



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**POSGRADO EN
INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL
AGUA**

MÁQUINA MICRO PERFORADORA DE POLIPROPILENO PARA
ATMÓSFERAS MODIFICADAS

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA

JOSÉ FRANCISCO MARÍN CAMACHO



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Diciembre 2015, Chapingo, Estado de México, México



MÁQUINA MICROPERFORADORA DE POLIPROPILENO PARA
ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Tesis realizada por José Francisco Marín Camacho bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



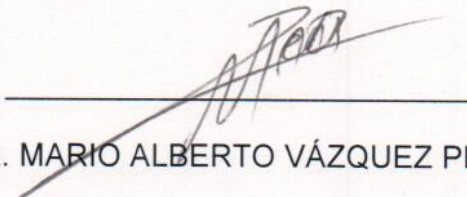
DR. FEDERICO FÉLIX HAHN SCHLAM

ASESOR:



DR. SALVADOR VALLE GUÁDARRAMA

ASESOR:



DR. MARIO ALBERTO VÁZQUEZ PEÑA

DATOS BIOGRÁFICOS

José Francisco Marín Camacho nace en Martínez de la Torre, Veracruz, el 12 de Febrero de 1988, realizó sus estudios de primaria en la escuela “Manuel Gutiérrez Zamora”. Cursó secundaria en la escuela “Federal Ignacio Mejía” las dos escuelas del municipio de Misantla, Veracruz. En el año 2003 ingresa a la preparatoria en la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. Para el año 2006 inicia sus estudios en Ingeniería Mecánica Agrícola, mismos que concluyeron en el año 2010. En ese mismo año empieza a trabajar en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas al Agua, como asesor técnico de las asociaciones civiles de usuarios de los distritos de temporal tecnificado 026,008 y 024, ubicadas en la península de Yucatán. En 2013 se postuló para ingresar al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, y fue aceptado para iniciar cursos en agosto de 2013, estudiando la orientación de Biosistemas, con el tema de investigación MÁQUINA MICRO PERFORADORA DE POLIPROPILENO PARA ATMÓSFERAS MODIFICADAS, derivado de la investigación realizó una ponencia en el congreso internacional “ASABE Annual International Meeting 2015”, co-autor del artículo “MACHINE DRILLED POLYETHYLENE FILM FOR MODIFIED ATMOSPHERE PACKING”

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento que me otorgaron a través de la beca de estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y en particular al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por haberme brindado la oportunidad de ampliar y mejorar mis conocimientos profesionales.

Al Taller de Diseño del departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y a las personas que laboran ahí en especial a don Juan, por brindarme el apoyo y confianza para usar sus instalaciones.

Al Dr. Federico Félix Hahn S. por su dirección, apoyo, revisión y acertados consejos para la realización de esta investigación.

A la Dr. Salvador Valle Guadarrama por su apoyo, asesoría, entusiasmo y compromiso para llevar a cabo esta investigación, le agradezco además sus consejos, ayuda y amistad brindada.

Al Dr. Mario Alberto Vásquez Peña por su participación y apoyo en este trabajo.

A mis padres Paula Camacho Antonio y José Guadalupe Marín Grajales y mi hermana y hermano por el apoyo incondicional que siempre me han dado.

A Yami Moon, gracias por su gran apoyo económico, emocional y observaciones a la investigación.

A mis compañeros del posgrado en especial a Olaf, Egbert, Orbelín y Mónica con quienes compartí algunas vivencias durante mi estancia en el posgrado.

A Mayra por su guía y ayuda estos años en el posgrado.

Y a todos los que de manera indirecta contribuyeron para concluir con éxito este trabajo.

GRACIAS

ÍNDICE

1.-	LISTA DE FIGURAS	I
2.-	LISTA DE CUADROS	III
3.-	ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	IV
	RESUMEN	V
	ABSTRACT	V
4.-	INTRODUCCIÓN	1
5.-	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
5.1	Antecedentes.....	3
5.2	Envasado en atmósfera modificada (MAP).....	10
5.2.1	Historia del MAP.....	10
5.2.2	Definición del MAP.....	12
5.2.3	Principios del MAP	13
5.2.4	Objetivos del MAP.....	14
5.2.5	Efecto del MAP.....	15
5.2.6	Utilidad del MAP	16
5.2.7	Aplicaciones del MAP	18
5.2.8	Ventajas y desventajas del MAP	19
5.2.8.1	Ventajas.....	19
5.2.8.2	Desventajas	21

5.3	Películas plásticas para MAP	21
5.3.1	Polipropileno (PP)	23
5.3.2	Los sistemas de envasado en atmósfera modificada (MAP).....	23
5.3.3	Películas perforadas.....	24
5.3.4	Películas microperforadas	25
5.3.5	Tecnología existente de micro perforación.....	25
6.-	OBJETIVOS.....	27
6.1	Objetivo general.....	27
6.2	Objetivos específicos	27
7.-	DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA PARA LA MICRO PERFORACIÓN.....	28
	RESUMEN.....	28
	ABSTRACT	28
7.1	INTRODUCCIÓN.....	29
7.1.1	MATERIALES Y MÉTODOS	30
7.1.1.1	Parametrización de condiciones de perforado.....	31
7.1.1.2	Troquelador para el perforado	31
7.1.1.3	Sistema de control	32
7.1.1.4	Modelado de las atmósferas modificadas.....	32

7.1.2	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
7.1.3	CONCLUSIONES.....	43
8.-	MÁQUINA PERFORADORA DE POLIETILENO PARA ATMÓSFERAS MODIFICADAS	44
	RESUMEN.....	44
	ABSTRACT	44
8.1	INTRODUCCIÓN.....	45
8.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
8.2.1	DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	45
8.2.2	TIPO DE AGUJAS Y TEMPERATURA	47
8.2.3	FASES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA MICROPERFORADORA	48
8.2.3.1	Fase 1.....	48
8.2.3.2	Fase 2.....	49
8.2.3.3	Fase 3.....	50
8.2.3.4	Fase 4.....	51
8.3	RESULTADOS	52
8.3.1	CONTROL DE AGUJA DE PERFORACIÓN.....	53
8.4	CONCLUSIONES	55

9.-	VARIACIÓN DEL ÁREA DE LOS ORIFICIOS REALIZADOS CON UNA MÁQUINA DE MICROPERFORACIÓN	56
	RESUMEN.....	56
	ABSTRAC.....	56
9.1	INTRODUCCIÓN.....	57
9.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
9.2.1	Diseño experimental.....	60
9.2.2	Análisis de área de intercambio gaseoso.....	62
9.3	RESULTADOS	63
9.3.1	Control de temperatura de agujas.....	63
9.3.2	Pruebas de perforado.....	65
9.4	CONCLUSIONES	69
10.-	CONCLUSIONES GENERALES.....	70
11.-	LITERATURA CITADA.....	72

1.-LISTA DE FIGURAS

Figura 7-1.-máquina micro perforadora, sistema de alimentación de polipropileno.....	34
Figura 7-2 Tamaño de microperforado	41
Figura 7-3 Concentraciones de O ₂ y CO ₂ a diferentes espesores de Polipropileno	42
Figura 7-4 Concentraciones de O ₂ y CO ₂ a diferentes volúmenes libres.	42
Figura 8-1.- Diseño de Máquina Microperforadora	46
Figura 8-2.- Fase 1 de funcionamiento de la máquina microperforadora.....	46
Figura 8-3.- Fase 1 Detalle de transmisión	48
Figura 8-4.-Fase 2 Detalle de transmisión	49
Figura 8-5.- Fase 2 de funcionamiento de la máquina microperforadora.....	49
Figura 8-6.- Fase 3 Detalle de transmisión	50
Figura 8-7.- Fase 3 de funcionamiento de la máquina microperforadora.....	50
Figura 8-8.- Fase 4 Detalle de transmisión	51
Figura 8-9.- Fase 4 de funcionamiento de la máquina microperforadora.....	51
Figura 8-10.-Imagen A perforación aguja de jeringa de insulina, Imagen B perforación aguja de sastre.	52
Figura 8-11.- orificio con tensión de la película de (A) 60 N y (B) 80N.	53
Figura 9-1.- Máquina micro perforadora completa	59
Figura 9-2.- Proceso de elaboración de agujas para perforado	60

Figura 9-3. Diagrama Control en paralelo (a) y Control individual (b)	61
Figura 9-4.-Agujas aisladas con baquelita	61
Figura 9-5.- Procesamiento de áreas con programa Imagej	63
Figura 9-6.- Agujas utilizadas durante la perforación con el sistema en paralelo.	64
Figura 9-7.- Perforaciones control individual embobinado (A), Perforaciones control individual en contacto (B), perforación a alta temperatura en paralelo (C), Perforación a baja temperatura en paralelo	65
Figura 9-8.-Embobinado con la resistencia B alrededor del termopar A y la aguja C	65
Figura 9-9.- Aguja (A) después de 8 horas de trabajo y (B) antes de iniciar perforaciones.	66
Figura 9-10.- Orificio a velocidad de perforación (A) normal, y (B) alta.	67

2.-LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.- Parámetros de simulación de una AM 33

Cuadro 2.- Pruebas de normalidad 66

Cuadro 3.- Prueba de muestras independientes entre las variables de áreas con respecto al tiempo..... 68

3.-ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Marin Francisco, Hahn Federico, Valle Salvador (2015), "OPTIMAL NEEDLE TEMPERATURE AND PUNCHING SPEED FOR A MICRO-DRILL POLYMERIC FILM MACHINE." ASABE Paper No.2189309, ASABE, USA.

Hanh Federico, Francisco Marin, Salvador Valle (2015), MACHINE DRILLED POLYETHYLENE FILM FOR MODIFIED ATMOSPHERE PACKING, GLOBAL JOURNAL FOR RESEARCH ANALYSIS, Volume-4, Issue-10, Oct-2015 • ISSN No 2277-8160 pp 136-137

**MÁQUINA MICRO PERFORADORA DE POLIPROPILENO PARA
ATMÓSFERAS MODIFICADAS
MICRO DRILLING MACHINE OF POLYPROPYLENE FILM FOR MODIFIED
ATMOSPHERE PACKING**

José Francisco Marín Camacho¹, Federico F. Hahn S²

RESUMEN

La atmósfera modificada (MAP) se utiliza para aumentar la vida de anaquel de frutas y verduras. Las películas de plástico para MAP requieren perforaciones con diámetros que oscilan entre 50 y 200 micras. Este proceso de perforación requiere una máquina automática para la perforación de película de plástico. Se utilizó una transmisión basada en una leva de manera que agujas calientes perforan la película mientras que esta se encuentra estacionaria. El disco de transmisión permite a la leva girar cuando la película de plástico se mueve horizontalmente. Cuando la leva deja de girar, el movimiento de la película se detiene y la placa con agujas baja para perforar la película. Con el fin de producir perforaciones circulares bien formados se encontró que la temperatura óptima de la aguja era de 90 ° C y que la tensión de la película de plástico debe mantenerse a 80 N, se observó que la temperatura más alta y la velocidad más baja en los agujeros perforados son más uniformes y los desgarres en el material de empaquetado se reducen al mínimo, el espesor de polipropileno y el número de agujeros afecta directamente el intercambio de gases y el volumen libre del empaquetado influye en la velocidad establecimiento de la atmósfera modificada.

Palabras clave: vida de anaquel, empaque, perforación, agujas, película plástica, intercambio de gases

ABSTRACT

Modified atmosphere packing (MAP) is used to increase the shelf life of fruits and vegetables. Plastic films for MAP require perforations with diameters ranging between 50 and 200 μm . This drilling process requires an automatic machine for plastic film punching. A transmission based cam was used so that hot needles perforated the film while it was stationary. The transmission disk allows the cam to rotate when the plastic film is moved horizontally. When the cam stops, film movement ceases and the plate with needle attached moves down punching holes in the film. In order to produce well-formed circular perforations, it was found that the optimum needle temperature was 90 °C and that the plastic film tension should be maintained at 80 N. It was observed that the highest temperature and lowest speed used in punching resulted in more uniform holes and minimized tearing in the packaging material; polypropylene thickness and the number of holes directly affect gas exchange and the free volume of the packing influences the speed setting of the modified atmosphere packing.

Key words: shelf life, packaging, drilling, needles, plastic film, gas exchange

1 Tesista

2 Director

4.-INTRODUCCIÓN

La alta importancia que toma el prolongar la vida de anaquel, la exigencia de los consumidores por productos frescos y de buena calidad, y el creciente uso de sistemas de conservación con atmósferas modificadas (MAP) en productos hortofrutícolas que usan películas plásticas, deriva en la necesidad de diseñar y construir un sistema para micro perforar polipropileno.

Las atmósferas modificadas se emplean en aquellos productos que precisan de una velocidad de transmisión de oxígeno elevada. Se trata de películas que contienen pequeños agujeros de aproximadamente 40-200 micras de diámetro que atraviesan la película. Gran parte de las publicaciones existentes hacen referencia a perforaciones bastante grandes (hasta 11 mm de diámetro), sin embargo el término microperforación se refiere a pequeños orificios en la película de 50 a 200 μm de diámetro (Brody, 2005). La atmósfera dentro del envase depende del área total de perforaciones en la superficie del envase, ya que mediante estas se realiza el flujo de gases.

Las atmósferas modificadas (MAP) en frutas y hortalizas frescas se basan en modificar los niveles de O_2 y CO_2 en la atmósfera producida dentro de un empaque sellado con algún tipo de película de polipropileno. Es deseable que la interacción natural que se produce entre la respiración del producto y el embalaje genere una atmósfera con bajos niveles de O_2 y / o una alta concentración de CO_2 . La atmósfera deseada puede reducir la tasa de respiración, la producción de etileno y los cambios fisiológicos; por ejemplo, se puede inhibir la química

enzimática y los mecanismos microbiológicos asociados con la descomposición de los productos frescos, evitando así el uso de otro proceso químico o térmico, tal como la congelación, deshidratación y esterilización (Kader et al 1989;. Gorris y Tauscher, 1999;Saltveit, 1997; Fonseca et al., 2002a).

El cambio de la atmósfera por una combinación de factores que influyen en la permeabilidad del envase del producto y la respiración con el fin de lograr un ambiente de gran equilibrio para la conservación del producto. Este equilibrio se logra cuando la respiración del producto consume la misma cantidad de O₂ que entra en el embalaje y la producción de CO₂ por la respiración es igual a la cantidad que sale de la embalaje (Day, 1993).

El objetivo de esta investigación es desarrollar una máquina para micro perforar película de polipropileno de bajo costo y versátil para la fabricación de atmósferas modificadas, que funcione para diferentes productos hortofrutícolas.

5.-REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Antecedentes

Las frutas y verduras se consideran como parte importante de la dieta (Irtwange 2006). De ahí que las frutas y verduras frescas tienen siempre una buena demanda del mercado. Sin embargo, son productos perecederos, que generalmente tienen una vida de almacenamiento corta, y pierden su frescura poco después de la cosecha. Las pérdidas en postcosecha son altas (50% en países de desarrollo)(Salunkhe y Kadam 1995), la demanda del mercado de frutas y verduras frescas es alta y durante los períodos de escasez ha sido necesario el desarrollo de diversas tecnologías de almacenamiento para conservar estos productos en perfecto estado durante largos períodos.

La protección de los productos hortofrutícolas los mantiene en buenas condiciones ante posibles daños mecánicos y de infección microbiana; sin embargo, no aumenta el tiempo de conservación de los productos más allá de su temporada normal. Esto se debe a que las frutas y verduras frescas siguen vivas y sus procesos metabólicos continúan incluso después de la cosecha. Su metabolismo no es idéntico con la de la planta madre que crece en su ambiente original, y por lo tanto están sometidos a deterioro, pérdidas fisiológicas y patológicas (Martins et al., 2008).

Las causas de las pérdidas podrían ser biológicas, microbiológicas, químicas o reacciones bioquímicas, mecánicas y físicos, los factores mecánicos y fisiológicos son los que causan la mayor parte de las pérdidas en los cultivos perecederos (Kader, 1992). Otras causas de las pérdidas pueden estar relacionadas con la recolección inadecuada, la falta de contenedores adecuados para el transporte y la manipulación de los productos perecederos. Instalaciones de almacenamiento inadecuadas para proteger a los alimentos, pueden causar pérdidas así como el transporte inadecuado para mover la comida en el mercado antes de que se dañe.

Sistemas de procesamiento y comercialización tradicionales también pueden ser responsables de grandes pérdidas, y las normas jurídicas pueden afectar la retención o el rechazo de los alimentos para el consumo humano (Fallik et al.2002). Las pérdidas pueden ocurrir en cualquier parte desde el punto de cosecha hasta el punto de consumo, es decir, durante la cosecha, preparación, conservación, procesamiento, almacenamiento y transporte (Irtwange 2006). A este respecto, la respiración se considera que es el proceso catabólico principal, que conduce a la maduración natural, la senescencia y el deterioro posterior (Saltveit 2005).

Año tras año, la tecnología de alimentos se vuelve más avanzada. La mayoría de los avances en el campo de la tecnología de los alimentos se han dirigido hacia los productos alimenticios procesados, de manera más eficiente, a menor costo, mayor calidad y seguridad. Procesos térmicos tradicionales han ofrecido

enormes avances en la industria alimentaria moderna; éstos incluyen la esterilización comercial, preservación de la calidad, prórroga de la vida útil, y la mejora de la seguridad. Productos no perecederos fabricados por retorta o procesamiento aséptico no requieren refrigeración y están disponibles en cualquier supermercado. Este tipo de productos se encuentran en cualquier lugar, siendo fáciles de manejar, Con estos alimentos se benefician los productores, procesadores, distribuidores, minoristas y consumidores. La función principal de los envases de alimentos es proporcionar una barrera contra la invasión de microorganismos (Han 2014).

El uso de agroquímicos para alargar la vida en poscosecha de frutas y verduras ha caído en desuso debido a los residuos que dejan en los productos. Actualmente para incrementar la vida de anaquel se utilizan bajas temperaturas, altas temperaturas, irradiaciones, variaciones de presión, atmósferas modificadas y atmósferas controladas (Yahia, 2005).

El principal objetivo de la tecnología de poscosecha es la conservación de la calidad y la reducción de pérdidas en la cadena alimenticia. El control de temperatura y atmósfera modificada son los dos factores más importantes en la prolongación de la vida útil (Fonseca et al.2002a). La vida de poscosecha puede incrementarse si se cosecha en la madurez óptima, se minimizan las lesiones mecánicas utilizando procedimientos de saneamiento adecuadas, y proporcionando la temperatura y humedad relativa óptimas durante todas las etapas de comercialización. Factores secundarios incluyen modificación de

oxígeno, dióxido de carbono y/o concentraciones de etileno en la atmósfera que rodea al producto a niveles diferentes de aquellos en el aire. Esto se refiere a la atmósfera controlada (AC) o sistemas de almacenamiento de atmósfera modificada (AM). AC implica un mayor grado de precisión que AM en el mantenimiento de niveles específicos de O₂, CO₂ y otros gases (Mahajan 2001).

La principal función de los envases es proteger los productos alimenticios de daños externos, mantiene la seguridad alimentaria, reduce al mínimo el daño ambiental y proporciona la información nutricional a los consumidores. (Marsh y Bugusu 2007). En atmósfera modificada (MAP), una cantidad determinada de producto se sella en el envase de películas poliméricas. Después de un cierto período de tiempo, condiciones de estado estacionario se establecen dentro de un paquete de película polimérica intacta, una vez que la tasa de respiración del producto coincide con la permeabilidad de las películas de embalaje a O₂ y CO₂. El oxígeno dentro del paquete es consumido por el producto por efecto de la respiración y la concentración de CO₂ aumenta. La reducción en la concentración O₂ y el aumento de la concentración de CO₂ crean un gradiente, causando una entrada de O₂ y más salida de CO₂ del paquete. Inicialmente, sin embargo, el gradiente es pequeño y el flujo a través del paquete no es suficiente para reemplazar el O₂ que se consumió o para expulsar todo el CO₂ que se generó. Por lo tanto, dentro del paquete, el contenido de O₂ disminuye y el CO₂ aumenta.

A medida que se creó esta MA dentro del paquete, las tasas de respiración comienzan a caer en respuesta a la reducción del O₂ y la elevación del CO₂. Por

lo tanto, se establecen nuevas concentraciones de equilibrio de los gases que rodean a la fruta. Cuando la tasa de respiración de O₂ del producto es igual a la tasa de permeación de O₂ del empaque, y la tasa de producción de CO₂ igual a la tasa de permeación del CO₂, el equilibrio en estado estacionario se consigue, y se denomina por las siglas en ingles EMAP. Por lo tanto MAP de un producto se refiere a la técnica de sellado que respiran activamente productos en envases de película polimérica para modificar el nivel de O₂ y CO₂ dentro del paquete.

A menudo es deseable generar una atmósfera baja en O₂ y/o alta en CO₂ con influencia del metabolismo del producto que se envasa, para aumentar la capacidad de almacenamiento y/o vida útil (Iqbal et al 2009). Además de modificar la atmósfera, MAP mejora enormemente la retención de humedad, que pueden tener una mayor influencia en la preservación de la calidad de las concentraciones de O₂ y CO₂. Además, el embalaje aísla el producto desde el entorno externo y ayuda a asegurar unas condiciones que si no son estériles, al menos reducen la exposición a patógenos y contaminantes (Mahajan et al. 2007; Lu Shengmin 2009).

MAP tiene las ventajas de que no utiliza productos químicos de síntesis, no deja residuos tóxicos, y hay poco impacto ambiental, sobre todo si las películas de plástico usados pueden ser reciclados. Los recientes avances en el diseño y fabricación de películas poliméricas con una amplia gama de características de difusión de gas también han estimulado el interés en MAP de productos frescos. Además, el aumento de la disponibilidad de diversos absorbentes de O₂, CO₂

(Kade R et al., 1989), vapor de agua (Shirazi y Cameron 1992) y C₂H₄ (Tauscher 1999) proporciona posibles herramientas adicionales para manipular el microambiente de MAP.

Las películas de plástico son ampliamente utilizados en el embalaje, y siguen creciendo en uso a medida que más y más aplicaciones cambian a envases flexibles, tales como el envasado en atmósfera modificada. En estos paquetes, películas de plástico se pueden usar solos o en combinaciones para servir a las funciones de empaquetamiento básicos de contención, la protección, la comunicación y la utilidad en la entrega de productos de calidad para el consumidor.

MAP es un proceso dinámico en el que se produce la respiración del producto y la permeación de gases a través de la película de envasado de forma simultánea. La composición de la atmósfera dentro de un paquete es el resultado de la interacción de una serie de factores como por ejemplo: las características de la permeabilidad del paquete, el comportamiento respiratorio del material vegetal, y el medio ambiente (Mahajan et al 2007).

La película que forma el paquete se selecciona para que tenga características específicas de permeabilidad, y los cambios en estas características con el tiempo, la temperatura, y la humedad siguen leyes físicas conocidas (Mahajan et al., 2007).

El medio ambiente puede ser controlado para proporcionar condiciones específicas. En contraste con estos factores conocidos y controlables están las respuestas a menudo desconocidas e incontrolables del material vegetal. La especie de planta, prácticas culturales, etapa de desarrollo, tipo de cosecha, tipo de tejido, fertilización, etcétera. Todo ello contribuye a la influencia y la respuesta del material en la atmósfera generada después de la cosecha.

El alcance de respuestas de las plantas se puede modificar adicionalmente por inyección de gas antes de sellar y proporcionar tratamientos químicos para retardar los procesos no deseados. Cada uno de estos componentes del proceso de envasado puede ser examinado por separado para entender mejor cómo cada uno contribuye a las estrategias de embalaje (Irtwange 2006).

Aunque la aplicación de películas poliméricas para MAP se encuentra más frecuentemente en estructuras de envase flexible, también pueden ser utilizados paquetes rígidos o semirrígidos, como por ejemplo un forro interior adherido al cartón, o la tapa en una taza o en una charola. La película de plástico utilizada en el envasado en atmósfera modificada puede ser polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de baja densidad lineal (LLDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliéster, es decir, tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilideno (PVDC) y poliamida (nylon) (Marsh y Bugusu 2007). Aunque una elección cada vez mayor de materiales de embalaje está disponible para la industria de la MAP, la mayoría de los paquetes están siendo construidas a partir de cuatro polímeros básicos:

cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE) para el envasado de frutas y verduras (Ahvenainen 2003). Envasado en atmósfera modificada es más comúnmente utilizado para materias primas altamente perecederas, tales como manzana, cereza, fresa, lichi, frambuesa, brócoli, espárragos, champiñones, pimiento, higo, etc., y para los recién cortados (un mínimo de procesamiento) de frutas y verduras (Sivakumar et al 2008).

5.2 Envasado en atmósfera modificada (MAP)

MAP es una tecnología multidisciplinaria de mantener la frescura y extender la vida útil usando los principios básicos de la química, la física, la fisiología vegetal, patología, microbiología, ciencia de los alimentos, la ingeniería y la química de polímeros. Una mejor comprensión de este amplio ámbito promoverá la aplicación de la tecnología. Tecnología MAP se ha desarrollado rápidamente en la última década (Lu Shengmin 2009).

Los gases comunes utilizados en MAP son CO₂, O₂ y N₂. El dióxido de carbono es bacteriostático. El nitrógeno es un gas inerte; no posee ningún efecto bacteriostático. Se utiliza como un gas de relleno en la mezcla de gas AM. El efecto inhibidor de CO₂ aumenta con una disminución de la temperatura (Mahajan y Goswami 2001).

5.2.1 Historia del MAP

Los primeros en usar la tecnología de atmósferas modificadas fueron los chinos y egipcios hace miles de años en algunos alimentos, pero las primeras

investigaciones fueron hechas por Barnad y Nyce de Francia y EUA respectivamente entre los años de 1819 y 1820.

MAP se registró por primera vez en 1927 como un medio para extender la vida útil de las manzanas mediante el almacenamiento en atmósferas con reducido O₂ y alto CO₂. En la década de 1930 fue utilizado como almacenamiento en atmósfera modificada para transportar a grandes distancias fruta y carne en las bodegas de los buques en concentraciones altas de CO₂; la vida útil aumento hasta en un 100% (Davies 1995). Sin embargo, la técnica no se introdujo comercialmente para los paquetes al por menor hasta principios de 1970 en Europa.

La principal limitación de la aplicación de MAP en los primeros estudios fue por la falta de control de los niveles de concentración de O₂ en el paquete. Desde entonces, los tipos y propiedades de los polímeros han aumentado para proporcionar una gama más amplia de permeabilidad a los gases, resistencia a la tracción, flexibilidad, capacidad de impresión, y claridad. En el Reino Unido, Marks and Spencer introdujeron MAP para la carne en 1979; el éxito de este producto llevó años después de la introducción del MAP para tocino, pescado, carnes cocidas en rodajas y mariscos cocidos.

Otros fabricantes de alimentos y cadenas de supermercados siguieron, reflejando el aumento de la demanda de los consumidores de alimentos con una vida útil más larga y un menor uso de conservantes. Técnicas MAP ahora se utilizan en

una amplia gama de alimentos frescos o refrigerados, incluyendo carne, pescado y aves de corral crudos o cocidos, pasta fresca, fruta fresca, frutas cortadas y verduras, y más recientemente el café, té y productos de panadería (Church y Parsons 1995) .

5.2.2 Definición del MAP

El envasado en atmósfera modificada surgió en la década de 1960 como una nueva tecnología que extiende la vida de almacenamiento de los productos agrícolas perecederos y reduce su deterioro y descomposición (Henig y Gilbert 1975). MAP es uno de los métodos de conservación de alimentos que mantienen la calidad natural de los productos alimenticios, además de extender la vida de almacenamiento. En otras palabras MAP es una técnica utilizada para prolongar la vida útil de los alimentos frescos o mínimamente procesados por el cambio de la composición del aire que rodea la comida en el paquete.

El uso de MAP reduce la velocidad y la actividad respiratoria, proporciona un control de la fruta y maduración vegetal, retraso de la senescencia, oxidación en los productos de corte, y en última instancia prolonga la vida útil (Fonseca et al 2002b). .

En la literatura, los términos ambiente modificado y atmósfera controlada se utilizan indistintamente. Ambos difieren según el grado de control ejercido sobre la composición de la atmósfera. En MAP la modificación de la atmósfera dentro

del envase se consigue por la interacción natural entre dos procesos, la respiración de los productos y la permeación de los gases a través del envase (Mahajan et al., 2007). Además, la composición del gas se modifica inicialmente y cambian dinámicamente en función de la tasa de respiración del producto alimenticio y la permeabilidad de la película que rodea el producto alimenticio (Jayas y Jeyamkondan 2002).

En el almacenamiento CA la atmósfera se modifica y su composición se controla con precisión de acuerdo con los requisitos específicos del producto alimenticio a lo largo del período de almacenamiento (Mahajan 2001).

5.2.3 Principios del MAP

El envasado en atmósfera modificada de los productos frescos se basa en la modificación de la atmósfera en el interior del paquete, logrado por la interacción natural entre dos procesos, la respiración del producto y la transferencia de gases a través del envase, que conduce a una atmósfera rica en CO₂ y pobre en O₂, y depende de las características de la mercancía y la película de envasado (Mahajan et al., 2007). Esta atmósfera potencialmente puede reducir la tasa de respiración, la sensibilidad de etileno y la producción, maduración, ablandamiento y cambios en la composición, descomposición y cambios fisiológicos, es decir, de oxidación (Tauscher 1999).

MAP implica la exposición de los productos a la atmósfera generada en un paquete por la interacción del producto, el envase y el ambiente externo. La atmósfera inicial puede ser aire o una mezcla de gases. Diferentes aditivos que pueden afectar a la atmósfera se pueden introducir en el paquete antes de que sea sellada.

Embalaje de productos frescos en películas poliméricas resulta en una AM de productos básicos generados. La modificación del ambiente dentro del empaque depende de la permeabilidad de la película, la tasa de respiración de los productos básicos y las características de difusión de gas de la mercancía, y el peso de los productos básicos, superficie, volumen libre inicial y composición de la atmósfera dentro del paquete.

La temperatura, la humedad relativa y el movimiento del aire alrededor del paquete pueden influir en la permeabilidad de la película. La temperatura también afecta a la actividad metabólica de la mercancía y, por consiguiente la tasa de alcanzar el AM deseada. Todos estos factores deben ser considerados en el desarrollo de un modelo matemático para la selección de la película más adecuada para cada producto (Parry 1993).

5.2.4 Objetivos del MAP

El objetivo de diseño del MAP es definir las condiciones que va a crear el ambiente más adecuado para el almacenamiento prolongado de un producto determinado y reducir al mínimo el tiempo necesario para lograr este ambiente.

En otras palabras, el objetivo del MAP es alcanzar las concentraciones de equilibrio de O₂ y CO₂ con el paquete en el menor tiempo posible debido a la interacción de los productos, el paquete y el ambiente externo; y estas concentraciones se encuentran dentro del nivel deseado requerido para una máxima durabilidad posible del producto.

La concentración de equilibrio de O₂ y CO₂ se logra dentro del paquete para que el sistema de envasado se mantenga constante durante todo el período de almacenamiento para continuar con la tasa de respiración y la tasa de todos los procesos metabólicos en un porcentaje mínimo posible para mantener la frescura y que extiende la vida útil del producto almacenado (Mahajan et al 2007).

Un sistema MAP mal diseñado puede ser ineficaz o incluso puede acortar la vida útil de almacenamiento de la mercancía. Si la atmósfera deseada no se ha establecido rápidamente, el paquete tendrá ningún beneficio; si el O₂ y/o CO₂ no están dentro del rango recomendado, el producto puede sufrir alteraciones graves y su vida de almacenamiento puede por lo tanto ser más corta.

5.2.5 Efecto del MAP

Los efectos de MAP se basan a menudo en la desaceleración observada de respiración de las plantas en un bajo o medio ambiente. A medida que la concentración de O₂ incide en el paquete cae por debajo de aproximadamente 10-12%, la respiración se hace más lenta (Tauscher 1999). Esta supresión de la respiración continúa hasta un 2-2.5% (dependiendo del producto y de la

temperatura), el metabolismo fermentativo reemplaza al metabolismo aeróbico normal y se produce el mal sabor, mal olor y sustancias volátiles indeseables (Farber 1991). Del mismo modo, como la concentración de CO₂ aumenta por encima del nivel atmosférico, se suprime la tasa de respiración, la producción de etileno (C₂H₂), la sensibilidad al etileno y la supresión de las actividades de microorganismos y/o crecimiento bacteriano fúngico (Farber 1991).

Reduciendo la concentración del O₂ y elevando el CO₂ juntos pueden reducir la tasa de respiración más que cada uno por su cuenta. La disminución de la actividad enzimática, proporcionando baja temperatura, bajo O₂ y alto CO₂, en general, reduce la tasa de utilización del sustrato (es decir, hidratos de carbono, ácido orgánico y otras reservas) y aumenta la vida en postcosecha de los frutos y verduras más allá de su duración normal (Mahajan y Goswami 2001).

Otros consideran que las elevadas concentraciones de CO₂ inhiben la producción de C₂H₂ y/o suprimen la sensibilidad del tejido a la planta de los efectos de la hormona de etileno de maduración en lugar de tener un efecto directo en el proceso de la respiración (Kubo et al. 1989). Para aquellos productos que toleran una concentración mayor que 10% de CO₂, la supresión del crecimiento de muchas bacterias y hongos (Kader et al. 1989).

5.2.6 Utilidad del MAP

La tecnología MAP se ha desarrollado rápidamente en la última década debido a dos tendencias contradictorias que afectan el manejo postcosecha de frutas,

verduras y otros productos perecederos. En primer lugar, la distribución de alimentos en los países desarrollados ahora involucra a muchos productos alimenticios perecederos, algunos de los cuales están mínimamente procesados, tales como lechuga, palitos de zanahoria o apio, y las mezclas de ensaladas frescas, lo que aumenta el carácter perecedero y la susceptibilidad a la decadencia y la desecación. En consecuencia aumenta la necesidad de medidas de control de calidad y la decadencia (Siripanich y Kader, 1985).

En segundo lugar, existe una creciente ansiedad entre los consumidores sobre el uso de productos químicos sintéticos para proteger los alimentos de los patógenos y plagas para extender la vida de los productos perecederos. Una de las consecuencias de esta ansiedad del público es que cada vez más protectores de alimentos sintéticos, tales como ciertos fungicidas y pesticidas están prohibidos.

La tecnología MAP, que utiliza únicamente los componentes naturales del aire, ha logrado la aceptación del público debido a estas dos tendencias. MAP tiene la ventaja de que no utiliza productos químicos de síntesis, no deja residuos tóxicos y hay poco impacto ambiental, sobre todo si las películas de plástico usadas pueden ser recicladas.

Los recientes avances en el diseño y fabricación de películas poliméricas con una amplia gama de características de difusión de gas también han estimulado el interés en MAP de productos frescos. Además, el aumento de la disponibilidad

de diversos absorbentes de O₂, CO₂ (Kader et al. 1989), vapor de agua (Shirazi y Cameron 1992), y etileno (C₂H₄) (BenArie y Sonogo 1985) ofrece posibles herramientas adicionales para manipular el microambiente del MAP. Existe una amplia literatura sobre los beneficios de MAP y las extensiones de la vida útil de diversos alimentos (Kader et al., 1989). Sin embargo, son pocos los trabajos que se ocupan de la seguridad microbiológica necesaria para la implementación exitosa del MAP (Hintlian y Hotchkiss 1986). Enfoques futuros deben poner la seguridad del consumidor primero y la frescura después.

5.2.7 Aplicaciones del MAP

Son muchas ventajas de la MAP de frutas y verduras, siendo la primordial la extensión de la vida útil. Al disminuir la cantidad disponible de O₂ o del producto, su tasa de respiración y la tasa de todos los procesos metabólicos disminuyen. Esto da como resultado un retraso en la maduración y la senescencia, que puede ser visto como la retención de la clorofila, el retraso de reblandecimiento y la prevención de la decoloración (Gorris y Peppelenbos 1992).

La extensión de la vida útil es más notable con productos preparados (Church 1994). Además, envases MAP reducen la cantidad de vapor de agua que se pierde por la respiración (Church y Parsons 1995).

Una alta tasa de respiración se asocia generalmente con una vida útil corta. Cuando la tasa de transmisión de los envases de película de O₂ y CO₂ son igual a la tasa de respiración de los productos, una concentración de equilibrio de

ambos gases se establece (Church y Parsons, 1995). El valor de equilibrio alcanzado depende de la tasa de respiración del producto, el peso de llenado del producto, y de la superficie de la película disponible para el intercambio gaseoso. La tasa de respiración del producto se ve influida por la temperatura de almacenamiento, la variedad de productos, zona de cultivo, la condición y lesiones al producto (Parry, 1993).

Las aplicaciones actuales de las tecnologías de MAP incluyen el almacenamiento a largo plazo de manzanas, peras, kiwis, papas, zapote, naranja, repollo y coles chinas; almacenamiento y/o transporte de fresas, bayas de arbusto, cerezas, plátanos, lichi, guayabas, champiñones y tomates. MAP facilita el mantenimiento de la atmósfera deseada durante todo el tiempo de manipulación en postcosecha; entre la cosecha y el consumo (Mahajan et al 2007).

5.2.8 Ventajas y desventajas del MAP

Los efectos beneficiosos y perjudiciales del MAP han sido ampliamente revisados (Día 1996; Isenberg 1979; delantal 1979; Kader 1980; Lioutas 1988; Kader et al 1989;. Dilley 1990; Parry 1993; BenYehoshua et al 1994; Irtwange 2006; Mahajan et al 2007;. Sivakumar et al 2007) y se resumen a continuación:

5.2.8.1 Ventajas

- MAP mantiene la frescura y se extiende la vida útil por varios días o varias semanas, en comparación con el almacenamiento convencional.

- Reducción de O₂, incremento de CO₂, supresión de la tasa de respiración, disminuyendo así los procesos vitales y prolongando el mantenimiento de la calidad del producto.
- Reducción de la tasa de respiración, de la pérdida de humedad, de la producción de calor metabólico, de la oxidación y de la producción de etileno y de la sensibilidad a él.
- Retraso de la maduración.
- Reducción de la pérdida de peso, pérdida de la desecación / agua y arrugamiento.
- Reducción del daño fisiológico, el desorden y del deterioro patológico.
- Mejor calidad, tal como color, humedad, sabor y retención de la madurez.
- Reducción del crecimiento y enfermedades por hongos comunes.
- Retraso de reblandecimiento y cambios en la composición.
- Minimiza el daño por frío.
- Mejora de la presentación y la visibilidad de producto en todo el paquete.
- Uso de pocos o ningún conservante químico.
- Reducción de la mano de obra y de los residuos a nivel minorista.
- Mejor calidad al consumidor final.
- Reducción en la producción y el costo de almacenamiento debido a una mejor utilización de mano de obra, espacio y equipo.
- MAP tiene una gran ventaja en los países en desarrollo, ya que se puede hacer económicamente a mano, ahorrando el alto costo de la nueva maquinaria. Además, la necesidad que hay de esta técnica es mucho mayor debido a la escasez de almacenamiento refrigerado.

5.2.8.2 Desventajas

- Inversión adicional en maquinaria y mano de obra en la línea de envasado.
- Los riesgos de deterioro de los productos pueden ocurrir debido a un embalaje inapropiado o abuso de temperatura.
- Aparición de nuevos riesgos de seguridad microbiológica debido al posible desarrollo de la flora patógena anaeróbicas.
- Las películas de plástico pueden ser indeseables para el medio ambiente si no se reciclan eficientemente.
- La tecnología MAP aún no está disponible para la mayoría de productos.
- En particular la tecnología está disponible para el envasado AM, ya que las propiedades intrínsecas del producto varían mucho. Depende de cómo se cultiva, lugar de cultivo, la etapa de madurez y la permeabilidad de las películas.

5.3 Películas plásticas para MAP

Las características deseables de una película polimérica para el envasado en atmósfera modificada dependen de la tasa de respiración del producto a la temperatura de tránsito, tipo de almacenamiento y de la concentración óptima de O₂ y CO₂. La mayoría de las películas deben ser mucho más permeable a CO₂ que al O₂ (Exama et al 1993).

Las propiedades de permeabilidad de las películas poliméricas dependen del tipo de material, de la temperatura ambiente, el grosor de la película y de la diferencia

de concentración del gas a través de la película (Al-Ati y Hotchkiss 2002, Sacharow and Griffin 1980; Ben-Yehoshua 1985; Kader et al. 1989; Exama et al. 1993). Los principales factores que deben tenerse en cuenta al seleccionar el material de empackado son:

- El tipo de paquete (es decir, bolsa flexible o bandeja con tapa rígida o semirrígida).
- Las permeabilidades de gases individuales y relaciones de gas cuando se utiliza más de un gas.
- Las propiedades físicas de manufactura.
- La claridad.
- La durabilidad.
- El empañamiento de la película como resultado de la respiración del producto.
- Fiabilidad de sellado (sellado por calor).
- La tasa de transmisión a vapor de agua.
- Resistencia a la degradación química
- Toxicidad.
- Químicamente inerte.
- Facilidad para ser impreso de marca o logos.

5.3.1 Polipropileno (PP)

El polipropileno es un polímero de adición lineal de propileno, resinas utilizadas en el envasado son predominantemente isotáctico. PP tiene la densidad más baja de los plásticos de los productos básicos $0.89091\text{g} / \text{cm}^3$, más transparente que el polietileno, PP tiene buena resistencia a los productos químicos y es eficaz en la restricción del vapor de agua. Su alto punto de fusión hace que sea adecuado para aplicaciones donde se requiere resistencia térmica. Propiedades de barrera de PP son comparables a las del polietileno de alta densidad (Abdelbary 2003). Se prefiere la película En muchas aplicaciones, orientada biaxialmente (BOPP). Película de BOPP se utiliza explícitamente en envasado en atmósfera modificada de los productos alimenticios.

5.3.2 Los sistemas de envasado en atmósfera modificada (MAP)

Las películas poliméricas utilizadas para MAP son de tres tipos:

- películas poliméricas sin perforaciones o microperforados
- películas poliméricas macroperforadas
- los sistemas de envasado de perforación mediada.

MAP con películas poliméricas microperforadas tienen una baja concentración de CO_2 , porque la permeabilidad de CO_2 en estos materiales es generalmente de tres a seis veces la permeabilidad de O_2 (Yam y Lee 1995). Estos materiales son adecuados para productos menos tolerantes a CO_2 tales como mangos,

plátanos, uvas y manzanas. La permeabilidad al gas en películas poliméricas microperforados es dependiente de la temperatura. (Mahajan et al., 2007.)

MAP con películas perforadas mediadas tienen mayores tasas de permeabilidad. Estas películas son, por lo tanto, de gran interés para los productos básicos que toleran simultáneamente bajo O₂ y un alto nivel de CO₂. Es ideal para los productos recién cortados, fresas y champiñones, que tienen una alta tasa de respiración (Rediers et al 2009).

MAP con perforaciones macroscópicas en una película polimérica representan una ruta paralela para el transporte de gas. Un término de permeabilidad aparente se utiliza para estas películas que es dependiente del número y tamaño de los agujeros. (Techavises y Hikida 2008.).

5.3.3 Películas perforadas

La tasa de movimiento del gas a través de una película perforada es una suma de la difusión del gas a través de la perforación y la película polimérica. Generalmente, el flujo total de gas a través de las perforaciones es mucho mayor que el movimiento del gas a través de la película. Se ha modelado la transmisión del gas a través de microperforaciones (Fishman y BenYehoshua 1996).

La tasa de intercambio de gases a través de las perforaciones en una película es mucho mayor que la tasa a través de películas no perforadas, una perforación de

1 mm en 25 mm² de película gruesa tiene casi el mismo flujo de gas como medio metro cuadrado de superficie de película no perforada. Como podría suponerse, paquetes perforados son más adecuados para los productos que tiene una alta demanda de O₂ (Fonseca et al. 2002b).

5.3.4 Películas microperforadas

Se ha ido avanzando en el concepto de un material de envasado con transmisión compatible de CO₂ y/o O₂ con las necesidades del producto contenido. Se han propuesto dos tipos básicos de materiales de película y se han introducido a escala comercial: microperforada y relleno de mineral.

Esto se logra mediante la modificación de la permeabilidad de la película de envasado utilizando microperforación. A fin de regular de manera óptima las concentraciones de equilibrio de O₂ y CO₂. La humedad relativa en el paquete también debe controlarse, ya que es responsable de la pérdida excesiva de peso o del crecimiento de hongos (Del-Valle 2009).

5.3.5 Tecnología existente de micro perforación

Enfoques alternativos para proporcionar una alta tasa de transmisión de O₂ (OTR), en aplicaciones donde la superficie del paquete está limitado para el intercambio de gases, han incluido películas con agujeros o poros. “P-Plus microperforated technology” propiedad de “Print Pak”, y “microperforation technologies” propiedad de Respire Films en América y Sidlaw en Inglaterra, están encontrando aplicaciones en el mercado de fruta ligeramente procesados

y frescos cortados rápidamente emergente (Cameron et al., 1993). Las películas “PPlus” se fabrican perforando una película de poliolefina, con muy pequeños orificios utilizando rayos láser. La permeabilidad a los gases está diseñada para equilibrar la tasa de respiración del producto al que se llenó (BenYehoshua et al. 1994).

La mayoría fruta cortada se envasa en bandejas rígidas impermeables al gas con una tapa de sellado, la cual consiste en una película permeable sellada a la bandeja. Debido a que la bandeja es impermeable a los gases, se reduce el área superficie para el intercambio de gases. Todo el intercambio de gas debe producirse a través de la tapa de sellado. Estas películas microperforadas muestran las propiedades requeridas para MAP de productos de tasas altas de respiración. Películas microporosas y microperforados permiten un intercambio de gases mucho más rápido de lo que normalmente sería posible a través de películas de plástico normales (sin perforaciones) (ArtesHernández et al., 2006).

Las perforaciones reducen la pérdida de agua y la mitigación del estrés hídrico sin los posibles efectos nocivos de anaerobiosis como sabores y la fermentación (BenYehoshua et al. 1994). La maquinaria utilizada en tecnologías de procesamiento y envasado, a dando lugar a mayores niveles de regulación, higiene, salud, seguridad y disponibilidad comercial de nuevos materiales. Procesamiento y diseño de equipos de envasado han mejorado la seguridad, la calidad y la productividad. El desarrollo de nuevas funciones de embalaje puede ir de la mano con el desarrollo de nuevos procesos, materiales y equipos (Han 2014).

6.-OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo funcional para micro perforar polipropileno.

6.2 Objetivos específicos

- Determinar y cuantificar las variables que afectan la perforación del polipropileno tal como la temperatura y velocidad.
- Desarrollar un mecanismo que permita la perforación del polipropileno, sin necesidad de detener el motor.
- Determinar el área y homogeneidad de los orificios realizados por la máquina microperforadora.

7.- DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA PARA LA MICRO PERFORACIÓN

Versión en español del artículo "OPTIMAL NEEDLE TEMPERATURE AND PUNCHING SPEED FOR A MICRO-DRILL POLYMERIC FILM MACHINE." ASABE Paper No.2189309, ASABE, USA. Presentado en el congreso internacional anual 2015 de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y biólogos (ASABE por sus siglas en inglés)

RESUMEN

La alta importancia que toma el prolongar la vida de anaquel, la exigencia de los consumidores por productos frescos y de buena calidad, y el creciente uso de sistemas de conservación con atmósferas modificadas (MAP) en productos hortofrutícolas que usan películas plásticas, deriva en la necesidad de diseñar, construir y evaluar un sistema para micro perforar polipropileno, el cual se convirtió en el objetivo de este trabajo, se usó un sistema de troquelado con agujas calientes para conseguir perforar el polipropileno, se observó que a mayor temperatura de perforado y menor velocidad los agujeros quedan más uniformes y las rasgaduras en el material de envase son mínimas, que el espesor del polipropileno influye directamente en el intercambio de gases y que el volumen libre del empaque influye en la velocidad de establecimiento de la atmósfera modificada.

PALABRAS CLAVES: sistemas, conservación, permeabilidad, agujeros

ABSTRACT

The high importance that it takes to prolong storage life, the demand of consumers for fresh and good quality products, and increased use of conservation systems with modified atmosphere packaging (MAP) in horticultural products using polymeric films, resulting in the need to design , construct and evaluate a system for micro drill polypropylene, which became the target of this work, a system with hot needles for piercing polypropylene was used, was observed that the higher temperature and lower speed in punched holes are more uniform and tear in the packaging material are minimized, polypropylene thickness directly affects gas exchange and free volume of the packing influences the establishment speed of the modified atmosphere.

KEYWORDS. systems, storage, holes, modified, atmosphere

7.1 INTRODUCCIÓN

La alta importancia que toma el prolongar la vida de anaquel, la exigencia de los consumidores por productos frescos y de buena calidad, y el creciente uso de sistemas de conservación con atmósferas modificadas (MAP) en productos hortofrutícolas que usan películas plásticas, deriva en la necesidad de diseñar y construir un sistema para micro perforar polipropileno.

Las atmósferas modificadas se emplean en aquellos productos que precisan de una velocidad de transmisión de oxígeno elevada. Se trata de películas que contienen pequeños agujeros de aproximadamente 40-200 micras de diámetro que atraviesan la película. Gran parte de las publicaciones existentes hacen referencia a perforaciones bastante grandes (hasta 11 mm de diámetro), sin embargo el término microperforación se refiere a pequeños orificios en la película de 50 a 200 μm de diámetro (Brody, 2005). La atmósfera dentro del envase depende del área total de perforaciones en la superficie del envase, ya que mediante estas se realiza el flujo de gases.

Las atmósferas modificadas (MAP) en frutas y hortalizas frescas se basan en modificar los niveles de O_2 y CO_2 en la atmósfera producida dentro de un empaque sellado con algún tipo de película de polipropileno. Es deseable que la interacción natural que se produce entre la respiración del producto y el embalaje genere una atmósfera con bajos niveles de O_2 y / o una alta concentración de CO_2 . La atmósfera deseada puede reducir la tasa de respiración, la producción de etileno y los cambios fisiológicos; por ejemplo, se puede inhibir la química

enzimática y los mecanismos microbiológicos asociados con la descomposición de los productos frescos, evitando así el uso de otro proceso químico o térmico, tal como la congelación, deshidratación y esterilización (Kader et al 1989;. Gorris y Tauscher, 1999; Saltveit, 1997; Fonseca et al., 2002a).

El cambio de la atmósfera por una combinación de factores que influyen en la permeabilidad del envase del producto y la respiración con el fin de lograr un ambiente de gran equilibrio para la conservación del producto. Este equilibrio se logra cuando la respiración del producto consume la misma cantidad de O₂ que entra en el embalaje y la producción de CO₂ por la respiración es igual a la cantidad que sale de la embalaje (Day, 1993).

El objetivo de esta investigación es desarrollar una máquina para micro perforar película de polipropileno de bajo costo y versátil para la fabricación de atmósferas modificadas, que funcione para diferentes productos hortofrutícolas.

7.1.1 MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño, la construcción y evaluación del equipo se llevaron a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, el diseño se realizó con ayuda del software Autocad, la construcción del equipo se realizó en el taller de diseño del departamento de maquinaria agrícola perteneciente a la Universidad. La primera fase diseñada y construida fue el sistema de alimentación de polipropileno, el cual consiste de un chasis en PTR, rodillos tensores y de un motor trifásico de corriente alterna.

7.1.1.1 Parametrización de condiciones de perforado

La segunda fase consistió en hacer pruebas para conocer el comportamiento del polietileno a diferentes temperaturas de perforación y velocidades, las cuales se realizaron con ayuda de un tacómetro para medir las revoluciones del motor, termopares y un termómetro infrarrojo. Se usara polipropileno como película de la atmósfera controlada.

Se usó una resistencia a 110 volts conectada a un pirómetro para el control de temperatura, las agujas de las jeringas para insulina de un diámetro de 0.3 mm y agujas para sastre del mismo espesor.

Se colocaron las agujas sobre la resistencia para calentarlas mediante conducción, tomando la temperatura de las agujas con ayuda de un termómetro infrarrojo, colocando el polipropileno sobre el prototipo para tensarlo, se procedió a perforar el polipropileno con las agujas a la temperatura especificada, posteriormente se recortaron las muestras para poder manipularlas para su observación en microscopio con un aumento de 50x para la toma de las imágenes de los orificios generados por la perforación.

7.1.1.2 Troquelador para el perforado

El diseño del prototipo para calentar las agujas, se basa en el principio de transferencia de calor mediante la convección, el cual consiste en una placa de acero 1040, resistencia tipo banda, agujas, un sistema motor con transmisión mediante cadenas, sistema de biela manivela y controladores de temperatura PID (Proporcional Integral Derivativo).

La velocidad con la que se calienta el troquelador está dada por ecuación 1.

$$H = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: H es la rapidez con la que se transfiere el calor (W)

k es la conductividad térmica del material (W/mK)

A es el área de la placa de acero (m²)

T₁ y T₂ las temperaturas iniciales y finales (K)

L es la longitud de las agujas (m)

7.1.1.3 Sistema de control

El sistema de control del prototipo, cuenta con un conversor de corriente OMRON 3G3JV de 1.1 kW, dos controladores PID de temperatura Autonics TC4S, con los cuales se varia las revoluciones por minuto del motor , con el objetivo de que el polipropileno llegue a la velocidad adecuada para su troquelado, y con los controladores se prenden y apagan las resistencias para mantener la temperatura de las agujas en óptimas condiciones, esto implica que el sistema controla la productividad y temperatura de perforado del material.

7.1.1.4 Modelado de las atmósferas modificadas

Para la simulación de la concentración de CO₂ y O₂ dentro de la AM se utilizaron las ecuaciones de la teoría de la cinética enzimática de Michaelis-Mentel (ecuación 2 y 3) (Valle, 2009).

El empaquetado en atmósferas modificadas (MAP) se han diseñado para producir una concentración óptima de O₂ y CO₂ a temperaturas adecuadas

mediante un modelado matemático (Chinnan, 1989; Lee et al., 1991; Cameron et al., 1995).

$$\frac{dP_{O_2}^i}{dt} = \left[\frac{R(T+273.15)}{V_L \cdot M_{CO_2}} \right] \left[\frac{P_{O_2} \cdot A_p \cdot (P_{O_2}^e - P_{O_2}^i)}{\delta} - \frac{m_{fr} \cdot g_{O_2}^{max} \cdot P_{O_2}^i}{K_m + P_{O_2}^i \cdot \left(1 + \frac{P_{CO_2}^i}{K_a} \right)} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\frac{dP_{CO_2}^i}{dt} = \left[\frac{R(T+273.15)}{V_L \cdot M_{CO_2}} \right] \left[\frac{m_{fr} \cdot g_{CO_2}^{max} \cdot P_{O_2}^i}{K_m + P_{O_2}^i \cdot \left(1 + \frac{P_{CO_2}^i}{K_a} \right)} - \frac{P_{CO_2} \cdot A_p \cdot (P_{CO_2}^i - P_{CO_2}^e)}{\delta} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

Se emplearon los parámetros mostrados en el cuadro 1 para alimentar el sistema.

Cuadro 1.- Parámetros de simulación de una AM

Concepto	Abreviatura	Cantidad	Unidad
Volumen libre	VL	0.01	m ³
Peso molecular CO ₂	M _{CO₂}	0.044	Kg/mol
Peso molecular O ₂	M _{O₂}	0.032	Kg/mol
Tasa máxima de consumo de CO ₂	G ^{max} _{CO₂}	2.12 x 10 ⁻⁸	Kg/Kg*s
Tasa máxima de consumo de O ₂	G ^{max} _{O₂}	8.18 x 10 ⁻⁹	Kg/Kg*s
Constante del gas ideal	R	8314.4	Pa.m ⁻³ .Kg ⁻¹ .mol.K ⁻¹
Temperatura	T	20	C
Masa de material	M _{fr}	2.72	Kg
Área de intercambio gaseoso	A _p	0.18	m ²
Permeabilidad a O ₂	P _{O₂}	8.64x10 ⁻¹⁷	Kg m m ² s ⁻¹ Pa
Permeabilidad a CO ₂	P _{CO₂}	4.356x10 ⁻¹⁶	Kg m m ² s ⁻¹ Pa
Constante de Michaelis-Mentel	K _m	2270	Pa
Constante de inhibición	K _a	76580	Pa
Concentración de O ₂	P ^e _{O₂}	16262	Pa
Concentración de CO ₂	P ^e _{CO₂}	23	Pa
Espesor del polipropileno	δ	0.00001	m

La atmósfera cambia dentro de un plástico sellado en forma de bolsa se rigen por las leyes de difusión. El principio del método propuesto es para adaptarse a los cambios en O_2 y presiones parciales de CO_2 dentro de una bolsa llena con una apropiada mezcla de gases a la ley de Fick. (Ozdemir 2005). Se programaron las ecuaciones en Matlab, emplearon los parámetros mostrados para alimentar el sistema y el método de solución que en este caso fue Runge-Kutta de cuarto orden, que en su caso de Matlab es el ode 45, al variar el volumen libre en el empaque y el espesor del polipropileno en diferentes simulaciones, se obtuvo el comportamiento de la concentración de oxígeno y bióxido de carbono al interior del empaque.



Figura 7-1.-máquina micro perforadora, sistema de alimentación de polipropileno

7.1.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La construcción de la máquina perforadora, se encuentra en la primera fase, ya que se cuenta con el sistema de alimentación de polipropileno como se muestra en la figura 7.1, el cual se mueve con un motor trifásico de medio caballo de fuerza, y un variador de frecuencia.

Las pruebas de caracterización de parámetros para la operación del prototipo dieron como resultado las siguientes imágenes.

A 80 °C



A 70 °C



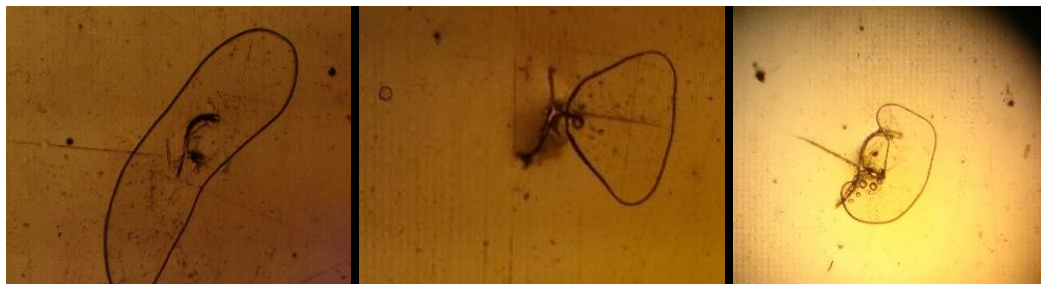
A 60 °C



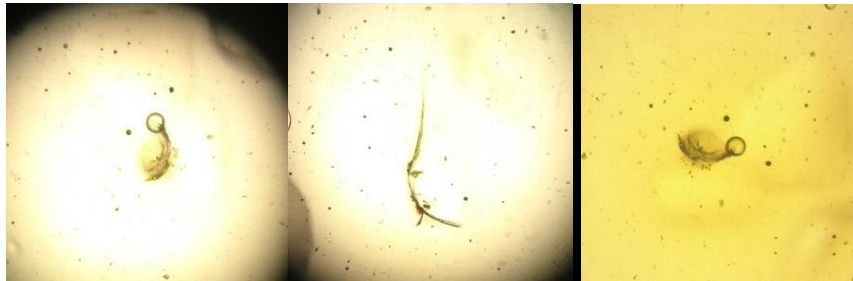
A 50 °C



A 40 °C



A 30 °C



Testigo temperatura ambiente (24 °C)

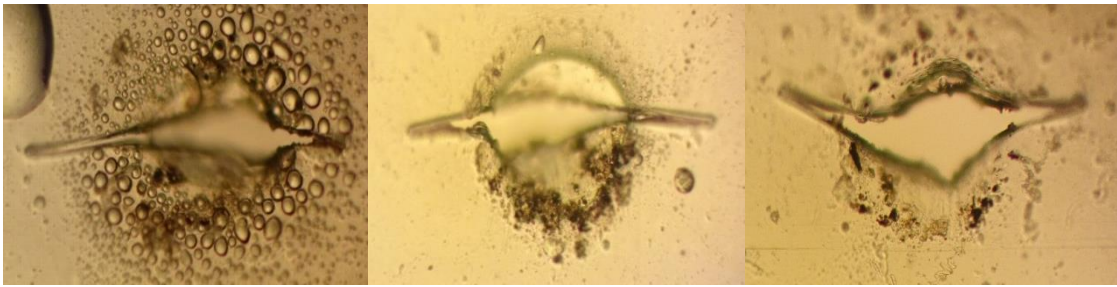


Comparando los resultados obtenidos en las temperaturas en las que se realizó el experimento, se observa que a partir de los 50 °C los resultados en la perforación son similares a las temperaturas superiores, el agujero en forma de semi círculo es debido a la forma de la aguja que se utilizó, ya que la aguja de insulina de un grosor de 0.3 mm de diámetro tiene un corte diagonal lo que permite que solo se perfore de un lado, y no obtener una forma circular como se esperaba, para el intercambio de gases y calcular el área de intercambio, las pruebas con las agujas de sastre dieron como resultado las siguientes imágenes, obtenidas del microscopio.

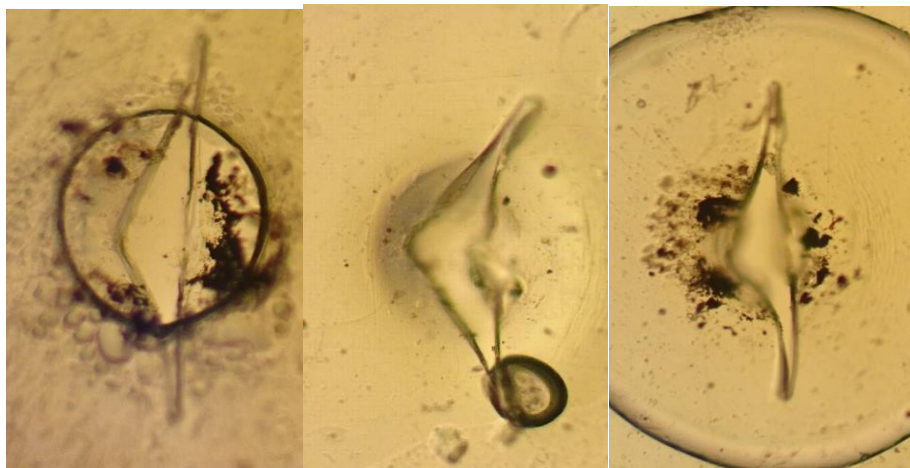
Testigo temperatura ambiente (24 °C)



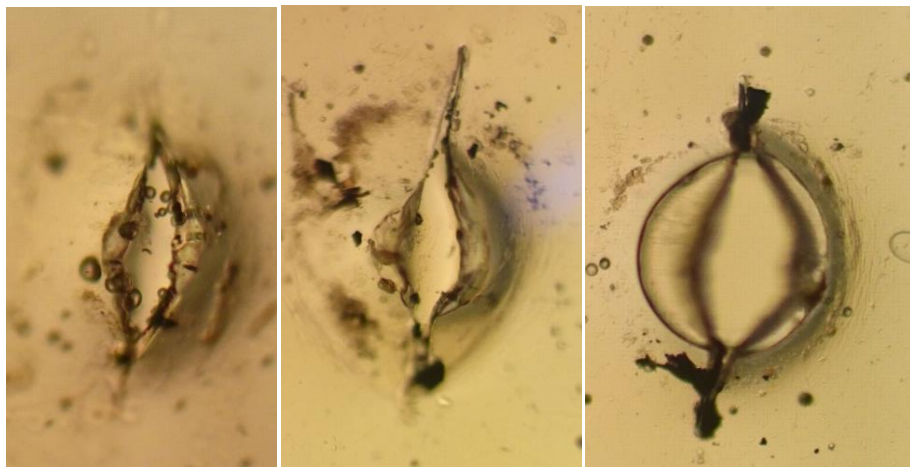
Temperatura 30 °C



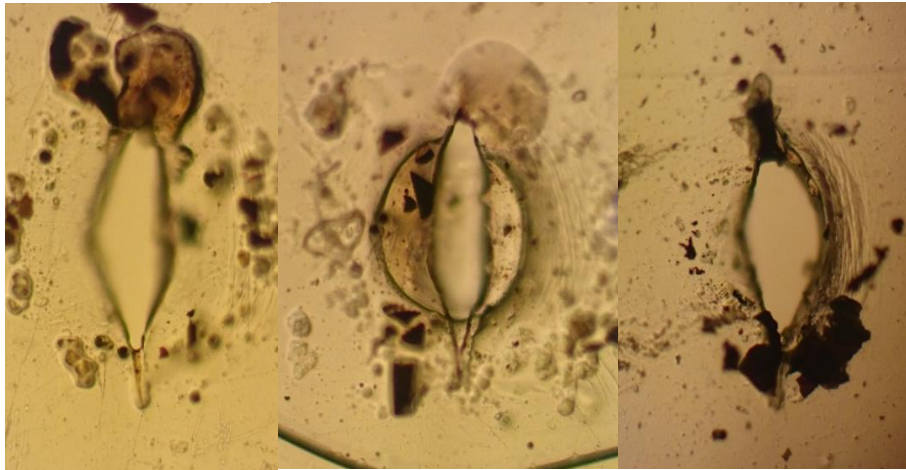
Temperatura 40 °C



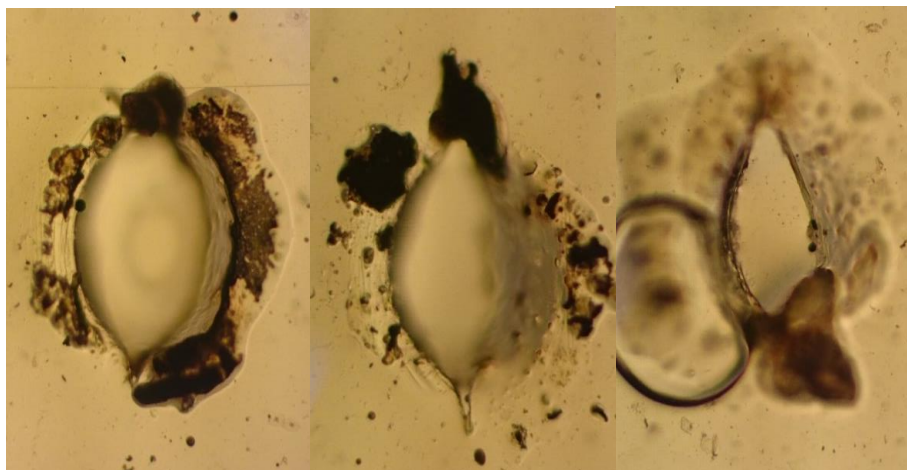
Temperatura 50 °C



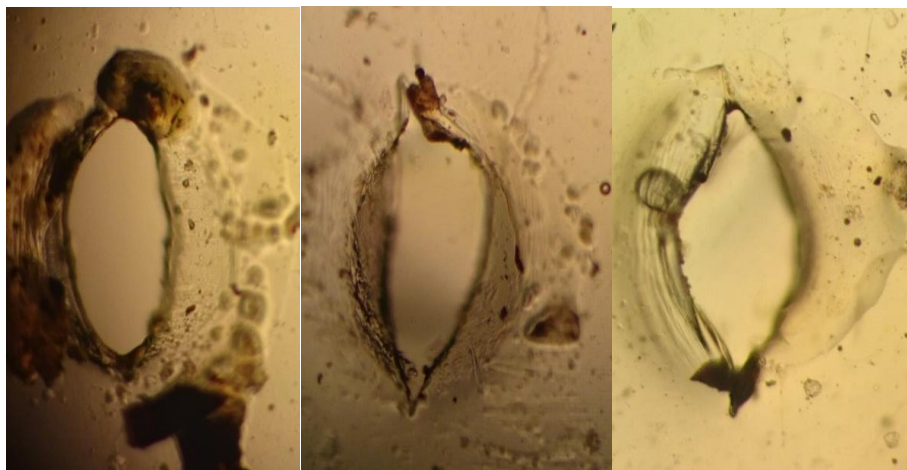
Temperatura 60 °C



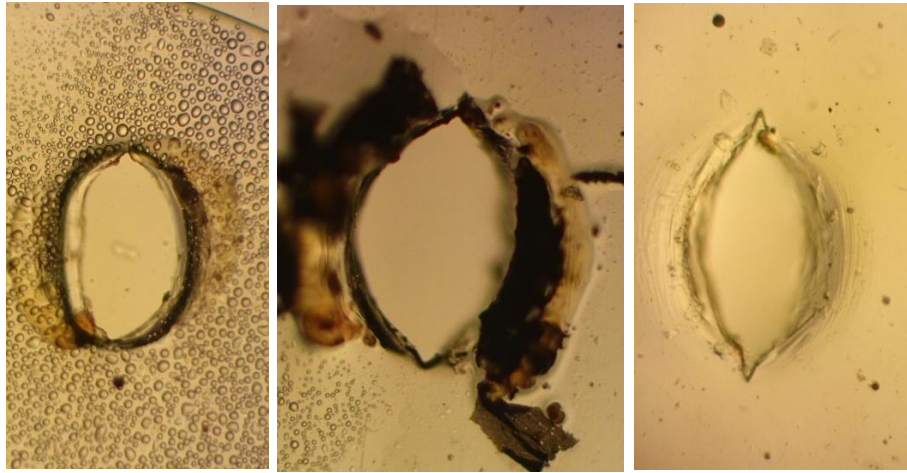
Temperatura 70 °C



Temperatura 80 °C



Temperatura 90 °C



Los resultados obtenidos con las agujas de sastre son mejores a comparación de las de insulina, en las temperaturas en las que se realizó el experimento, se observa que a partir de los 50 °C los resultados en la perforación son similares a las perforaciones hechas por las agujas de insulina, pero a partir de esa temperatura se observa una mejora en la circunferencia del microperforado, en las perforaciones hechas a 90 grados centígrados se observa una homogeneidad y una superficie expuesta al intercambio de gases. Con lo que se pasó a simular la concentración de oxígeno y bióxido de carbono al interior del empaque, para esto se usó como producto el jitomate de cascara, el cual será el producto a conservar en el experimento realizado.

Los agujeros obtenidos por la perforación con agujas de sastre se midieron con ayuda de una cámara de Neubauer, la cual después de hacer un conteo de las casillas se determinó el tamaño de 200 x 150 micras, por cada agujero de forma ovalada como se ve en la figura 7.2

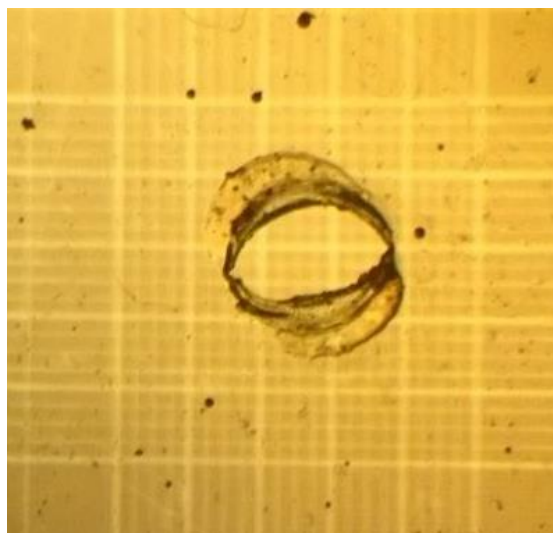


Figura 7-2 Tamaño de microperforado

Al correr el programa de simulación en Matlab, se generaron las gráficas mostradas en las figuras 7.3 Y 7.4, la cual representa la variación de la concentración de los gases en el tiempo, se puede observar como el volumen libre dentro del empaque influye en la rapidez de las concentraciones internas del empaque a estabilizarse en un valor, mientras tanto en la gráfica donde se muestra la variación del espesor del polipropileno se ve claramente que afecta en el valor de la fase estacionaria de la concentración, ya que cubiertas OTR (oxygen transfer films) de polietileno de hasta 40 μm son utilizadas (Purvis, 1983)., lo cual es valioso entender para poder controlar el tiempo y el nivel de concentración que requiere cada producto hortofrutícola.

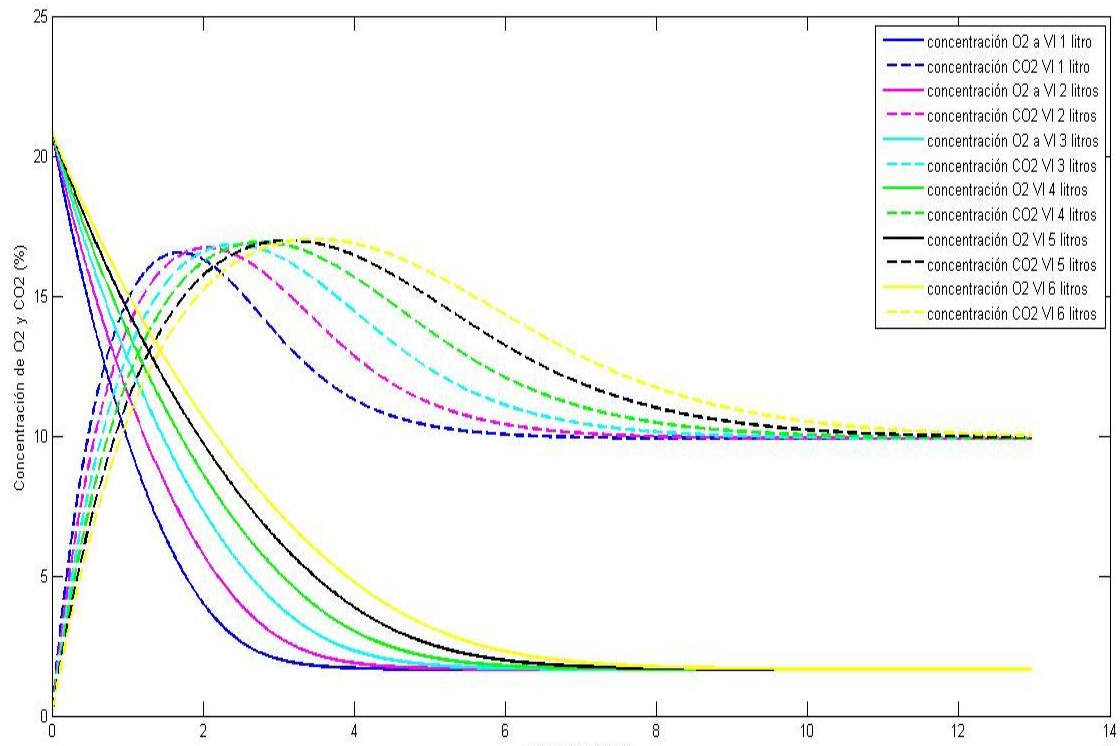


Figura 7-4 Concentraciones de O₂ y CO₂ a diferentes volúmenes libres.

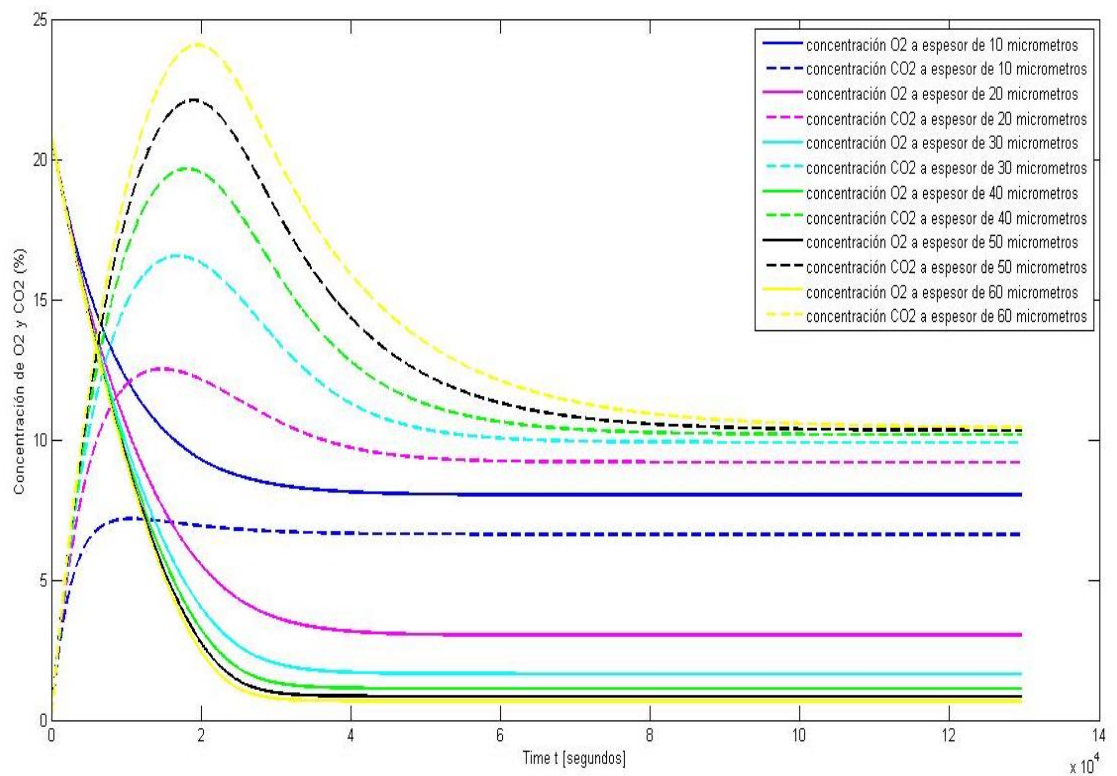


Figura 7-3 Concentraciones de O₂ y CO₂ a diferentes espesores de Polipropileno

7.1.3 CONCLUSIONES

La tecnología de AM alarga la vida de anaquel, la tecnología que se propone es de bajo costo y fácil operación.

En base a los resultados obtenidos se concluye que la temperatura optima de trabajo es a 50°C, ya que a temperaturas superiores no se observa cambio en la forma de los agujeros, y para ahorrar energía se recomienda usar la temperatura de 50°C, la forma de los agujeros semi circular se debe al uso de agujas con corte diagonal, para la obtención de agujeros circulares se recomienda agujas con corte conoidal como las de sastre, las cuales su temperatura optima es de 90°C, los cuales permiten un mayor intercambio de gases, y una mayor facilidad para el cálculo del área de intercambio.

La temperatura de las agujas impacta directamente en la perforación de agujeros, ya que a mayor temperatura los agujeros quedan mejor definidos, y las rasgadas en el polipropileno son menores.

En base a los resultados obtenidos se puede visualizar que en las atmósferas modificadas, los resultados finales de concentraciones dentro de ellas pueden variar en base a varios aspectos, ya sea por el espesor del plástico, la permeancia de este, la tasa de respiración de la fruta o verdura, del volumen libre, y la temperatura a la que es empacado. Por lo que es indispensable saber muchos parámetros para poder conservar las frutas y verduras en óptimas condiciones como las concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono en tolerancias que el producto requiera, simular las Atmósferas Modificadas nos ayuda a predecir el comportamiento de esta sin necesidad de repetir tanta experimentación, por lo que el modelo que se presenta en la presente investigación para AM tiene una alta importancia para el manejo en postcosecha.

8.- MÁQUINA PERFORADORA DE POLIETILENO PARA ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Versión en español del artículo "MACHINE DRILLED POLYETHYLENE FILM FOR MODIFIED ATMOSPHERE PACKING", publicado en Global Journal For Research Analysis, Volume-4, Issue-10, Oct-2015 • ISSN No 2277-8160 pp 136-137.

RESUMEN

La atmósfera modificada (MAP) se utiliza para aumentar la vida útil de frutas y verduras. Películas de plástico para MAP requieren perforaciones con diámetros que oscilan entre 50 y 200 μm . Este proceso de perforación requiere una máquina automática para la perforación de película de plástico. Una transmisión basada en una leva se utilizó de manera que agujas calientes perforado la película mientras que era estacionaria. El disco de transmisión permite la leva para girar cuando la película de plástico. Con el fin de producir perforaciones circulares bien formadas se encontró que la temperatura óptima de la aguja era 90 ° C y que la tensión de la película de plástico debe mantenerse a 80 N. Cuando se requiere la máquina para procesar varios tamaños, la transmisión de leva se sustituye por un sistema de embrague controlado electrónicamente. Dos embragues se utilizan con el fin de sincronizar el movimiento del rodillo y la placa de perforación. Sólo un embrague opera a la vez terminan las garras son activados por una señal de encoder.

Palabras clave: atmósfera modificada, de perforación, agujas, control de la máquina

ABSTRACT

Modified atmosphere packing (MAP) is used to increase the shelf life of fruits and vegetables. Plastic films for MAP require perforations with diameters ranging between 50 and 200 μm . This drilling process requires an automatic machine for plastic film punching. A transmission-based cam was used so that hot needles perforated the film while it was stationary. The transmission disk allows the cam to rotate when the plastic film. In order to produce well-formed circular perforations it was found that optimum needle temperature was 90°C and that the plastic film tension should be maintained at 80 N. When the machine is required to process several bad sizes, the cam transmission is replaced by an electronic controlled clutch system. Two clutches are used in order to synchronize the roller movement and the plate punching. Only one clutch operates at a time end the clutches are activated by an encoder signal.

Keywords: modified atmosphere packing, drilling, needles, machine control.

8.1 INTRODUCCIÓN

Las atmósferas modificadas dentro de los contenedores son determinadas por el área total de perforaciones microperforado en la película (50-200µm de diámetro) (Brody 2005). Las Atmósferas modificadas (MAP) de frutas y hortalizas frescas se basa en la gestión de O₂ y los niveles de CO₂ en la atmósfera en un paquete sellado. MAP funciona reduciendo las tasas de respiración, producción de etileno, los cambios fisiológicos, la inhibición de la química enzimática y los mecanismos microbiológicos que se descomponen los productos frescos.

Proporciona una alternativa, en algunos casos, a la congelación, deshidratación y esterilización. (Day, 1996, Fonseca et al, 2002). El ambiente en el interior de un paquete requiere un delicado equilibrio para la conservación de productos eficaces. Los cambios en la atmósfera dentro de un paquete están influidos por el tamaño y el número de perforaciones en la película de polímero, así como permeabilidad de la película.

El objetivo de este trabajo fue diseñar una máquina que era capaz de perforar perforaciones precisas en película de polímero utilizando un sistema de rodillos a baja velocidad y agujas calientes. Se analizó la precisión de los agujeros perforados, como una función de la temperatura de la aguja.

8.2 MATERIALES Y MÉTODOS

8.2.1 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

Película de polipropileno se inserta en el rodillo A de la máquina, (Figura 8.1). La película de plástico pasa a través de la máquina y termina en el rodillo motorizado (F). Rodillos (B) y (E) aprietan la película de polipropileno, mientras que los

rodillos (C) y (D) ayudan para que la película se mantenga plana en el plano horizontal en preparación para la perforación de los orificios, la plancha con agujas (H) baja por efecto del sistema biela manivela (G) verticalmente (Figura 8.2). La placa tiene las agujas que utilizan un sistema de LEGO para facilitar el intercambio, número de agujas e la instalación.

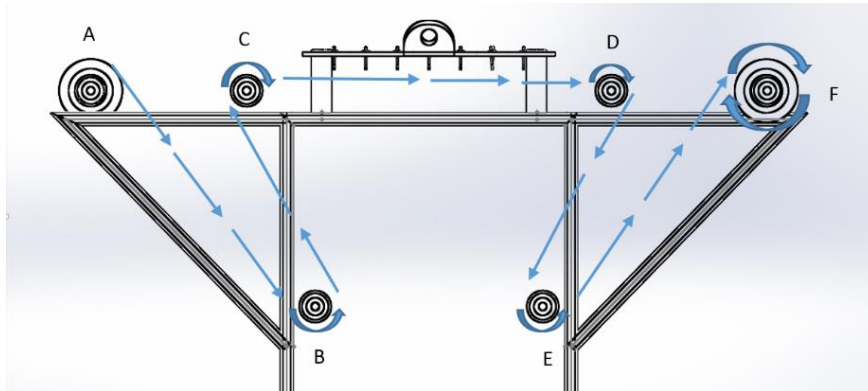


Figura 8-1.- Diseño de Máquina Microperforadora

Dependiendo del tamaño de la bolsa, algunas bolsas pueden requerir 5 perforaciones, mientras que otros pueden requerir 15 perforaciones, no siempre en el mismo lugar, el por eso la necesidad de poder variar el número y la posición de las agujas.

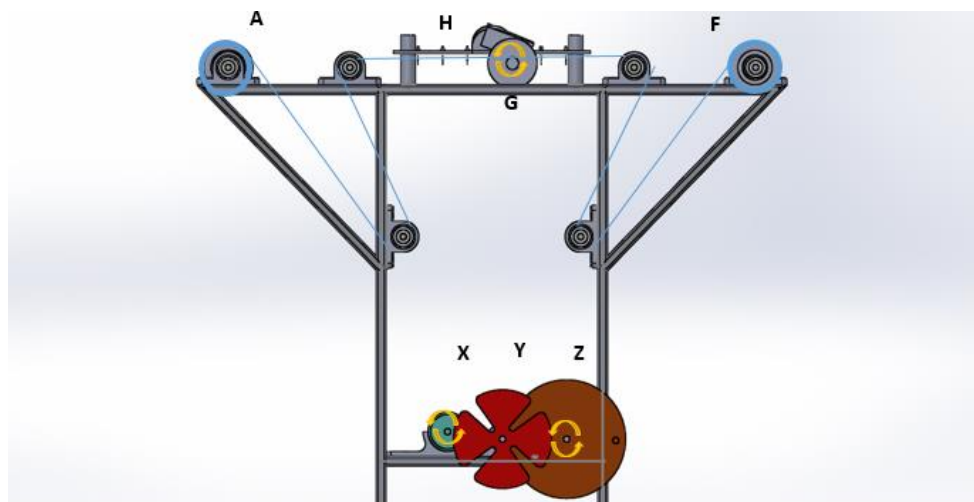


Figura 8-2.- Fase 1 de funcionamiento de la máquina microperforadora

Cada uno de los rodillos tiene dos espaciadores límite circulares para que el plástico permanece alineado correctamente durante el proceso. Rodillos (A) y (B) de ejecución sin tracción.

El motor de la máquina (X) está conectado a través de catarinas y una cadena para el disco de transmisión (Z) que acciona la máquina, el disco de transmisión (Z) hace girar el rodillo (F) (Figura 8.1) mediante un sistema de catarinas y cadena con una relación de transmisión de 1 a 1, el cual enrolla la película de plástico. Un embolo en el disco de transmisión mueve la leva (Y). La leva es en forma de trébol y contiene cuatro ranuras. El disco de transmisión gira continuamente y la leva solamente gira 90 grados, con este sistema se obtiene un movimiento intermitente de paso a paso. El disco de levas gira en relación de 4 a 1, por cada cuatro vueltas del disco de transmisión, el disco de levas gira una sola vez, el movimiento intermitente le sirve a la máquina para que las perforaciones se lleven a cabo en estado estático de la película de plástico. La leva se desplaza cuando el vástago del disco de transmisión entra en la ranura. El momento de la máquina es esencial para la función eficaz.

8.2.2 TIPO DE AGUJAS Y TEMPERATURA

Se utilizaron agujas de jeringas de insulina (0,3 mm de diámetro), así como agujas de sastre en las pruebas. Un alambre de calefacción pequeña (resistencia) se fijó a las agujas y conectado a una fuente de alimentación de manera que las agujas de calor por conducción.

Antes de la placa se desplaza verticalmente las agujas deben estar a la temperatura requerida, que se mantiene mediante el uso de un controlador de temperatura Autonic TC4S PID.

Se observa el funcionamiento de la máquina, donde el polipropileno fluye del rodillo A al F, el rodillo A es donde se coloca el rollo de polipropileno, y el rodillo F es el rodillo motriz donde se enrolla el polipropileno, los rodillos B y E sirven de tensores de la película de polipropileno, los rodillos C y D sirven para colocar de forma horizontal la película para su perforado.

8.2.3 FASES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA MICROPERFORADORA

8.2.3.1 Fase 1

Esta fase dura el tiempo entre la fase 2 y 4, es cuando el conductor (Y) se encuentra estático y solo gira la transmisión (Z) por medio del motor(X) (Figura 8.3). Se observa como la leva de la transmisión (Z) se mueve libremente (Figura 8.2), la plancha de agujas (H) se encuentra en el punto muerto inferior, en este momento se realiza la perforación de la película de plástico, la película se mantiene estático debido a que el conductor (Y) se encuentra inmóvil.

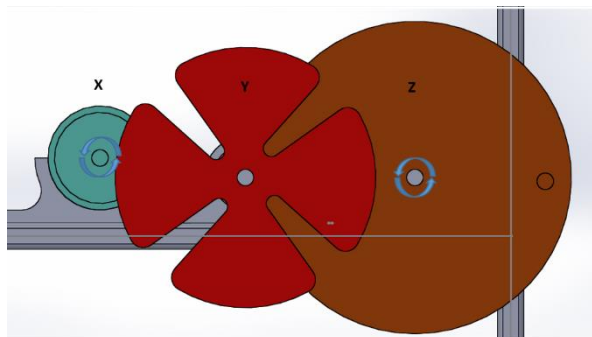


Figura 8-3.- Fase 1 Detalle de transmisión

8.2.3.3 Fase 3

La fase consiste en como la leva de la transmisión (Z) mueve a la guía del conductor (Y), lo que provoca que el conductor gire sobre su eje en sentido horario (contrario a la transmisión), debido a que le transmite un momento. (Figura 8.6).

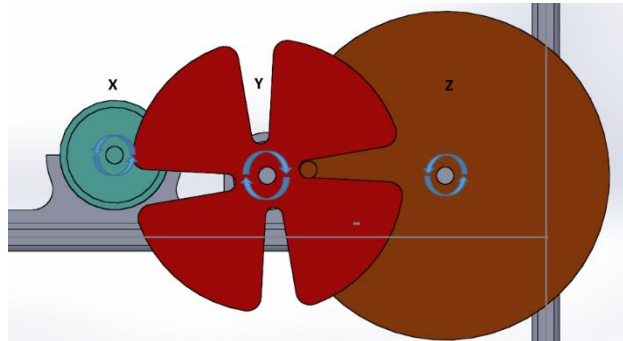


Figura 8-6.- Fase 3 Detalle de transmisión

La transmisión (Y) al tener movimiento, mediante catarinas y una cadena conduce movimiento al rodillo F, el cual se encarga de enrollar el polipropileno ya perforado, los otros rodillos giran por inercia del movimiento de la película de polipropileno (Figura 8.7). La plancha de agujas (H) se encuentra en el punto muerto, esto es por efecto de la biela (G) que la mueve por el par transmitido por

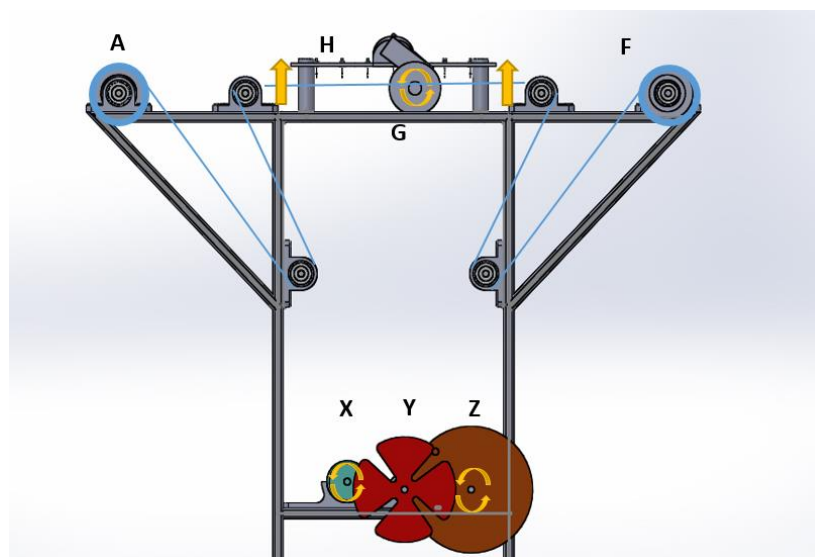


Figura 8-7.- Fase 3 de funcionamiento de la máquina microperforadora

el disco de transmisión (Z), esto es necesario para que al momento en el que se mueve la película de plástico las agujas se encuentren lo más lejos posible y no se rasgue la película.

8.2.3.4 Fase 4

En esta fase la leva deja de estar en contacto con la guía, con lo cual deja de girar el conductor (Y), provocando que la siguiente guía se posicione para que en la próxima revolución de la transmisión (Z) la leva entre por ella (Figura 8.8).

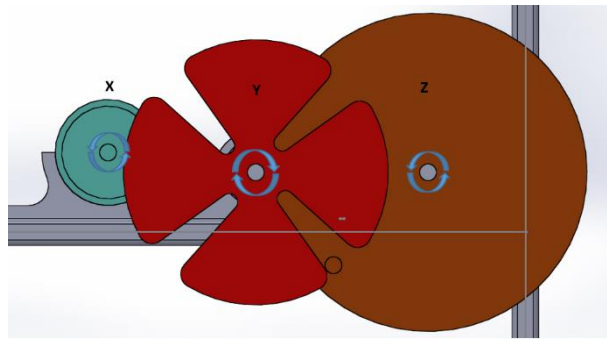


Figura 8-8.- Fase 4 Detalle de transmisión

La plancha de agujas (H), empieza a moverse verticalmente hacia abajo para el proceso de perforación, el rodillo F se detiene, (Figura 8.9). lo que provoca que el

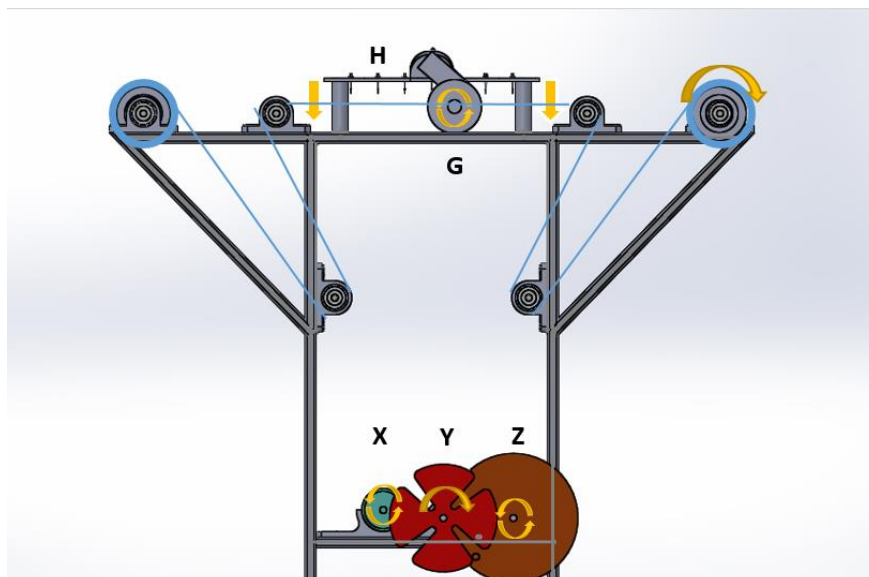


Figura 8-9.- Fase 4 de funcionamiento de la máquina microperforadora

polipropileno se encuentre en estado estacionario a lo largo de la máquina, esto facilita el perforado.

8.3 RESULTADOS

Los agujeros perforados por agujas de sastre dieron mejores resultados (Marín, 2015), con base en las observaciones de su circularidad utilizando un microscopio digital X50. Una temperatura de 90 ° C produjo las perforaciones más precisas en la película. La tensión de la película es importante para la obtención de agujeros circulares. Cuando la aguja perfora la película calentada se forma un orificio (Figura 8-10), dejando rebabas plástico quemado en ambos lados de la película.

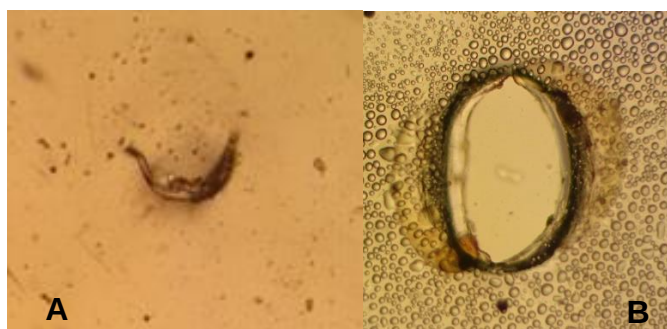


Figura 8-10.-Imagen A perforación aguja de jeringa de insulina, Imagen B perforación aguja de sastre.

Un par de hojas de aluminio de fricción 5 mm de espesor y 20 mm de ancho se colocó justo fuera de la placa móvil, una por debajo y una sobre la película de plástico, para eliminar el resto de este residuo (rebabas). Sin estas láminas de aluminio, las rebabas calientes causan daños en otras secciones de la película. Este problema se resolvió mediante el uso del par de láminas de aluminio.

Cuando la tensión de plástico se mantiene cerca del 80 N, el agujero sigue siendo

circular; sin embargo, si la tensión disminuye se forma un agujero en forma de elipse (figura 8-11).

Un interruptor de micro se usa para retener la tensión cerca de 80 N. La velocidad del rodillo de tracción no afectó el perforado de la cavidad. Si se requiere una bolsa más grande, se requiere hacer el cambio de relación entre las catarinas del rodillo motriz (F) y el disco de transmisión (Z) (Figura 8-7). Usando este método se encontró que la permeabilidad de la bolsa de atmósfera controlada funcionado satisfactoriamente (Marín, 2015).



Figura 8-11.- orificio con tensión de la película de (A) 60 N y (B) 80N.

8.3.1 CONTROL DE AGUJA DE PERFORACIÓN

Con el fin de adaptarse a diferentes longitudes de película (por diferentes bolsas de tamaño), se requieren dos motores con respectivas unidades. La primera motor acciona el movimiento de la película, mientras que el segundo se mueve la placa verticalmente. Con el fin de evitar la continua del motor se detiene un embrague se utiliza para detener el movimiento de cada motor.

Al girar el rodillo de la película y las desenrolla de plástico, un sensor codificador rotativo detecta avance de la película y el final de carrera indica si la tensión es

correcta. Cada tamaño de la bolsa puede ser programado y corresponde a un incremento del codificador. A medida que la película avanza el valor del encoder va en aumento y cuando alcanza el punto de referencia fijado para la bolsa de tamaño adecuado se activa el embrague. El embrague aísla el piñón de accionamiento del rodillo motorizado (F), detiene el movimiento de la película. Un segundo después, el segundo motor está encendido, después de que el embrague se desactiva, haciendo que la placa se mueva hacia abajo y golpear la película. Después de un segundo adicional, las agujas se elevan, dejando la película plástica libre. En este punto, las perforaciones se han hecho y el rodillo de tracción requiere girar de nuevo. Esta acción se repite continuamente hasta que se hayan completado los orificios del rollo de película en automático.

Es muy importante para mantener la temperatura de la aguja dentro de la gama de 88 ° C a 92 ° C para la formación óptima de orificio.

8.4 CONCLUSIONES

Una máquina fue construida para continuamente barrenar con precisión perforaciones microscópicas en la película de plástico.

El motor en funcionamiento continuo mueve la placa de agujas, mientras que por medio de una leva sincronizada, la película se detiene para ser perforada.

Cuando la perforación se lleva a cabo, el rodillo motorizado se detiene para producir agujeros circulares. La tensión de plástico tiene que ser mantenida a 80 N, mientras que la temperatura de la aguja debe estar cerca de 90 ° C.

Este sistema es muy simple, pero sólo funciona para un tamaño de la bolsa. Si se requiere variar el tamaño de bolsa tienen que utilizar un sistema de control electrónico basado en un codificador rotativo.

El control activa dos embragues, que aseguran que sólo un movimiento tiene lugar en un momento, a pesar de que el motor funciona continuamente.

9.- VARIACIÓN DEL ÁREA DE LOS ORIFICIOS REALIZADOS CON UNA MÁQUINA DE MICROPERFORACIÓN

RESUMEN

Las películas de plástico para atmósferas modificadas requieren perforaciones con diámetros que oscilan entre 50 y 200 micras, se determinó el efecto en la homogeneidad de los agujeros perforados, el efecto a diferentes velocidades y con diferentes materiales de embalaje realizados con una máquina de microperforaciones para película de polipropileno usando temperatura controlada en agujas. Se aplicaron la prueba de normalidad de Shapiro- Wilk, homogeneidad de varianzas (Levene) y la prueba t de Student para la igualdad de medias con un alfa de $p < 0,05$. Las áreas bajo diferentes condiciones tienen una tendencia normal. La velocidad de perforación tiene un efecto en el área de intercambio de gases inversa, cada material tiene su temperatura óptima para ser perforado. El sistema de control de bobinado probó individualmente para ser el mejor, para mantener la temperatura de las agujas en la temperatura óptima para la perforación y las áreas de los orificios aumentaron en un 3,5 % después de 8 horas.

Palabras Clave

Aguja, Perforación, Temperatura, Intercambio, Gaseoso, Homogeneidad.

ABSTRAC

Plastic films modified atmospheres require perforations with diameters ranging between 50 and 200 microns , was determined the effect in the homogeneity of the drilled holes , the effect at different speeds and with different packaging materials made with a microperforations machine for polypropylene film using controlled temperature in needles. The test Shapiro- Wilk normality, homogeneity of variances (Levene) and the t Student test for equality of means with an alpha of $p < 0.05$ were applied. The areas under different conditions have a normal trend. Drilling speed has an effect in the area of reverse gas exchange, each material has its optimum temperature to be drilled. The winding control system individually proved to be the best, to maintain the temperature of the needles in the optimum temperature for drilling and areas of the holes increased by 3.5 % after 8 hours.

Keywords

Needle , Drilling, temperature , Exchange, Gaseous, homogeneity .

9.1 INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de los consumidores de alimentos con una vida útil más larga y un menor uso de conservantes (Church y Parsons 1995) dio origen al surgimiento del envasado en atmósfera modificada (MAP) en 1960. MAP es uno de los métodos de conservación de alimentos que mantienen la calidad natural de los productos alimenticios, extiende la vida de almacenamiento de los productos agrícolas perecederos y reduce el deterioro y descomposición (Henig y Gilbert 1975); El uso de MAP reduce la actividad respiratoria de la fruta, proporciona una alternativa para asimismo, controlar insectos, retrasa la senescencia, la oxidación en los productos de corte, y prolonga la vida útil (Fonseca et al 2002b).

El transporte permeante (vapor de agua o gas) ocurre por difusión activada, en ausencia de fracturas, poros u otras imperfecciones de la superficie del recubrimiento o película (Krochta, 1992). La tasa de movimiento del gas a través de una película perforada es una suma de la difusión del gas a través de la perforación y de la película polimérica (Fishman y BenYehoshua 1996). El término microperforación se refiere a pequeños orificios en la película de 50 a 200 μm de diámetro (Brody, 2005), y son usados por P-Plus de Print Pak, y por Respire Films y Sidlaw (Cameron et al., 1993).

En microperforaciones menores a 100 micrómetros de diámetro las variaciones en el tamaño no afecta la atmosfera en el empaque, en perforaciones de 187 micrómetros donde la variación es de 27 micrómetros la tasa de transferencia de oxígeno incrementa en 167.5 cc/día (Ghosh y Anantheswaran, 2001)

Para el microperforado de polipropileno existen variedad de equipos, equipos con agujas frías el cual genera agujeros en bruto en la película de plástico y sus tamaños son superiores a 100 μm (Marín et al. 2015). Taladros láser utilizan energía térmica para evaporar el material (ablación) para producir pequeños agujeros del orden entre 50 a 200 μm de diámetro (Disimilie 1998), Las películas PPlus se fabrican perforando una película de poliolefina con muy pequeños orificios utilizando rayos láser (BenYehoshua et al. 1994). Otra técnica relativamente nueva que se utiliza para la microperforación de películas plásticas es del microEDM, también conocido como mecanizado por chispa o erosión por chispa. Con este método, el material se elimina por fusión y vaporización causada por una serie de descargas eléctricas suministradas por un generador. Estos equipos generan agujeros que varían de 30 a 100 μm de diámetro (Allan-Wojtas 2008).

El objetivo de la presente investigación es evaluar una máquina microperforadora de polipropileno que utiliza agujas con temperatura controlada. Se determina la homogeneidad de los agujeros realizados, el efecto ante diferentes velocidades y con diferentes materiales de empaque.

9.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La máquina que perfora el polipropileno (Figura 9.1) consta de agujas, una placa móvil, rodillos de tensión, un rodillo motriz y un sistema de embrague. El diseño de la máquina y su operación han sido descritos por Hahn et al, 2015. La máquina micro perforadora trabaja con un moto reductor trifásico de $\frac{1}{2}$ hp, con salida de

15 RPM. La velocidad de perforación es de 4 cm/s. Para variar la velocidad de perforado se utilizó con un conversor de corriente OMRON 3G3JV de 1.1 kW.

Se utilizaron agujas de sastre para perforar el polipropileno ya que dejan orificios más circulares que los obtenidos con las agujas de insulina (Marín et al, 2015). Para la placa de perforado se utilizaron agujas de sastre del número 4, niqueladas de 3.5 cm de largo y 150 micrómetros de diámetro.



Figura 9-1.- Máquina micro perforadora completa

La perforación de polipropileno se realiza más eficientemente si las agujas están a 90 °C. Las agujas se calientan mediante resistencias de 10 ohms enrolladas a su alrededor con 8 vueltas de alambre Nicromo calibre 25 y colocadas en el interior de bases de foco tipo pellizcó. Una vez puesta la resistencia sobre la aguja, se colocó una terminal en cada extremo de la resistencia estando aislado por el cable blindado para altas temperaturas (300 °C) de calibre 16. Para evitar movimiento se fijaron a la base de plástico con plasti-acero y/o silicón de uso automotriz para alta temperatura (Figura 9.2).

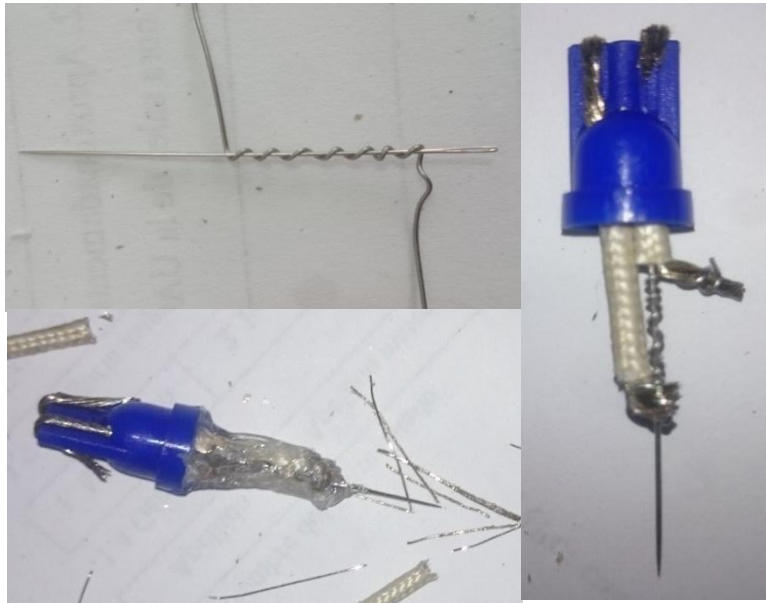


Figura 9-2.- Proceso de elaboración de agujas para perforado

9.2.1 Diseño experimental

Para las pruebas de perforado se utilizaron diferentes tipos de control de temperatura de las agujas de perforado, diferentes materiales y velocidades de perforación.

Se probaron dos alternativas en el control de temperatura: control en paralelo y control individual.

En el diseño en paralelo, un termopar (C) se conecta directamente con las resistencias de calentamiento (D), de cada aguja conectada en paralelo, figura 3b. La señal del termopar (D) se conecta a un controlador de temperatura Autonic TC4S (A) a la salida de 12 VDC del controlador, y que activa la bobina de un relevador (E) para conectar o desconectar el transformador (B).

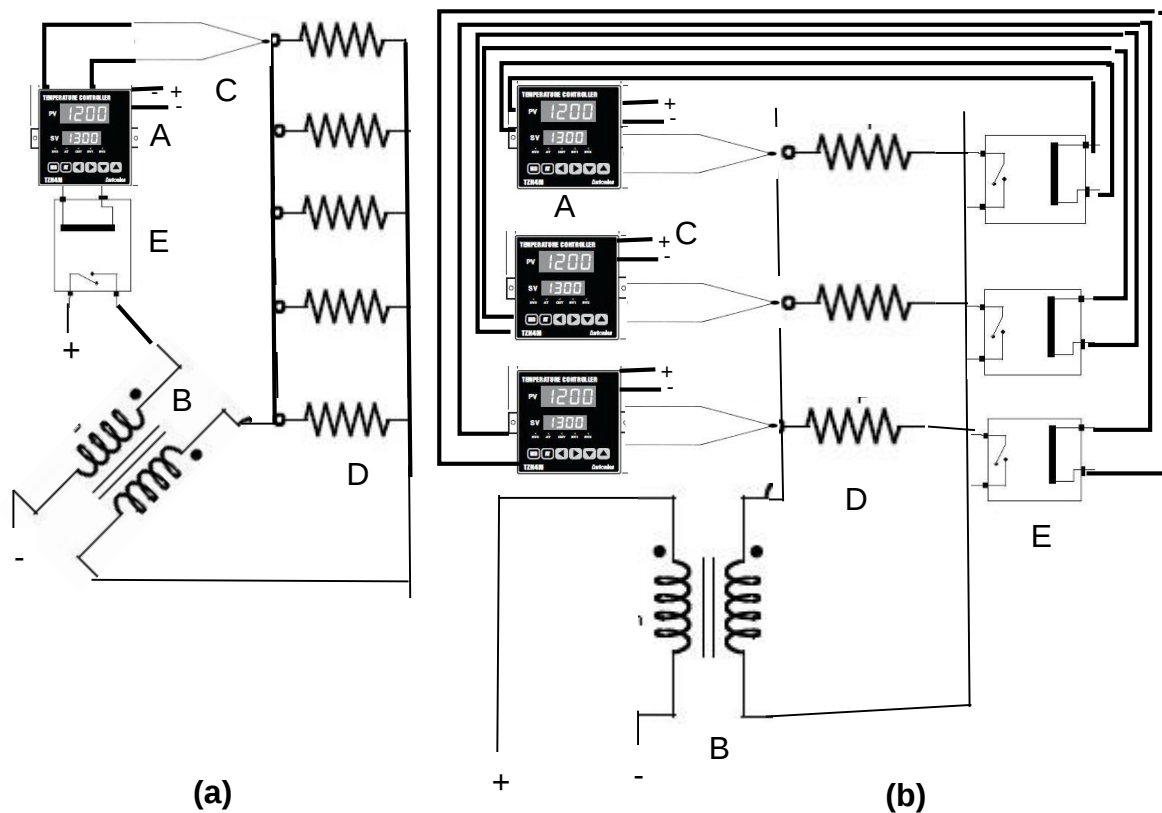


Figura 9-3. Diagrama Control en paralelo (a) y Control individual (b)

En el diseño individual la temperatura es adquirida por un termopar tipo J (C) que está en contacto directo con la aguja (D) e introducida a un controlador de temperatura Autonic TC4S (A). El sensor se encuentra en contacto directo con la aguja de perforación (D) y aislado con baquelita (Figura 9.4). La salida del controlador (E) activa un relevador el cual desconecta la aguja de la alimentación de voltaje proporcionada por el transformador (B), (Figura 9.3.b).



Figura 9-4.-Agujas aisladas con baquelita

9.2.2 Análisis de área de intercambio gaseoso

Con la finalidad de realizar pruebas sobre el intercambio gaseoso, se analizó la variabilidad de los agujeros durante un tiempo de trabajo de 8 horas, el efecto en el área del orificio ante velocidades de perforación de 1.5 cm/s, 4 cm/s y 7 cm/s. Finalmente, se observó la diferenciación en los tamaños de los agujeros al utilizar polipropileno impreso de 30 micrómetros, polipropileno natural de 20 micrómetros y polietileno de baja densidad de 15 micrómetros de espesor.

Las imágenes de los orificios fueron captadas con un microscopio digital con un aumento de 200x. Un total de 20 imágenes escogidas aleatoriamente por prueba fueron adquiridas y almacenadas en una PC. Como referencia, los orificios fueron colocados sobre una cámara Neubauer de paso de 0.1 mm, la cual permitió medir los diámetros de los orificios. Asimismo, las áreas de los orificios fueron calculadas con ayuda del programa ImageJ (Figura 9.5), el cual toma la distancia conocida de la cámara Neubauer y con ayuda del tamaño de pixeles de las fotografías digitales obtiene el área, perímetro y otras variables deseadas. En el presente artículo se utilizó únicamente el área, realizándose pruebas estadísticas con ayuda del programa SPSS Statistics para determinar la variación y la homogeneidad de los agujeros hechos por la máquina en las diferentes pruebas.

Se realizó la prueba Shapiro-Wilk de normalidad, esto con el fin de saber qué tipo de prueba estadística aplicar para determinar la similitud de medias. Se utilizó el valor significativo de la prueba Shapiro-Wilk ya que el tamaño de las muestras es menor a 30 y el valor significativo de las muestras son mayores a la alfa ($p <$

0.05). Los resultados de esta prueba determinan que todo el conjunto de datos de áreas bajo diferentes condiciones tienen una tendencia normal. Para analizar su similitud en medias se usó la prueba de homogeneidad de varianzas (levene) y T Student para determinar la igualdad de medias.

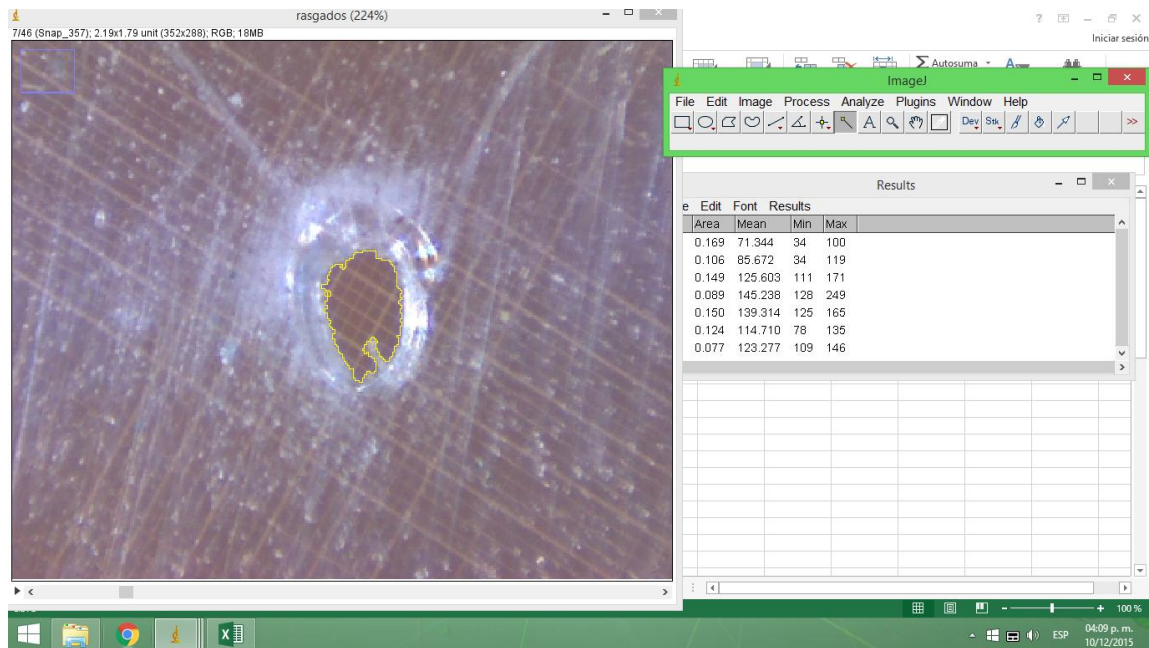


Figura 9-5.- Procesamiento de áreas con programa Imagej

9.3 RESULTADOS

9.3.1 Control de temperatura de agujas

Al usar cualquiera de los dos controles, el paralelo y el individual, se observó que entre más agujas se emplearan, mayor era la corriente eléctrica demandada. No obstante en el sistema paralelo, a pesar que todas las resistencias tenían 10 ohms, el enrollado sobre las agujas no era similar resultando en un calentamiento disparejo entre agujas. La Figura 9.6 muestra agujas con diferentes niveles de daños por la alta temperatura (180 °C) y otras que simplemente tuvieron poca

conducción de calor. Si la resistencia de alguna aguja disminuye a 1 ohm la corriente aumenta a 12 Ampers y la aguja se quema. Entre más baja sea la resistencia la temperatura es mayor, entre más voltaje se le alimente al sistema la temperatura es mayor. Esta variación en la construcción de las resistencias provocó que los orificios no fueran uniformes tal como se observa en la Figura 9.7C y Figura 9.7D, ante alta y baja temperatura, respectivamente.



Figura 9-6.- Agujas utilizadas durante la perforación con el sistema en paralelo.

En el sistema de control individual en el que los termopares se encontraban en contacto directo con las agujas (figura 9.3b), las mediciones de temperatura resultaron erróneas. Esto se debió a la inadecuada transferencia de calor entre la aguja y el termopar. Cuando las agujas estaban al rojo vivo, el controlador indicaba una temperatura baja de 35°C. Al apreciar que el contacto entre el sensor y la aguja era ineficiente se optó por optimizar esta unión.

Las perforaciones hechas con este sistema en paralelo tenían un diámetro de 600 micrómetros (Figura 9.7B), debido a la alta temperatura de perforado de 300 °C.

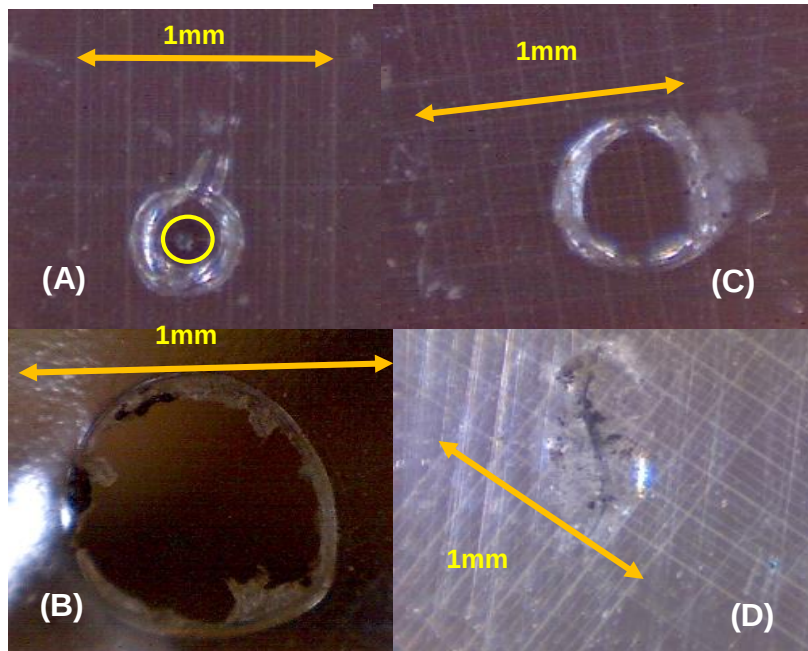


Figura 9-7.- Perforaciones control individual embobinado (A), Perforaciones control individual en contacto (B), perforación a alta temperatura en paralelo (C), Perforación a baja temperatura en paralelo

Se embobino la resistencia sobre la aguja y el sensor, en una sola pieza tal como se muestra en la figura 9.8, resultando en una mayor superficie de contacto y en una lectura mas precisa. Con el sistema de control individual, la perforación de la película de polipropileno era circular (figura 9.7 A), con diámetro de 200 micrómetros.

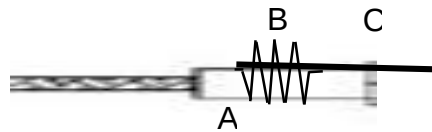


Figura 9-8.-Embobinado con la resistencia B alrededor del termopar A y la aguja C

9.3.2 Pruebas de perforado

En la figura 9.9 se observan las agujas antes (B) y después de operar durante una jornada de 8 horas (A) y se puede apreciar los residuos de polietileno quemado que se adhieren a la aguja.

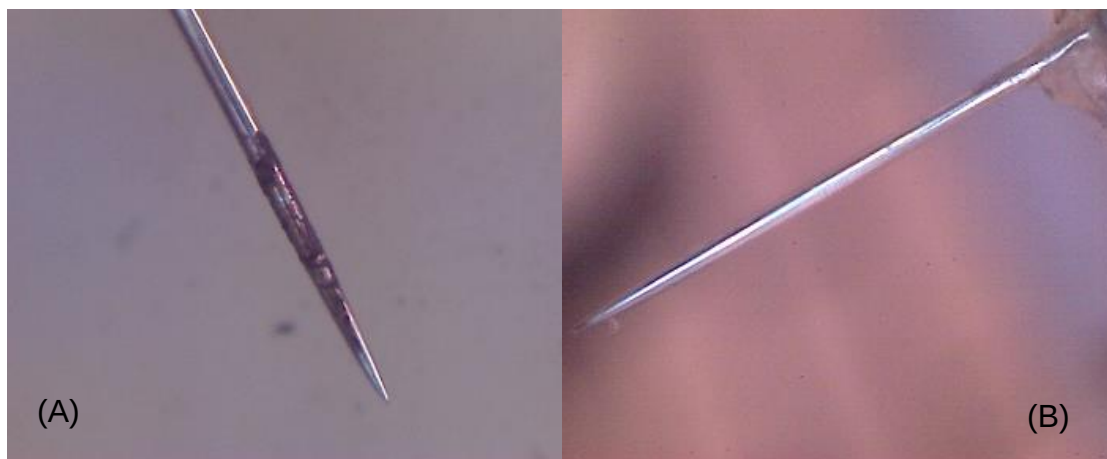


Figura 9-9.- Aguja (A) después de 8 horas de trabajo y (B) antes de iniciar perforaciones.

El análisis de áreas de las pruebas realizadas con diferentes materiales, velocidades y tiempo de trabajo se muestran en el cuadro 2. Los análisis estadísticos son la media y desviación estándar, y el análisis Shapiro-Wilk muestra el valor estadístico y el valor significativo.

Cuadro 2.- Pruebas de normalidad

Tipo de prueba	Estadísticas		Shapiro-Wilk	
	Media	Desviación est.	Estadístico	Sig.
Polipropileno impreso vel. Normal	0.02074	0.005896	0.171	0.171
Polietileno de baja densidad vel. normal	0.13495	0.020305	0.267	0.267
Polipropileno natural vel. normal	0.02963	0.007897	0.163	0.163
Polipropileno impreso vel. normal 8 horas	0.02147	0.005337	0.493	0.493
desp.	0.02626	0.002864	0.082	0.082
Polipropileno impreso velocidad baja	0.00974	0.002705	0.362	0.362
Polipropileno impreso velocidad alta				

Las rebabas de polipropileno en las agujas después de 8 horas de trabajo, causan un aumento en el área de los agujeros perforados, siendo la media numéricamente mayor tal como se observa en el cuadro 1. Las áreas obtenidas

al perforar diferentes materiales dieron como resultado una variación estadísticamente significativa en la media calculada con polietileno y polipropileno natural la cual es mayor que la del polietileno impreso. Esto se debe a que el punto de fusión del polietileno es más bajo siendo las perforaciones más grandes, la desviación estándar en el polietileno de baja densidad es mayor que en los otros materiales ya que al tener el punto de fusión más bajo que los demás las variaciones en la temperatura de la aguja por el control PID influye más fácilmente en la variación de los agujeros. El polipropileno natural (20 micrómetros de espesor) es 10 micrómetros más delgado que el impreso y por ende las perforaciones son más grandes sin perder su circularidad.

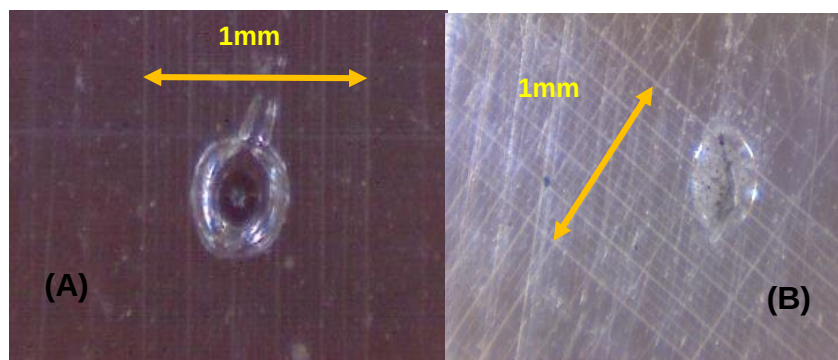


Figura 9-10.- Orificio a velocidad de perforación (A) normal, y (B) alta.

A la velocidad de perforación de 1.5 cm/s (velocidad baja) los orificios en el polipropileno impreso tienen áreas 26% mayores que aquellos procesados a 4 cm/s. Esto se debe a que en velocidad baja el material está expuesto más tiempo a la aguja, y a velocidad alta la aguja no tiene tiempo de mantenerse a una temperatura adecuada. Las perforaciones a 7 cm/s (velocidad alta) presentaron un área menor en un 53% con respecto a las perforaciones hechas a 4 cm/s, pero presentan orificios rasgados figura 9.10b.

Las pruebas realizadas dan como resultado el valor significativo de Shapiro-Wilk mayor al alfa manejado de 0.05, por lo que son muestras con distribución normal. Los datos fueron analizados mediante las pruebas de Levene y T de student que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Prueba de muestras independientes entre las variables de áreas con respecto al tiempo

Tipo de prueba	Levene		T de student	
	F	Sig.	T	Sig.
Polipropileno impreso vel. Normal				
Polietileno de baja densidad vel. normal	34.593	.000	-23.546	.000
Polipropileno natural vel. normal	1.068	.308	-3.934	.000
Polipropileno impreso vel. normal 8 horas desp.	.514	.478	-.404	.689
Polipropileno impreso velocidad baja	15.202	.000	-3.675	.001
Polipropileno impreso velocidad alta	17.163	.000	7.392	.000

El valor significativo de Levene diferente a 0 y mayores que el alfa manejado de 0.05 significa que son muestras con varianzas estadísticamente iguales. Esto resulta para el caso en donde se analiza el comportamiento del área del polipropileno impreso a velocidad normal contra el polipropileno natural velocidad normal y el polipropileno impreso velocidad normal después de 8 horas de trabajo. Los valores significativos con valor igual a cero indican que las varianzas entre los grupos son diferentes.

En las pruebas T de student con un intervalo de confianza del 95% y valor significativo de 0, las medias no son iguales en los grupos de muestreo. El único grupo con el que no se rechaza la hipótesis es para la variación de áreas durante un intervalo de tiempo, para el caso de experimentación con 8 horas de trabajo.

Las medias entre los grupos en donde la variable fue el tiempo no son significativamente diferentes estadísticamente hablando.

9.4 CONCLUSIONES

Las rebabas de polipropileno en las agujas después de 8 horas de trabajo, causan un aumento en el área de los agujeros perforados, ya que la media es numéricamente mayor, pero estadísticamente aplicando la t de Student las medias son iguales.

El sistema de control en individual embobinado resulto ser el mejor, al mantener la temperatura de las agujas en la temperatura óptimo para la perforación, sin variaciones entre ellas.

La velocidad de perforación tiene un efecto en el área de intercambio gaseoso inversamente proporcional, a bajas velocidades el área de intercambio es mayor y a mayor velocidad el área es menor, pero los orificios pierden su circunferencia conforme se aplica más velocidad.

Las áreas de intercambio en otros materiales perforados fueron mayores, por lo que se concluye que la temperatura de perforado es muy elevada, cada material tiene su temperatura óptima para ser perforado.

10.- CONCLUSIONES GENERALES

La tecnología de MAP alarga la vida de anaquel, la tecnología que se propone es de bajo costo y fácil operación.

La temperatura de las agujas impacta directamente en la perforación de agujeros, ya que a mayor temperatura los agujeros quedan mejor definidos, y las rasgaduras en el polipropileno son menores.

Una máquina fue construida para continuamente barrenar con precisión perforaciones microscópicas en la película de plástico. El motor en funcionamiento continuo mueve la placa de agujas, mientras que por medio de una leva sincronizada, la película se detiene para ser perforada.

Este sistema es muy simple, pero sólo funciona para un tamaño de la bolsa. Si se requiere variar el tamaño de bolsa tienen que utilizar un sistema de control electrónico basado en un codificador rotativo.

Las rebabas de polipropileno en las agujas después de 8 horas de trabajo, causan un aumento en el área de los agujeros perforados, ya que la media es numéricamente mayor, pero estadísticamente aplicando la t de Student las medias son iguales.

El sistema de control en individual embobinado resultó ser el mejor, al mantener la temperatura de las agujas en la temperatura óptimo para la perforación, sin variaciones entre ellas.

La velocidad de perforación tiene un efecto en el área de intercambio gaseoso inversamente proporcional, a bajas velocidades el área de intercambio es mayor

y a mayor velocidad el área es menor, pero los orificios pierden su circunferencia conforme se aplica más velocidad.

Las áreas de intercambio en otros materiales perforados fueron mayores, por lo que se concluye que la temperatura de perforado es muy elevada, cada material tiene su temperatura óptima para ser perforado.

11.- LITERATURA CITADA

Ahvenainen R (2003) Novel Food Packaging Technology, CRC Press, Boca Raton, FL, and Woodhead Publishing, Cambridge, UK

Allan-Wojtas P., C. F. Forney, L. Moyls and D. L. Moreau (2008), Structure and Gas Transmission Characteristics of Microperforations in Plastic Films, PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE Packag. Technol. Sci.; 21: 217–229

Artes-Hernandez F, Tomas-Barberan FA, Artes F (2006) Modified atmosphere packaging preserves quality of SO₂-free 'Superior seedless' table grapes. Postharvest Biol. Technol. 39, 146±154

Ben-Yehoshua S, Fishman S, Fang D, Rodov V (1994) New development in modified atmosphere packaging and surface coatings for fruits. ICIAR Proceedings, aphnet.org, <http://www.aphnet.org/workshop/postharvest>

Brody, A.L. 2005. What's fresh about fresh-cut. Food Technology 59:74-77.

Caldero M, Barkai-Golan R (eds) (1990) Food Preservation by Modified Atmospheres, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 237±264

Cameron AC, Patterson BD, Talasila PC, Joles DW (1993) Modeling the risk in modified-atmosphere packaging: a case for sense-and-respond packaging. In GD Blanpied, JA Bartsch and JR Hicks (eds), Proc. 6th Int. Controlled Atmosphere Research Conf., Vol. I, Ithaca, NY, pp. 95±102

Cameron A. C.; Talasila P.Ch.; Joles D.W. 1995. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30: 25-34.

Chinnan, M. S. (1989). Modeling gaseous environment and physio-chemical changes in fresh fruits and vegetables in modified atmospheric storage. (In) "Quality factors of fruits and vegetables - Chemistry and Technology". J. J. Jen (ed.). ACS Symposium Series No. 405, p. 189-202. Washington, D.C.

Church IJ, Parsons AL (1995) Modified atmosphere packaging technology: a review. J.Sci. Food Agric. 67, 143±152

Church N (1994) Development in modified-atmosphere packaging and related technologies. Trends Food Sci. Technol. 5, 345±352

Day, B. P. F. (1996). High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. Postharvest News and Information, Wallingford, v. 7, n. 3, p. 1N-34N.

Davies AR (1995) In GW Gould (ed.), *Advances in Modified Atmosphere Packaging, New Method of Food Preservation*, Blackie, Glasgow, UK, pp. 304±320

Del-Valle V, Hernández-Munoz P, Catala R & Gavara R, Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for minimally processed mandarin segments. *Journal of Food Engineering* 2009; 91: 474-81.

Dilley DR (1990) Historical aspects and perspectives of controlled atmosphere storage. In M CalderoÂn and R Barkai-Golan (eds), *Food Preservation by Modified Atmospheres*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 187±196

Disimilie PJ, Fox CW, Lee CP. (1998) An experimental investigation of the airflow characteristics of laser drilled holes. *Journal Laser Appl.* 10: 78–84.

Exama A, Arul J, Lencki RW, Lee LZ, Toupin C (1993) Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 58(6), 1365±1370

Fallik E, Chalupowicz D, Aharoni Z, Aharoni N (2002) Modified atmosphere in a water vapour-permeable film maintains snap bean quality after harvest. *Folia Hort.* 14, 85±94.

Farber JM (1991) Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology ± a review. *J. Food Prot.* 54(1), 58±70

Fishman S, Ben-Yehoshua R (1996) Mathematical model for perforation effect of oxygen and water vapor dynamics in modified atmosphere packages. *J. Food Sci.* 61(5), 956±961

Fonseca, SC, Oliveira FA, Brecht JK (2002a) Modelling of respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, Vol 52, 99±119

Fonseca SC, Oliveira FAR, Frias JM, Brecht JK, Chau KV (2002b) Modelling respiration rate of shredded Galega kale for development of modified atmosphere packaging. *J. Food Eng.* 54(4), 299±307

Geeson JD, Smith SM (1989) Retardation of apple ripening during distribution by the use of modified atmospheres. *Acta Hort.* 258, 245±253

Ghosh V. and R.C. Anantheswaran (2001) Oxygen transmission rate throughand model comparison micro-perforated films: measurement *journal of food process engineering* 24, 113-133.

Gorris LGM, Peppelenbos HW (1992) Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. Hort. Technol. 2(3), 303±309

Hahn Federico, Francisco Marin, Salvador Valle (2015), machine drilled polyethylene film for modified atmosphere packing, global journal for research analysis, volume-4, issue-10, oct-2015 • issn no 2277-8160 pp 136-137

Henig YS, Gilbert SG (1975) Computer analysis of the variables affecting respiration and quality of produce packaged in polymeric films. J. Food Sci. 40, 1033±1035

Hintlian CB, Hotchkiss JH (1986) The safety of modified atmosphere packaging: a review. Food Technol. 40, 70±76

Huang S, Hart H, Lee H, Wicker L (1990) Enzymatic and color changes during post-harvest storage of lychee fruit. J. Food Sci. 55, 1762±1763

Iqbal T, Rodrigues FAS, Mahajan PV, Kerry JP (2009) Mathematical modeling of the influence of temperature and gas composition on the respiration rate of shredded carrots. J. Food Eng. 91, 325±332

Irtwange SV (2006) Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Invited overview no. 4, Vol. VIII, February 2006

Isenberg FMR (1979) Controlled atmosphere storage of vegetables. In J Janick (ed.), Horticultural Reviews, AVI Publishing, Westport, CT, Vol. 1, pp. 337±394
Jacomino AP, Kluge RA, Sarantopoulos CIGL, Sigrist JMM (2001) Evaluation of plastic packages for guava refrigerated preservation. Packaging Technol. Sci. 14, 11±19.

Jayas DS, Jeyamkondan S (2002) Modified atmosphere storage of grain, meat, fruit and vegetables. Biosystem Engineering 82(3), 235±251

Kader AA (1980) Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmosphere. Food Technol. 34(3), 51

Kader AA, Zagory D, Kerbel EL (1989) Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 28, 1±30

Krochta J. M. (1992) Control of mass transfer in food with edible-coatings and films. In: Advances in Food Engineering. Singh RP, Wirakartakusumah MA editors. CRC Press, Florida. pp 517-537.

Kubo Y, Inaba A, Nakamura R (1989) Effects of high CO₂ on respiration in various

horticultural crops. J. Jap. Soc. Hortic. Sci. 58, 731±736

Lee, D. S., Hagggar, P. E., Lee, J., & Yam, K. L. (1991). Model for fresh produce respiration in modified atmospheres based on principles of enzyme kinetics. Journal of food Science, Vol. 56, No. 6, pp. 1580-1585.

Lioutas TS (1988) Challenges of controlled and modified atmosphere packaging: a food company's perspective. Food Technol. 49, 78±86

Mahajan PV (2001) Studies on Control atmosphere storage for apple and litchi using liquid nitrogen. Unpublished Ph.D. thesis, Department of Agriculture and Food Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India

Mahajan PV, Goswami TK (2001) Enzyme kinetics based modeling of respiration rate for apple. J. Agric. Eng. Res. 79(4), 399±406

Mahajan PV, Oliveira FAR, Montanez JC, Frias J (2007) Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. Innovative Food Sci. Emerging Technol. 8, 84±92

Marin, F., Hahn, F., Valle, S. (2015), "Optimal needle temperature and punching speed for a micro-drill polymeric film machine." ASABE Paper No. 2189309, ASABE, USA.

Marsh K, Bugusu B (2007) Food packaging ± roles, materials, and environmental issues. J. Food Sci. 72(3), R39±R54

Martins RC, Lopes VV, Vicente AA, Teixeira JA (2008) Computational shelf-life dating: complex systems approaches to food quality and safety. Food Bioprocess Technol. 1, 207±222

Ozdemir I.; F. Monnet; B. Gouble. 2005. Simple determination of the O₂ and CO₂ permeances of microperforated pouches for modified atmosphere packaging of respiring foods. Postharvest Biology and Technology 36 209–213.

Parry RT (1993) In RT Parry (ed.), Principles and Application of Modified Atmosphere Packaging of Food, Blackie, Glasgow, UK, pp. 1±18

Purvis, A.C. 1983. Effect of film thickness and storage temperature on water loss and internal quality of seal-packaged grapefruit. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 108:562-566.

Rediers H, Claes M, Peeters L, Willems KA (2009) Evaluation of the cold chain of fresh-cut endive from farmer to plate. Postharvest Biol. Technol. 51, 257±262

Saltveit ME (2005) Commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery crops. Postharvest Technology Centre RIC, Department of Plant Science, 104 Mann Laboratories, University of California, USA

Salunkhe DK, Kadam SS (1995) Handbook of Fruit Science and Technology, Marcel Dekker, New York

Shirazi A, Cameron AC (1992) Controlling relative humidity in modified atmosphere packages of tomato fruit. HortScience 27, 336±339

Sivakumar D, Korsten L, Zeeman K (2007) Postharvest management on quality retention of litchi during storage. Fresh Produce, 1(1), 66±75

Sivakumar D, Arrebola E, Korsten L (2008) Postharvest decay control and quality retention in litchi (cv. McLean's Red) by combined application of modified atmosphere packaging and antimicrobial agents. Crop Protection 27, 1208±1214

Techavises N, Hikida Y (2008) Development of a mathematical model for simulating gas and water vapor exchanges in modified atmosphere packaging with macroscopic perforations. Journal of Food Engineering. 85, 94±104

Valle G. S.;Gómez C. A.; Cruz C. F.; Chan C. A. 2009. Modelado de una atmósfera modificada para conservar frutos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) 1: 36 p.

Yam KL, Lee DS (1995) Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In ML Rooney (ed.), Active Food Packaging, Blackie Academic and Professional, London, p. 55

Yahia, E.;1995. Tecnología de las atmósferas modificadas y controladas. Revista Horticultura Internacional 7:37-39.

Yahia, E.; R. Ariza. 2001. Tratamientos físicos en postcosecha de frutas y hortalizas. Revista Horticultura, Extra 1:80-88.