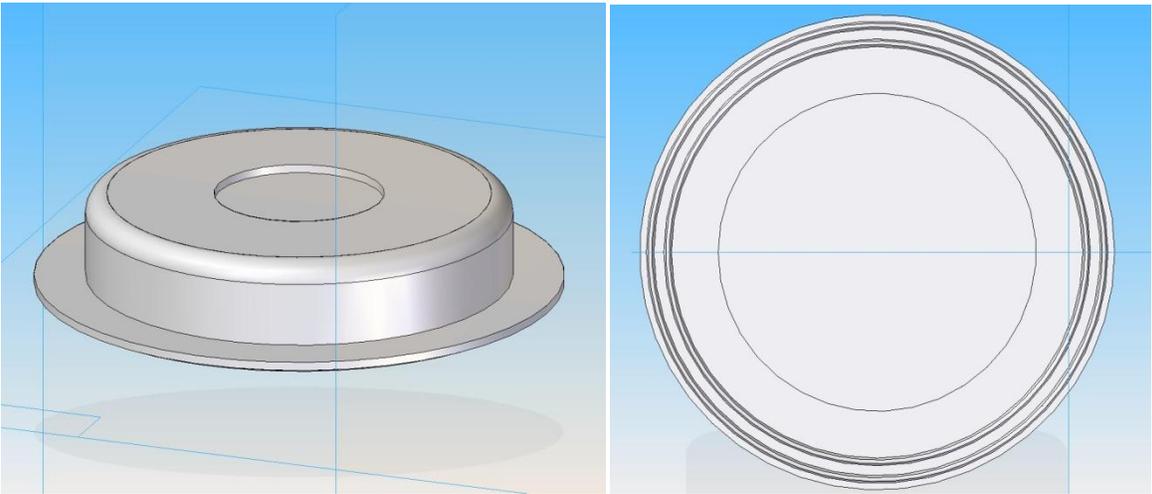


Figura 75. Base del dispositivo con los anillos concentradores de energía

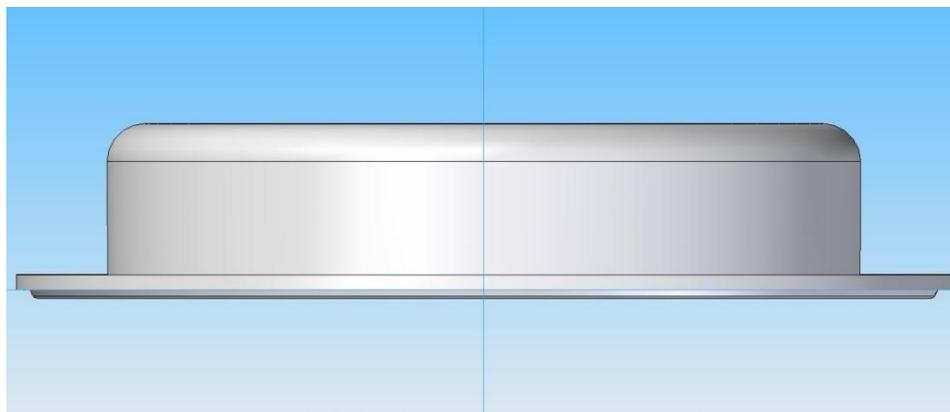


Figura 76. Vista lateral del dispositivo

9. Trabajo futuro

- Realizar pruebas de sellado caliente con el dispositivo resellable de PLA y la película plástica de PLA.
- Instrumentar la máquina envasadora vertical con los sensores faltantes
- Diseñar metodologías para la automatización de la obtención de los parámetros de sellado de la película plástica
- Diseñar pruebas para detectar defectos en los sellados
- Seleccionar resistencias eléctricas que tengan calentamiento uniforme

10. Conclusiones

Se propusieron 3 conceptos de solución para obtención de los principales parámetros de sellado de la película plástica biodegradable. De estos tres conceptos se seleccionó la como la mejor opción instrumentación de maquina envasadora vertical, debido a que presenta varias ventajas como por ejemplo que los parámetros de sellado, (temperatura de sellado, tiempo y presión de cierre de las mordazas) encontrados se pueden implementar directamente en otras máquinas envasadoras verticales y se disminuye el tiempo de ajustes.

Debido a una reducción en el presupuesto inicial no fue posible adquirir todo el equipo necesario para instrumentación completa de la maquina, es por eso que se limito de los parámetros de sellado a encontrar a la temperatura de sellado para la película plástica biodegradable.

Para la obtención de los parámetros de sellado del dispositivo resellable, se buscó cual era el estado del arte en el sellado de plásticos para envase y embalaje, para posteriormente seleccionar tecnologías para realizar las pruebas de unión. Las tecnologías seleccionadas fueron el sellado por herramienta caliente y el sellado por ultrasonido, con ambas tecnologías realizaron pruebas para obtener los parámetros de sellado sobre piezas rígidas de PLA que pueden ser utilizadas para obtener los parámetros de sellado del dispositivo en cuanto se encuentre se tenga disponibilidad del dispositivo resellable.

Se identificó que se necesita mejorar el método de control de la temperatura en el área de sellado para evitar variaciones en la temperatura y por lo tanto en la calidad del sellado del empaque.

Las metodologías para la realización de pruebas sellado en películas plásticas expuestas en las normas de la ASTM, consideran parcialmente o ignoran algunos factores de la producción real; como son la velocidad de producción, el tipo de producto a envasar, el control de temperatura de la superficie de sellado, etc.

También es importante señalar la necesidad de diseñar nuevas metodologías para la realización de pruebas; en donde se pueda identificar los defectos que puedan existir

dentro del área de sellado, como pueden ser perforaciones o *polyballs*. Dado que la mayoría de las pruebas para sellado ignoran estos defectos y justifican la calidad de un sello principalmente por su resistencia a la tracción.

Se observó que en la industria del empaque y embalaje existen muchas posibilidades de realizar innovaciones en el diseño de empaques y equipos de sellado y envasado.

Se verificó la calidad de las operaciones de la máquina envasadora como uno de los resultados de las pruebas realizadas para la obtención de los parámetros de sellado de la parte flexible del envase.

A lo largo del proyecto se tuvo la oportunidad de tener contacto con diferentes proveedores de sensores y de materiales tanto nacionales como internacionales

Fue muy enriquecedora la experiencia de asistir a las convenciones y exposiciones, porque se obtuvo un contacto más cercano con empresarios y líderes del sector de envase y embalaje; teniendo como objetivo principal conocer la situación en México de los plásticos biodegradables y su utilización en empaques y embalajes.

11. Bibliografía

Borja, V., Ramírez, A.C., Espinosa, A. (2007). *Concepto de dispositivo de colocación de cierres de plástico. Etapa 2, Diseño conceptual del cierre, Reporte final*. Presentado a Sociedad Industrial Mexicana,

Bustamante Borraro, René (2007). *Diseño conceptual de un elemento de cierre para empaques de plástico*. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Coles Richard, McDowell Derek, Kirwan Mark J. (2003). *Food Packaging Technology (Sheffield Packaging Technology)*.EE.UU. Blackwell Publications.

De León Munguía Norma Vanessa, Domínguez Avendaño René Fermín, Rojas Lord Francisco Javier, Sánchez Guzmán Juan Raúl (2007). *Diseño conceptual para dispositivo de colocación de elementos resellables*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM.

ENVAFLEX. *Manual de operación Easy Pack V-1250-1521 (ASE)*

Free Patents Online. Search Patents. [Online]. Disponible en: <http://www.freepatentsonline.com/> [Fecha de acceso: Febrero de 2011].

Morris Alan S. (2001) *.Measurement and Instrumentation Principles*, 3ra. ed. EE.UU. Butterworth-Heinemann.

Kazuo Hishinuma (2009). *Heat Sealing Technology and Engineering for Packaging: Principles and Applications*. EE.UU. DEStech Publications, Inc.

Kit L. Yam(2009). *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 3ra. ed. EE.UU. Wiley.

Ulrich, K.T. y Eppinger, S.D. (2008). *Product Design and Development*. 4ta. ed. EE.UU. Mc Graw Hill.

Webster John G. (1998). *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook (Electrical Engineering Handbook)*. EEUU: CRC Press

World Intellectual Property Organization. *Search International Patent Applications*. [Online]. Disponible en: <http://www.wipo.int/portal/index.html.en> [Fecha de acceso: febrero de 2011].