

MODELO DE CALCULO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE PELICULA INFERIOR
TERMOFORMADA EN PRODUCTOS CARNICOS COCIDOS

WILSON OCTAVIO ROJAS CASTILLO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGIA E INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS
BOGOTA

2012

MODELO DE CALCULO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE PELICULA INFERIOR
TERMOFORMADA EN PRODUCTOS CARNICOS COCIDOS

WILSON OCTAVIO ROJAS CASTILLO

Proyecto de investigación para optar por el título de ingeniero de alimentos

Director

Rosa Tulia Amézquita

Ingeniera de alimentos

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGIA E INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS
BOGOTA

2012

Este trabajo está dedicado a dos personas que hoy ya no están conmigo pero su esencia está y estará conmigo para siempre ya que cambiaron mi manera de ver las cosas (Octavio Castillo; Fernando Arias), a mis padres por la confianza depositada en mis talentos, a mis compañeros de estudio por su apoyo incondicional y principalmente a dios por la fortaleza y la iluminación en este camino lleno de obstáculos.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento al equipo de tutores de la UNAD CEAD JAG quienes fueron los guías en este camino para formar al ingeniero de alimentos el cual hoy mediante este trabajo demuestra que su tiempo y dedicación no fueron en vano.

Al equipo trabajo de la planta de la empresa ALIMENTOS CARNICOS SAS por su colaboración en la realización de esta investigación cuyos resultados fueron mejor de lo que se esperaba, esperando a que contribuya al desarrollo de las habilidades de análisis y la gestión de reducción de sus pérdidas.

A los compañeros de trabajo del departamento de mantenimiento por su apoyo en esta labor, su paciencia para transmitir el conocimiento necesario y el aporte que hicieron al mismo.

A la ingeniera Nancy Jiménez Arellano por creer en el talento del autor para dirigir este proyecto.

También agradecer por su infinita paciencia a la ingeniera Rosa Amézquita quien bajo su dirección este proyecto no tendría la forma y el contexto para centrar las competencias de un ingeniero de alimentos, que hoy mediante esta investigación el autor da muestra de ello.

A los compañeros de carrera Elyana Marulanda Arango y Jaime Andrés Caycedo Jiménez, sin ellos este proceso no sería fácil de llevar, gracias a la experiencia que se tuvo al realizar el trabajo de grado para tecnología.

CONTENIDO

Pág.

1.	INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO.....	10
2.	RESUMEN DEL PROYECTO.....	11
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
4.	JUSTIFICACION	14
5.	OBJETIVOS	17
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	17
5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
6.	MARCO REFERENCIAL	18
6.1	ANTECEDENTES	18
6.2	PRESENTACION TEORICA DEL ENVASADO AL VACIO	20
6.2.1	Definición de la tecnología de envasado al vacío.....	20
6.2.2	Ventajas del envasado en atmósfera protectora	22
6.2.3	Inconvenientes del envasado en atmósfera protectora.....	23
6.2.4	Material De Empaque Envasado en Atmósfera Protectora (EAP).....	24
6.2.5	Maquinaria usada para el empaque EAP	36
7.	METODOS Y MATERIALES.....	43
7.1	METODO.....	43
7.1.1	Cascadeo de la pérdida;.....	44
7.1.2	Estudio del proceso en el campo (GEMBA);.....	44
7.1.3	Ejecución de las actividades.....	48
7.2	MATERIALES Y EQUIPOS	49
7.2.1	Materiales	49
7.2.2	Equipos	49
8.	ANALISIS DE RESULTADOS	50
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Comportamiento del área disponible vs el área de la pieza formada	19
Figura 2. Componentes básicos del sistema de envasado en atmósfera protectora	21
Figura 3 Estructura de lamina termoformada	25
Figura 4 relación WVTR y Permeabilidad	27
Figura 5 Isotherma de sorcion producto-empaque.....	29
Figura 6 Proceso de predicción de <i>SHELF LIFE</i>	30
Figura 7 Diagrama de espesores de una película termoformada después de ser formada en una termoformadora	35
Figura 8 Empacadora termoformadora MULTIVAC Modelo R250	37
Figura 9 Línea de termoformado para el envasado de alimentos en atmósfera protectora	38
Figura 10 Estación de formado para Formato Estándar.....	39
Figura 11 Molde en proceso de calentamiento (ingreso de aire para estabilizar presión)	40
Figura 12 Molde en proceso de calentamiento (Presión entre la lamina y la placa de calentamiento)	41
Figura 13 Flujo de metodología CAPDO	43
Figura 14 Datos de medición de espesores Salchicha Tradicional Zenu X 450g	44
Figura 15 Grafica de interacción de efectos diseño N°1	50
Figura 16 Grafica de efectos principales Diseño N°2	51
Figura 17 Grafica de pareto de efectos estandarizados	53
Figura 18 Grafico de pareto de efectos estandarizados (Ajustado)	54
Figura 19 Grafica de efectos principales diseño N°2.....	56
Figura 20 Apariencia de los paquetes con menos de 35 días de vida útil.	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1:Propiedades de materiales utilizados en EAP	31
Tabla 2:Temperaturas máximas permitidas en películas inferiores o bases.....	32
Tabla 3:Propiedades deseables de los materiales de envasado para atmósferas protec.	33
Tabla 4:Principales equipos de envasado en atmósfera protectora	36
Tabla 5:Calculo de tamaño de muestra	45
Tabla 6:Variables diseño experimental N°1	46
Tabla 7:Variables diseño experimental N°2	47
Tabla 8:Lista de materiales Orden de proceso.....	49
Tabla 9:Lista de equipos	49
Tabla 10:ANOVA diseño N°1	52
Tabla 11:ANOVA diseño N°2.....	55
Tabla 12:ANOVA para regresión lineal	57
Tabla 13: Resultados Análisis microbiológico unidades experimentales anormales.....	57

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: ficha técnica del producto. Salchicha tradicional.	63
Anexo B: Registros de calibración de equipos de medición.....	65
Anexo C: Informe de ensayo Realizado.....	77
Anexo D Procedimientos operativos estándar POE.....	78
Anexo E Ficha técnica de Película inferior.....	82

1. INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO

Fecha: Septiembre de 2011
Título: MODELO DE CALCULO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA PELICULA INFERIOR TERMOFORMADA PARA PRODUCTOS CARNICOS COCIDOS
Investigador principal: WILSON OCTAVIO ROJAS CASTILLO Correo electrónico: wilson.octavio.rojas@hotmail.com Nombre del Grupo de Investigación: Red de Investigación: Escuela: Ciencias básicas de tecnología e ingeniería
Director zonal: Dirección postal: Teléfono: E-mail: Ciudad: Bogotá D.C. Departamento: Cundinamarca
Lugar de ejecución del proyecto: ALIMENTOS CARNICOS PLANTA SUIZO Ciudad: Bogotá D.C.
Duración del proyecto (meses): 7 meses
Tipo de proyecto: Investigación
Valor de la Financiación solicitada:
Descriptor palabras claves: Películas termoformadas, productos cárnicos cocidos, vacío, empacadoras al vacío, modelo, impacto ambiental.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objeto crear el modelo de cálculo para determinar el espesor de la película inferior termoformada para productos cárnicos cocidos con el objeto de establecer criterios para escoger este material de empaque, la selección de este es importante para el valor del producto.

Esto generará un doble beneficio tanto económico como ambiental, al reducir el espesor de estas películas su tiempo de degradación se reducirá considerablemente, y el impacto ambiental que generan los residuos de este material a largo plazo aun no se tienen antecedentes de haberse indagado sobre el tema.

Este proyecto se realizara en ALIMENTOS CARNICOS planta Bogotá ya que cuenta con la infraestructura adecuada y el personal idóneo para el proceso, aplicando la metodología acorde a la problemática.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo per cápita de carnes frías en general en Colombia es de 1.6 kg/año a principios de la primera década del siglo XXI (Martinez, 2002).

En la industria de los alimentos cárnicos el 61,8% del aprovechamiento de materia prima cárnica es usado para Preparación de carnes frías y otras carnes no envasadas, jamones, tocinetas, salchichas, embutidos, frente a un 3,2% que es usada para el Envase de carnes en conserva en recipientes herméticos, (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005, págs. 24,25) de acuerdo a la apreciación del ingeniero Renato Restrepo gerente de desarrollo de negocios de la organización ALICO los tipos de materiales de empaque de mayor uso son los plásticos y las hojalatas (Restrepo Digiammarco, 2001), en consecuencia se puede evidenciar que el uso de material de empaque plástico multicapas es significativo frente al de hojalata de acuerdo al tipo de producto.

En datos suministrados por una de las empresas más grandes en esta industria se evalúan pérdidas por producto no conforme llegan a ser del 16% del valor del costo de la producción, en donde el producto por pérdida de vacío llega al 3,5% en peso (20,7 millones de pesos promedio mes) y las pérdidas por desperdicio de película termoformada son del orden del 1,9%(11,4 millones de pesos promedio mes), en donde la línea de producción más representativa es la línea salchichas.

El sobredimensionamiento del espesor del material es una de las pérdidas en cuanto al diseño del producto más difícil de controlar en el costo del producto terminado, esto debido a que no se han homologado criterios de selección para éste parámetro, ya que el único parámetro que se ha establecido es la experiencia con productos similares o la experiencia de un tercero.

Ensayos hechos en plantas de ALIMENTOS CARNICOS SAS en otras partes del país con el hecho de reducir a 0.5 mm el espesor de las películas en una referencia de producto producido en estas plantas, se han calculado ahorros

directos hasta por 135 millones de pesos y una reducción del peso del producto terminado del 4,5% (ALIMENTOS CARNICOS SAS, 2011).

El desarrollo de este proyecto se ejecutara en ALIMENTOS CARNICOS SAS planta Bogotá, previa autorización de la jefatura de tecnología, ya que esta cuenta con el material adecuado para su realización, además de la infraestructura y la maquinaria, este proyecto puede replicarse para el diseño de productos cárnicos cocidos empacados al vacío en termofomadoras, convirtiéndose en un parámetro de diseño del producto final para esta línea de productos.

4. JUSTIFICACION

El material de empaque no solo es un elemento que da presentación e imagen a un producto en el mercado, en la industria de los alimentos permite que este conserve un tiempo de vida útil mucho más amplio del que tiene en condiciones normales, sin embargo no es método de conservación como tal.

Al ser este un producto bastante costoso a nivel industrial este debe ser seleccionado cuidadosamente para evitar el desperdicio del mismo, además del impacto ambiental que este tipo de empaque puede llegar a generar.

No se tiene claro la existencia de criterios homologados para seleccionar el mejor material de empaque de acuerdo a las características físicas del producto cárnico a empacar.

Al ver características como permeabilidad, tipo de combinación de capas, las condiciones básicas de maquinaria etc., es muy difícil establecer un criterio ya que existe una gran variedad de estos productos en el mercado. Es por esto que se escoge la película termoformada multicapas como una de las mejores alternativas tecnológicas más viables en el empaque de productos cárnicos debido a su gran variedad de características, lo que se pretende es establecer una serie de criterios y en base a un modelo matemático escoger el espesor adecuado de la película termoformada de manera confiable, siendo este último es un parámetro importante a la hora de la conservación del alimento empacado.

La línea de investigación a la que se acogería es la "*Gestión de desarrollo ingenieril de sistemas de producción de alimentos y productos biológicos*" (Torres, 2009), en donde un sistema de producción empieza desde la adecuada selección de las materias primas hasta el material en donde este se empaca, una vez es procesado.

En la definición del programa de ingeniería de alimentos tomado de la pagina web dice:" La Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), a través del

programa de Ingeniería de Alimentos tiene el propósito de formar profesionales autónomos con los valores y las competencias profesionales para aplicar los conocimientos científicos, ingenieriles y tecnológicos a la solución de problemas que se presenten en el sector agroalimentario desde la obtención de las materias primas, su transformación, conservación, transporte, almacenamiento, distribución y mercadeo y con las competencias para diseñar procesos industriales de alimentos, desarrollar nuevos productos y diseñar y gestionar sistemas de calidad, desde la óptica del desarrollo sostenible y desarrollo social”

Como se puede apreciar el proyecto tiene un impacto sumamente positivo que se enfoca en básicamente dos partes:

El desarrollo sostenible; al lograr establecer este modelo se puede reducir las cantidades de energía eléctrica, consumo de agua y generación de residuos de baja degradación, en el caso de disminuirse el espesor de esta película, adicional el ahorro que genera esta disminución se puede cuantificar en cientos de millones al año.

El desarrollo de productos nuevos; al tener este modelo se puede usar como **fuentes** de información que permita hacer una caracterización más asertiva del producto a desarrollar, garantizando su vida útil en función de sus características.

En cuanto a las competencias que este proyecto demanda como ingeniero de alimentos, básicamente se ven involucradas dos:

- Disciplinar: “Adquirir, comprender y aplicar el conocimiento de las ciencias básicas, de las ciencias de la Ingeniería y de las ciencias de los alimentos, que le permiten diseñar, adaptar, investigar e innovar en el manejo e industrialización de alimentos, diseñar y modelar procesos de alimentos para el desarrollo de nuevos productos y de nuevas tecnologías”

- Especifica:” •La investigación y desarrollo de procesos para la obtención de nuevos productos del subsector de la industria de alimentos

El aporte que este método trae al conocimiento es la estandarización de cómo realizar la selección de un material de empaque en función de sus propiedades físicas y químicas con ella toda la aplicación de la ingeniería que amerita hasta llegar a aplicar nuevas tecnologías, decir nuevas incertidumbres a investigar.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Hallar una fórmula del cálculo del espesor de la película termoformada inferior, válida para productos cárnicos, teniendo en cuenta las características del producto terminado y el peso del producto a empacar.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Identificar la existencia de correlación entre las variables: peso, área, forma, porcentaje de adelgazamiento, espesor final, profundidad del bolsillo, vida útil del producto, y transferencia de calor con el espesor inicial.

Homologar una serie de criterios para la selección de películas termoformadas para productos cárnicos a través de la formula, tiendo en cuenta la característica funcional de la película termoformada, como criterio principal.

Realizar una reducción posiblemente no significativa pero importante de energía, como consecuencia reducir el costo de conversión del producto.

Reevaluar los inventarios de almacenes de material de empaque obteniendo una disminución en el valor del inventario.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 ANTECEDENTES

En cuanto a la problemática planteada aún no se tienen antecedentes en la industria de alimentos, sin embargo es importante denotar que existe de manera teórica de calcular el espesor de una película termoformada en función del área disponible en la lámina y el área de la pieza formada, siempre y cuando se relacione su porcentaje de adelgazamiento.

“Para estimar este adelgazamiento, uno deberá determinar el área de la hoja disponible para el termoformado y dividirla entre el área de la pieza final, incluyendo el desperdicio. Siempre es deseable que los moldes y las piezas termoformadas tengan radios de curvatura generosos. Teóricamente existe una fórmula para determinar el porcentaje de adelgazamiento del material, considerando que el material es uniformemente revenido y estirado.” (PLASTIGLAS DE MEXICO S.A DE C.V., 2001)

Ecuación 1 Porcentaje de adelgazamiento

$$\% \text{ de adelgazamiento} = \frac{\text{Espesor final de material}}{\text{espesor Original del material}} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A*B}{A*B*E(2C+2D)}$$

Donde A_1 es el área de la lámina y A_2 es el área del la figura formada¹

Fuente: PLASTIGLAS DE MEXICO S.A DE C.V. (30 de Noviembre de 2001). *Manual Técnico TERMOFORMADO*. Recuperado el 27 de Octubre de 2011, de PLASTIGAS DE MEXICO
CV:http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf

¹ Ver en figura 1

Realizando un tratamiento matemático a esta ecuación, podría calcularse el espesor de la película original, pero este modelo no se tiene los márgenes de error de este, además que como esta ecuación se hace para un molde de material termoformado estático, no tiene en cuenta la carga con la cual este elemento formado sufre cuando el producto es cargado, que es importante considerar esta variable ya que de no ser así se incurriría en un grave error y durante el transporte del producto este podría romperse antes de llegar a la estación de sellado.

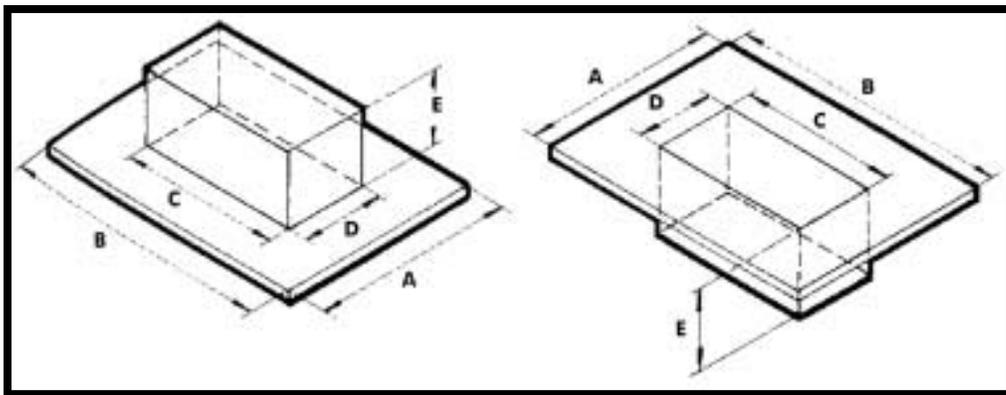


Figura 1. Comportamiento del área disponible vs el área de la pieza formada

Nota. Fuente: PLASTIGLAS DE MEXICO S.A DE C.V. (30 de Noviembre de 2001).
Manual Técnico TERMOFORMADO. Recuperado el 27 de Octubre de 2011, de
PLASTIGAS DE MEXICO
CV:http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf

6.2 PRESENTACION TEORICA DEL ENVASADO AL VACIO

6.2.1 Definición de la tecnología de envasado al vacío

Dependiendo de las modificaciones realizadas en el entorno del producto envasado se distinguen tres tipos de atmósferas protectoras:

Vacío, cuando se evacua por completo el aire del interior del recipiente.

Atmósfera controlada, si se inyecta un gas/ mezcla de gases tras la eliminación del aire y se somete a un control constante durante el periodo de almacenamiento.

Atmósfera modificada, cuando se extrae el aire del envase y se introduce, a continuación, una atmósfera creada artificialmente cuya composición no puede controlarse a lo largo del tiempo.

Las tecnologías de envasado en atmósfera protectora (EAP) se aplican a multitud de productos de diversa naturaleza (vegetales, carnes, pescados, lácteos, etc.) Cuentan con una larga trayectoria en la conservación de determinados alimentos como los derivados cárnicos, el café y los snacks y resultan muy adecuados para los alimentos frescos y mínimamente procesados y los platos preparados (García Iglesias, Gago Cabezas, & Nuevo, 2006)

La tecnología de envasado de atmosfera protectora al vacío ha sido desarrollada para el empaque de productos alimenticios sensibles al oxígeno, Debido principalmente al contenido de grasa en la carne, ya que puede sufrir modificaciones oxidativas que se manifiestan en el enranciamiento, por acción simultánea de la luz y del oxígeno (auto oxidación porque sucede espontáneamente). Los ácidos grasos son transformados en aldehído y cetonas, que son perceptibles en pequeñas cantidades en el sabor. Otras modificaciones oxidativas pueden producir cambios de color por oxidación excesiva de la mioglobina y desintegración enzimática. (Potter & Hotchkiss, 1991) El producto se envasa en una lámina de baja permeabilidad al oxígeno y es sellado después de

realizar la evacuación del aire. Debido a las propiedades de barrera del film empleado se limita la entrada del oxígeno desde el exterior.

Entre los gases más utilizados están el oxígeno, el dióxido de carbono y el nitrógeno, que ejercen su acción protectora, solos o combinados en una proporción distinta a la que presentan en la atmósfera terrestre.

En los sistemas de envasado en atmósfera protectora existen tres componentes básicos:



Figura 2. Componentes básicos del sistema de envasado en atmósfera protectora

Nota. Fuente: Garcia Iglesias, E., Gago Cabezas, L., & Nuevo, F. (2006).

TECNOLOGIAS DE ENVASADO EN ATMOSFERA PROTECTORA. Madrid, España: Fundación para el conocimiento madrid.

Con respecto a los materiales de envasado suelen emplearse polímeros con propiedades de barrera diferentes en función de las características del alimento envasado. Las estructuras multicapa formadas por polímeros distintos cuentan con una permeabilidad muy baja y preservan mejor la atmósfera interna del envase.

Por último, hay una amplia variedad de equipos de envasado en atmósfera protectora en el mercado que responde a las diversas necesidades derivadas del tipo de alimento a envasar, los formatos de envase deseados y los niveles de producción de cada fabricante.

6.2.2 Ventajas del envasado en atmósfera protectora

El envasado en atmósfera protectora presenta numerosas ventajas si se compara con los procesos de envasado convencionales en aire. Algunas de las más importantes son ((Gobantes & Gómez, 2001), citado por (Garcia Iglesias, Gago Cabezas, & Nuevo, 2006):

- El incremento del tiempo de vida de los alimentos porque este sistema retrasa y/ o evita el desarrollo microbiano y el deterioro químico y enzimático. Este aumento en la vida comercial es muy interesante para los productos frescos y mínimamente procesados que presentan una duración muy limitada sin un envasado en atmósfera protectora.
- La reducción de la intensidad de otros tratamientos complementarios de conservación para alcanzar un mismo tiempo de vida. Por ejemplo, es posible disminuir la cantidad de aditivos o aumentar la temperatura de almacenamiento sin acortar la duración del producto.
- La optimización de la gestión de almacenes. Al tratarse de envases cerrados herméticamente pueden almacenarse distintos alimentos en el mismo recinto sin riesgo de transmisión de olores entre ellos o con el ambiente. Además, pueden apilarse de forma higiénica sin problemas de goteo.
- La simplificación de la logística de distribución. Con una vida útil más larga puede reducirse la frecuencia de reparto (lo que supone un coste menor de transporte) y ampliarse la zona geográfica de distribución ((Mejía, 2003), citado por (Garcia Iglesias, Gago Cabezas, & Nuevo, 2006))
- Un número menor de devoluciones. Las pérdidas debidas a las devoluciones del producto disminuyen gracias a este tipo de envasado. También es menor la reposición de los lineales en los supermercados porque los productos tienen una caducidad más larga.

- La reducción de los costes de producción y almacenamiento, en general, debido a que pueden gestionarse con más facilidad las puntas de trabajo, los espacios y los equipos.
- Una mejora en la presentación del alimento porque el EAP contribuye a proporcionar una imagen de fresca y de producto natural. Además, suelen emplearse materiales de envasado brillantes y transparentes que permiten una visualización óptima del alimento.
- El valor añadido que supone aplicar una atmósfera protectora para el envasado de los alimentos, que puede ser un elemento diferenciador frente a los productos de la competencia.

6.2.3 Inconvenientes del envasado en atmósfera protectora

Frente al envasado convencional en aire el EAP² cuenta con distintos inconvenientes como son ((Gobantes & Gómez, 2001), citado por (García Iglesias, Gago Cabezas, & Nuevo, 2006):

- La necesidad de diseñar una atmósfera adecuada a las características del alimento, seleccionando el gas o gases más apropiados a la concentración de mayor eficacia. Para ello deben conocerse la composición química del producto, las principales reacciones implicadas en su deterioro durante el almacenamiento, la microflora presente, su pH, su actividad de agua, etc.
- La elevada inversión inicial en la maquinaria de envasado y en los sistemas de control para detectar perforaciones en los envases, la cantidad de oxígeno residual y las variaciones en la composición gaseosa de la atmósfera creada.
- El costo de los materiales de envasado y de los gases utilizados (excepto en el envasado al vacío).

² EAP(Envasado en Atmósfera Protectora)

- El incremento en el volumen de los paquetes (excepto en el envasado al vacío) que supone un aumento en el espacio requerido para su almacenamiento, transporte y exposición.
- La necesidad de personal cualificado, en algunos casos, para el manejo de la maquinaria de envasado, las plantas de obtención de gases in situ, los equipos para su mezcla y los sistemas de control correspondientes.
- La apertura del envase y los daños en la integridad del material que lo compone implican la pérdida de su hermeticidad y, por tanto, de todas las ventajas que aporta el envasado en atmósfera protectora.
- El riesgo de desarrollo de microorganismos en el alimento si se producen abusos en la temperatura de conservación, por ejemplo, por parte de los distribuidores y del propio consumidor.
- Otros inconvenientes derivados de la propia tecnología de EAP como los problemas de colapso del envase, la formación de exudado sobre el alimento en atmósferas ricas en dióxido de carbono, la aparición de patologías vegetales derivadas del almacenamiento en atmósfera controlada, etc.

6.2.4 Material De Empaque Envasado en Atmósfera Protectora (EAP)

6.2.4.1 Características de las láminas

Existe una gama muy variada de tipos de láminas. La selección del tipo de lámina que se deberá usar para el envasado de un producto, la determinan factores tales como:

- Tipo de producto (Rígido, semirrígido o flexible)
- Profundidad de termoformado.
- Resistencia a la perforación.
- Capacidad de sellado.
- Resistencia a la temperatura.
- Impermeabilidad al vapor de agua, O₂, CO₂ y otros gases.
- Presentación del envase.

Las láminas que se utilizan para envasar productos alimenticios, son normalmente láminas compuestas. Estas pueden estar constituidas por 2 o más capas. Escogiendo determinados tipos de material, se puede combinar y obtener propiedades muy ventajosas. Las láminas como regla general se componen de una capa soporte y otra sellante.

6.2.4.2 Estructura de las películas plásticas termoformadas multicapas

La estructura de estas películas multicapas, la capa exterior proporciona barrera al agua, propiedades de impresión y propiedades estructurales, mientras que la capa interna proporciona barrera para inercia química y termosoldabilidad³. (GIMENEZ TORRES, 2001), dentro de los materiales más utilizados para envasado se incluyen los siguientes de forma predominante:

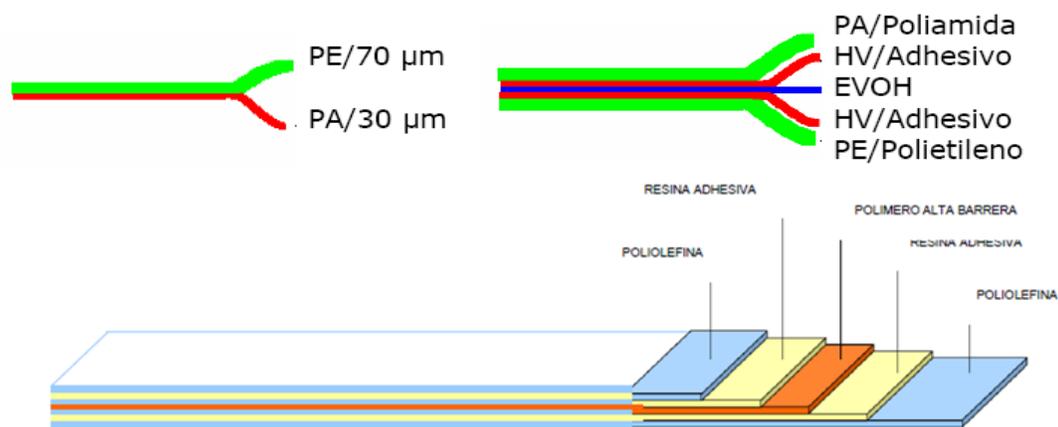


Figura 3 Estructura de lamina termoformada

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.

- POLIETILENO (PE)
- POLIPROPILENO (PP)
- POLIESTER (PET)

³ Se hace referencia a la propiedad de adhesión con otros polímeros para sellar por efecto del calor.

- POLIAMIDA (PA)
- POLIESTIRENO (PS)
- POLICLORURO DE VINILO (PVC)
- ALUMINIO (AL)
- ETIL-VINIL ALCOHOL (EVOH)

Estos materiales se diferencian entre sí por sus características de barrera para conservar el producto así como por sus cualidades de transparencia, termoformabilidad o resistencia térmica.

6.2.4.3 Diseño de las películas plásticas termoformadas multicapas desde la fábrica.

En el diseño de películas multicapa la permeabilidad está muy relacionada y se obtiene de un parámetro también de suma importancia es la tasa de transmisión de vapor de agua en donde se relacionan de la siguiente manera:

Ecuación 2 Permeabilidad en películas termoformadas

$$P = \left(\frac{q}{A t} \right) \frac{l}{\Delta p} = WVTR \frac{l}{\Delta p}$$

En donde:

P es permeabilidad, q cantidad de calor, A área, T tiempo, WVTR Tasa de transmisión de vapor de agua, l es el espesor de la lamina multicapa, Δp es diferencia de presión.

Nota. Fuente: Estudio De La Relación Entre La Transferencia De Vapor De Agua, Condiciones Ambientales Y Shelf Life, En Películas Multicapa De Polietileno Utilizadas En Empaques Alimenticios (2009)

En el siguiente diagrama se puede ver cómo están relacionadas estas variables:

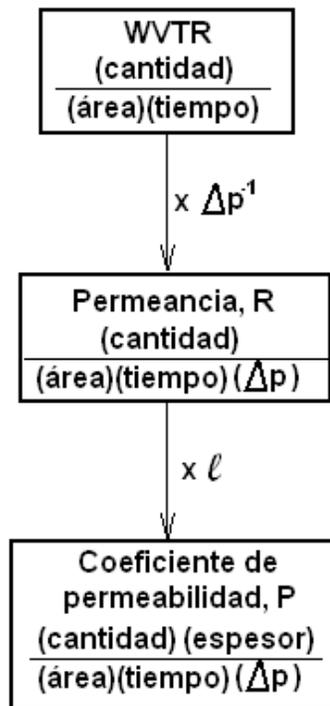


Figura 4 relación WVTR y Permeabilidad

Fuente: Estudio De La Relación Entre La Transferencia De Vapor De Agua, Condiciones Ambientales Y Shelf Life, En Películas Multicapa De Polietileno Utilizadas En Empaques Alimenticios (2009)

Posteriormente con el correcto y adecuado valor de P_T se diseña el empaque utilizando la ecuación de permeabilidad para multicapa, despejando ℓ :

Ecuación 3 Determinación del espesor desde la permeabilidad

$$\ell = \frac{P_T t A \Delta p}{q}$$

Donde:

ℓ : Espesor en micras

P_T : Coeficiente de permeabilidad total de la multicapa

t: Tiempo de vida en percha (Shelf Life)

A: Área del empaque

Q: Cantidad de H₂O ganada o perdida por el producto

Δp : Diferencia de presión en ambos lados del empaque.

“El primer paso para el diseño del empaque alimenticio es determinar los parámetros que influyen en la pérdida de calidad del producto: ganancia de humedad, oxidación, deterioro por acción microbiana, o la combinación de estos factores, y tener la curva de isoterma de adsorción del producto a empacar, donde se grafica humedad del empaque vs actividad de agua del producto”. (Alarcon Salas, 2009)

Esta es una grafica extraída del trabajo de Xavier Alarcón Salas respecto al tema en donde se identifica el comportamiento de la actividad de agua del alimento vs la humedad relativa del empaque, en resumen una isoterma de sorción del mismo:

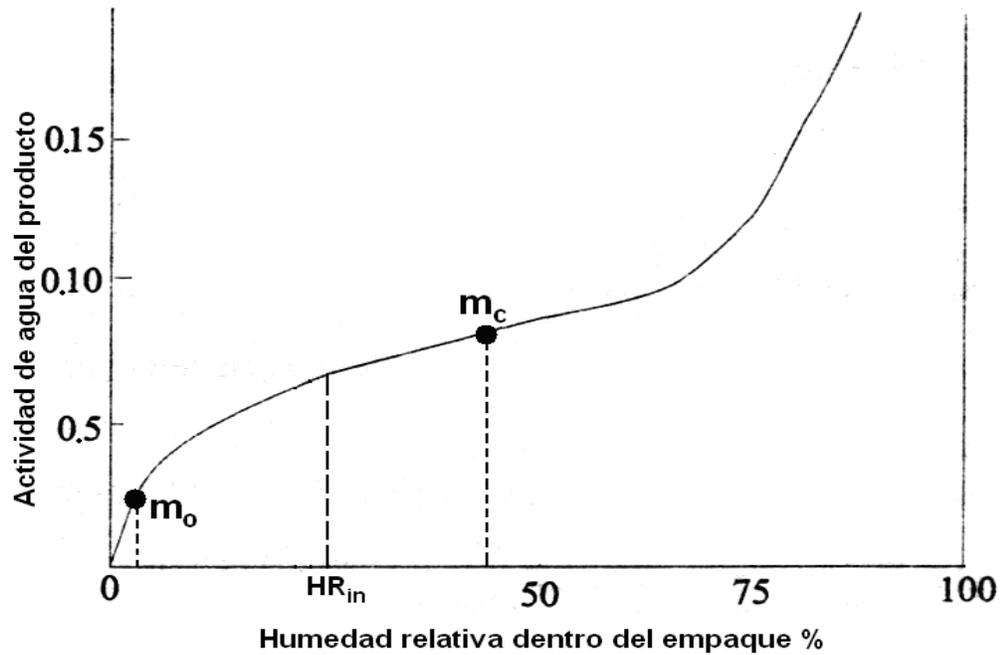


Figura 5 Isoterma de sorción producto-empaque

Nota. Fuente: Estudio De La Relación Entre La Transferencia De Vapor De Agua, Condiciones Ambientales Y Shelf Life, En Películas Multicapa De Polietileno Utilizadas En Empaques Alimenticios (2009); Esta isoterma nos sirve de gran ayuda para encontrar la humedad promedio a lo largo del lapso requerido, dentro del empaque, y entonces la HR_{in} puede ser expresada así:

Ecuación 4 Determinación de la humedad relativa

$$HR_{in} = \int_{m_o}^{m_c} A_w$$

Nota. Fuente: Estudio De La Relación Entre La Transferencia De Vapor De Agua, Condiciones Ambientales Y Shelf Life, En Películas Multicapa De Polietileno Utilizadas En Empaques Alimenticios (2009)

Con esto ya se puede seleccionar la coextrusora más adecuada para iniciar el proceso productivo, dentro de lo descrito también por Alarcón Salas es posible poder determinar la vida útil del producto dentro del empaque garantizando una serie de condiciones en las cuales no perderá sus propiedades organolépticas

En el siguiente diagrama resume la relación existente entre las características del material de empaque y la predicción de la vida en percha:

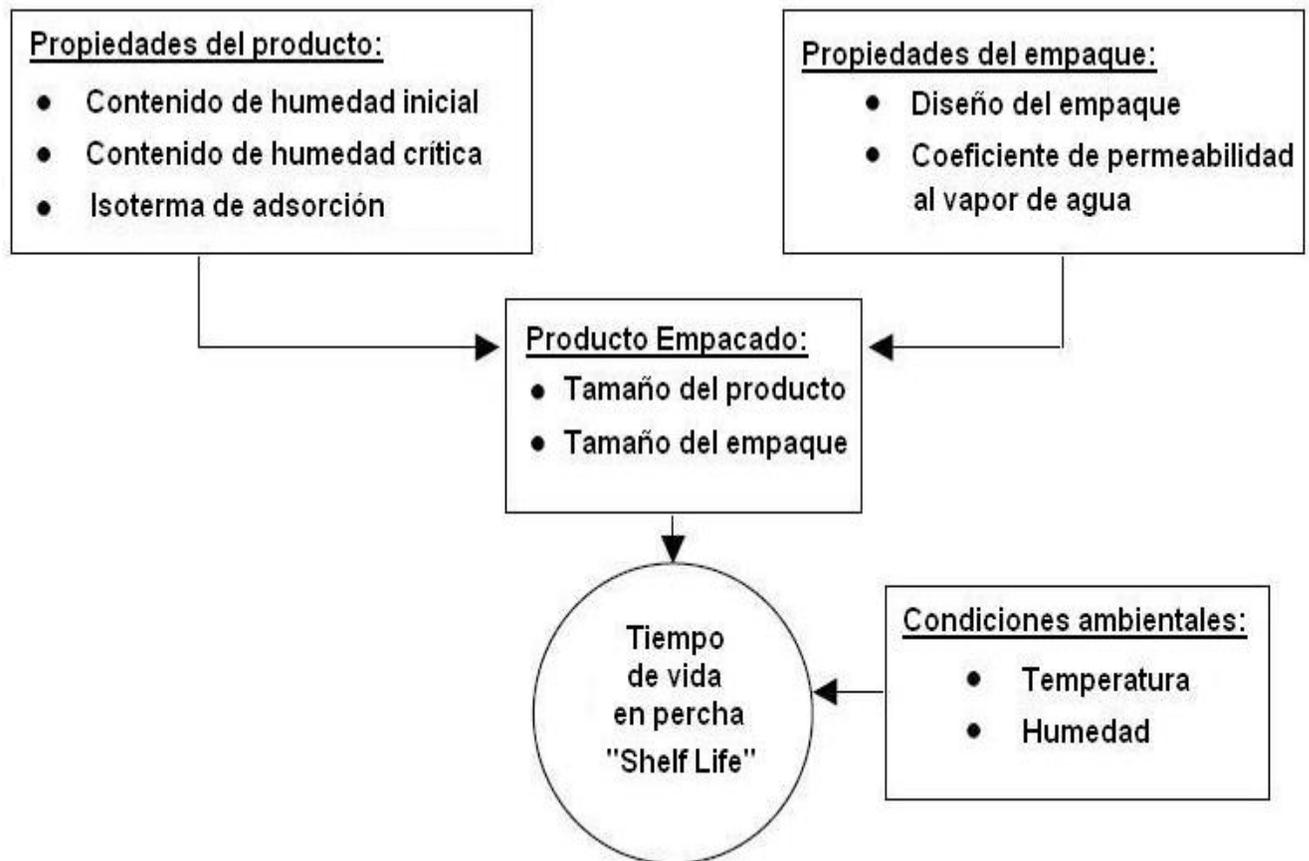


Figura 6 Proceso de predicción de *SHELF LIFE*

Nota. Fuente: Estudio De La Relación Entre La Transferencia De Vapor De Agua, Condiciones Ambientales Y *SHELF LIFE*, En Películas Multicapa De Polietileno Utilizadas En Empaques Alimenticios (2009)

6.2.4.4 Propiedades físicas de los materiales de las películas plásticas termoformadas multicapas.

En la siguiente tabla están algunos de estos materiales y sus propiedades:

Tabla 1:
Propiedades de materiales utilizados en EAP

Película	Permeabilidad a los gases (cm ³ /m ² atm) Películas de 25µm a 25°C			Trasmisión de vapor de agua (g/m ² día) 38°C 90%HR	Resistencia a grasas y aceites
	O ₂	CO ₂	N ₂		
Poliétileno de baja densidad (LDPE)	7800	42000	2800	18	Pobre
Poliétileno de alta densidad (HDPE)	2600	7600	650	7-10	Buena-excelente
Polipropileno (PP) Fundido	3700	10000	680	10-12	Buena
Polipropileno Orientado	2000	8000	400	6-7	Buena-excelente
Etileno-acetato de vinilo (EVA)	12500	50000	4900	40-60	Pobre
Policloruro de vinilo (PVC) rígido	150-350	150-350	60-150	30-40	Excelente
Policloruro de vinilo (PVC) plastificado	500-30000	1500-46000	300-10000	15-40	Buena
Poliámidas (PA) o Nylon-6	40	150-190	14	84-3100	Excelente
Poliámidas (PA) o Nylon-11	500	2000	52	5-13	Excelente
Politereftalato de etilenglicol (PET) o poliéster, orientado	50-130	180-390	15-18	25-30	Excelente
Poliestireno (PS), Orientado	5000	18000	800	100-125	Buena
Etileno-alcohol vinílico (EVOH)	3-5	-	-	16-18	-
Ionómeros	6000	6000	-	25-35	

Nota. Fuente: García Iglesias, E., Gago Cabezas, L., & Nuevo, F. (2006). *TECNOLOGÍAS DE ENVASADO EN ATMÓSFERA PROTECTORA*. Madrid, España: Fundación para el conocimiento madrid.

Tabla 2:
Temperaturas máximas permitidas en películas inferiores o bases

Material	Temperatura de formado en ° C	Temperatura de formado en ° F
PA	80	176
PE	80	176
A-PET	115	239
EPET	110	230
PP	155	311
EPP	150	302
PS	125	257
OPS	120	248
PVC	125	257
EVOH	100	212

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.

6.2.4.5 Propiedades deseables de los materiales de envasado.

En la siguiente tabla se resumen las propiedades deseables en un envase de EAP

Tabla 3:

Propiedades deseables de los materiales de envasado para atmósferas protectoras

Barrera o de protección	
Estos materiales deben preservar el alimento y la atmósfera protectora del ambiente exterior	Barrera frente a gases, humedad y olores
	Protección frente a la luz
	Resistencia a grasas y aceites
Técnicas o mecánicas	
Impuestas por el proceso de envasado la maquinaria utilizada en él y la manipulación de los envases acabados durante su distribución y venta	Resistencia a fuerzas de tracción y fricción
	Resistencia frente a impactos, desgarros, perforaciones y abrasiones
	Flexibilidad para soportar la presión interna de los gases
	Aptitud para el termoformado
	Facilidad de sellado
	Resistencia a bajas y/ o altas temperaturas
Comerciales	
Presentación atractiva y manipulación sencilla y práctica para el consumidor	Brillo y transparencia
	Capacidad antivaho
	Facilidad de apertura
	Aptitud para la impresión y la adición de etiquetas y códigos
	Calentamiento en horno convencional o microondas
Otras	
Económicas	Rendimiento y coste por metro cuadrado
	Disponibilidad en el mercado
Legales	Inercia química
Medioambientales	Posibilidad de reciclado

Nota. Fuente: Garcia Iglesias, E., Gago Cabezas, L., & Nuevo, F. (2006).

TECNOLOGIAS DE ENVASADO EN ATMOSFERA PROTECTORA. Madrid, España: Fundación para el conocimiento madrid.

Es difícil que un único material presente todas las características de protección, técnicas y comerciales necesarias para el envasado en atmósfera protectora de un alimento concreto.

Por este motivo, suelen fabricarse envases con una estructura multicapa que se constituyen a partir de distintas láminas. Normalmente, se combinan de dos a cinco películas, cada una de las cuales aporta una o varias de las propiedades deseables.

Los principales procesos de fabricación de estructuras multicapa son la laminación, el recubrimiento por extrusión y la coextrusión.

La laminación es un sistema empleado sólo en determinadas aplicaciones por su coste elevado. Con él se obtienen envases de varias capas unidas mediante adhesivos. Se consigue una calidad de grabado óptima porque la lámina impresa queda protegida en el interior de manera que no sufre desgaste con la manipulación. Este método de fabricación dificulta la entrada de gases por lo que se recomienda para envasar productos de media o baja actividad metabólica.

En el recubrimiento por extrusión se parte de un material-base sobre el que se incorpora una película delgada con otras características (por ejemplo, apta para la impresión) procedente de la máquina extrusora. Ambas láminas se unen por acción del calor sin necesidad de adhesivos. Con respecto al anterior, se trata de un proceso más rápido porque la estructura multicapa se obtiene en un solo paso.

Por último, en la coextrusión las distintas películas se extrusionan simultáneamente para formar una sola lámina. En esta técnica tampoco se emplean compuestos adhesivos. Comparada con la laminación es bastante económica y más rápida. Los envases multicapa obtenidos por coextrusión son válidos para contener productos con una tasa respiratoria alta porque los gases pasan a través de ellos con más facilidad que en los laminados.

La impermeabilidad de un envase está determinada por la calidad de la costura de sellado. Manteniendo estas cualidades, también se puede lograr un efecto de apertura fácil de los envases. Esto significa que el envase tiene una geometría adecuada, como también la capa sellante de la lámina (normalmente superior) tiene pequeñas lagunas de polibutano (PB), las cuales generan pequeños puntos en donde, las 2 láminas no están soldadas.

Este es comportamiento de la película una vez es formada:

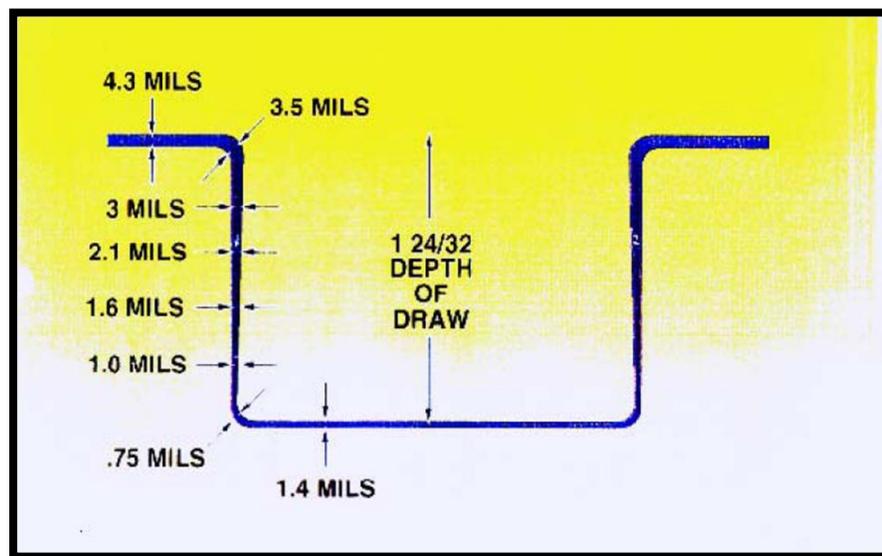


Figura 7 Diagrama de espesores de una película termoformada después de ser formada en una termoformadora

Nota.Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.⁴

El comportamiento del diagrama presentado puede variar enormemente en función del espesor original, Como se puede apreciar los puntos en donde es más frágil el producto es en las puntas cuando tienen forma rectangular el envase termoformado, las características de este “Bolsillo”, también están en función del peso que se aloje ya que

⁴ Tomado de Procedimientos de ALIMENTOS CARNICOS S.A.S

de allí está la resistencia del material para que este no se rompa una vez este sellada en el equipo.

6.2.5 Maquinaria usada para el empaque EAP

En el mercado existe una gran variedad de maquinaria acorde a las necesidades del productor, sus instalaciones y capacidad de manufactura, a continuación se resumen los tipos de máquina que pueden ser usados para EAP:

Tabla 4:

Principales equipos de envasado en atmósfera protectora.

<i>Equipo de envasado</i>		<i>Sistema de envasado</i>	<i>Generación de la atmósfera protectora</i>	<i>Producción (velocidad)</i>	<i>Tipos de envases</i>
Envasadora vertical		EAM	Barrido con gas	Por lotes/ continua (30-120 envases/min)	Flexibles, formados <i>in situ</i>
Envasadora horizontal	Flow-pack BDF	EAM	Barrido con gas	Continua (Flow-pack: 120 envases/min)	Flexibles, formados <i>in situ</i>
	Flow-vac (sistema de caraa)	EV/VSP	Vacío compensado	Continua (60 envases/min)	Flexibles, formados <i>in situ</i>
Envasadora de campana		EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Por lotes (2-3 ciclos*/min)	Rígidos y flexibles, preformados
Línea termoformadora		EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Por lotes (5-12 ciclos/min)	Rígidos, formados <i>in situ</i>
Cerradora o termoselladora	Semiautomática	EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Por lotes (2-3 ciclos/min)	Rígidos, preformados
	Automática	EV/VSP/EAM	Vacío compensado	Continua (15-20 ciclos/min)	Rígidos, preformados
Selladora de bolsa en caja		EV/EAM	Vacío compensado	Por lotes (3-30 cajas/min)	Flexibles, preformados Caja cartón
Envasadora de succión externa		EV/EAM	Vacío compensado	Por lotes	Rígidos y flexibles, preformados

Nota. Fuente: Garcia Iglesias, E., Gago Cabezas, L., & Nuevo, F. (2006). *TECNOLOGIAS DE ENVASADO EN ATMOSFERA PROTECTORA*. Madrid, España: Fundación para el conocimiento madrid.⁵

⁵ Tomado fielmente del documento citado

En el proceso de empaque de productos cárnicos cocidos debido al volumen de producción que se maneja es muy común ver líneas termofomadoras combinando distintas formas de alimentación.



Figura 8 Empacadora termoformadora MULTIVAC Modelo R250

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.

Las líneas termoformadoras utilizan el método de vacío compensado para la generación de la atmósfera protectora. Operan en continuo y su velocidad varía desde los 5-6 hasta los 10-12 ciclos/ minuto⁶. Se obtienen unos envases con un buen acabado, de diseño atractivo y alta calidad cuyo coste final es mucho menor comparado con los de otros equipos de EAP.

Estos sistemas cuentan con una bobina de material de envasado termoplástico que se conduce hasta la sección de formado donde un molde lo transforma en un recipiente

⁶ Esto depende del tipo de producto y las condiciones a las que se empaca ya que se puede llegar hasta más de 15 ciclos minutos, también depende de la configuración del molde de formado, el avance, y el proceso de cambio de formato sea óptimo.

(generalmente una bandeja) con las dimensiones deseadas gracias a la acción del calor. (Garcia Iglesias, Gago Cabezas, & Nuevo, 2006)⁷

Estos envases se llenan con el producto de manera manual o mecánica y pasan al módulo de vacío y sellado. En él se extrae el aire a través de unas bombas de vacío, seguidamente se inyecta el gas o gases protectores y se cierra con una lámina procedente de otra bobina. Por último, un sistema de corte separa las bandejas terminadas (figura 9).

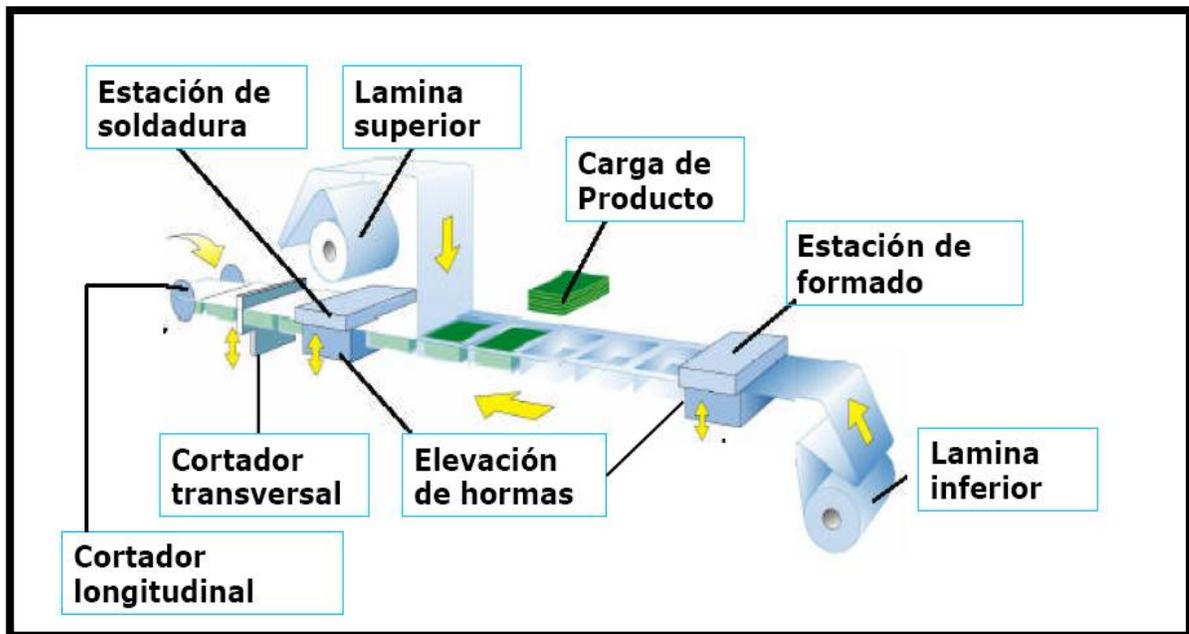


Figura 9 Línea de termoformado para el envasado de alimentos en atmósfera

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.

Debido a que el estudio está centrado en cómo es usada la película inferior y los efectos que otras variables además del espesor tengan sobre el formado del envase, la siguiente figura describe como es una estación de formado, sin entrar en detalle de las características técnicas.

⁷ Ibid, P .40

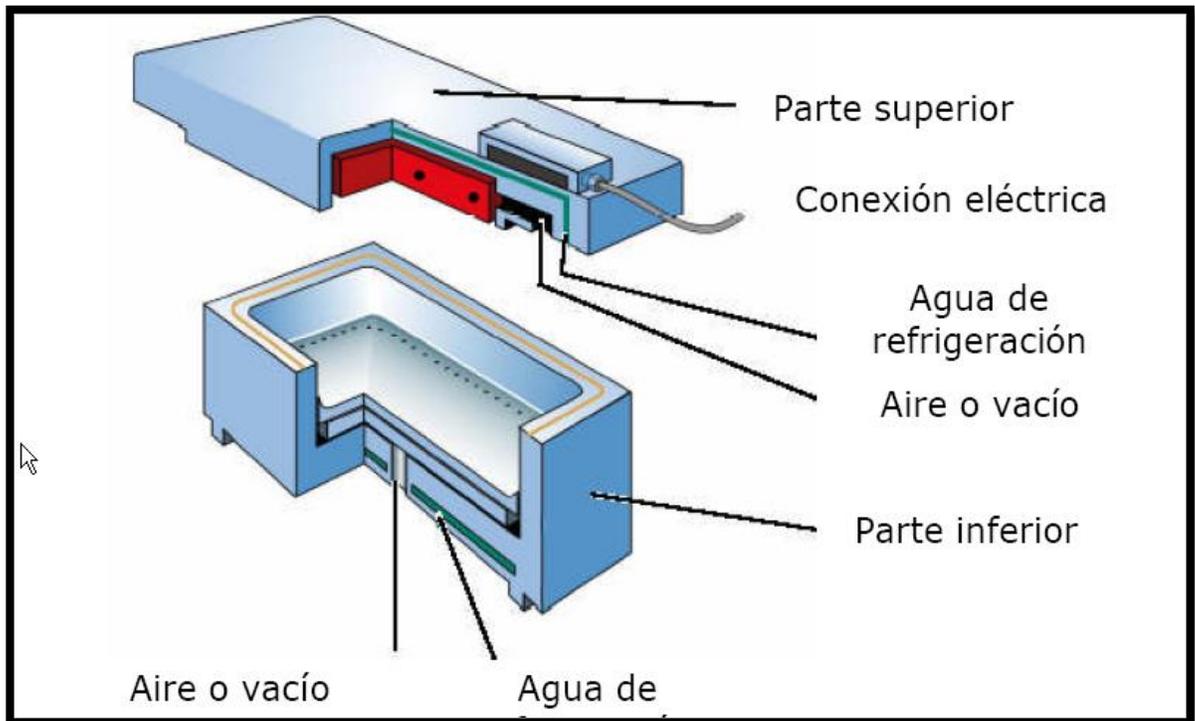


Figura 10 Estación de formado para Formato Estándar

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. Bogotá.

La selección del equipamiento adecuado para formar un envase, lo determinan aspectos tales como:

- Tipo de lámina
- Profundidad
- Diseño y objetivo

De acuerdo a las necesidades, tenemos la opción de elegir las siguientes alternativas:

- Formado estándar
- Formado con precalentamiento inferior, superior o ambas.
- Formado con precalentamiento y pistón.

- Formado solo con pistón (laminas de aluminio)

La alternativa más usada a nivel industrial es el formato estándar, se hará un énfasis muy especial en esta alternativa ya que las demás dependen del tipo de aplicación y las características de la película, es decir las capas que tiene.

6.2.5.1 **Etapas de formado estándar:** cuando se ingresa la lamina inferior y pasa por la estación de formado esto es lo que ocurre:

- **Calentamiento:** es la primera etapa dentro de la estación de formado en donde inicialmente el aire ingresa desde abajo para llenar la parte inferior de la horma y estabilizar la presión del interior (ver figura 11), Una vez que se ha formado la presión, esta sigue presionando la lamina contra la placa de calentamiento, hasta que se cumpla con el tiempo de calentamiento ajustado.(Ver figura 12)

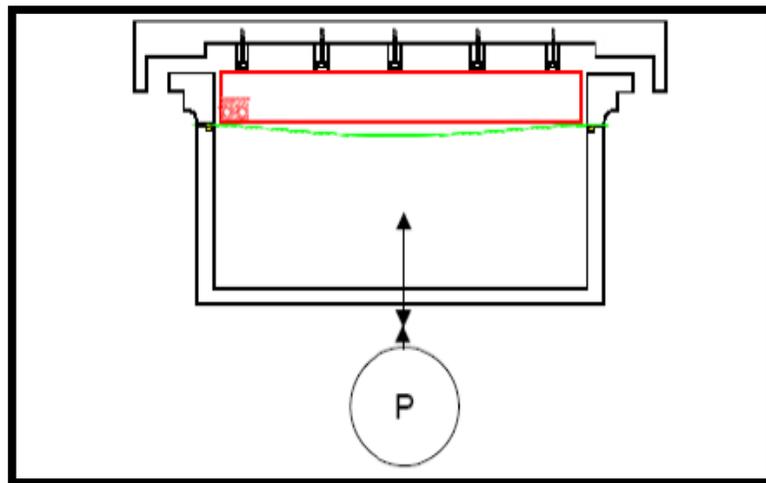


Figura 11 Molde en proceso de calentamiento (ingreso de aire para estabilizar presión)

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. Bogotá.

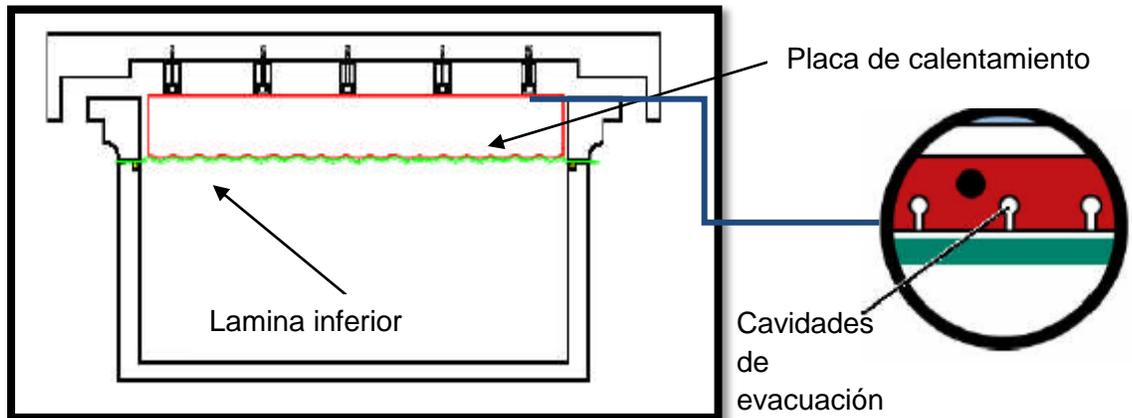


Figura 12 Molde en proceso de calentamiento (Presión entre la lamina y la placa de calentamiento)

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.

Las cavidades de evacuación sirven para evacuar el aire atrapado entre la lámina y la placa de calentamiento, esto produce un contacto homogéneo en toda la superficie.

- **Formación del envase:** en esta etapa el aire comprimido⁸ ingresa desde arriba hasta estabilizar la presión al interior de la horma, con esta presión empieza el estiramiento y la reorientación molecular de cada capa. Lo primero que se pone en contacto contra la placa límite es la parte central de la superficie a estirar, una vez que esto suceda la lámina se enfría, debido a una corriente de agua que refrigera⁹ y circula por todo el molde ayudando a absorber el calor generado por la placa de calentamiento. El estiramiento prosigue hasta las esquinas solo con la superficie de lamina que está caliente, una vez que la lámina a alcanzado las esquinas esta se enfría

⁸ Esta acción se puede complementar con la ayuda de una bomba de vacío, que permite mediante la succión ayudar a evacuar el aire comprimido, y ayuda al estiramiento hasta las esquinas de la película.

⁹ Se hace referencia a la disminución de temperatura hasta la ambiente, mas no explícitamente al proceso de refrigeración

completamente, el proceso se completa cuando se alcanza el tiempo de formado preajustado, se debe tener en cuenta que las esquinas son los puntos más críticos de un envase.

7. METODOS Y MATERIALES

7.1 METODO

En el desarrollo de este proyecto se realizó mediante la aplicación de las bases de la investigación aplicada, y el uso de herramientas de la filosofía TPM, usadas en la empresa ALIMENTOS CARNICOS, se seleccionó la herramienta conocida como CAPDO debido a su metodología de estudio, análisis y reducción de las pérdidas se considera una de las más efectivas para resolver problemas de esta índole, la metodología está guiada por el siguiente diagrama de proceso, en donde algunos pasos son omitidos debido a que no aplican para el proceso de investigación.

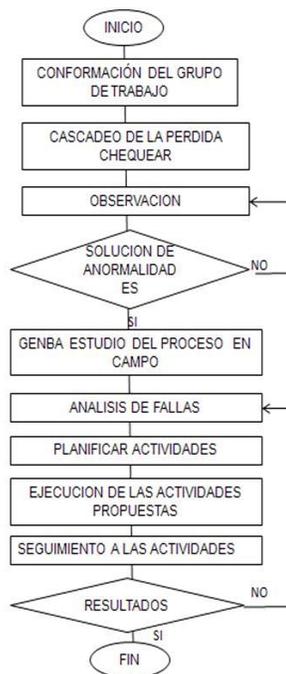


Figura 13 Flujo de metodología CAPDO

Nota. Fuente: ALIMENTOS CARNICOS SAS. (2011). *Manual de entrenamiento Pilar Mejoras enfocadas*. Bogota: ALIMENTOS CARNICOS SAS.

7.1.1 Cascado de la pérdida;

Se realiza un Cascado de la pérdida, se refiere a una exploración de lo general (Grandes pérdidas) a lo particular, en este caso vemos que algunas referencias están cumpliendo por encima del valor mínimo del espesor final, esto hace saber que se tiene sobredimensionado el espesor de la película inferior, esto se puede interpretar en la siguiente grafica:

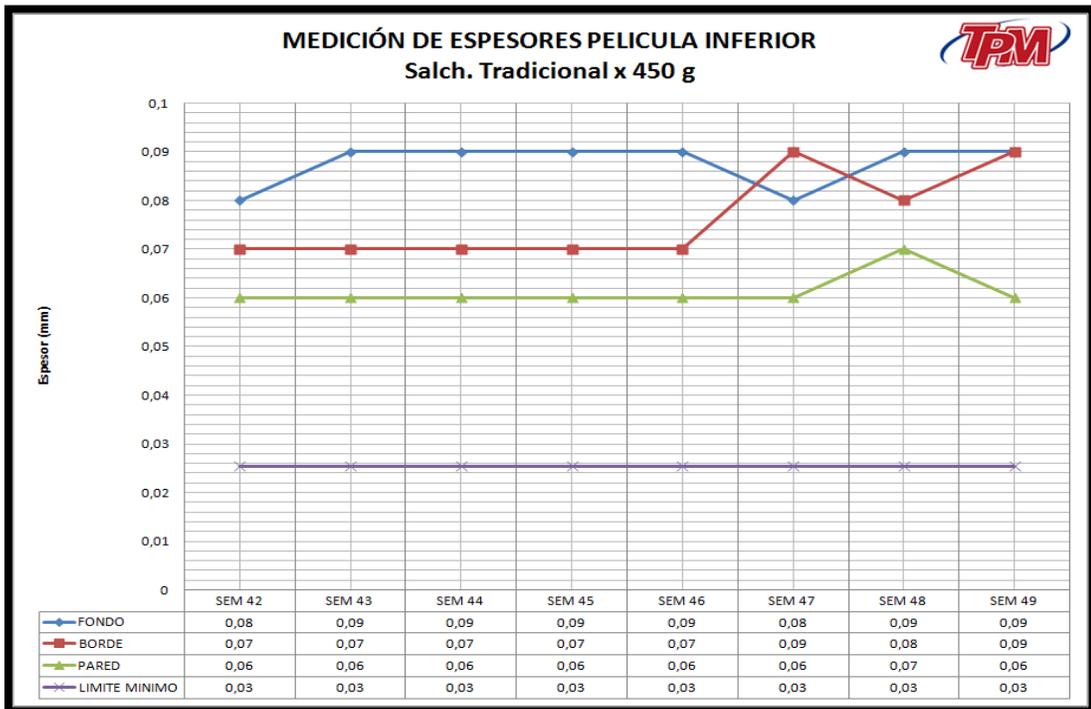


Figura 14 Datos de medición de espesores Salchicha Tradicional X 450g

Nota. Fuente: Sistema de información de planta ALIMENTOS CARNICOS S.A.S (2011)

Donde se estudian las referencias de mayor cantidad de volumen que genera la planta para su estudio, con el fin de eliminar la pérdida de manera significativa.

7.1.2 Estudio del proceso en el campo (GEMBA);

En esta parte del proceso para llegar a este punto se debió realizar previamente las siguientes actividades:

7.1.2.1 Establecimiento del tamaño de muestra; estadísticamente se calculo el tamaño de muestra mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 5 Determinación del tamaño de muestra

$$n = \frac{N}{\frac{(1 + (e^2) * (N - 1))}{(k^2 * p * q)}}$$

N es el número de individuos que forman el universo.

n es el número de individuos de la muestra.

P y **Q** son una medida de dispersión de la muestra. Si no existe información suficiente de la muestra a analizar, se presupone la mayor dispersión (p=0,5 y q=0,5)

k o **s** son el nivel de confianza que se pretende conseguir, pero en unidades estandarizadas. Lo habitual es utilizar un 95% de nivel de confianza, lo que significa un **s** de 1,96.

e es el error muestral máximo que se desea cometer. Como norma general, no es recomendable trabajar en el total con errores superiores al 5%. (Alija, Brenlla, & Silgo, págs. 25-26)

Nota. Fuente: Alija, J. F., Brenlla, M., & Silgo, J. M. (s.f.). *MANUAL PRÁCTICO DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS*. Recuperado el 15 de Junio de 2012, de sitio web Append: http://www.append.es/datos/estudios_casos/archivo7.pdf

Una vez fueron recolectados todos los datos de acuerdo al resultado de la ecuación de determinación del tamaño de muestra la cual nos arroja el siguiente resultado:

Tabla 5 :

Calculo de tamaño de muestra

Parámetro	Valor
N(población)	414.788 UN
P(Dispersión positiva)	0,5
Q(Dispersión Negativa)	0,5
k(confianza)(95%)	1,96
E(error muestral)	4%
n(Tamaño de muestra)	599 UN

Nota. Fuente: Alija, J. F., Brenlla, M., & Silgo, J. M. (s.f.). *MANUAL PRÁCTICO DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS*. Recuperado el 15 de Junio de 2012, de sitio web Append: http://www.append.es/datos/estudios_casos/archivo7.pdf

7.1.2.2 Selección de unidades experimentales; esta selección tiene como objeto identificar que producto de los que se produce en la planta se puede tomar como unidad experimental para el modelo matemático, tomando en cuenta criterios como:

- Características de calidad ;(Calidad microbiológica y fisicoquímica), en donde se busco las de mejor calidad en estos aspectos.
- Material de empaque utilizado; Se busco la referencia de mayor calibre para identificar si existe o no un sobredimensionamiento del material.
- Peso de producto terminado; el peso de producto terminado es una variable importante, debido a que esta variable puede llegar a determinar la resistencia que tendrá el empaque.

Es por ello que se selecciono la referencia salchicha tradicional 450g ya que cumplió con los criterios de selección mencionados para ver mayor detalle del producto por favor diríjase al índice de Anexos.

7.1.2.2 Realización de los diseños experimentales; Mediante el software de estadística MINITAB 15 se procedió a realizar los diseños experimentales, en donde las variables estudiadas fueron las siguientes:

Tabla 6:

Variables diseño experimental N°1

Variables	Tipo de variable	Unidades de medida
Peso	Factor	Gramos (g)
Área del paquete	Factor	milímetros cuadrados (mm ²)
Profundidad del bolsillo	Factor	Milímetros (mm)
Espesor final	Variable respuesta	Milímetros (mm)

Nota. Fuente: Autor del proyecto (2012)

Tabla 7:

Variables diseño experimental N°2

Variables	Tipo de variable	Unidades de medida
Peso	Factor	Gramos (g)
Área del paquete	Factor	milímetros cuadrados (mm ²)
Espesor final Promedio	Factor	Milímetros (mm)
Transferencia de calor	Factor	Transferencia de calor (Kj/g)
Porcentaje de adelgazamiento	Factor	%
Espesor inicial	Factor	Milímetros (mm)
Vida útil	Variable respuesta	Días

Nota. Fuente: Autor del proyecto (2012)

En función de las características del estudio se selecciono un diseño experimental factorial completamente al azar o también llamado diseño factorial 2^k , los diseños factoriales 2^k son diseños en los que se trabaja con k factores, todos ellos con dos niveles (se suelen denotar + y -). Estos diseños son adecuados para tratar el tipo de problemas descritos porque permiten trabajar con un número elevado de factores y son válidos para estrategias secuenciales.

Establecido lo anterior y con antelación reuniendo el equipo de trabajo se realizo la toma de muestras de la siguiente forma; primero se entrego el numero de orden con el cual los operarios iban a tomar las muestras y se entregaron los formatos en donde se recolecta toda la información.

Se aplicaron los procedimientos operativos estándar del proceso de empaque, con ayuda del verificador de calidad de la planta se garantizaron el cumplimiento de las especificaciones de calidad del producto, las mediciones se recolectaron mediante formatos previamente diseñados de tal manera que estos fuesen fáciles de entender y diligenciar.

En cuanto a los procedimientos operativos estándar de acuerdo al proceso normal de trabajo, fueron estos llevados a cabo sin ningún problema, sin embargo es importante denotar que fueron cambiadas sus frecuencias en función del experimento, dentro de los procedimientos que permitieron recolectar la información son:

- Toma de temperatura del producto terminado entrado a empaques
- Limpieza y desinfección de superficies de maquinaria y equipo
- Toma de muestras de peso en producto terminado¹⁰

¹⁰ Fue modificado de 3 muestras cada 10 min a todo paquete que compone el lote

- Toma de espesores de película termoformada inferior antes y después de formado.¹¹
- Toma de temperatura después de empacado.¹²

Posterior a recolectar la información de ese día que se realizó el ensayo, se transcribió a una base de datos en Microsoft Excel y analizados posteriormente en Minitab15.

Se identificaron anomalías en el proceso que fueron corregidas antes de entrar al ensayo para garantizar la homogeneidad en los resultados, anomalías de maquinaria como lo son ajustes menores, verificación de instrumentos de medición, ajuste de parámetros de máquina etc.

La cantidad de ensayos fue reducida de tres propuestos a uno solo por disponibilidad de recursos y el factor económico que conlleva los mismos.

7.1.3 Ejecución de las actividades

En esta etapa se da la ejecución de cada una de las actividades, se revisan los resultados esperados que se mire la tendencia a disminuir la pérdida o ver la mejora ejecutada, que si no son satisfactorios se regresa a realizar nuevamente el análisis de falla para ver donde fallo. Si se dan los resultados se da por terminado el proyecto.

La recolección de los datos para la realización de su análisis se hizo mediante la recolección de formatos y se llevaron las unidades experimentales a una prueba de estabilidad la cual consiste en dejar el producto terminado a condiciones de almacenamiento normal 0 a 4°C almacenados en una cava de conservación y con constante monitoreo, en donde se sacaron después de 35 días y se determinó su comportamiento, y también se recolectó el número de días en el mismo formato, esta tarea se realizó en conjunto con el equipo de trabajo del proyecto.

¹¹ Fue modificado de después de cada cambio de referencia a todo el tiempo durante el experimento.

¹² No es un POE pero se construyó uno provisional para ver en función de los resultados si se deja o no.

7.2 MATERIALES Y EQUIPOS

7.2.1 Materiales

Los materiales usados en el desarrollo de este proceso están resumidos en la tabla 8 presentada a continuación:

Tabla 8 :

Lista de materiales Orden de proceso

Texto breve de material	Unidad de medida	Cantidad
Canasta plástica 0.6x0.4x0.18 Gris	UN	3.427
Pel. inferior sud pack GVP x 432 x 50	m.	6.242
Pel. salchicha trad 450 g x 407 x 25	m.	6.242
Reproceso salchicha	Kg	281
VA ¹³ Salchicha Tradicional	Kg	57.058

7.2.2 Equipos

Los equipos usados en este ensayo se resumen en la tabla 8:

Tabla 9:

Lista de Equipos

Equipo	Cantidad
Comparador de caratula MITUTOYO 2046S	1
Termómetro digital DICKSON	1
Empacadora TIROMAT 660 CFS	1
Balanza METTLER TOLEDO PANTHER	1
Cava De refrigeración de 12 TON REF.	1

Cada uno de estos equipos se encuentra en optimas condiciones de funcionamiento y calibrados sus certificados están en la lista de anexos donde los instrumentos que requieren de calibración, por políticas de seguridad de la empresa en donde se realizo el ensayo no se puede tener información de mantenimiento de la maquina empacadora.

¹³ Producto en proceso ya embutido, cocido y separado la unidad es conocida como varilla, sin embargo el sistema es capaz de convertir a kg el numero de varillas.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

Se definió una hipótesis general la cual es:” El espesor inicial de película inferior puede estimarse confiablemente, mediante un modelo matemático formulado a partir de variables como: espesor final del bolsillo, el porcentaje de adelgazamiento máximo permitido, y la vida útil promedio del producto, conociendo de antemano, el peso del producto terminado, la profundidad del empaque, el área y la forma de este.”, la forma en que se puede corroborar esta hipótesis es mediante el análisis de un diseño experimental factorial.

Se partieron de dos diseños experimentales en el primero se estudia la relación entre las variables físicas que pueden afectar el espesor de la película (Peso, área del paquete, profundidad del bolsillo) relacionándola con la vida útil del producto ya que en última instancia es lo que se desea evitar modificar o mejor aún predecir.

Los diseños experimentales arrojaron los siguientes resultados, se inicia el análisis en función de la gráfica de efectos principales que permite visualizar el efecto de los factores en la respuesta y comparar la fuerza relativa de los efectos, para diseño número uno estas son las graficas:

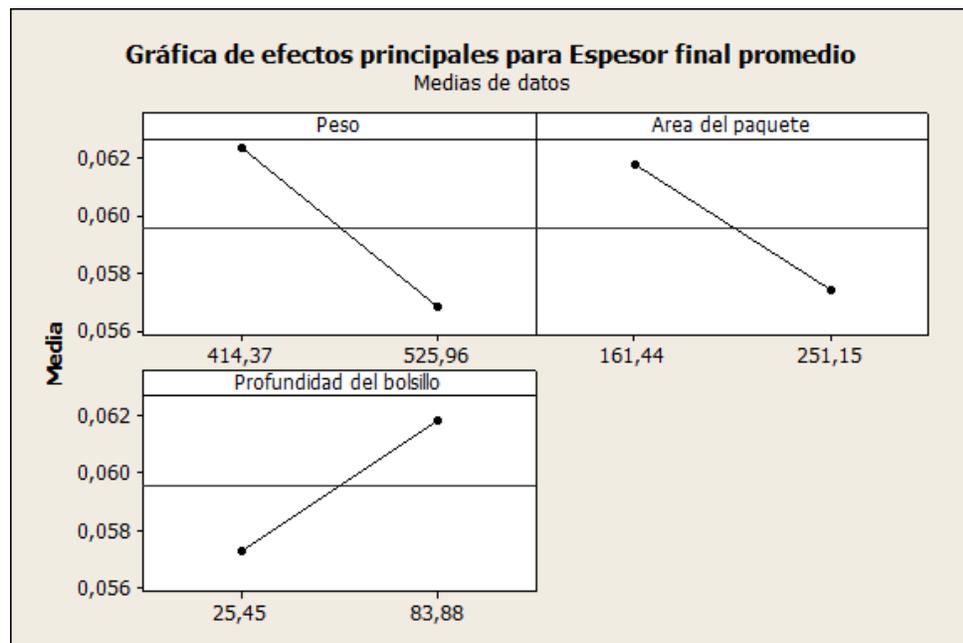


Figura 15 Grafica de interacción de efectos diseño N°1

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

Como se puede recordar en la tabla 5 la variable repuesta es el espesor final promedio del empaque del producto cuya media es de $0,059 \pm 0,021$ mm en donde las graficas se generaron en cada panel y se pudo observar lo siguiente:

- El peso influye en la disminución del espesor final del bolsillo formado, al aumentar este factor.
- La profundidad del bolsillo influye de manera inversa en que lo hace el peso si se revisa con cuidado el efecto de este y el peso tienen una pendiente muy similar.
- El área del paquete tiene un comportamiento similar al peso que al aumentar el área de este disminuye el espesor final del mismo.

Para el diseño N°2 estas son las graficas:

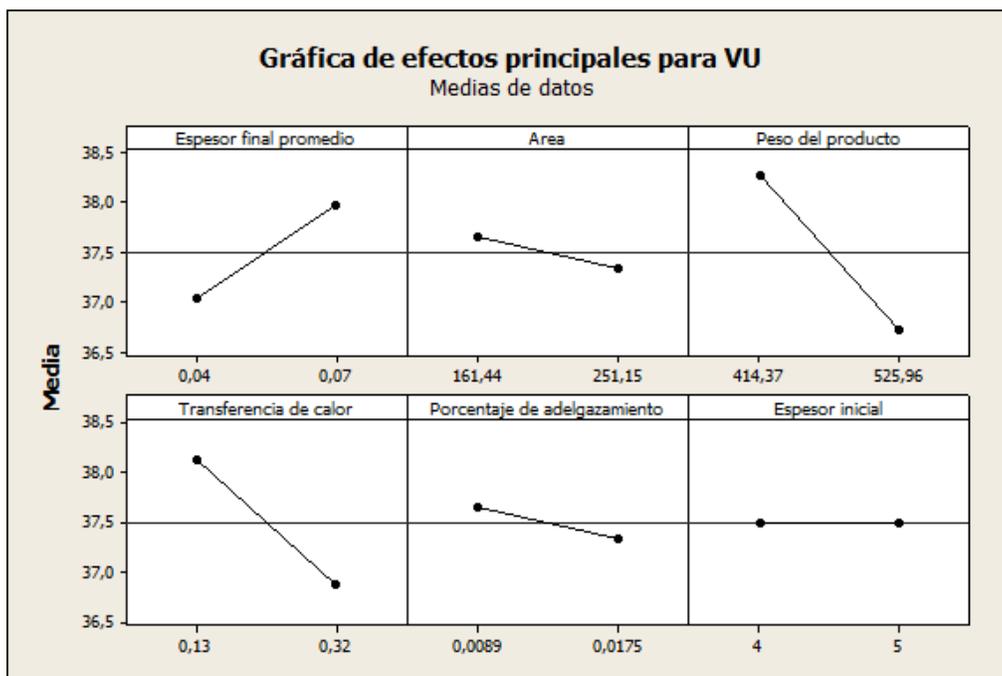


Figura 16 Grafica de efectos principales Diseño N°2

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

Con respecto al diseño anterior este diseño duplica el número de factores asociados con la vida útil, ello nos ayudara a modelar una ecuación más precisa, con las variables asociadas, la vida útil en este diseño tiene una media de $37,5 \pm 0,11$ días¹⁴ y se pudo observar lo siguiente:

¹⁴ Calculo de la incertidumbre tipo A en función de los datos estadísticos recolectados.

- En el peso del producto disminuyo la vida útil del producto a medida que el peso aumentaba, como lo vemos la diferencia entre un diseño y otro con el mismo factor es interesante, pero es identificable debido al aumento de unidades experimentales entre el diseño 1 con respecto al número 2.¹⁵
- El comportamiento del factor área se comporta igual que en el primer diseño, reiterando la relación entre área y vida útil.
- El comportamiento del espesor inicial se mantiene con una variación muy mínima entre un rango importante 1 mm (4 mm a 5 mm), que es donde se vario para ver si existía una diferencia significativa, tomando como antecedente que en ensayos anteriores solo se vario 0,5 mm entre una referencia y otra (ALIMENTOS CARNICOS SAS, 2011).
- El comportamiento del factor porcentaje de adelgazamiento concuerda en parte con la teoría del termoformado, ya que este es proporcional al área en su defecto el comportamiento es muy similar como se puede observar.
- El factor transferencia de calor vemos también un comportamiento que a medida que aumenta la transferencia de calor, la vida útil disminuye, este comportamiento es lógico y está acorde a la función de la película, debido a que si esta transferencia aumenta se puede comprometer las características de calidad del producto.

Las tablas ANOVA se realizan para un $\alpha=0,20$ esta es la del modelo 1:

Tabla 10:

ANOVA diseño N°1

Análisis de varianza para Espesor final promedio (unidades codificadas) ajustado						
Fuente	GL	SC SEC	SC AJUS	MC AJUS	F	P
Efectos Principales	3	0,00028191	0,00028191	0,00009397	3,23	0,065
3- interacciones N° de factores	1	0,00006267	0,00006267	0,00006267	2,16	0,17
Error residual	11	0,0003198	0,0003198	0,00002907		
Falta de ajuste	3	0,00005352	0,00005352	0,00001784	0,54	0,671
Error puro	8	0,00026628	0,00026628	0,00003328		
Total	15	0,00066438				

¹⁵ En el primer diseño solo se tomaron un numero más pequeño de factores ello incide en el tamaño de los diseños, ambos diseños se trabajaron en duplicado.

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

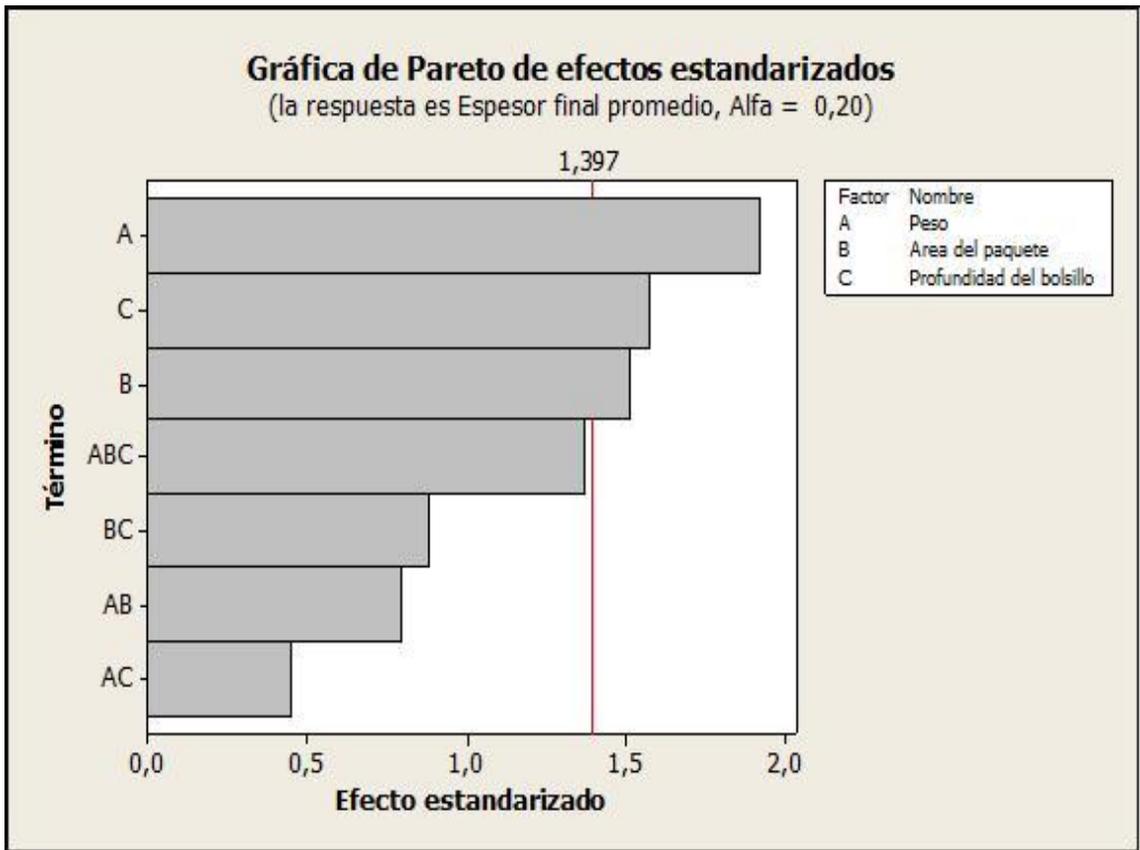


Figura 17 Grafica de pareto de efectos estandarizados

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

En la siguiente grafica se puede evidenciar la interacción entre los diferentes factores de allí la decisión por la cual se realiza el segundo diseño; inicialmente por si sola cada una de las variables sin tener en cuenta la interacción en las mismas se podría predecir el comportamiento del espesor final y por ende el espesor inicial de acuerdo a lo descrito por PLASTIGLAS (PLASTIGLAS DE MEXICO S.A DE C.V., 2001) en donde se puede analíticamente identificar mediante el porcentaje de adelgazamiento. Sin embargo al retirar las interacciones entre los factores que no son significativas se encontró lo siguiente:

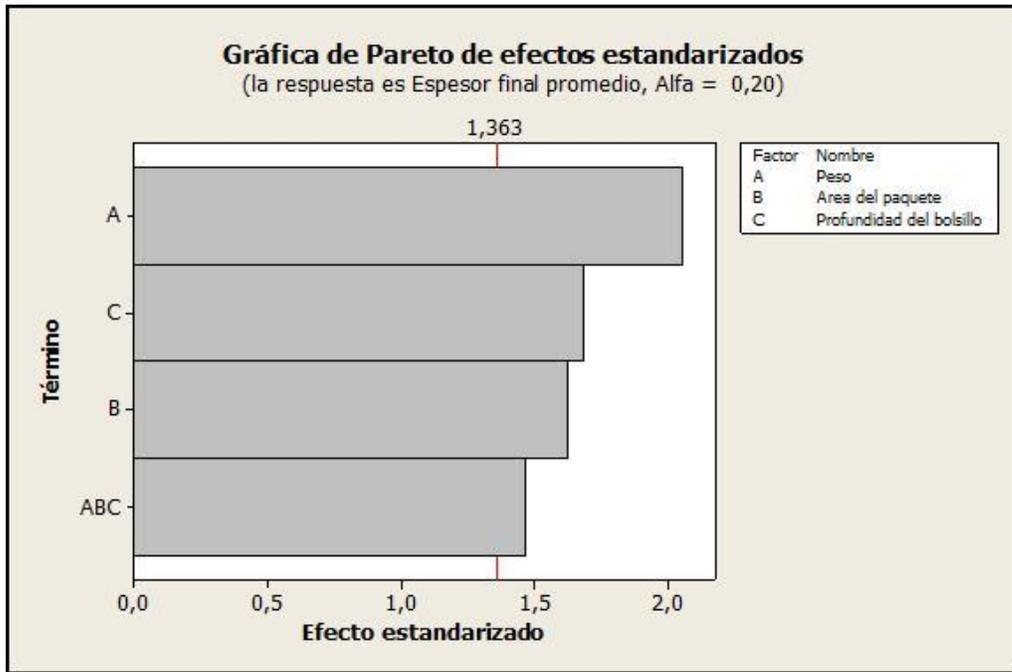


Figura 18 Grafico de pareto de efectos estandarizados (Ajustado)

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

Se evidencio que existe una interacción significativa entre los tres factores, al identificar ello se procedió a buscar otras variables que fuesen mas asertivas a la hora de elaborar el segundo diseño, de ahí la selección de los factores mencionados en la Tabla 7: en donde la grafica ilustra la interacción de los factores, es importante mencionar que para la exclusión de términos existe una regla que se aplica a la especificación de modelos reducidos, la cual establece que los términos deben ser jerárquicos. Es decir, para que un término se encuentre en un modelo, todos los términos de orden inferior contenidos en el mismo también deben encontrarse en el modelo (Pedraza Yepes, Jorge, Vargas H, Reyes Carreño, & López Álzate, 2011), y ese procedimiento se hizo en el primer diseño y también en el segundo debido a que algunos términos no fueron lo suficientemente significativos para el estudio y se redujo el modelo.

En la tabla 11 se identifica el ANOVA del segundo modelo:

Tabla 11:

ANOVA diseño N°2

Análisis de varianza para vida útil (unidades codificadas) ajustado						
Fuente	GL	SC SEC	SC AJUS	MC AJUS	F	P
Efectos Principales	6	243,8	243,8	40,63	0,76	0,605
2- interacciones N° de factores	4	534,4	534,4	133,59	2,49	0,045
3- interacciones N° de factores	4	342,2	342,2	85,55	1,59	0,178
4- interacciones N° de factores	3	337,5	337,5	112,5	2,1	0,103
Error residual	174	9342,2	9342,2	53,69		
Falta de ajuste	46	1542,2	1542,2	33,53	0,55	0,989
Error puro	128	7800	7800	60,94		
Total	191	10800				

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

Y el comportamiento en la interacción de los factores se puede evaluar en la figura 19 así:

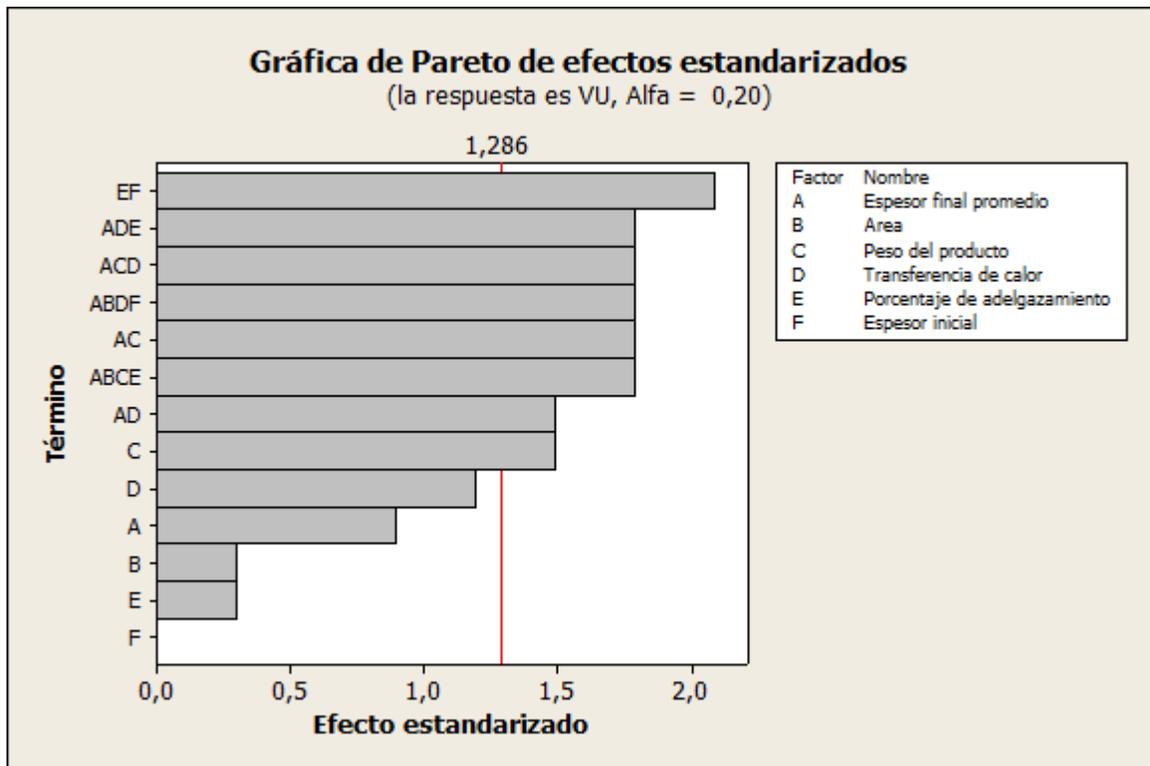


Figura 19 Grafica de efectos principales diseño N°2

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

Al identificar la combinación de los factores que inciden, se puede evidenciar que se requieren como mínimo 2 factores para que sea significativo esto ayudo a tomar la decisión para identificar el mejor modelo matemático, tomando la información del diseño y los datos se crea la ecuación de regresión lineal múltiple, en virtud de la relación de los datos se comportan de esta manera:

Ecuación 6 Regresión Lineal múltiple para espesor inicial.

$$E_i = 5,02 + 84,9 E_f - 426 P_a - 0,000127 VU - 0,000012 \text{ Peso} + 0,0247 TC$$

Donde:

E_f : Espesor final Promedio

P_a : Porcentaje de adelgazamiento

VU: Vida útil

W: Peso del producto

TC: transferencia de calor

Para definir si la hipótesis nula cual es: **“que no existe ninguna correlación entre las variables Ef: Espesor final Promedio Pa: Porcentaje de adelgazamiento, VU: Vida útil, Peso, TC: transferencia de calor”** en términos estadísticos:

$H_0: \rho = 0$ NO existe correlación

$H_1: \rho \neq 0$ existe correlación

En la regresión se realiza un ANOVA en donde este arroja los siguientes datos;

Tabla 12 :

ANOVA para regresión lineal

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	5	0,07126	0,014252	19848,81	0
Error residual	593	0,000426	0,000001		
Total	598	0,071686			

S = 0,000847367 R-cuad. = 99,4% R-cuad. (ajustado) = 99,4%

R-cuad. (pred) = 99,38%

La suma de cuadrados para error puro es (casi) cero.
No se puede hacer la prueba de error puro.

Nota. Fuente: MINTAB15 (2012)

En lo que se pudo observar en el comportamiento de los datos en función de las variables es que a medida que se desee tener un menor espesor de película, las variables se deben comportar así:

E_f: Debe disminuir el valor

P_a: Debe aumentar el porcentaje(es lógico si se reduce el valor final)

VU: Debe aumentar de la vida útil, siempre y cuando se garantice las propiedades y la combinación de las capas del material.

W: Debe aumentar el peso de manera proporcional

Para probar la hipótesis $H_0: \rho = \rho_0$ contra $H_1: \rho \neq \rho_0$, donde ρ_0 no es cero y Si $n \geq 25$ se utiliza el estadístico transformación-z de Fisher

Ecuación 7 Estadístico transformación-z de Fisher

$$Z = \operatorname{arctanh}(r) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$$

En base a la fórmula de la distribución normal, se calcula el estadístico Z_0 siguiente para probar la hipótesis $H_0: \rho = \rho_0$,

$$Z_0 = (\operatorname{arctan} h(r) - \operatorname{arctan} h(\rho_0))(\sqrt{n-3})$$

Y rechazar si $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$ (Reyes Aguilar, 2007, pág. 62)

Al usar esta prueba el Valor de $Z_0=1.52$ y $Z_{0.025} = 0.78$ si $\alpha=0.05$ por lo tanto se identifica que existe una correlación significativa, entre las variables, en conclusión se rechaza la hipótesis nula, teniendo la posibilidad de cometer error tipo I en un 5 %.

Teniendo en cuenta que existen demasiadas variables en el proceso es un poco complejo dejarlas en una sola ecuación, se determino una ecuación auxiliar en función del diseño 1, en donde sirve referencia el espesor final de la película quedado esta de la siguiente manera:

Ecuación 8 Ecuación Auxiliar Calculo del espesor final .

$$E_f = 0,277 - 4.27 \times 10^{-4} W - 1.012 \times 10^{-4} A - 2.56 \times 10^{-6} h - 1.93 \times 10^{-6} AW - 5.18 \times 10^{-6} hW - 1.93 \times 10^{-6} Ah - 2.70 \times 10^{-8} AWh$$

S = 1,22474 PRESS = 48
R-cuad. = 50,00% R-cuad. (pred.) = 0

Donde

E_f : Espesor final promedio

A: Área

W: Peso del producto

h: Profundidad

Dentro del análisis de la información 10 unidades experimentales presentaron resultados con vida útil menor a los 35 días donde lo normal en el proceso es que se encuentren por encima de este rango, la participación es el 1,66% del total de la muestra, se realizó un análisis microbiológico del producto el cual sus resultados se miden en la siguiente tabla:

Tabla 13 :

Resultados Análisis microbiológico unidades experimentales anormales

Microorganismos	Valoración	Valor NTC1325		Valoración
		M	M	
Recuento de microorganismos mesofilos (UFC/g)	<100	-	100.000	Cumple
Recuento de coliformes (UFC/g)	<100	100	50	Cumple
Recuento de coliformes <i>staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva, (UFC/g)	<100	<100	0	Cumple
Recuento de esporas Clostridium sulfito reductor, (UFC/g)	<10	<10	100	Cumple
Detección de Salmonella, /25 g	Ausencia	Ausencia	0	Cumple
Detección de Listeria Monocytogenes, /25 g	Ausencia	Ausencia	0	Cumple
Recuento de Escherichia Coli /g	Ausencia	<10	0	Cumple

Paralelo al análisis microbiológico para descartar que la vida útil fuese afectada por el incumplimiento de buenas prácticas de manufactura del producto, se realizó una inspección minuciosa, encontrando en los alrededores del selle entre la película superior e inferior burbujas de aire, producto de acuerdo con consultas realizadas a los expertos en la materia por defecto del material; lo que se identificó son microarrugas producidas por la pérdida de la memoria de la película¹⁶ por exceso de temperatura en sellado y defectos en la refrigeración en el formado, no cumpliéndose debido a que la temperatura del agua debe ser de 6°C y se encontraba en 15°C por lo que la temperatura del molde de formado en ese instante no fue la mejor, ello ocasiono el defecto evidenciado por el departamento de mantenimiento quien atendió la anomalía asociada.



Figura 20 Apariencia de los paquetes con menos de 35 días de vida útil.

¹⁶ De acuerdo a la literatura “la memoria de la película” es una propiedad que tienen todos los plásticos termoformables de regresar a su forma original una vez se baja la temperatura, este efecto expansivo contractivo hace que los enlaces en las moléculas se distancien o se junten de acuerdo a la temperatura.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados del estudio realizado se concluye lo siguiente:

De acuerdo a lo indagado en el estudio los criterios para los cuales se debe hacer una adecuada selección de la película son los siguientes:

- Conocer las características de calidad del producto que se desean conservar, si bien es conocido en la ingeniería de alimentos sabemos que empacar un producto cárnico no es un proceso de conservación, por más que se tenga una película con las mejores condiciones, si los controles de calidad que garantizan la inocuidad del producto no son efectivos; la vida útil del producto será muy corta, estas características usando los criterios de la tecnología de barrera pueden ser seleccionadas en función del alimento y sus componentes, como por ejemplo en los productos cárnicos son muy sensibles al contacto con el oxígeno debido a la autoxidación de las grasas, y afectan su sabor además de proliferar microflora bacteriana aerobia, mencionado en el contexto teórico del empaque al vacío.
- Determinar la composición de la película termoformada multicapa adecuada en función de las características fisicoquímicas del alimento que se desean crear barrera; llámese por ejemplo la no permeabilidad del agua, oxígeno etc. Es muy importante ya que este criterio puede orientar a escoger adecuadamente, en función de las características del producto que se desean conservar, ello se identificó en la literatura consultada: (Restrepo Digiammarco, 2001) y (Gobantes & Gómez, 2001), en el ensayo realizado se usó una película con la mezcla: PP/EVOH/PA/PE, perfecta para productos cárnicos por las propiedades de cada material que lo compone por ejemplo la presencia de la poliamida es importante en el formado del empaque; tiene características sobresalientes como lo son: resistencia mecánica, barrera a las grasas, aromas y sabores lo que indica que la migración del exterior al interior es mínima.
- Identificar las características físicas del producto, como lo son su peso, el área y forma de este en la máquina termoformadora, la transferencia de calor que se desea tener en el producto, y el porcentaje de adelgazamiento del mismo, parte del objeto del estudio era poder determinar el espesor inicial de la película inferior con estos datos y hoy es posible, también (Alarcon Salas, 2009), menciona la importancia de estas características, pues estas influyen positiva o negativamente en la vida útil del producto empacado.

- Determinar el coeficiente de permeabilidad del producto y la vida útil deseada en función de la composición química del producto y su isoterma de sorción. Esto fue posible concluirlo de acuerdo a la consulta de acuerdo a las notas de (Alarcon Salas, 2009) en donde se hace un análisis de las condiciones que afectan la vida en percha¹⁷, en donde hace mención que al reconocer estas variables es posible predecir el comportamiento del alimento en el empaque al conocer la humedad del empaque y la actividad del agua del alimento se construye esta curva, se sugiere que se tome esta idea como un nuevo proyecto de investigación para ser más asertivos y tener una información más clara del comportamiento del producto y su interacción con el empaque.
- Identificar la maquinaria que se tiene a disposición para el proceso en cuanto a capacidad y condiciones de la misma, ya que durante la realización del estudio fue un factor importante e incidió en los resultados en un 1,66% del total de productos estudiados, en donde se debe realizar un control estricto es en el sistema de enfriamiento de los moldes y las planchas calentadoras, se recomienda tener rutas de inspección que garanticen estas condiciones.

En cuanto a la reevaluación de stocks en material de empaque y el estudio de reducción consumo de energía eléctrica se recomienda realizar diferentes ensayos con otros productos para identificar si el modelo es válido en otras referencias de características similares, ya que este estudio no pudo garantizar este punto importante debido a que no se tenía disponibilidad de recursos para su evaluación, ello contribuyo a lograr el objetivo general parcialmente, sin embargo este ensayo debería realizarse, si se desea obtener beneficios económicos tangibles a corto y largo plazo.

Se debe tener en cuenta instrumentos para la medición y el correspondiente soporte teórico para poder obtener la información, por ejemplo el comportamiento de elementos de máquina como lo son las planchas de sellado y formado, las ecuaciones que relacionen la temperatura y el consumo de energía eléctrica además de identificar con qué parámetros se comparará, se sugiere realizar un diseño de experimentos de superficie en donde el ensayo va a consistir en medir las temperaturas de formado y sellado y el consumo de energía eléctrica para ver cómo afectan el vacío del producto empacado.

Por último, el objetivo general del proyecto se enfoca de acuerdo a la hipótesis:” El espesor inicial de película inferior puede estimarse confiablemente, mediante un modelo matemático formulado a partir de variables como: espesor final del bolsillo, el porcentaje de adelgazamiento máximo permitido, y la vida útil promedio del producto, conociendo de antemano, el peso del producto terminado, la profundidad del empaque, el área y la forma de este”.

¹⁷ Símil de vida útil

Después del análisis de los datos y la teoría se obtiene las siguientes ecuaciones como modelo matemático para determinar el espesor confiablemente:

Ecuación Principal:¹⁸

$$E_i = 5,02 + 84,9 E_f - 426 P_a - 0,000127 VU - 0,000012 \text{ Peso} + 0,0247 TC$$

Ecuación Auxiliar:

$$E_f = 0,277 - 4,27 \times 10^{-4} W - 1,012 \times 10^{-4} A - 2,56 \times 10^{-6} h - 1,93 \times 10^{-6} AW - 5,18 \times 10^{-6} hW - 1,93 \times 10^{-6} Ah - 2,70 \times 10^{-8} AWh$$

Cuyas variables son las anteriormente mencionadas en donde la primera ecuación arroja un intervalo de confianza del $\alpha=0,05$ y su incertidumbre es de $\pm 0,002$ mm medida mediante ley de incertidumbre expandida¹⁹ lo cual mide con gran precisión el espesor inicial de la película termoformada, en las condiciones en las cuales se realizó el ensayo²⁰, se tuvo en cuenta la forma del producto de manera intrínseca, ya que no comparó con otro producto de forma diferente, para evaluar el efecto de esta variable en la selección de la película y como esta interactúa con las demás variables.

Cabe mencionar que cada una de las variables se determino la incertidumbre tipo A y tipo B debido a que al final se debe tener encuentra este valor para futuras mediciones y ensayos, es parte también de la medición de la confiabilidad del modelo, por ello se menciona cual es el valor de esta, para que en futuros ensayos con este modelo identifiquen si existe algunas desviaciones del comportamiento planteado en este estudio.

La hipótesis estadística que se menciona en el análisis de resultados la cual se corrobora mediante el estadístico de transformación Z de Fisher identifica de manera contundente la comprobación de la hipótesis inicial; al identificar la correlación de las variables mencionadas, sin embargo es muy difícil establecerlas todas en una sola ecuación matemática, por ello se tomo la decisión de tener dos ecuaciones, también solo se identifico en la ecuación principal debido a que este estadístico se usa en regresiones lineales, lo que limita el uso en la ecuación auxiliar; se corrobora la relación de las variables mediante el análisis del diseño experimental, también es importante destacar que la confiabilidad de la ecuación auxiliar fue de un $\alpha = 0,20$ lo cual para tener un valor tan alto aun esta en el límite de lo confiable, de acuerdo a literatura consultada.

Ambas ecuaciones tienen unas constantes las cuales ayudan al análisis dimensional, para efectos de los cálculos esta información no se tuvo en cuenta en el análisis de resultados debido a que en el proceso esto resulta un tanto obvio, cuando se determina un modelo matemático.

¹⁸ Para mayor claridad ver ecuaciones 6 y 8 en análisis de resultados.

¹⁹ El factor de confianza usado fue $K=2$ equivalente al 95% de confiabilidad.

²⁰ Ver en los anexos el Anexo A

El comportamiento de los datos indica una relación lineal, la ecuación auxiliar estudia las relaciones entre las variables Peso, Área, y Profundidad del empaque con respecto al espesor final promedio²¹ para recordar ver **Figura 7 Diagrama de espesores de una película termoformada después de ser formada en una termoformadora**. Se enfoca en las características físicas del empaque que determinan si su comportamiento es adecuado como material; además esta ecuación sirve como un punto de optimización para ajustarlo a las condiciones que se deseen, mientras que en la ecuación principal estudia las variables que van muy de la mano con la calidad del producto terminado; aclarando que bajo las condiciones del proceso se garantizaron la calidad fisicoquímica y microbiológica del producto, sin embargo dentro del ensayo se encontraron productos con pérdida de vacío en entre los días 30 y 35 de la prueba de estabilidad en donde si un paquete pierde vacío antes de los 35 días se realiza un análisis microbiológico rutinario²² y una inspección a los paquetes identificando anomalías que causen el fenómeno.

En la prueba realizada en este estudio se identificó la causa de la pérdida de vacío debido a una anomalía de máquina que generó microarrugas en los paquetes no garantizando un buen sello en el producto, identificando un hecho importante el cual es que si las condiciones de máquina tampoco se garantizan el producto sufrirá las consecuencias, es decir un tiempo de vida útil un tanto más corto.

²¹ Este espesor se mide teniendo en cuenta la forma del empaque y son tres sus medidas, fondo, pared y borde.

²² Ver tabla 13

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUILERA FLORES, C. E. (Noviembre de 2007). *cibertesis*. Recuperado el 22 de Enero de 2012, de cibertesis:
http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/aguilera_c/sources/aguilera_c.pdf
- [2] Alarcon Salas, X. (6 de Marzo de 2009). *Estudio De La Relación Entre La Transferencia De Vapor De Agua, Condiciones Ambientales Y Shelf Life, En Películas Multicapa De Polietileno Utilizadas En Empaques Alimenticios*. Recuperado el 18 de abril de 2012, de Repositorio de la escuela superior politecnica del litoral ESPOL:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/2340>
- [3] Alija, J. F., Brenlla, M., & Silgo, J. M. (s.f.). *MANUAL PRÁCTICO DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS*. Recuperado el 15 de Junio de 2012, de sitio web Append: http://www.append.es/datos/estudios_casos/archivo7.pdf
- [4] ALIMENTOS CARNICOS SAS. (2011). *Manual de entrenamiento Pilar Mejoras enfocadas*. Bogota: ALIMENTOS CARNICOS SAS.
- [5] ALIMENTOS CARNICOS SAS. (15 de Noviembre de 2011). Propuestas mejora TPM. *Reduccion del espesor de pelicula producto*. Medellin: ALIMENTOS CARNICOS SAS.
- [6] ALIMENTOS CARNICOS.SAS. (2011). CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS. En H. Cardenas, & M. Hemilio, *CAPACITACION EN OPERACION DE TERMOFORMADORAS*. Bogotá.
- [7] Garcia Iglesias, E., Gago Cabezas, L., & Nuevo, F. (2006). *TECNOLOGIAS DE ENVASADO EN ATMOSFERA PROTECTORA*. Madrid, España: Fundación para el conocimiento madrid.
- [8] GIMENEZ TORRES, E. (Marzo de 2001). *LA TESIS EN RED.NET*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2011, de DESARROLLO Y CARACTERIZACION DE SISTEMAS DE ALTA BARRERA BASADOS EN UN COPOLIMERO DE ETILENO Y ALCOHOL VINILICO (EVOH) PARA SU APLICACION EN LAS ESTRUCTURAS MULTICAPAS TERMOCONFORMADAS EN LA INDUSTRIA DEL ENVASADO:
<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10559/gimenez2.pdf?sequence=1>

- [9] Gobantes, I., & Gómez, R. y. (2001). Envasado de alimentos. Aspectos técnicos del envasado a vacío y bajo atmósfera protectora. *Alimentación, equipos y tecnología*, 75-80.
- [10] Ibarz Ribas, A. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Mexico DF: Mundi-Prensa Libros.
- [11] Instituto Colombiano de normas técnicas. (20 de Agosto de 2008). INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.PRODUCTOS CÁRNICOS PROCESADOS NO ENLATADOS. *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 1325*. Bogotá.
- [12] Martínez, P. (2002). Carnes frías una industria caliente. *Catering*, 36-38.
- [13] Mejía, J. (2003). Envasado en atmósfera modificada. *Boletín del Centro Tecnológico Nacional*, Pag.24-29.
- [14] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (Marzo de 2005). *AGRONET*. Recuperado el 02 de junio de 2012, de AGRONET:
http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112144930_caracterizacion_bovina.pdf
- [15] Pedraza Yepes, C., Jorge, G. C., Vargas H, L., Reyes Carreño, J., & López Álzate, J. (12 de Diciembre de 2011). Determinación de los factores que influyen en la rugosidad superficial en un proceso de mecanizado para el acero AISI 4140: cilindrado. *Scientia et Technica*, 49(ISSN 0122-1701), 37.
- [16] PLASTIGLAS DE MEXICO S.A DE C.V. (30 de Noviembre de 2001). *Manual Técnico TERMOFORMADO*. Recuperado el 27 de Octubre de 2011, de PLASTIGLAS DE MEXICO CV:
http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf
- [17] Potter, N., & Hotchkiss, J. H. (1991). *CIENCIA DE LOS ALIMENTOS*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- [18] PROCHILE. (Mayo de 2008). *PERFIL DE MERCADO ENVASES, EMBALAJES Y ETIQUETAS - COLOMBIA*. Recuperado el 06 de Junio de 2012, de *PERFIL DE MERCADO ENVASES, EMBALAJES Y ETIQUETAS - COLOMBIA*:
http://www.prochile.cl/documentos/pdf/colombia_envases_2008.pdf
- [19] Regalado Méndez, A., Peralta Reyes, E., & González Rugerío, C. A. (Agosto de 2008). *Universidad Tecnológica de la Mixteca*. Recuperado el 16 de Enero de 2012, de Universidad Tecnológica de la Mixteca:
http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas035/2%20ensayo-35.pdf

- [20] Restrepo Digiammarco, R. A. (2001). Los empaques flexibles y semirrigidos para la industria cárnica. En D. a. Restrepo Molina, C. M. Arango Mejía, R. A. Restrepo Digiammarco, & A. Amézquita Campuzano, *LIBRO DE CARNES* (págs. 202-205). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- [21] Reyes Aguilar, P. (Marzo de 2007). ANALISIS DE REGRESION. En P. Reyes Aguilar, *ANALISIS DE REGRESION*. Obtenido de ANALISIS DE REGRESION.
- [22] Torres, A. L. (2009). *Modulo PROYECTO DE GRADO DE INGENIERIA*. Valledupar: UNAD-Vicerectoria de medios y mediaciones.

ANEXO A FICHA TECNICA DE PRODUCTO

FICHA TECNICA SALCHICHA TRADICIONAL 450 g

Nombre Salchicha Tradicional

Descripcion
 Producto cárnico procesado, cocido, embutido, elaborado con base en carne de animales de abasto(res, cerdo y pollo), con la adición de sustancias de uso permitido, introducido en tripas artificiales de celulosa aprobadas por legislacion colombiana y de diametro de 19 ± 0,4 cm; cumple con NTC 1325 Productos Cárnicos procesados no enlatados.



Descripcion fisica
 Color: Rosado Palido
 Olor: Caracteristico
 Textura: Blanda y compacta



Características Físicoquímicas

Composicion	
Proteina	12%
Grasa	10%
Humedad	88%
Almidon	5%
Proteina no carnica	3%
Propiedades Fisicas	
Cp	4,2631 KJ/kg°C
K	0,60528 W/m°C

Características Microbiológicas

Microorganismos	n	m	M	C
Recuento de microorganismos mesofilos (UFC/g)	3	-	100.000	1
Recuento de coliformes (UFC/g)	3	100	50	1
Recuento de coliformes <i>staphylococcus aureus</i> coagulasa positiva, (UFC/g)	3	<100	0	0
Recuento de esporas Clostridium sulfito reductor, (UFC/g)	3	<10	100	1
Detección de Salmonella, /25 g	3	Ausencia	0	0
Detección de Listeria Monocytogenes, /25 g	3	Ausencia	0	0
Recuento de Escherichia Coli /g	3	<10	0	0

En donde
 n = número de muestras que se van a examinar
 m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad
 M = índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad
 c = número de muestras permitidas con resultados entre m y M.

FICHA TECNICA SALCHICHA TRADICIONAL 450 g

Nombre					
Salchicha Tradicional					
Condiciones de empaque del producto terminado	Parametros de maquinaria	Valor	UME	Material de empaque	
	Tiempo de vacio superior	3	seg.	Espesor Pelicula superior (mm)	5,0
	Tiempo de vacio inferior	2,8	seg.	Espesor Pelicula inferior (mm)	2,5
	Tiempo de sellado	1,3	seg.	Marca	SUDPACK
	Temperatura de formado	85	°C	Condiciones de sala de proceso	
	Temperatura de sellado	135	°C	temperatura de zona de proceso de empaque (°C)	2-5
	Estado del teflonado de planchas	Optimo	N/A	Humedad relativa	35-45%
	Presion de vacio del producto (camara)	1	mBar	Presion atmosferica (Bar)	101.325

ANEXO B: REGISTROS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

ANEXO C: INFORME DE ENSAYO REALIZADO

FORMATO DE VALIDACION DE ENSAYO

PRODUCTO /PIEZA/HERAMIENTA AL QUE APLICA : Ref: A		RESPONSABLE: Wilson Octavio Rojas Castillo Deiby Vásquez, Guillermo Santamaría		FECHA: 25-03-2012	
Procedimiento	Recursos	Numero de Muestras	Valor o Resultado Esperado	Variables control	
Cambio de película inferior para el empaque de referencia A	Empacadora, Películas, superior en inferior, producto semielaborado (salchicha), comparador de caratula, termómetro digital.	599 muestras con mediciones posteriores a formado y medición de la vida útil del producto	Los valores de los espesores no deben ser inferiores a 0.0254 mm en el fondo, borde y pared y no superior al 3% del límite inferior. Y la vida útil debe estar entre los 35 y los 42 días en prueba de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de formado.(°C) • Temperatura de sellado.(°C) • Condiciones ²³maquinaria. • Medida del espesor posterior a formado (mm) • Temperatura del producto antes y después del sellado 	
Resultado obtenido Se evidencia de antemano que el material actual después de formado cumple de manera satisfactoria a la especificación actual por encima, en 0.02mm promedio, Superior al margen de seguridad que es de un 35% en función del límite inferior. (0.0254mm).La medición de vida útil del producto mediante prueba de estabilidad dio que el número de días fue de 35 presentándose un total de 10 unidades experimentales en el día 29 un leve aflojamiento, y el día 30 se perdió por completo el vacío. Se sometió las unidades experimentales a pruebas microbiológicas en donde los resultados descartaron el incumplimiento de un POE en la elaboración o empaque del mismo cuyo resultado fue positivo, al no encontrar recuentos altos de acuerdo a parámetros de NTC 1325, por políticas de calidad solo se entrego un resumen con los recuentos debido a que ese informe es un documento controlado. El porcentaje de las unidades experimentales afectadas fue del 1.66%, no afecto este defecto que después de una exhaustiva inspección a las condiciones de maquinaria se encontró un incumplimiento en el parámetro de la temperatura del agua del sistema de refrigeración del molde de formado provocando micro arrugas que no ayudaron a			Discrepancia Frente Al Resultado Esperado. La temperatura de formado estuvo por encima en 0.7°C por encima en el ensayo. (Se verifico y es producto de la incertidumbre de medición del instrumento.). Se esperaba que todas las unidades experimentales superasen los 35 días, pero se evidenciaron solo 10 unidades experimentales que no cumplieron con este parámetro.		

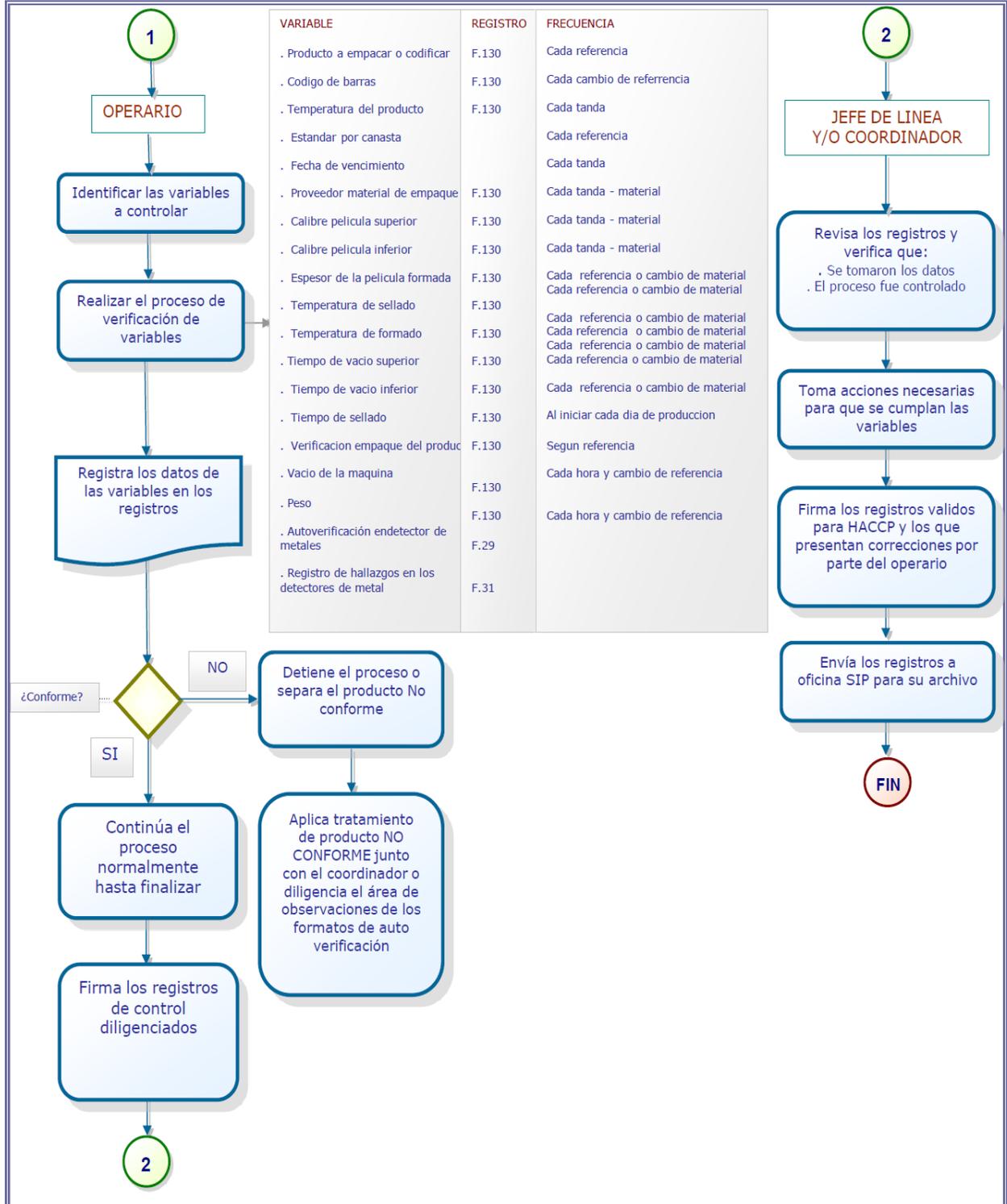
²³ Incluye El programa de producción del producto; Tiempo de formado, Presión de vacío

mantener el selle del producto, este problema se evidencio en un análisis de falla con el equipo de mantenimiento.	
--	--



**ANEXO D: PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTANDAR
AUTOVRIFICACION DE EMPAQUE.**

**PROCEDIMIENTO
AUTOVERIFICACION ETAPA DE EMPAQUE
PRODUCCION SALCHICHAS**



Ultima fecha de modificación:

Versión: 0

2011-11-20

ANEXO E: FICHA TECNICA DE PELICULA INFERIOR

product:

MULTIFOL GVP 125

description

Coextruded high barrier multilayer film with the structure P/EVOH/PA/PE.

structure

layer	materials	value	unit	tolerance
PP	Polypropylene	24	%	+/- 10%
PA	polyamide	22	%	+/- 10%
EVOH	ethylvinylalcohol	5,6	%	+/- 10%
PE	polyethylene	48,4	%	+/- 10%

technical description

aspect	value	unit	tolerance	method
Thickness	125	µm	+/- 10%	DIN 53370
Total weight	122	g/m ²	+/- 8%	ISO 2286-2
sealing range	115-155	°C		SPO
Sealingforce	> 20	N/15mm		SPO
Bondstrength	> 4	N/15mm		DIN 53357
Tensile strength (MD)	30	N/mm ²	+/- 10	ISO 527-3
Tensile strength (TD)	30	N/mm ²	+/- 10	ISO 527-3
Breaking elongation (MD)	300	%	+/- 100	ISO 527-3
Breaking elongation (TD)	300	%	+/- 100	ISO 527-3
Oxygen-permeability	<= 1	cm ³ /m ² d bar		23°C / 35% r.F. DIN 53380
CO ₂ -permeability	<= 3,5	cm ³ /m ² d bar		23°C / 35% r.F. DIN 53380
N ₂ -permeability	<= 1	cm ³ /m ² d bar		23°C / 35% r.F. DIN 53380
Water vapour permeability	< 4,1	g/m ² d		23°C / 85% r.F. DIN 53122
Width	s.Auftrag	mm	+ 1	SPO
reel length	s.Auftrag	m	+/- 2%	SPO

further information:

All used plastic-films are in accordance with the regulation EC 2002/72, 1935/2004, 90/128 and its amendments.

The composition of the product, when leaving the factory complies with the specific requirements on heavy metal concentration limits of the CONEG and the directive 94/62/EC: lead, mercury, cadmium and hexavalent chromium are not intentionally added to the product, and the incidental sum of the concentrations does not exceed 100ppm by weight.

This specification doesn't release from the responsibility to check the suitability of packaging material for the proposed application.

Storage recommendations: 15-30°C, 30-80% rel. humidity, max. 6 month

est. by: 
Wioletta Wiczorek / GW

est. on: 08.03.2010

proofed by: 
Malte Diez / Quality Manager

proofed on: 08.03.2010