

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA EMPACADORA Y SELLADORA
AL VACÍO PARA HUMITAS, CON CAPACIDAD DE 15 HUMITAS POR
MINUTO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**EDISON PAÚL LLORE MORENO
(epaul001@hotmail.com)**

**WILLIAM PAÚL TELLO FLORES
(William_82_2000@hotmail.com)**

**DIRECTOR: ING. JAIME VARGAS T.
(jvargas@epn.edu.ec)**

Quito, Noviembre 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, EDISON PAÚL LLOREÉ MORENO y WILLIAM PAÚL TELLO FLORES, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Edison Paúl Lloré Moreno

William Paúl Tello Flores

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Edison Paúl Lloré Moreno y William Paúl Tello Flores, bajo nuestra supervisión.

Ing. Jaime Vargas T.

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Jorge Escobar

COLABORADOR

Ing. Mario Granja

COLABORADOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por la vida y por darme la oportunidad de culminar mis metas con éxito, además agradezco a mis padres Mercedes Moreno y Manuel Lloré, ya que gracias a ellos soy quien soy. Sus consejos, sacrificios y apoyo son los que me formaron con una persona integral y hacen que hoy en día este culminando uno de los mayores proyectos de mi vida.

Agradezco a mi hermana Verónica, que me ha apoyado totalmente y de quien he aprendido muchas cosas. Agradezco a mi novia María Belén, por su apoyo, ánimo, aliento y amor incondicional.

Agradezco a toda mi familia, especialmente a mi tío Carlos Moreno que con su ayuda guió de buena manera este proyecto. Y finalmente agradezco a todos mis amigos y profesores que contribuyeron en mi formación personal y profesional.

EDISON LLORE

Primeramente doy un infinito agradecimiento a Dios, por haberme guiado paso a paso en este camino, por darme la fuerza y el valor necesario para culminar una de mis metas académicas y ponerme en el camino a todas las personas que han sido mi soporte y compañía para lograr esto posible.

A mis padres por darme la vida e inculcarme valores y consejos en toda mi vida estudiantil y por el apoyo incondicional en todos mis proyectos; a mis hermanos de quienes obtuve de cada uno de ellos la sabiduría necesaria para complementar mi formación.

A mi novia, amiga y compañera Silvana que me apoyo en los buenos y malos momentos de mi vida estudiantil.

WILLIAM TELLO

DEDICATORIA

A mi madre y a mi hermana, que son el motivo de mi esfuerzo, y a mi padre que desde el cielo estará muy orgulloso de este gran logro.

EDISON LLORE

A mis padres Jorge Tello y Zoila Flores que con el gran amor y comprensión hicieron que esto fuera posible.

WILLIAM TELLO

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 GENERALIDADES	3
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS HUMITAS	4
1.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	4
1.2.2 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y QUÍMICAS.....	5
1.2.3 FORMAS DE ALTERACIÓN DE LA HUMITA	8
1.3 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	9
1.3.1 TÉCNICAS DE ENVASADO	11
1.4 ALIMENTOS AL VACÍO.....	18
1.4.1 QUE ES EL VACÍO	18
1.4.2 MEDICIÓN DEL VACÍO	18
1.4.3 COMPORTAMIENTO DE LOS ALIMENTOS AL VACÍO	20
1.4.4 ENVASES Y EMPAQUES UTILIZADOS.....	21
CAPÍTULO 2.	26
ESTUDIO DEL PROCESO DE EMPACADO AL VACÍO.....	26
2.1 TIPOS DE EMPACADORAS AL VACÍO.....	26
2.1.1 MÁQUINAS DE EMPAQUE EN EL EXTERIOR.....	26
2.1.2 MÁQUINAS DE CÁMARA DE VACÍO.....	28
2.2 MECANISMO DE FORMACIÓN DE VACÍO	30
2.2.1 BOMBAS DE VACÍO.....	30
2.2.2 GENERADORES DE VACÍO	40
2.3 PROCESO DE EMPACADO	43

CAPÍTULO 3.	48
ESTUDIO DEL PROCESO DE SELLADO	48
3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE SELLADO	48
3.1.1 SELLADO POR LÁMINA.....	48
3.1.2 SELLADO POR BARRAS O TUBOS	49
3.1.3 SELLADO POR AIRE CALIENTE	50
3.2 MECANISMO DE SELLADO	51
CAPÍTULO 4.	52
DISEÑO DE LA EMPACADORA Y SELLADORA AL VACÍO.....	52
4.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	52
4.2 CONDICIONES Y LIMITACIONES	52
4.2.1 ECONÓMICAS.....	53
4.2.2 FÍSICAS	53
4.2.3 HUMANAS	53
4.2.4 AMBIENTE DE FUNCIONAMIENTO	53
4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO	54
4.4 PARÁMETROS FUNCIONALES	54
4.5 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	55
4.5.1 EMPACADORA CON CÁMARA DE VACÍO (ALTERNATIVA 1).....	55
4.5.2 EMPACADORA AL VACÍO EN EL EXTERIOR (ALTERNATIVA 2).....	56
4.6 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	57
4.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	59
4.7.1 FORMATO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	59
4.8 DISEÑO DE ELEMENTOS DE LA MÁQUINA	62
4.8.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE VACÍO.....	62

4.8.2 DISEÑO DE LA CÁMARA DE VACÍO.....	63
4.8.3 DISEÑO DE LA TAPA DE LA CÁMARA	90
4.8.4 DISEÑO DE LA CARCASA.....	98
4.8.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE SELLADO	101
4.9 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO.....	107
CAPÍTULO 5	108
SISTEMA DE CONTROL	108
5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	108
5.2 PROCESO DE CONTROL	108
5.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	110
5.3.1 TEMPORIZADOR	110
5.3.2 INTERRUPTOR	111
5.3.3 FUSIBLE	112
5.3.4 PULSADOR	112
5.3.5 RELEVADOR	113
5.3.6 TRANSFORMADOR	113
5.3.7 ELECTROVÁLVULA	114
5.3.8 LUZ PILOTO	115
5.3.9 ACCESORIOS	115
5.4 CIRCUITO DE CONTROL.....	118
5.5 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	119
CAPÍTULO 6	120
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	120
6.1 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN	120
6.2 PROCEDIMIENTO DE MONTAJE.....	121

6.3 EJECUCIÓN DE PROCEDIMIENTOS.....	122
6.4 PRUEBAS DE CAMPO.....	126
CAPITULO 7	128
ANÁLISIS DE COSTOS.....	128
7.1 COSTOS DIRECTOS	128
7.2 COSTOS INDIRECTOS.....	132
7.3 COSTO TOTAL	133
CAPITULO 8	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
8.1 CONCLUSIONES.....	134
8.2 RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Humita ecuatoriana.	4
Figura 2 Cantidad de Aerobios Mesófilos en una huminta	5
Figura 3 Cantidad de Coliformes totales en una humita.....	5
Figura 4 Escherichia Coli en una humita.....	6
Figura 5 Hongos en una humita	6
Figura 6 Levaduras en una humita.....	7
Figura 7 PH en una humita.....	7
Figura 8 Índice de peróxido en una humita	8
Figura 9 Envases utilizados en atmósferas protectoras	22
Figura 10 Estructuras empleadas en los envases multicapa	25
Figura 11 Máquinas empacadoras al vacío en el exterior.	27
Figura 12 Máquina empacadora con cámara de vacío	28
Figura 13 Bomba de paletas rotatorias.	31
Figura 14 Sistema de dos etapas en bombas de paletas rotatorias.....	32
Figura 15 Bomba de pistón rotatorio.	33
Figura 16 Bomba de lóbulos.....	34
Figura 17 Secuencia de compresión de una bomba de garras.	36
Figura 18 Bomba de espiral.	37
Figura 19 Bomba de tornillo.	38
Figura 20 Bomba de diafragma.....	39
Figura 21 Generador de vacío.....	40

Figura 22 Esquema de un generador de vacío monofásico	41
Figura 23 Esquema de un generador de vacío bifásico	42
Figura 24 Comparación entre generadores mono y bifásico	42
Figura 25 Proceso de empaçado, alimento colocado.....	43
Figura 26 Proceso de empaçado, tapa cerrada.	43
Figura 27 Proceso de empaçado, extracción de aire	44
Figura 28 Proceso de empaçado, sellado del empaque	44
Figura 29 Proceso de empaçado, ingreso del aire exterior	45
Figura 30 Proceso de empaçado, alimento empaçado	45
Figura 31 Empaque al vacío en el exterior, alimento colocado	46
Figura 32 Empaque al vacío en el exterior, empaque fijado	46
Figura 33 Empaque al vacío en el exterior, extracción de aire.....	46
Figura 34 Empaque al vacío en el exterior, sellado del empaque	47
Figura 35 Empaque al vacío en el exterior, alimento empaçado.....	47
Figura 36 Selladora de lámina.....	48
Figura 37 Barras para el sellado de fundas.....	49
Figura 38 Sistema de vacío.....	62
Figura 39 Cámara de vacío	64
Figura 40 Plano medio de la placa	64
Figura 41 Proyección de la deformación de un elemento diferencial	66
Figura 42 Desplazamiento de una placa plana	69
Figura 43 Campo de desplazamientos alrededor del espesor de la placa	69
Figura 44 Momentos sobre una placa plana	71

Figura 45 Esfuerzos y equilibrio de una placa plana	73
Figura 46 condiciones de borde para un contorno empotrado	75
Figura 47 Condiciones de borde para un contorno simplemente apoyado.	76
Figura 48 Placa plana sometida a una carga continua.....	77
Figura 49 Placa base de la cámara con sus condiciones de borde.....	79
Figura 50 Superposición de esfuerzos en una placa empotrada.....	82
Figura 51 Momentos existentes en la placa base	83
Figura 52 Círculo de Mohr.....	88
Figura 53 Teoría de la energía de distorsión.....	89
Figura 54 Tapa de la cámara con sus condiciones de borde	91
Figura 55 Círculo de Mohr.....	95
Figura 56 Teoría de la energía de distorsión.....	96
Figura 57 Tapa de la cámara de vacío.....	98
Figura 58 Carcasa.....	99
Figura 59 Sistema de sellado.....	102
Figura 60 Diagrama de cargas en el eje de sellado	104
Figura 61 Diagrama del cuerpo libre del eje de sellado	105
Figura 62 Teoría de la energía de la distorsión	106
Figura 63 Proceso de control	109
Figura 64 Subprocesos de control.....	110
Figura 65 Temporizador electrónico con retardo al encendido.....	111
Figura 66 Interruptor unipolar	111
Figura 67 Fusible en cápsula de vidrio.....	112

Figura 68 Pulsador normalmente abierto	112
Figura 69 Relé o relevador	113
Figura 70 Transformador de 110V a 30V	114
Figura 71 Electroválvula.....	114
Figura 72 Luz piloto.....	115
Figura 73 Base para temporizador	115
Figura 74 Bornera	116
Figura 75 Acople tomacorriente	116
Figura 76 Portafusibles	116
Figura 77 Terminales	117
Figura 78 Enchufe	117
Figura 79 Base para Relé.....	117
Figura 80 Alambre eléctrico.....	118
Figura 81 Construcción de la cámara de vacío	122
Figura 82 Construcción de la tapa para la cámara.....	123
Figura 83 Construcción de la carcasa	123
Figura 84 Construcción de la barra de sellado.....	124
Figura 85 Montaje del circuito de control y motor del prototipo	124
Figura 86 Montaje del sistema de sellado	125
Figura 87 Montaje de la tapa de la cámara	125
Figura 88 Pruebas del prototipo	126
Figura 89 Inspección del prototipo	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Unidades de medición de vacío	19
Tabla 2 Propiedades de los materiales de envasado para atmosfera protectora.....	23
Tabla 3 Principales materiales utilizados en el envasado de alimentos	24
Tabla 4 Evaluación de las alternativas.	58
Tabla 5 Normalización de las alternativas evaluadas.....	58
Tabla 6 Resultados de la evaluación de alternativas.	58
Tabla 7 Formato para la realización del protocolo de pruebas.....	60
Tabla 8 Costos de materia prima	129
Tabla 9 Costos de elementos adquiridos	130
Tabla 10 Costo de maquinado	132
Tabla 11 Costos indirectos	132
Tabla 12 Costo total	133

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo, diseñar y construir una empacadora y selladora al vacío para humitas, con capacidad de 15 humitas por minuto, teniendo como finalidad aumentar el tiempo apto para su consumo.

El proyecto esta compuesto por 7 capítulos. El primer capítulo enfoca las generalidades y características de las humitas, los mecanismos de conservación de alimentos, entre ellos el empacado al vacío.

El capítulo dos detalla el proceso de empacado al vacío, los diferentes tipos de empacadoras existentes, sus ventajas y desventajas. Se hace un estudio del vacío y de los mecanismos para formarlo.

El capítulo tres presenta el proceso de sellado de fundas plásticas, específicamente el termosoldado y los diferentes sistemas de sellado.

El capítulo cuatro plantea el diseño del prototipo, definiendo el problema y la necesidad a satisfacer, estableciendo además los parámetros bajo los cuales se desarrolla el proyecto y las alternativas de diseño. Se evalúa y se selecciona la alternativa adecuada, para la cual se desarrolla un Protocolo de Pruebas. Se diseñan y se seleccionan los elementos del prototipo.

El capítulo cinco detalla el sistema de control del prototipo, describe las características, la función y el proceso de control. También se encuentra el detalle de los elementos que constituyen el sistema y su funcionamiento.

El capítulo seis está dedicado a los procedimientos de construcción y montaje del prototipo, además al análisis de los resultados de las pruebas de campo.

El capítulo siete muestra el análisis de costos de la construcción del prototipo.

El capítulo ocho muestra las respectivas conclusiones y recomendaciones del proyecto.

PRESENTACIÓN

Con el crecimiento de las empresas nacen nuevos objetivos y nuevos horizontes de mercado, entre ellos los mercados extranjeros. En la industria alimenticia los problemas son mayores debido a que los productos que se manejan son sensibles. Específicamente en la exportación de humitas es necesario aumentar significativamente el tiempo apto para el consumo humano o tiempo de caducidad del producto, de tal forma que permita su transporte y su comercialización en el lugar de destino.

Entre los varios mecanismos de conservación de alimentos se encuentra el empaclado al vacío, que satisface plenamente las necesidades requeridas en la exportación de humitas sin aumentar significativamente los costos de producción.

Por estas razones el presente proyecto tiene como objetivo: diseñar y construir un prototipo de máquina capaz de aumentar el tiempo apto para el consumo de las humitas, que además represente una inversión razonable a los empresarios, ya que en el país la producción de humitas es en su mayoría artesanal.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES

Las humitas son un alimento hecho principalmente de granos de choclo triturados a los que se le agrega leche, huevos, mantequilla, manteca de chanco y en algunas ocasiones una fritura de cebolla, tomate, ají, pimentón y queso, se la envuelve en las hojas del propio choclo y se las cocina al vapor, es una herencia gastronómica de nuestros antepasados del continente en la época precolombina.

Las humitas son muy populares en el continente, también tienen presencia en Venezuela, Colombia, Perú, Bolivia, Argentina, Chile y Centroamérica. Sin embargo, a pesar de que la humita es degustada en Centroamérica y Sudamérica es conocida con diversos nombres.

Humita se deriva de la lengua quechua Humint'a, variante regional del quichua que se habla en el vecino Perú, sur del Ecuador y noroeste de Argentina. En Venezuela se la denomina hallaca, hallaquita o bollo; en Bolivia como huminta, en Perú humita y en Centroamérica se lo llama tamal. A pesar de que en Ecuador lleva el nombre de humita, en el sur del país también se la conoce como "chumal".¹

Las humitas son muy apetecidas por su exquisito sabor y su alto valor nutritivo. En nuestro país existen diferentes variantes incluso en una misma región, por ejemplo en la costa es común rellenar las humitas con cebolla frita y queso, se las envuelve

¹REYES Verónica, "La humita, herencia de los indios precolombinos", El Universo. 5 de Octubre de 2007.

en hojas de choclo y se presentan con un pequeño lazo envuelto, mientras que en la sierra son comunes las humitas de dulce únicamente envueltas con hojas de choclo sin atados adicionales como se muestra en la figura 1.



Figura 1 Humita ecuatoriana.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS HUMITAS²

1.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En promedio una humita tiene las siguientes dimensiones:

140mm x 50mm x 40mm

Peso aproximado de una humita:

150 g

Volumen aproximado de una humita:

280cm³

²VIVAS Josefina, MOSQUERA Saskia,(2009) “Estudio de la estabilidad de las humitas refrigeradas envasadas en fundas de polipropileno biorientado”, ESPOL , Guayaquil.

1.2.2 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y QUÍMICAS

La cantidad de Aerobios Mesófilos (microorganismos que necesitan oxígeno y un rango de temperatura entre 25 a 40° C para que se desarrollen en condiciones óptimas) de una muestra de masa humita refrigerada se observa en figura 2.

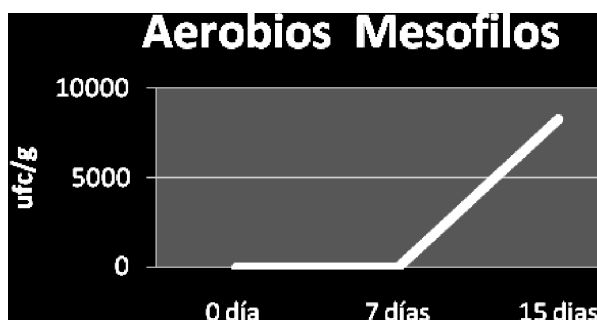


Figura 2 Cantidad de Aerobios Mesófilos en una huminta

La cantidad de Coliformes Totales (bacterias que tienen ciertas características bioquímicas son importantes como indicadores de contaminación del agua y los alimentos) de una muestra de masa humita refrigerada se observa en la figura 3.

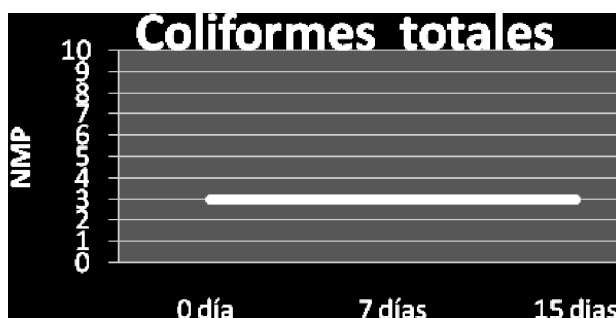


Figura 3 Cantidad de Coliformes totales en una huminta

La cantidad de Escherichia Coli (es una bacteria que se encuentra generalmente en los intestinos animales, incluido el humano, contamina los alimentos) de una muestra de masa humita refrigerada se observa en la figura 4.

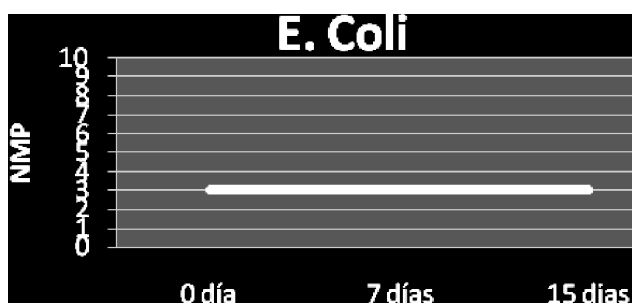


Figura 4 Escherichia Coli en una humita

La cantidad de hongos (tienen capacidad de descomponer alimentos y producen toxinas) de una muestra de masa humita refrigerada se observa en la figura 5.



Figura5 Hongos en una humita

La cantidad de Levaduras (hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la descomposición mediante fermentación) de una muestra de masa humita refrigerada se observa en la figura 6.



Figura6 Levaduras en una humita

El PH (altera el sabor de los alimentos) en una muestra de masa de humita refrigerada se observa en la figura 7.



Figura 7 PH en una humita

El peróxido (aparece en la oxidación de los alimentos) en una muestra de masa de humita refrigerada se observa en figura 8.

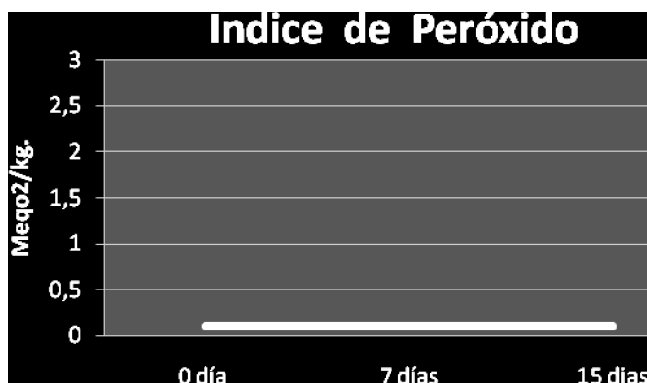


Figura 8 Índice de peróxido en una humita

De acuerdo a las características microbiológicas antes descritas, La Humita de Choclo tiene un tiempo estimado de vida útil de 7 días bajo condiciones de refrigeración e inalterable su sistema de cierre.

1.2.3 FORMAS DE ALTERACIÓN DE LA HUMITA

Falta de refrigeración

Los microorganismos pueden reproducirse en los alimentos debido a la falta de refrigeración, es necesario controlar la continuidad de la temperatura adecuada hasta el momento de ser ingerido.

Crecimiento de moho en la envoltura de la humita (hoja de choclo)

Un factor que incide en la vida útil de las Humitas es el crecimiento de moho en la envoltura cuando esta húmeda, debido a las condiciones propias de las hojas comienza a evidenciarse al décimo séptimo día desde su elaboración.

Materia prima insegura

Las bacterias patógenas son la causa de la mayoría de las enfermedades de origen alimentario. En algunos alimentos crudos es posible hallar cierto nivel de elementos patógenos.

Descuidar la temperatura, ya sea porque esta resulte demasiado alta puede aumentar en forma significativa la cantidad de bacterias. Los alimentos cocidos que han sido sometidos a una contaminación cruzada por elementos patógenos presentes en materia prima insegura, por lo general resultan un medio fértil para su crecimiento rápido y progresivo. La mayoría de las bacterias son eliminadas o desactivadas con una cocción adecuada y otras se encuentran en cantidad ínfima luego de un enfriamiento adecuado durante su distribución y almacenamiento.

1.3 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

El ritmo de vida actual y los cambios en los hábitos alimenticios han impulsado la aparición de nuevas tendencias de consumo de alimentos. Existe mucho interés por los productos frescos, sanos y naturales, evitando aditivos químicos y preservantes.

Además, los consumidores demandan alimentos de preparación sencilla y rápida, como los productos precocidos y productos listos para consumir. La evolución de los hábitos alimenticios se ve reflejada también en los envases, que no solo son recipientes o contenedores, sino que presentan ciertas características que contribuyen a la conservación, presentación y marketing de los alimentos.

Las empresas alimenticias quieren ofrecer al consumidor nuevos productos que se acoplen al actual ritmo de vida, pero también debido a la gran diversidad necesitan

atraer su atención, por este motivo el diseño en los envases adquiere un papel igual o más importante que el vender el propio producto.

La conservación de alimentos tiene implicaciones económicas tanto para los fabricantes (deterioro de materias primas y productos elaborados antes de su comercialización, pérdida de la imagen de marca, etc.) como para distribuidores y consumidores (deterioro de productos después de su adquisición y antes de su consumo). Se calcula que más del 20% de todos los alimentos producidos en el mundo se pierden por acción de los microorganismos.³

Los alimentos alterados pueden resultar muy perjudiciales para la salud del consumidor. Por ejemplo, la toxina botulínica producida por una bacteria llamada *Clostridium botulinum*, en las conservas mal esterilizadas, embutidos y en otros productos, es una de las sustancias más venenosas que se conocen (miles de veces más tóxica que el cianuro). Otras sustancias producidas por el crecimiento de ciertos mohos son potentes agentes cancerígenos.

Existen importantes razones para evitar la alteración de los alimentos. A los métodos físicos, como el calentamiento, deshidratación, irradiación o congelación, pueden asociarse métodos químicos que causen la muerte de los microorganismos o que al menos eviten su crecimiento.

Las tecnologías de conservación además de prolongar la vida útil de los alimentos deben garantizar la calidad higiénica, minimizando las alteraciones de los mismos. Una forma de conservación es el envasado, en sus diferentes métodos, formas, materiales y con sus tipos de tratamientos propios.

³Alimentacion Sana, <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/conservacion>

1.3.1 TÉCNICAS DE ENVASADO⁴

Las diferentes técnicas de envasado además de conservar y garantizar la higiene de los productos, deben mantener la calidad sensorial de los alimentos es decir, preservar el buen aspecto, textura y sabor. Las diferentes técnicas o procedimientos de envasado son:

- Envasado tradicional
- Envasado activo
- Envasado en atmosferas protectoras

1.3.1.1 Envasado tradicional

El envase tradicional cumple básicamente la función de contener el alimento y de proporcionar resistencia a las alteraciones físicas que pueda sufrir un producto al ser transportado y manipulado, generalmente sirve únicamente para mejorar el aspecto o la presentación del producto, aunque ciertamente contribuye a la preservación y evita la contaminación con otros alimentos y con las impurezas del ambiente.

1.3.1.2 Envasado activo

El principal objetivo del envasado activo es mejorar la conservación del producto que contiene, extendiendo su vida útil pero manteniendo sus propiedades organolépticas, su calidad y la seguridad del mismo.

⁴Últimas tendencias en el empaque de alimentos,
<http://www.gs1pa.org/boletin/2006/agosto/boletin-ago06-art1.html>

El envasado activo es un sistema que controla los factores responsables de la alteración del alimento, mediante agentes antimicrobianos, absorbentes de humedad, oxígeno o dióxido de carbono, emisores de etanol, captadores de etileno, etc.

Estos sistemas activos pueden ser:

- Absorbedores: Eliminan sustancias no deseadas del alimento (oxígeno, agua, etileno, olores, etc.).
- Emisores: Aportan al producto envasado sustancias como agua, antioxidantes, conservantes, dióxido de carbono, etc.

El componente activo se puede aplicar en el interior del envase (mediante pequeñas bolsas o sobres que contienen el principio activo, y que constituye el sistema más desarrollado y utilizado hasta el momento) o puede estar incluido en el material de envase (películas sintéticas y comestibles que contienen el principio activo).

1.3.1.3 Envasado en atmósferas protectoras

Envasar en atmósferas protectoras persigue mantener el estado natural de los alimentos por más tiempo. Las técnicas más utilizadas son:

- Envasado en atmósferas controladas: La composición del gas que rodea al alimento se mantiene constante a lo largo del tiempo mediante un control continuo.
- Envasado en atmósferas modificadas: La composición de gases se ajusta al principio del almacenamiento, generalmente en el momento de envasar el alimento y no se vuelve a modificar.
- Envasado al vacío: Donde simplemente se elimina el aire.

1.3.1.3.1 Envasado en atmósferas controladas

El envasado en atmósfera controlada (CAP por sus siglas inglesas, *controlled atmosphere packaging*), consiste en la sustitución del aire por un gas o una mezcla de gases específicos cuya proporción se fija de acuerdo a las necesidades del producto, creando una atmósfera que se debe mantener constante a lo largo del tiempo.

Sin embargo, las reacciones metabólicas de determinados productos consumen algunos gases (oxígeno) y generan otros (dióxido de carbono, etileno) que alteran la composición inicial, por lo que es necesario controlar y compensar estas variaciones.

La detección de estas variaciones se realiza mediante dispositivos de control y se compensan con distintos mecanismos de producción o eliminación de gases. En los envases de pequeñas dimensiones destinados a la venta al detalle, no es posible implementar estos sistemas.

Las atmósferas controladas se utilizan en cámaras y contenedores de gran volumen por lo que la denominación más acertada para esta tecnología es AAC (almacenamiento en atmósfera controlada) o CAS por sus siglas en inglés (*controlled atmosphere storage*). En este sistema se lleva a cabo un seguimiento estricto de determinados parámetros (temperatura, humedad, concentración de gases derivados del metabolismo respiratorio), con el fin de retrasar la maduración de los productos. En la actualidad, se usa este sistema para la conservación de grandes cantidades de vegetales durante su almacenamiento y transporte.

Ventajas del almacenamiento en atmósfera controlada

Es el sistema de almacenamiento y transporte más apropiado para los vegetales frescos después de su recolección, porque soporta su actividad metabólica. Además, reduce las alteraciones ocasionadas por el frío en este tipo de alimentos, ya que permite aumentar la temperatura en el interior de las cámaras de almacenamiento.

La atmósfera creada artificialmente inhibe la proliferación de microorganismos e insectos. En muchos casos la fumigación de los productos puede sustituirse por tratamientos con determinados gases protectores.

Retrasa la senescencia⁵ de los productos y conserva su calidad sensorial.

Inconvenientes del almacenamiento en atmósfera controlada

Es una tecnología costosa puesto que requiere equipos para la generación y eliminación de gases. Se necesitan además otros dispositivos para el control de la atmósfera interna.

No es aplicable a envases de pequeño tamaño destinados a la venta al detalle; sólo se emplea en contenedores de grandes dimensiones.

La composición de la atmósfera en el interior del recinto debe mantenerse controlada de forma precisa y constante puesto que pequeñas variaciones promueven desordenes en los productos.

⁵ Evoluciones en los sistemas que supongan un deterioro del mismo, esto es, a la incapacidad para mantener la estructura, la integridad o el orden interno de dicho sistema.

1.3.1.3.2 Envasado en atmosfera modificada

El envasado en atmósfera modificada (EAM o MAP en sus siglas inglesas, modified atmosphere packaging) es la tecnología de aparición más reciente, consiste en la evacuación del aire contenido en el envase y posteriormente la inyección del gas o de la combinación de gases más adecuados a los requerimientos del producto.

El sistema EAM rodea al producto en el momento de envasado de una atmosfera que mejora la conservación de los alimentos. Pero esta atmosfera modificada va variando con el paso del tiempo en función de la respuesta del producto, sobre todo para alimentos con una actividad metabólica importante, como frutas y hortalizas frescas es imprescindible emplear envases con materiales de permeabilidad selectiva. Gracias a ello, se alcanza un estado de equilibrio entre los gases consumidos y producidos por el alimento manteniendo una composición gaseosa dentro del paquete muy similar a la de partida.

Ventajas del envasado en atmósfera modificada

Es un sistema aplicable a una amplia variedad de productos (vegetales, cárnicos, lácteos, etc.) independientemente del tratamiento de elaboración y conservación al que se someten (frescos, refrigerados, congelados). Este sistema es adecuado para alimentos de textura blanda.

Mantiene la calidad organoléptica del producto porque inhibe las reacciones de oxidación, preserva el color de los alimentos, por ejemplo de la carne. Soporta el metabolismo activo de los productos frescos y mínimamente procesados.

Inconvenientes del envasado en atmósfera modificada

Es imprescindible realizar un buen diseño de la atmósfera interna para garantizar la conservación del producto durante el tiempo necesario. Una vez cerrado el envase no puede controlarse la composición.

Los costos se incrementan por el consumo de gases de envasado y la inversión inicial en los sistemas. Se requiere más espacio para el almacenamiento, transporte y exposición en el punto de venta de los paquetes con atmósfera modificada porque tienen un mayor volumen.

1.3.1.3.3 Envasado al vacío

El primer método de envasado en atmósfera protectora que se utilizó comercialmente fue el envasado al vacío (EV). Se trata de un sistema muy sencillo, que únicamente conlleva la evacuación del aire contenido en el paquete. Si el proceso se realiza de forma adecuada la cantidad de oxígeno residual es inferior al 1%.

En este caso, el material de envasado se pliega en torno al alimento como resultado del descenso de la presión interna frente a la atmosférica. Dicho material debe presentar una permeabilidad muy baja a los gases, incluido el vapor de agua.

Inicialmente, el vacío se limitaba al envasado de carnes rojas, carnes curadas, quesos duros y café molido. En la actualidad se aplica a una extensa variedad de productos alimenticios.

Ventajas del envasado al vacío

Dentro de los distintos métodos de envasado en atmósfera protectora es el más sencillo y económico, puesto que no hay consumo de gases en él. La baja concentración de oxígeno que permanece en el envase tras evacuar el aire inhibe el crecimiento de microorganismos aerobios y las reacciones de oxidación, favorece la retención de los compuestos volátiles responsables del aroma. Este aspecto es muy apreciado por el consumidor en determinados productos como el café.

Otra importante ventaja es el impedimento de las quemaduras por frío, la formación de cristales de hielo y la deshidratación de la superficie del alimento gracias a la barrera de humedad de pequeño espesor existente entre el material de envasado y el producto.

Inconvenientes del envasado al vacío

Es un método poco recomendable para productos de textura blanda o frágil, con formas irregulares y para aquellos en los que su presentación es de gran importancia (como los platos preparados) porque pueden deformarse de manera irreversible con el vacío.

Deben extremarse las precauciones en alimentos con superficies cortantes o salientes para evitar la rotura del material de envasado al evacuar el aire. Tampoco es adecuado para alimentos que precisan cierta cantidad de oxígeno. Por ejemplo, las carnes rojas sufren variaciones de color en ausencia de este gas que resultan poco atractivas para el consumidor.

1.4 ALIMENTOS AL VACÍO

1.4.1 QUE ES EL VACÍO

El vacío es simplemente la ausencia de aire. Podemos crear vacío en un contenedor, absorbiendo todo el aire y luego sellándolo para evitar que el aire retorne. La razón más importante para crear vacío es eliminar el oxígeno debido a que:

- El aire está compuesto de oxígeno alrededor del 21%. La mayoría de las bacterias asociadas con el deterioro de los alimentos necesitan oxígeno para crecer. Con menor cantidad de oxígeno disponible, las bacterias crecen más lento y la comida durara más antes de echarse a perder.
- El oxígeno es altamente reactivo y muchos compuestos orgánicos que dan el sabor a los alimentos reaccionan con él, dando un sabor añejo a la comida.

1.4.2 MEDICIÓN DEL VACÍO

La fuerza de vacío es importante porque cuanto más fuerte es el vacío más oxígeno es eliminado. El vacío se mide en unidades de depresión que son unidades relativas que parten de 0 a presión atmosférica, aunque también se miden en unidades absolutas y de presión. La unidad más simple de medir el vacío es el 'Bar'.

Donde: 0 Bar es la presión atmosférica.
 -1,0 Bar representa un vacío perfecto.

Aunque en la práctica no es posible crear un vacío perfecto por sus altos costos, se considera un vacío de buena calidad cuando alcanza los -0.8 bar.⁶ Las unidades de presión y depresión comúnmente usadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Unidades de medición de vacío

Unidades de medición de Vacío									
Unidades de presión						Unidades de depresión			
Pascal (Pa)	PSI	Pulgadas de Hg	mm de Hg	Atm	mbar	% vacío	mbar (depresión)	mm de Hg (depresión)	Pulgadas de Hg (depresión)
101300	14.69	30.00	759,75	1.0	1013	0	0	0	0
100000	14.50	29.61	750	0.987	1000	1.3	-13,32	-10,0	-0,39
98100	14.23	29.05	735,75	0.968	981	3.2	-33,32	-25,0	-0,98
90000	13.05	26.85	675	0.888	900	11.1	-113,29	-85,0	-3,35
80000	11.60	23.69	600	0.789	800	21.0	-213,26	-159,9	-6,30
70000	10.15	20.73	525	0.691	700	30.9	-319,09	-239,3	-9,42
60000	8.70	17.77	450	0.592	600	40.8	-416,52	-312,4	-12,30
50000	7.25	14.81	375	0.494	500	50.6	-511,5	-383,6	-15,10
40000	5.80	11.85	300	0.395	400	60.5	-608,8	-456,6	-17,98
30000	4.35	8.884	225	0.296	300	70.4	-704,09	-528,1	-20,79
20000	2.90	5.923	150	0.197	200	80.2	-802,73	-602,0	-23,70
10000	1.45	2.961	75	0.099	100	90.1	-901,38	-676,0	-26,62
9000	1.31	2.665	67,5	0.089	90	91.8	-927,5	-695,6	-27,39
8000	1.16	2.369	60	0.079	80	92.1	-933,02	-699,8	-27,55
7000	1.02	2.073	52,5	0.069	70	93.1	-943,32	-707,5	-27,85
6000	0.870	1.777	45	0.059	60	94.1	-953,7	-715,3	-28,16
5000	0.725	1.481	37,5	0.049	50	95.1	-964,35	-723,3	-28,47
4000	0.580	1.185	30	0.040	40	96.1	-975,12	-731,3	-28,79
3000	0.435	0.8884	22,5	0.030	30	97.0	-987,83	-740,9	-29,17
2000	0.290	0.5923	15	0.020	20	98.0	-999,67	-749,8	-29,52
1000	0.145	0.2961	7,5	0.010	10	99.0	-999,99	-750,0	-29,53
0	0	0	0	0	0	100	-1013	-759,8	-29,91

⁶ NEWTON Paul, GILLESPIE Andrew, (2010), "A practical guide to vacuum packing", Ed. La.Va, Inglaterra.

Un punto importante a destacar es que se vuelve mucho más difícil crear vacío cuando nos acercamos a -1,0 bar. Así que una máquina que produzca -0,8 bar debe ser mucho más potente que una que sólo produce -0,7 bar.

Esto tiene un efecto práctico. Almacenar los alimentos a -0,8 bar tendrá una mucho mayor duración que almacenarlos a -0,7 bar. De hecho esta es una de las principales diferencias en la calidad de máquinas envasadoras o empacadoras al vacío.

1.4.3 COMPORTAMIENTO DE LOS ALIMENTOS AL VACÍO

Un alimento al contacto con el aire comienza a perder su sabor y cambia en apariencia, como por ejemplo la manzana y el plátano que muestran signos de rápida oxidación, esta reacción ocurre en todos los alimentos frescos aunque no siempre los efectos son evidentes o inmediatos. En el vacío sin la presencia de oxígeno los alimentos podrán mantener el sabor y la apariencia que por la oxidación hubiesen sido modificados.

En el caso de los alimentos que contienen aceites naturales como por ejemplo el pescado, expuesto al aire del medio ambiente se vuelven rancios o añejos debido a que sus aceites se deterioran rápidamente. Estos alimentos en el vacío pueden mantener su sabor y evitar el añejamiento, ya que sus aceites se conservan por mayor tiempo.

Algunos alimentos a los que es imprescindible conservarlos en bajas temperaturas, como por ejemplo la carne de res, pollo o cerdo, a menudo pierden la textura y el sabor de la superficie debido a quemaduras por frío, estas quemaduras son una mezcla de oxidación y deshidratación, añadido a esto el crecimiento de ciertas bacterias. En el vacío sin la presencia de oxígeno se elimina la oxidación, la deshidratación, se inhibe el crecimiento de ciertas bacterias, por ende se elimina la

quemadura por frío y se conserva la textura y el sabor que por quemadura hubiese sido modificado.

El mantenimiento de la humedad de los alimentos también es una ventaja que presenta la conservación al vacío, sobre todo porque al retirar el aire, la envoltura queda ajustada a la forma del alimento, esto ayuda a evitar la evaporación manteniendo la humedad y la textura. Por el contrario en el caso de alimentos secos como los cereales y galletas, el vacío ayuda a evitar que se suavicen por la humedad del aire.

1.4.4 ENVASES Y EMPAQUES UTILIZADOS

1.4.4.1 Tipos de envases

Los envases más extendidos en el envasado al vacío se fabrican con materiales poliméricos y se dividen en dos categorías:

Envases flexibles:

A este grupo pertenecen los envases o bolsas tipo “almohada”, que tienen una soldadura longitudinal y dos transversales en los extremos, y los de tipo “saco o sobre”, con los cuatro lados sellados.

Envases rígidos:

Constan de dos componentes. El primero puede tener distintas formas (copa, vaso) aunque generalmente se trata de una bandeja sobre la que se deposita el alimento. El otro componente es una tapa que puede ser rígida o una película flexible.

Además de los polímeros se utilizan otros materiales en aplicaciones concretas como el vidrio para algunas bebidas y los metales para productos deshidratados (por ejemplo, para leche en polvo). La figura 9 nos muestra algunos tipos de envases.

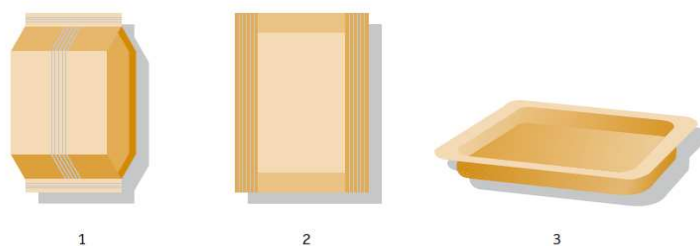


Figura 9 Envases utilizados en atmósferas protectoras de productos alimenticios: 1 Bolsa tipo almohada, 2 Bolsa tipo sobre y 3 Bandeja

1.4.4.2 Propiedades de los materiales de envasado

Dentro de las tecnologías de envasado en atmósfera protectora, la función principal que desempeña el envase es proteger el alimento del medio externo y preservar el ambiente creado en su interior. Los materiales con los que son fabricados deben presentar determinadas propiedades desde el punto de vista técnico, comercial, legal, etc. Algunas propiedades importantes de los materiales de envasado se resumen en la tabla 2:

Tabla 2 Propiedades de los materiales de envasado para atmosfera protectora

Propiedades de los materiales de envasado para atmósfera protectora	
Barrera o protección	Barrera frente a gases, humedad y olores Protección frente a la luz Resistencia a grasas y aceites
Técnicas o Mecánicas	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	Brillo y transparencia Facilidad de apertura Aptitud para la impresión y la adición de etiquetas y códigos Calentamiento en horno convencional o microondas
Económicas	Rendimiento y coste por metro cuadrado Disponibilidad en el mercado
Legales	Inercia química
Medioambientales	Posibilidad de reciclado

1.4.4.3 Materiales utilizados en el envasado

En la tabla 3 se recogen los principales materiales utilizados en el envasado de alimentos en atmósfera protectora así como algunas de sus propiedades más importantes:

Tabla 3 Principales materiales utilizados en el envasado de alimentos en atmósfera protectora

Material	Permeabilidad a los gases (cm ³ /m ² ·día·atm) Espesor de 25μ a 25°C			Transmisión de vapor de agua (g/m ² · día) 38°C 90% HR	Resistencia a grasas y aceites
	O ₂	CO ₂	N ₂		
Polietileno de baja densidad	7800	42000	2800	18	Pobre
Polietileno de alta densidad	2600	7600	650	7-10	Buena- Excelente
Polipropileno fundido	3700	10000	680	10-12	Buena
Polipropileno orientado	2000	8000	400	6-7	Buena- Excelente
Policloruro de vinilo rígido	150- 350	150-350	60-150	30-40	Excelente
Policloruro de vinilo plastificado	500- 30000	1500- 46000	300- 10000	15-40	Buena
Poliamida o Nylon-6	40	150-190	14	84-3100	Excelente
Poliamida o Nylon-11	500	2000	52	5-13	Excelente
Politereftalato de etilenglicol o poliésterorientado	50-130	180-390	15-18	25-30	Excelente
Poliestireno orientado	5000	18000	800	100-125	Buena

1.4.4 Envases multicapa

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 constituya 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 como se muestra en la figura 10.

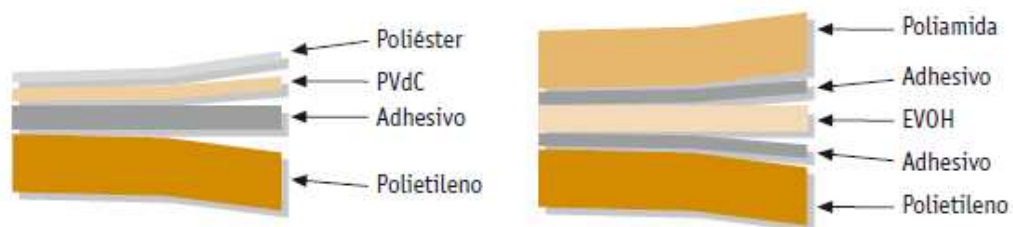


Figura 10 Estructuras empleadas en los envases multicapa

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DEL PROCESO DE EMPACADO AL VACÍO

2.1 TIPOS DE EMPACADORAS AL VACÍO

Hay dos tipos de empacadoras en el mercado:

- Máquinas de empaque en el exterior: Cuando sólo el extremo de la bolsa de empaque se inserta en la máquina empacadora y el resto de la bolsa y su contenido permanecen fuera de la máquina.
- Máquinas de cámara de vacío: Cuando toda la bolsa de empaque y su contenido están dentro de la máquina.

Estos dos tipos de máquinas de envasado al vacío son muy diferentes cuando se habla de precio y gastos de funcionamiento.

2.1.1 MÁQUINAS DE EMPAQUE EN EL EXTERIOR

Las máquinas de empaque en el exterior trabajan sujetando el extremo abierto de la bolsa de empaque mientras que el aire es extraído. Debido a que el extremo de la bolsa está amordazada, esta máquina requiere usar un tipo especial de bolsa con un finoestriado o con textura en el extremo, de modo que el aire se puede quitar fácilmente. Este tipo de bolsas son algo costosas. En la figura 11 se muestran las máquinas de empaque en el exterior.



Figura 11 Máquinas empacadoras al vacío en el exterior.

Algunas máquinas de empaque en el exterior incluyen accesorios que permiten adaptar mangueras para generar vacío en envases rígidos y recipientes reutilizables.

Este tipo de máquinas son las de menor precio ya que utilizan generadores de vacío por efecto Venturi o por bombas de pistón seco. No se obtiene una alta calidad de vacío ya que para ello se necesita una bomba de una potencia tal que encarecería la máquina. Tampoco es posible el uso de bolsas de un gran espesor ya que la capacidad del sellado de la máquina es también baja.

2.1.1.1 Los Pros y Contras de las máquinas de empaque en el exterior

Las máquinas de empaque en el exterior tienen numerosas ventajas frente a las máquinas de cámara de vacío, cuando hablamos de pocas unidades a ser empacadas. Empezando por el bajo costo de la máquina misma, el menor tamaño, el escaso mantenimiento necesario, y la versatilidad para adaptar accesorios que sirvan para extraer aire de contenedores rígidos.

El inconveniente de este tipo de máquinas es cuando se requiere empacar una gran cantidad de unidades debido a que las bolsas utilizadas son costosas, además se

debe empacar manualmente y una a una. Generalmente no ofrecen una alta calidad de vacío ya que por su tamaño no tienen bombas de gran potencia.

2.1.2 MÁQUINAS DE CÁMARA DE VACÍO

Estas máquinas como se muestra en el figura 12 se asemejan a una caja de acero inoxidable en la que la bolsa de empaque con su contenido se coloca dentro de una cámara hermética. De la cámara es entonces extraído todo el aire y una vez creado el vacío la bolsa es sellada con calor. Este tipo de máquina no necesita bolsas estriadas ni con ningún tipo de texturas en el extremo y por lo tanto son más baratas que las que funcionan en la máquina de empaque en el exterior. Estas máquinas son mucho más costosas ya que el vacío de alta calidad se genera mediante una bomba y en ellas es posible tener selladoras de alta calidad para bolsas de mayor espesor.



Figura 12 Máquina empacadora con cámara de vacío

Las máquinas de cámara de vacío necesitan un mantenimiento continuo, este es otro factor que debe tenerse en cuenta. Debido a que la limitación de la máquina es el espacio físico de la cámara de vacío, se usa generalmente para grandes cantidades de artículos de similar tamaño en la industria.

2.1.2.1 Los Pros y Contras de las máquinas de cámara de vacío

Hay que considerar que este tipo de máquinas tienden a ser físicamente más grandes que las máquinas de empaque en el exterior, esto puede ser un inconveniente si el espacio disponible es limitado o si la máquina debe ser trasladada de un lugar a otro con regularidad.

Este tipo de máquinas necesita mantenimiento periódico ya que generalmente las bombas de vacío de gran calidad funcionan con aceite y habrá que comprobar el nivel y cambiarlo luego de un tiempo de uso.

La ventaja de este tipo de máquinas es el bajo costo de las bolsas de empaque ya que no se necesitan estrías especiales ni ningún tipo de textura, por este motivo para procesos de una media o alta productividad resultan más económicas este tipo de máquinas.

Adicional a esto, con las máquinas de cámara de vacío se puede lograr una altísima calidad de vacío.

2.2 MECANISMO DE FORMACIÓN DE VACÍO ⁷

2.2.1 BOMBAS DE VACÍO

Las bombas que generalmente se usan para cualquier tipo de empacadoras son las denominadas bombas de bajo vacío en este grupo se encuentran: las bombas de paletas rotatorias, bombas de pistón rotatorio, bombas de espiral, bombas de tornillo y bombas de diafragma. También se usan bombas de mediano vacío: como las de lóbulo o bombas Root y bombas de garra.

Generalmente las bombas de lóbulo se usan en combinación con bombas de pistón y de paletas rotatorias para sistemas con grandes volúmenes.

Existen bombas de alto vacío cuyos usos son diferentes a empacadoras de alimentos, pero alcanzan niveles de vacío muy cercanos al 100% con presiones tan bajas de orden de mbar, en este grupo se encuentran las bombas turbomoleculares y bombas de difusión, las bombas de bajo o medio vacío son usadas para apoyar a bombas de alto vacío.

Existen bombas de ultra alto vacío, con lo cual se simula el espacio exterior, estas son bombas de altísima tecnología generalmente con patentes, en este grupo están las bombas iónicas y las bombas criogénicas.

En este capítulo se detallaran únicamente las bombas de vacío adecuadas para el uso en empacadoras de alimentos.

⁷ La información y las figuras han sido extraídas de: O'HANLON John, (2003) "A User's Guide to Vacuum Technology", Ed. WileyInterscience, USA.

2.2.1.1 Bombas de paletas rotatorias

La bomba de paletas rotatorias generalmente funciona con sello de aceite que alcanzan un rango de presión de $1-10^5$ Pa, también existen en el mercado bombas que funcionan libres de aceite, pero ofrecen una eficiencia menor que las anteriores.

Las bombas de paletas rotatorias son comúnmente usadas en pequeños y medianos sistemas de vacío. En una bomba de paletas como en la figura 13, el aire entra en la cámara de aspiración [A], se comprime por el rotor [3] y paletas [5] en la región [B] y es expulsado a la atmósfera por la válvula de descarga [8]. Un sello hermético se logra por el efecto centrífugo de las paletas y el rotor como la región [10].

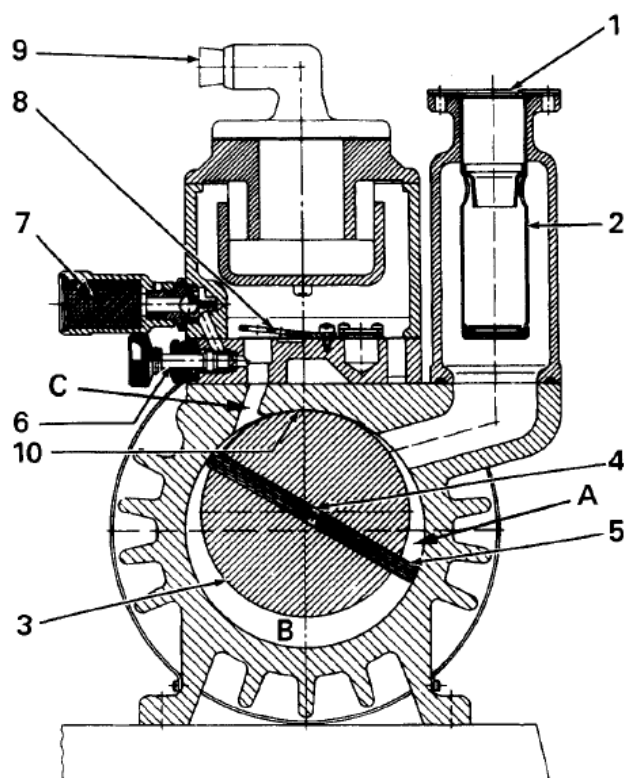


Figura 13 Bomba de paletas rotatorias: (1) entrada, (2) filtro, (3) rotor, (4) resorte, (5) paletas, (6) válvula reguladora, (7) filtro, (8) descarga de la válvula, (9) salida, (10) superficie sellada.

Las bombas de una etapa consisten en un rotor y un estator como el de la figura 13. Si una segunda etapa se añade como se muestra esquemáticamente en la figura 14, mediante la conexión de los gases de escape de la primera etapa a la entrada de la segunda, presiones más bajas pueden ser alcanzadas. Los gases en la segunda etapa contienen menos aire que los gases en el depósito. Físicamente, la segunda etapa de bombeo se encuentra al lado del primero y en el mismo eje.

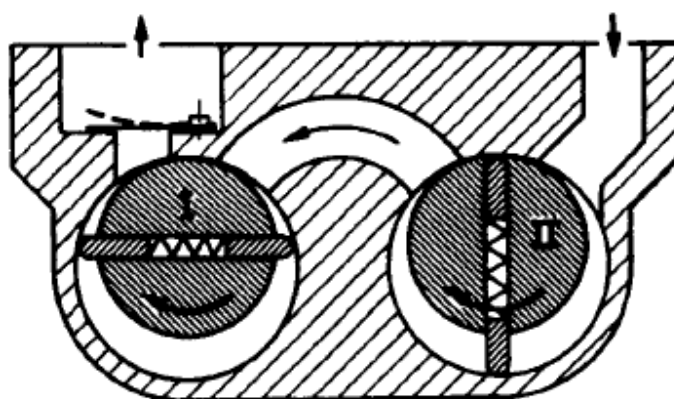


Figura 14 Sistema de dos etapas en bombas de paletas rotatorias.

2.2.1.2 Bombas de pistón rotatorio

Las bombas de pistón rotatorio se utilizan en sistemas grandes, solos o en combinación con bombas de lóbulo. Una bomba de pistón rotatorio es una bomba mecánica robusta y sencilla. El pistón y todas las piezas están acoplados mecánicamente a un eje que es accionado por un motor.

La figura 15 muestra una vista en sección de una bomba de pistón rotatoria. El eje gira junto con la excéntrica [1] y el pistón [2], el gas ingresa en el espacio A. Después de una revolución, este volumen de gas se ha aislado de la entrada, mientras que el pistón está más cerca de la cámara. Durante la próxima revolución del volumen de gas aislado [B] se comprime y sale hacia el escape a través de la válvula de asiento

[10] cuando la presión excede la de los muelles de esta. Al igual que la bomba de paletas, la bomba de pistón rotatorio se pueden fabricar en simples o varias etapas.

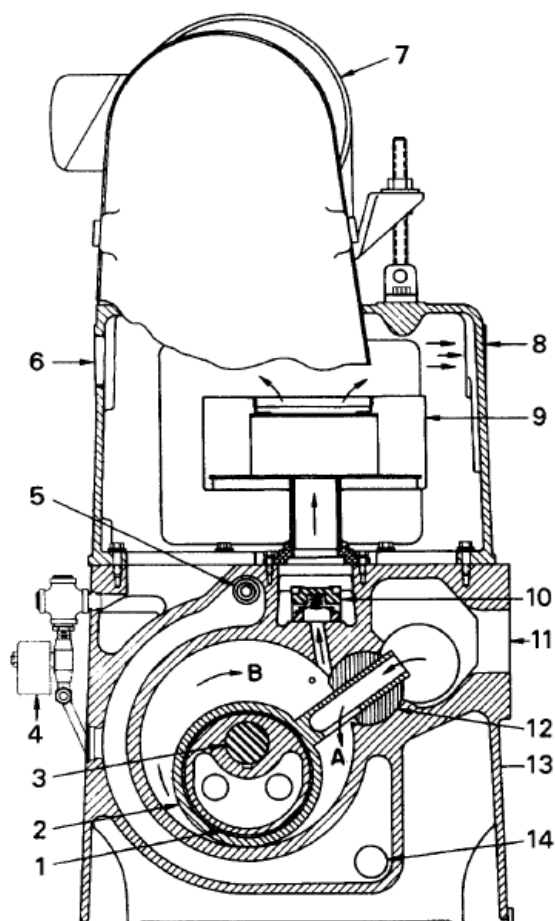


Figura 15 Bomba de pistón rotatorio: (1) excéntrica, (2) pistón, (3) eje, (4) lastre de gas, (5) entrada de agua refrigerante, (6) escape, (7) motor, (8) escape, (9) separador de aceite, (10) válvula de cabezal, (11) ingreso, (12) barra bisagra, (13) carcasa, (14) salida de agua refrigerante.

El espacio libre entre el pistón y la pista de la cámara suele ser de 0,1 mm, pero es tres o cuatro veces más grande cerca de entrada de gas. Debido a que la separación entre piezas móviles y fijas es mayor en una bomba de pistón rotatorio que en una bomba de paletas rotatorias, la bomba de pistón es tolerante a la contaminación por partículas.

Una película de lubricante se usa para sellar y lubricar los espacios entre las piezas fijas y en movimiento. Al igual que en una bomba de paletas, el líquido debe tener baja presión de vapor y la capacidad de lubricar bien. La velocidad de rotación de la bomba de pistón es típicamente 400-600 revoluciones por minuto.

2.2.1.3 Bombas de lóbulos

La bomba o ventilador de lóbulos se utiliza en serie con una bomba rotativa para lograr mayor velocidad y disminuir la alta presión en la región media de vacío. También son conocidas como bombas Roots, constan de dos rotores en forma de ocho montados en ejes paralelos. Los rotores tienen un espacio entre ellos y con la carcasa que normalmente es de 0,2 mm. Giran en sincronismo en sentidos opuestos, a velocidades de 3000 a 3500 rpm. Estas velocidades son posibles gracias al que el lubricante sella los espacios entre los rotores y la carcasa de la bomba. Una vista en corte de una bomba de lóbulos de una etapa se muestra en la figura 16.

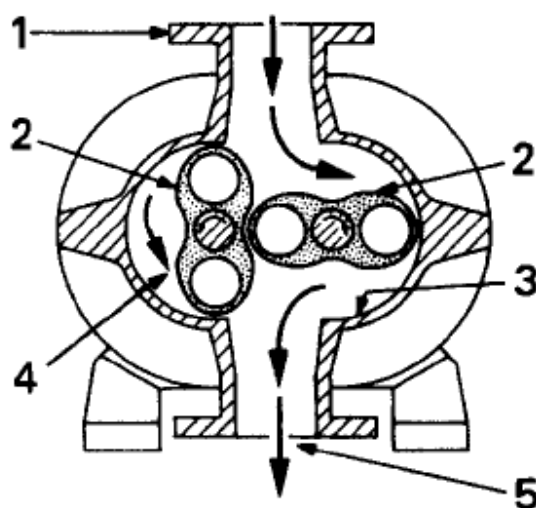


Figura 16 Bomba de lóbulos: (1) ingreso, (2) rotores, (3) carcasa, (4) cámara de la bomba, (5) salida.

Cada vez que la superficie del rotor esta hacia el lado de alta presión este absorbe gas. Parte de este gas se libera cuando el rotor se oriente hacia el lado de baja presión. Bombas grandes tienden a tener una relación de compresión mayor que las bombas pequeñas, porque tienen una menor proporción en volumen del déficit de espacio para bombear.

El método común de un sistema de bombeo para una bomba de lóbulos es colocarla en serie con una bomba rotativa cuya velocidad de bombeo sea de 2-10 veces menor. Cuando se inicia el bombeo a presión atmosférica, se abre una línea que pasa por alto la bomba de lóbulo (bypass). Todo el bombeo se realiza por la bomba rotativa hasta que la presión de apoyo en la succión sea inferior a la diferencia de presión recomendada por el fabricante, momento en que la bomba de lóbulos se enciende y la válvula de bypass se cierra. Algunos sopladores de lóbulo tienen un bypass integrado en la carcasa de la bomba.

2.2.1.4 Bombas de garras

Una bomba de garras tiene el mismo principio que una bomba de lóbulos, también es llamado compresor de ganchos o compresor Northey, es un diseño que ha demostrado ser útil para aplicaciones particulares. Tiene dos lóbulos de forma irregular o "garras" que giran en contra rotación al igual que una bomba de lóbulos.

Sin embargo, una bomba de lóbulos no comprime el gas dentro de la bomba sino que transporta el gas desde la entrada hasta el punto donde la compresión se lleva a cabo. La bomba de garras comprime el gas dentro de la bomba mismo, como se describe en la secuencia de rotación ilustrada en la figura 17. Cada vuelta completa del par de garras comprime un volumen de gas. Las bombas de garra son más eficaces a la compresión de gas a altas presiones que las bombas de lóbulos normales.

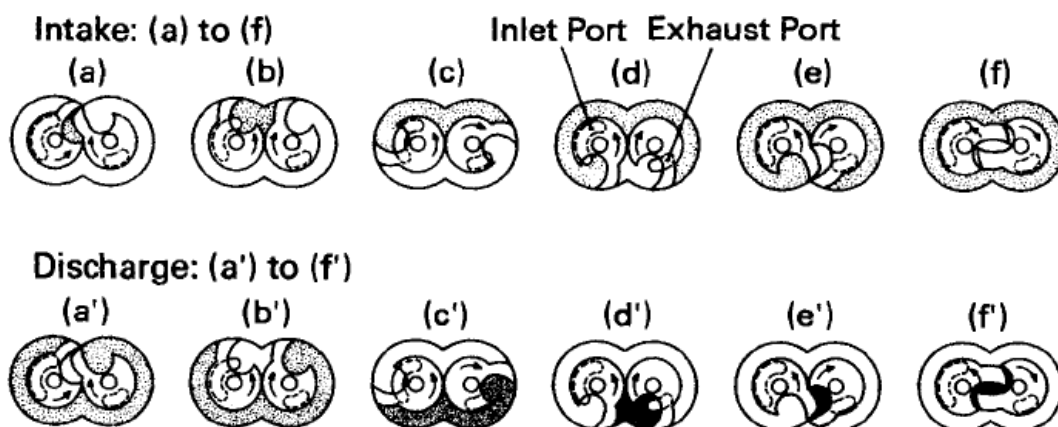


Figura 17 Secuencia de compresión de una bomba de garras en una revolución: (a)-(f) muestra el ingreso del gas sin comprimir. La compresión y el escape se muestra en (a')-(f') con la compuerta de escape abierta en (c')-(d').

Este tipo de bombas se utilizan generalmente para proporcionar respaldo libre de aceite para bombas turbomoleculares.

2.2.1.5 Bombas de espiral

La bomba de espiral o bomba de desplazamiento orbital, es una bomba relativamente sencilla que consiste en dos superficies, una fija y una órbita. En la superficie fija los surcos en espiral se cortan en dos frentes, que forman las placas del estator; a su vez, estas placas contienen conjuntos de crestas espirales complementarias. La Figura 18 ilustra una sección transversal de una bomba de desplazamiento orbital.

El gas entra en las cámaras de la periferia, el que se ve obligado a avanzar por una espiral hasta que llega al puerto de salida situado en el centro de la bomba. Estas bombas se fabrican en tamaños pequeños de orden de 15-40 m³/h. Estas bombas se

aplican como apoyo de bombas turbomoleculares, ya que generalmente funcionan sin aceite. El sello de polímero que evita la fuga de gas entre los bordes muy próximos de la placa en órbita y del estator genera partículas de desgaste, estas partículas son atrapadas en un filtro montado en la entrada de la bomba, el cual evita que pasen a la cámara de proceso, donde puedan contaminarla.

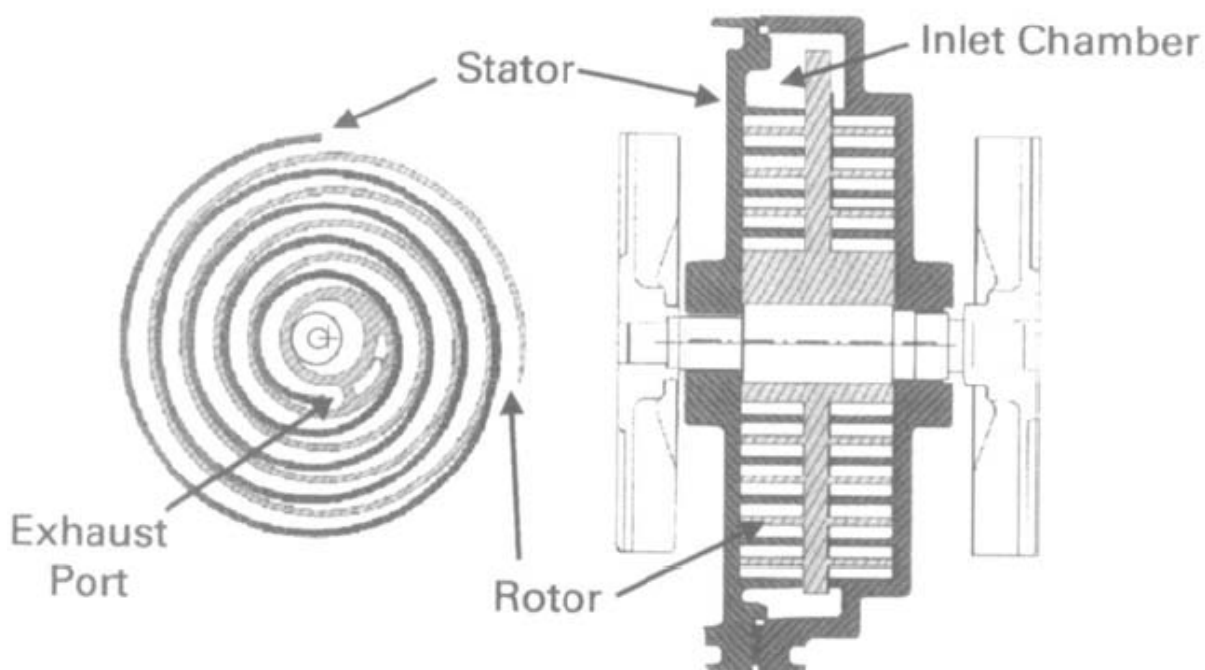


Figura 18 Bomba de espiral.

2.2.1.6 Bombas de tornillo

Las bombas de tornillo además de usarse para generación de vacío, se usan en varios campos de la industria, como en el área petrolera para el bombeo de gases abrasivos y corrosivos, también se usa en grandes instalaciones frigoríficas. El diseño básico de la bomba de tornillo se ilustra en la Figura 19. Los dos tornillos

ubicados en el interior del estator, giran en sentido contrario a igual velocidad de rotación. El gas entra en el extremo del par de rotación, y es transportado a lo largo de los tornillos en una región definida por su contacto con la carcasa. Este tipo de bombas son fuertes y confiables.

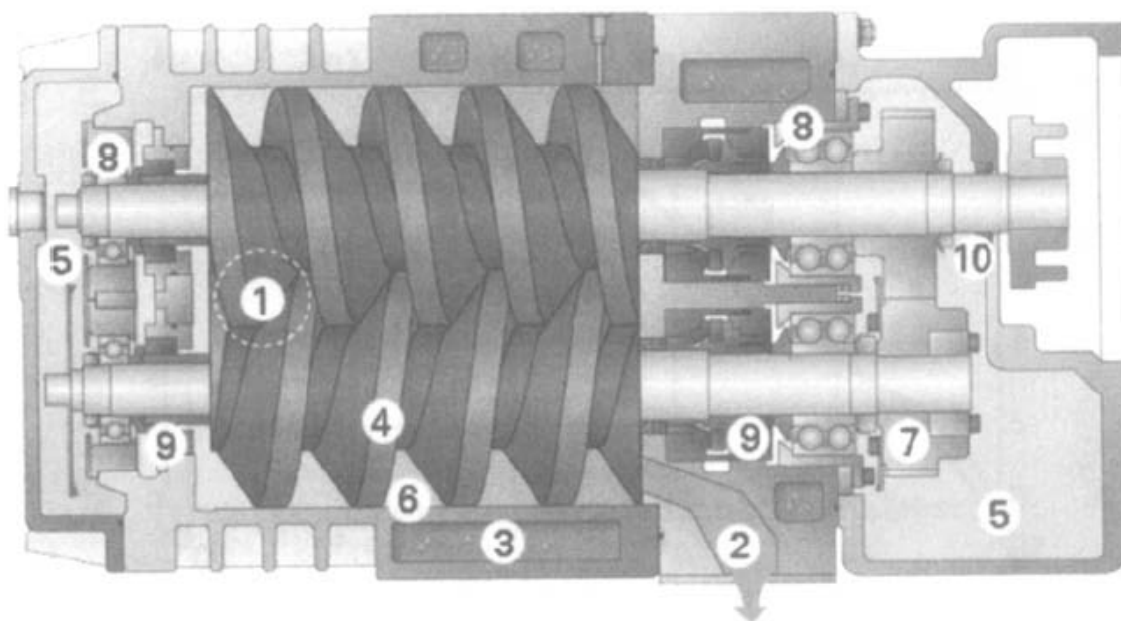


Figura 19 Bomba de tornillo: (1) entrada, (2) descarga, (3) cámara refrigerante, (4) tornillos, (5) engranaje conducido, (6) alojamiento, (7) engranaje conductor, (8) rodamientos, (9) rodamientos, (10) motor.

2.2.1.7 Bombas de diafragma

Las bombas de diafragma, son unas de las más antiguas bombas conocidas. Se componen de una cámara pequeña diseñada para tener un mínimo espacio muerto que contengan un diafragma flexible conectado a un pistón, como se ilustra en la Figura 20. El eje excéntrico mueve el pistón-diafragma alternativamente, a fin de

poder extraer el gas a través de la válvula de entrada, y expulsarlo a través de la válvula de salida.

Estas bombas funcionan sin aceite de lubricación y se pueden construir de materiales químicamente inertes. Hasta cuatro etapas pueden ser combinadas para proporcionar presiones muy bajas. Las bombas de diafragma se pueden utilizar para aplicaciones de vacío en medios químicamente agresivos y pueden ser utilizados como apoyo para bombas turbomoleculares por funcionar libre de aceite.

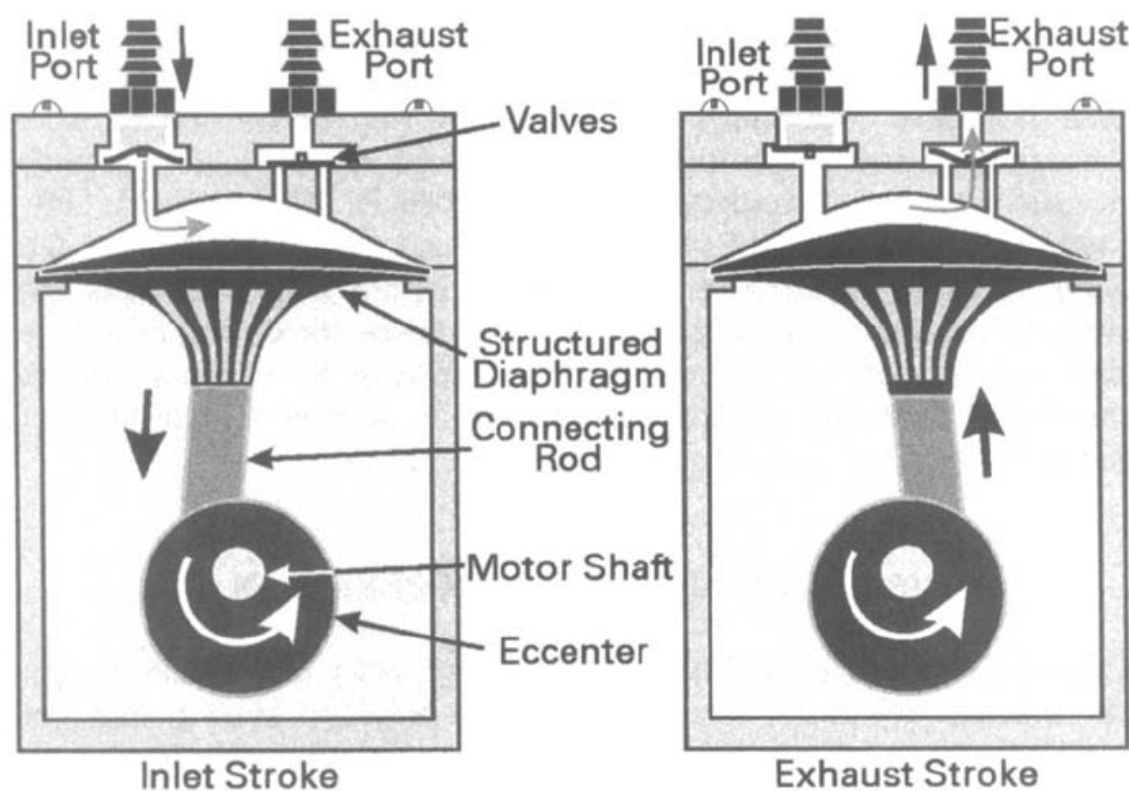


Figura 20 Bomba de diafragma

2.2.2 GENERADORES DE VACÍO

Entre los diferentes medios para crear vacío están los generadores de efecto Venturi que se muestra en la figura 21, presentan numerosas ventajas con respecto al uso de bombas y equipos complejos, una de estas ventajas es la simplicidad de su funcionamiento, no tienen ninguna pieza en movimiento por tanto no existe desgaste, las dimensiones son completamente reducidas, son muy ligeros y compactos facilitando su montaje. La desventaja son los bajos caudales de aspiración comparados a una bomba de vacío.



Figura 21 Generador de vacío

El efecto Venturi de estos aparatos permite obtener, a partir de una fuente de aire comprimido de 2 a 8 bar, un vacío de alrededor de -920 mbar, que corresponde aproximadamente a un 92% de vacío.⁸

Existen 2 tipos de generadores de vacío de efecto Venturi: mono y bifásico.

⁸ASCOJOUOMATIC, (2001), “Componentes de manipulación por vacío”, Cantabria.

2.2.2.1 Generadores de vacío monofásicos

Generadores comúnmente usados para crear pequeños volúmenes de vacío, como se ilustra en la figura 22, donde la alimentación de aire comprimido (P) provoca una aspiración (V) y crea una depresión en el circuito que puede alcanzar los -920 mbar a partir de 5 bares de aire comprimido. El aire es evacuado a través de un silenciador de escape situado en (E).

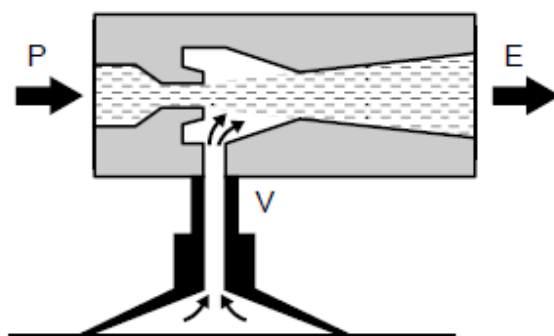


Figura 22 Esquema de un generador de vacío monofásico

2.2.2.2 Generadores de vacío bifásicos

De principio parecido al modelo monofásico, este generador como se ilustra en la figura 23 se compone de 2 dispositivos de depresión. Esta construcción permite caudales de aspiración más altos ($Q_1 + Q_2$). Con una característica principal: fuerte caudal y baja de presión al comienzo de la aspiración, este generador permite reducirlos tiempos de puesta en depresión; recomendado para instalaciones voluminosas. Logra alcanzar igualmente alrededor de -920 mbar en un menor tiempo.

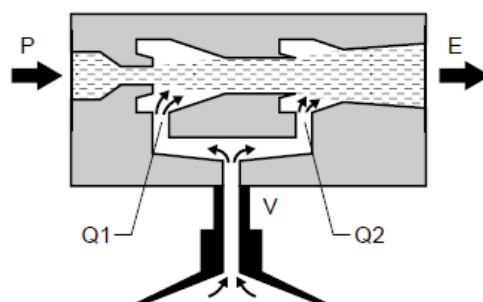


Figura 23 Esquema de un generador de vacío bifásico

2.2.2.3 Comparación entre generadores mono y bifásicos

En la figura 24 se observa cuando empieza a funcionar el generador de vacío bifásico S1, de S1 a S2 el generador de vacío bifásico asegura un caudal de aspiración elevado mas no un gran aumento de depresión, en S2 cuando el valor de depresión alcanza -200 mbar, un dispositivo interno del generador bloquea automáticamente Q2, de S2 a S3 existe una depresión rápida hasta -920 mbar.

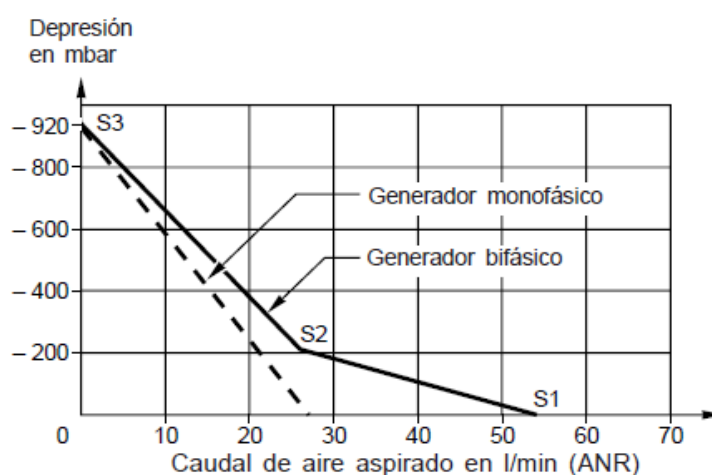


Figura 24 Comparación entre generadores mono y bifásico

2.3 PROCESO DE EMPACADO

El proceso de empacado es algo diferente para cada tipo de empacadora en el caso de las empacadoras de cámara de vacío consta de 6 pasos:

El primero se observa en la figura 25: colocar adecuadamente el alimento con su empaque en la máquina.

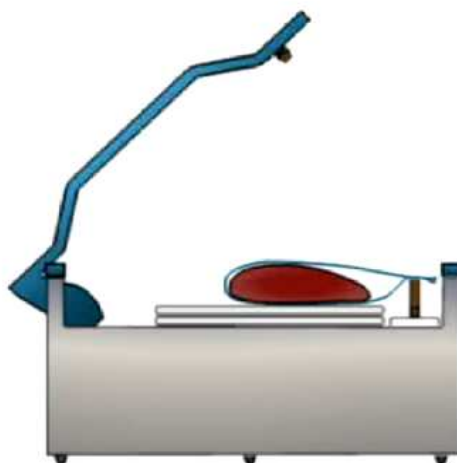


Figura 25 Proceso de empacado, alimento colocado.

El segundo paso se observa en la figura 26: cerrar la tapa de la cámara de vacío.

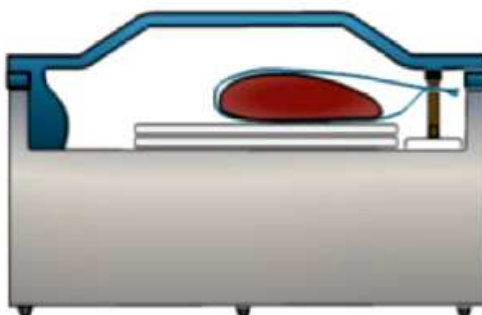


Figura 26 Proceso de empacado, tapa cerrada.

El tercer paso se observa en la figura 27: encender la bomba de vacío y extraer el aire de la cámara.

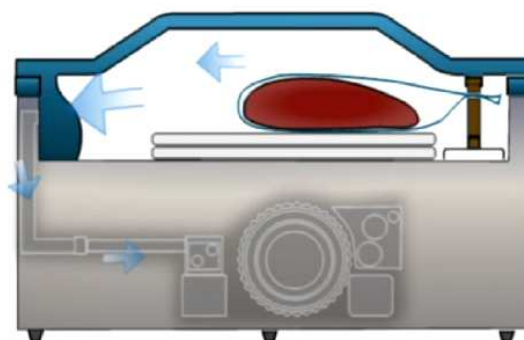


Figura 27 Proceso de empacado, extracción de aire

El cuarto paso se observa en la figura 28: sellar el empaque plástico generalmente esto lo hace automáticamente la máquina después de terminado el tiempo de vacío.

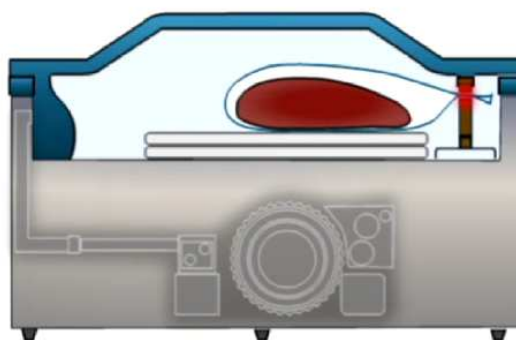


Figura 28 Proceso de empacado, sellado del empaque

El quinto paso se observa en la figura 29: permitir el paso del aire del exterior dentro de la cámara, el empaque se ajustará a la forma del alimento.

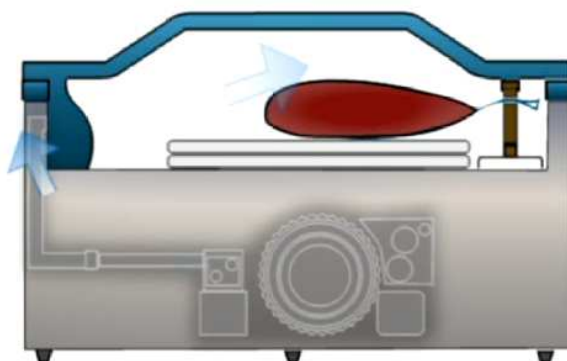


Figura 29 Proceso de empacado, ingreso del aire exterior

El sexto paso se observa en la figura 30: abrir la tapa de la cámara y el alimento empacado se puede retirar.

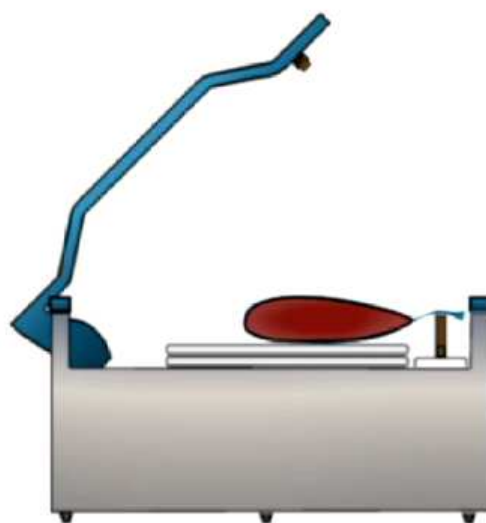


Figura 30 Proceso de empacado, alimento empacado

Para empacadoras en el exterior el proceso consiste de 5 pasos:

Primero como se observa en la figura 31, se coloca el alimento con el empaque en la máquina.

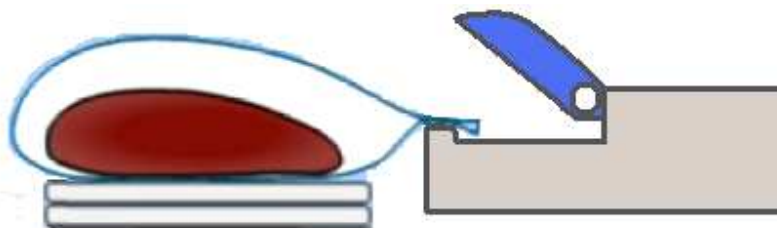


Figura 31 Empaque al vacío en el exterior, alimento colocado

El segundo paso se observa en la figura 32: cerrar la mordaza firmemente.

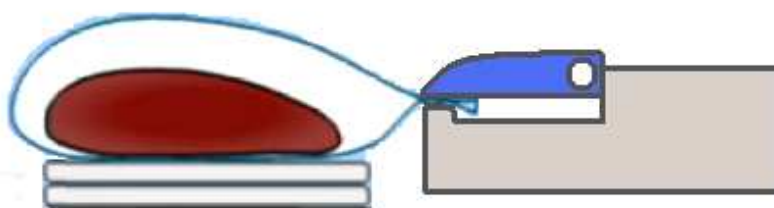


Figura 32 Empaque al vacío en el exterior, empaque fijado

El tercer paso se observa en la figura 33: extraer el aire de la cámara.

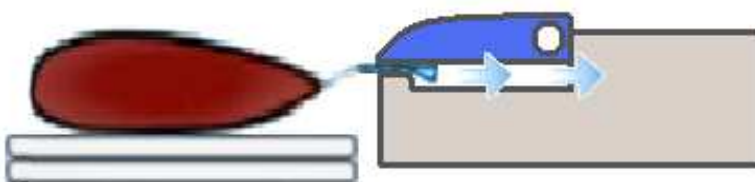


Figura 33 Empaque al vacío en el exterior, extracción de aire

El cuarto paso se observa en la figura 34: sellar el empaque plástico que generalmente la máquina lo hace automáticamente luego de terminado el tiempo de vacío.

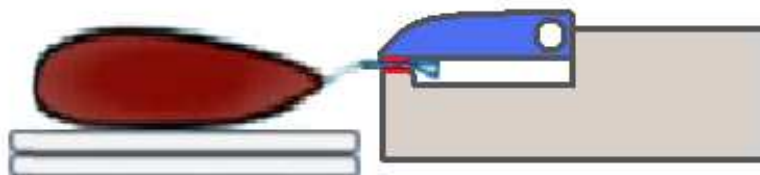


Figura 34 Empaque al vacío en el exterior, sellado del empaque

El quinto paso se observa en la figura 35: levantar la mordaza y el alimento empacado se puede retirar.

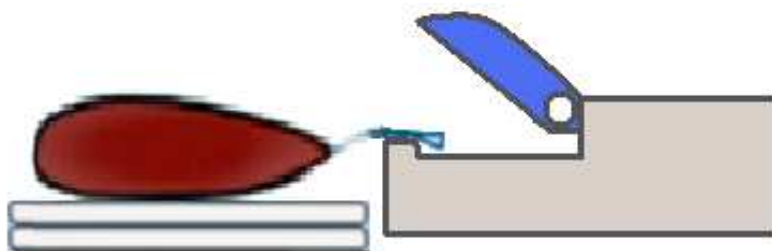


Figura 35 Empaque al vacío en el exterior, alimento empacado

CAPÍTULO 3.

ESTUDIO DEL PROCESO DE SELLADO

El sellado de fundas o bolsas plásticas es utilizado para el empaque de todo tipo de productos líquidos o sólidos, pueden ser de diferentes materiales (véase tabla 3) pero generalmente son de polietileno, polipropileno y poliéster. Entre los diferentes tipos de sistemas de sellado se tienen: Sellado por lámina, sellado por tubos o barras y sellado por aire caliente.

3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE SELLADO ⁹

3.1.1 SELLADO POR LÁMINA

Este tipo de sellado utiliza una resistencia eléctrica o niquelina que tiene un pequeño espesor, se coloca generalmente con un delgado aislamiento de teflón, se ejerce una ligera presión sobre el empaque plástico y la niquelina que se calienta instantáneamente realizando el sello. La temperatura y el tiempo de calentamiento son regulables y se muestra en la figura 36.



Figura 36 Selladora de lámina.

⁹BEDOYA Ivan, QUISIRUMBAY Danny, 2007, “*Diseño y construcción de una máquina semiautomática selladora de fundas plásticas con capacidad de treinta sellos por minuto*”, EPN, Quito.

Ventajas

- Son de fácil construcción y de simple funcionamiento.
- El sellado se hace de manera instantánea.
- Se puede controlar fácilmente la temperatura de trabajo.

Desventajas

- El aislamiento de teflón y la niquelina se deterioran rápidamente.
- Se obtienen sellos defectuosos cuando los empaques son de un espesor muy pequeño o muy grande.

3.1.2 SELLADO POR BARRAS O TUBOS

Funciona mediante una resistencia en forma de espiral, que está alojada en el interior de tubos o barras, una fija y otra móvil, para evitar el uso de recubrimientos se realizan canales en las barras evitando que el plástico se pegue a ellas como se observa en la figura 37. Las barras permanecen calientes todo el tiempo.

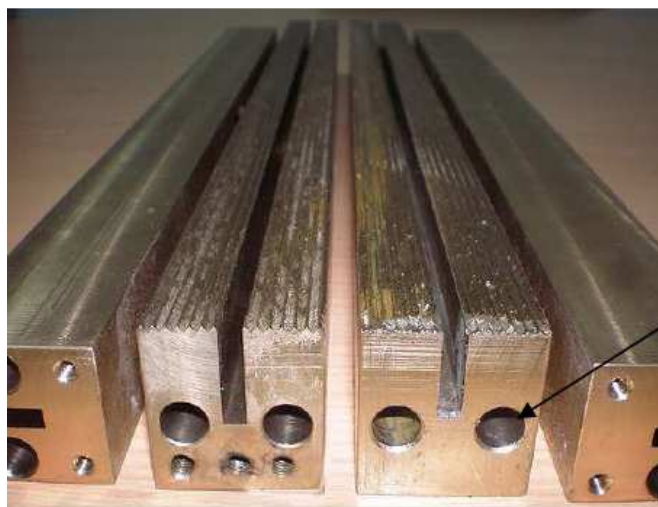


Figura 37 Barras para el sellado de fundas

Ventajas

- La temperatura de las barras es fácilmente controlable con un termostato.
- Con las ranuras de la barras se obtiene un mejor sellado, hermético y reforzado.
- Permite sellar con mayor productividad ya que las barras se mantienen siempre calientes.
- La vida útil de la resistencia es mucho mayor que la del tipo lámina.

Desventajas

- La construcción de las barras se dificulta si son muy largas, sobre todo la realización del agujero interior.
- El calentamiento de las barras no es instantáneo, ya que el calor debe transferirse por el espesor de las mismas.

3.1.3 SELLADO POR AIRE CALIENTE

Este sistema consiste en colocar dos mandíbulas o mordazas, las dos fijas, pero separadas una distancia constante, las mordazas tienen agujeros por donde es soplado el aire caliente generado previamente por medio de resistencias eléctricas. Este es un proceso de sellado continuo.

Ventajas

- Son máquinas de producción continua a gran escala.
- El sellado es seguro y hermético.
- La vida útil es larga y no es necesario un mayor mantenimiento.
- Generalmente son automáticas.

Desventajas

- Ocupa un gran espacio físico
- Sistema algo complejo, depende de sistemas auxiliares y tiene alto costo.

3.2 MECANISMO DE SELLADO

El mecanismo de sellado de empaques plásticos en todos los sistemas descritos anteriormente sea a nivel industrial o no, se denomina termosoldado.

El termosoldado es un proceso mediante el cual dos materiales se funden juntos por acción del calor y presión, produciendo una unión entre ambas que asegura la integridad y hermeticidad del cierre. Se aplica a polímeros termoplásticos compatibles o combinaciones de materiales recubiertos por revestimientos termoplásticos.

El calor necesario para la fusión sea cual sea el medio que lo produce (paso de corriente eléctrica, gas o aire caliente, etc.) debe ser suficiente para que se garantice un termosoldado hermético y resistente en caliente y en frío. La resistencia en caliente se refiere a evitar un excesivo calor que haga que el plástico se funda hasta un punto tal, que se corte o se formen agujeros indeseables.

La presión aplicada debe ser la adecuada ya que si es excesiva cortara del empaque plástico, sin embargo no debe ser muy leve ya que esto producirá un sellado poco uniforme y con un mal aspecto.

CAPÍTULO 4.

DISEÑO DE LA EMPACADORA Y SELLADORA AL VACÍO

4.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Existe una gran necesidad por evitar que los alimentos se deterioren dejando de ser aptos para el consumo humano, con esto se logra poder comercializarlos de mejor manera y evitar pérdidas. Particularmente en el caso de las humitas el empresario del cual se obtiene información, pretende comercializar su producto en el exterior y exportar humitas a varios países. Su mayor necesidad es la conservación de su producto el tiempo necesario para que pueda ser transportado y comercializado en el exterior.

Como vimos anteriormente la masa de una humita refrigerada adecuadamente puede durar 7 días sin sufrir alteraciones mayores que la hagan no aptas para el consumo humano, tiempo que se reduce considerablemente si la refrigeración no es constante. Este tiempo es insuficiente si se habla de que es necesario el transporte y la comercialización en el exterior.

Por tanto el problema consiste en aumentar suficientemente el tiempo apto para el consumo de una humita, de modo que permita transportarla y comercializarla en el exterior. Evitando alteraciones de olor, sabor, textura y aspecto.

4.2 CONDICIONES Y LIMITACIONES

Existen ciertos factores que inhiben la libertad de un diseño, y específicamente en el caso de aumentar el tiempo apto para el consumo de las humitas son:

4.2.1 ECONÓMICAS

El factor económico es uno de los más importantes para realizar un diseño, no solo que el costo de la máquina influirá en el costo de producción si no que también influirá en el costo por mantenimientos posteriores, consumos energéticos, insumos necesarios, etc. Por esto es necesario realizar un diseño que aumente el tiempo de consumo de los alimentos sin que aumente en demasía los costos de los mismos.

4.2.2 FÍSICAS

El espacio físico es un factor que limita las dimensiones y el lugar donde opere el diseño, se necesitan dimensiones y formas adecuadas que hagan que el diseño pueda ser usado en diversos lugares y espacios.

4.2.3 HUMANAS

La facilidad que presente el diseño para su utilización y manipulación debe ser determinada en función a los operarios. Pues las características de operación del diseño no deben superar a las habilidades y capacidades normales de una persona.

4.2.4 AMBIENTE DE FUNCIONAMIENTO

Es un factor que limita al diseño a tener que funcionar o trabajar en un medio o un lugar donde se encuentran los alimentos, puesto que las condiciones de temperatura, humedad del ambiente, ventilación, etc., adecuadas para los alimentos deben ser las condiciones en las que funcione el diseño.

4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño son determinados en base a los requerimientos del empresario y son los siguientes:

- La cantidad de humitas que pueden ser comercializadas es variable, por lo que la capacidad del diseño debe variar indistintamente de 1 a 30 humitas simultáneamente y por grupos de 10 humitas.
- Los empaques utilizados en el equipo deben ser económicos y de varios tipos.
- El costo de las humitas no debe tener un mayor aumento, por tanto el costo del diseño y su construcción no debe sobrepasar los \$2500.
- La fuente de energía debe ser eléctrica en una toma normal de 110V.

4.4 PARÁMETROS FUNCIONALES

Para que se cumpla con las características y funciones del diseño, tomando en cuenta las limitaciones, se tienen los siguientes parámetros:

- La manera de aumentar el tiempo apto para el consumo de las humitas será mediante el vacío.
- El equipo diseñado será semiautomático.
- Debe tener fácil operación, montaje y mantenimiento.
- El equipo sellara los empaques por medio del proceso de termosoldado.
- Los operarios no deben hacer contacto directo con las humitas durante el proceso.

4.5 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para aumentar el tiempo apto para el consumo humano de las humitas se presentan varias alternativas de diseño, recogiendo todos los parámetros, limitaciones y además tomando como referencia modelos existentes.

4.5.1 EMPACADORA CON CÁMARA DE VACÍO (ALTERNATIVA 1)

Esta alternativa consiste en una cámara hermética donde se colocan las humitas, posee un mecanismo de sellado en el interior de la misma cámara que funciona automáticamente luego de creado el vacío. La cámara hermética tiene una tapa transparente para facilitar la correcta ubicación de las humitas, dispone además de un sistema que deja el paso del aire del ambiente a la cámara luego de realizado el proceso de empaclado y sellado.

Ventajas

- Bajo costo de los empaques, no necesitan ser estriados.
- Versatilidad a la hora de empaclar diferentes cantidades de productos.
- Mayor productividad.
- Mayor rapidez del proceso y mejor calidad de vacío obtenido.

Desventajas

- Dimensiones relativamente grandes.
- Mantenimiento periódico.
- Peso considerable, difícil transportarlas.
- Costo de la máquina.

4.5.2 EMPACADORA AL VACÍO EN EL EXTERIOR (ALTERNATIVA 2)

Esta alternativa consiste en una mordaza que sujeta el extremo del empaque plástico mientras que el aire es extraído, en la misma mordaza está ubicado el sistema de sellado que actúa automática o manualmente luego de alcanzar el vacío requerido. El extremo del empaque se mantiene amordazado en todo el proceso y se requiere usar un tipo especial de empaque con un fino estriado para que el aire pueda extraerse. Tras la mordaza se encuentra la bomba de vacío y el sistema de control eléctrico.

Ventajas

- Son pequeñas, livianas y fáciles de transportarlas.
- Libres de mantenimiento.
- Adaptabilidad a envases rígidos.
- Bajo costo de la máquina.

Desventajas

- Alto costo de los empaques, necesitan ser estriados en el borde.
- Poca rapidez en el proceso de extracción de aire.
- Menor productividad.
- Calidad de vacío relativamente inferior.

4.6 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Las dos alternativas planteadas se analizan y evalúan de acuerdo a los siguientes criterios de selección, con esto se determina la alternativa idónea.

Criterios de selección:

1. Vida útil
2. Recursos económicos disponibles
3. Facilidad de construcción
4. Bajos costos de producción
5. Productividad
6. Capacidad de satisfacción de la necesidad del empresario

Escala de calificación:

De 1 a 10:

- | | |
|----|---|
| 1 | No cumple con el criterio de selección |
| 10 | Cumple altamente el criterio de selección |

En las tablas 4, 5 y 6 se muestra la evaluación, normalización y resultados del análisis de alternativas.

Tabla 4 Evaluación de las alternativas.

CRITERIOS	1	2	3	4	5	6
ALTERNATIVAS						
1	8	8	7	9	8	10
2	6	10	9	3	6	10
SUMATORIA	14	18	16	12	14	20

PONDERACIÓN	CRITERIOS
10%	1
25%	2
5%	3
30%	4
10%	5
20%	6
100%	

Tabla 5 Normalización de las alternativas evaluadas.

CRITERIOS	1	2	3	4	5	6
ALTERNATIVAS						
1	0,57	0,44	0,44	0,75	0,57	0,5
2	0,43	0,56	0,56	0,25	0,43	0,5
SUMATORIA	1	1	1	1	1	1

PONDERACIÓN	CRITERIOS
0,10	1
0,25	2
0,05	3
0,30	4
0,10	5
0,20	6
1,00	

Tabla 6 Resultados de la evaluación de alternativas.

ALTERNATIVAS	
1	0,57
2	0,43

De la tabla 6 se determina que la alternativa seleccionada es la Alternativa 1: Empacadora con cámara de vacío, ya que cumple de mejor manera los criterios de selección.

4.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Una vez concluida la construcción de la empacadora correspondiente a la Alternativa 1, se procede a realizar una serie de pruebas con las que se determina el correcto funcionamiento y el cumplimiento de los objetivos planteados.

Las pruebas que se deben realizar son las que se establecen a continuación:

- Verificación de las dimensiones del prototipo.
- Verificación de hermeticidad y de fugas.
- Pruebas de funcionamiento.
- Comprobación de la hermeticidad del sellado.
- Comprobación del aumento del tiempo apto para el consumo de las humitas.

4.7.1 FORMATO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Se realizan las pruebas al prototipo de acuerdo al formato de la tabla 7.

Tabla 7 Formato para la realización del protocolo de pruebas.

PROTOCOLO DE PRUEBAS – EMPACADORA Y SELLADORA AL VACÍO DE HUMITAS				
Empresa:				
Fecha:				
Inspector:				
VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL PROTOTIPO				
PRUEBA	DISEÑO	PROTOTIPO	CUMPLE	NO CUMPLE
Medir el ancho interior de la cámara de vacío				
Medir el largo interior de la cámara de vacío				
Medir la altura interior de la cámara de vacío				
Medir la longitud de la selladora				
Verificación del número máximo de humitas que alcanzan en la cámara				
VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD Y FUGAS				
PRUEBA	CUMPLE		NO CUMPLE	
Hermeticidad del sistema: Se genera vacío en la cámara con la tapa colocada, se apaga la bomba de vacío, se mantiene el vacío por 3 minutos tapando la salida de la bomba y se verifica si el manómetro se mantiene fijo en el tiempo establecido.				
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO				
PRUEBA	CUMPLE		NO CUMPLE	
Comprobar la calidad del vacío: generar el máximo vacío según el diseño y verificarlo en el manómetro.				
Verificar el buen aspecto de sellado				
Verificar el funcionamiento de la calibración de los tiempo de los procesos				
Verificar la secuencia de los procesos				

COMPROBACIÓN DE LA HERMETICIDAD DEL SELLADO				
PRUEBA			CUMPLE	NO CUMPLE
Empacar agua al vacío y verificar que no existen fugas, ni defectos en el sellado				
COMPROBACIÓN DEL AUMENTO DEL TIEMPO APTO PARA EL CONSUMO				
DÍAS	CON REFRIGERACIÓN		SIN REFRIGERACIÓN	
	APTO PARA EL CONSUMO (SI / NO) (considerar olor, sabor, aspecto y textura)		APTO PARA EL CONSUMO (SI / NO) (considerar olor, sabor, aspecto y textura)	
	Al vacío	Al ambiente	Al vacío	Al ambiente
1				
2				
3				
4				
.				
.				
15				
SE ACEPTA EL PROTOTIPO: SI ___ NO ___				
OBSERVACIONES:				

4.8 DISEÑO DE ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

4.8.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE VACÍO

Para el empaque de alimentos al vacío con alta calidad, como se detalló en el Capítulo 1, es necesario que se genere por lo menos un 80% de vacío. La fuente de alimentación es corriente alterna de 110V por ello únicamente es posible la utilización de una bomba de vacío descartando la utilización de un generador de vacío. El sistema de vacío tiene la estructura que se ilustra en la figura 38:

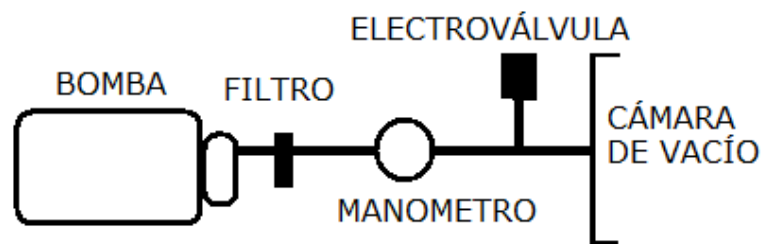


Figura 38 Sistema de vacío

Sabemos que mientras más nos acercamos al vacío absoluto, necesitamos de potencias muy altas o de sistemas combinados y complejos, por lo tanto para un equipo con presupuesto limitado, lo más conveniente es utilizar una bomba de bajo vacío con una potencia adecuada que permita alcanzar los **-0,8 Bar (80% de vacío)**.

La empacadora se va a utilizar en la ciudad de Quito por tanto hay que tomar las siguientes consideraciones para el diseño del sistema de vacío:

- Altitud sobre el nivel del mar: 2800 m
- Presión atmosférica: 546 mm Hg, 21,5 pulg Hg, 10,56 psi
- Humedad relativa: 67 a 80%

El filtro utilizado debe ser capaz de proteger a la bomba del ingreso de partículas provenientes desde la cámara o desprendidas del sistema, debe ser capaz adicionalmente de proporcionar protección contra la humedad del aire del ambiente.

El vacuometro utilizado, mide presiones manométricas por lo tanto en las condiciones de Quito a un 80% de vacío nos dará valores de:

$$\textit{Presión manométrica} = \textit{presión absoluta} - \textit{presión atmosférica}$$

Por tanto:

$$\textit{Presión manométrica} = 150\text{mmHg} - 546\text{mmHg}$$

$$\textit{Presión manométrica} = -396\text{mmHg} = -15,6 \text{ pulgHg} = -7,6\text{psi}$$

4.8.2 DISEÑO DE LA CÁMARA DE VACÍO

Las dimensiones de la cámara de vacío que permiten el empaque de 30 humitas en grupos de 10 y el espacio para el sistema de sellado son:

Largo: 620 mm

Ancho: 400 mm

Altura: 120mm

Por tratarse de manipulación de alimentos se utilizará Acero inoxidable austenítico AISI304 cuyas propiedades son:¹⁰

Sut= 85 kpsi = 586MPa(resistencia ultima a la tensión)

Sy=35 kpsi = 241 MPa (resistencia a la fluencia)

¹⁰ QUINTAMETALICA, Aceros inoxidables, www.quintametlica.com/datos/metales_documentos/archivo23/Ficha%2520acero%2520inoxidable.pdf

La presión mínima en el interior de la cámara debe ser de $-0,8 \text{ Bar} = -80000 \text{ Pa}$

La cámara de vacío es un recipiente de pared delgada con uniones soladas y tiene la estructura de la figura 39:

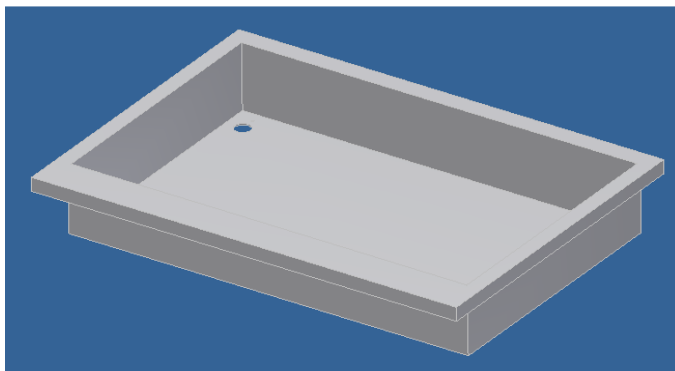


Figura 39 Cámara de vacío

4.8.2.1 Teoría clásica de placas¹¹

Se define como Placa al sólido con una de sus dimensiones (espesor) mucho menor que las otras dos. La superficie plana equidistante de las dos caras con mayores dimensiones se denomina plano medio de la placa.

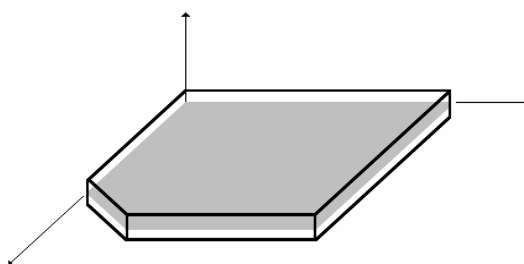


Figura 40 Plano medio de la placa

¹¹TIMOSHENKO Y WOINOWSKY-KRIEGER, (1970), "*Teoría de placas y láminas*", Ed. URMO, España.

MORENO REGAN Omar,(2009), "*Teoría, análisis y diseño de tanques rectangulares*"; Tesis IPN; México.

Gráficos extraídos de: PATANELLA Alejandro, ACTIS Marcos, (2008), "*Placas planas rectangulares de espesor delgado*", Universidad Nacional de la Plata; Argentina.

Por otra parte se define como estado de placa al sistema de cargas en el que sólo actúan fuerzas exteriores normales al plano medio de la placa y momentos contenidos en planos perpendiculares al mismo (o lo que es lo mismo momentos cuyos ejes están contenidos en el plano medio).

La Placa es en principio una estructura tridimensional y como tal debería estudiarse. Sin embargo su comportamiento podría representarse con un modelo bidimensional si se pudiera considerar que la variación de las variables significativas a lo largo del espesor es una función conocida de los valores que las mismas toman en el plano medio de la placa.

En esta dirección son numerosos los trabajos realizados por grandes matemáticos y físicos, tales como Euler, Lagrange, Navier, Poisson, etc. Sin embargo, y debido al trabajo contenido en su libro Clases de Física Matemática (1876), Kirchhoff (1824-1887) es considerado como el padre de la denominada teoría clásica de placas. Posteriormente Love recogió y amplió aquellos trabajos hasta el punto que hoy día, la teoría clásica de placas se conoce también como de Kirchhoff-Love.

Elasticidad plana

Los desplazamientos de un punto cualquiera del sólido son función de su posición y vienen dados en general por:

$$u = f_1(x, y, z); \quad v = f_2(x, y, z); \quad w = f_3(x, y, z)$$

Dónde u, v y w representan los desplazamientos de un punto $P(x, y, z)$ en las direcciones de los ejes coordenados X, Y y Z respectivamente.

La relación entre desplazamientos y deformaciones se establece en un elemento diferencial paralelepípedo $dx dy dz$. Por simplicidad se presenta en la figura 41 la

proyección de la deformación del elemento diferencial tridimensional sobre el plano lo que puede generalizarse con facilidad para los demás planos.

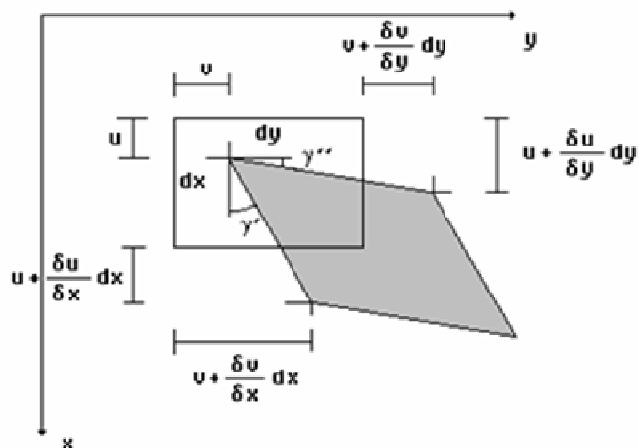


Figura 41 Proyección de la deformación de un elemento diferencial

Las deformaciones normales y vienen dadas por:

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y}$$

EC- 1

$$\frac{\delta u}{\delta x} - \frac{\delta v}{\delta y}$$

EC- 2

Y por extensión:

$$\frac{\delta u}{\delta x}$$

EC- 3

La deformación tangencial o deslizamiento en el plano , viene dada por:

$$\frac{\delta v}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta y}$$

EC- 4

Por extensión para los demás planos:

$$\gamma_{xz} = \frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx} \quad \text{EC- 5}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy} \quad \text{EC- 6}$$

Relación esfuerzo-deformación

Si suponemos que el material tiene un comportamiento lineal, las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones normales vienen dadas por las ecuaciones de Hooke siguientes:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad \text{EC- 7}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] \quad \text{EC- 8}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad \text{EC- 9}$$

Y para las componentes tangenciales:

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad \text{EC- 10}$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \quad \text{EC- 11}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad \text{EC- 12}$$

Donde E y G son respectivamente los módulos de elasticidad y de rigidez transversal, y están relacionados entre sí por:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad \text{EC- 13}$$

Placas planas

En una placa se puede suponer que la variación de las distintas magnitudes que intervienen en el proceso a lo largo del espesor, son una función conocida de los valores que toman en el plano medio de la misma.

Para generar la teoría de Placas es necesario establecer las siguientes hipótesis:

- El material de la Placa se supone elástico, homogéneo e isótropo.
- Se supone válida la teoría de las pequeñas deformaciones. Una deflexión del 10% del espesor puede ser considerada como un límite máximo para satisfacer la hipótesis de deformaciones pequeñas.
- Todos los puntos situados sobre una recta normal al plano medio de la placa sin deformar, permanecen después de la deformación sobre una recta (Hipótesis de Navier) normal al plano medio deformado. Hipótesis de Normalidad.
- Los puntos del plano medio sólo se mueven en la dirección perpendicular al mismo. Es decir sólo se considera la deformación provocada por la flexión.
- Todos los puntos situados sobre una normal al plano medio tienen la misma deflexión. Es decir $w(x, y, z) = w(x, y)$.
- La tensión normal al plano medio de la placa se considera despreciable.

Estas hipótesis permiten expresar los desplazamientos, deformaciones, tensiones y esfuerzos en el plano medio sólo en función de la deflexión $w(x, y)$ que caracteriza cada punto de la placa transformando así un problema inicialmente tridimensional en

bidimensional. Posteriormente estableciendo las ecuaciones de equilibrio, se determina la ecuación diferencial en derivadas parciales que debe satisfacer esta función $w(x, y)$.

Campo de desplazamientos

Bajo las hipótesis anteriores, el campo de desplazamientos puede expresarse en función de un solo parámetro del plano medio, la deformación $w(x, y)$, como se muestra en las figuras 42 y 43:

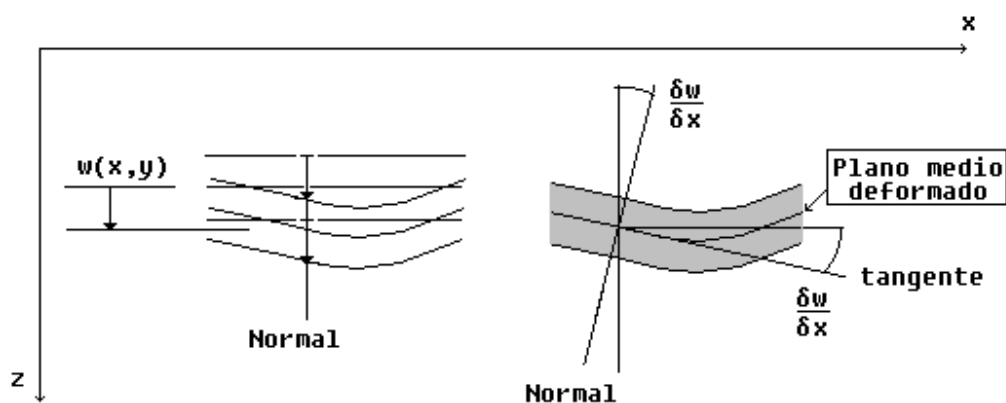


Figura 42 Desplazamiento de una placa plana

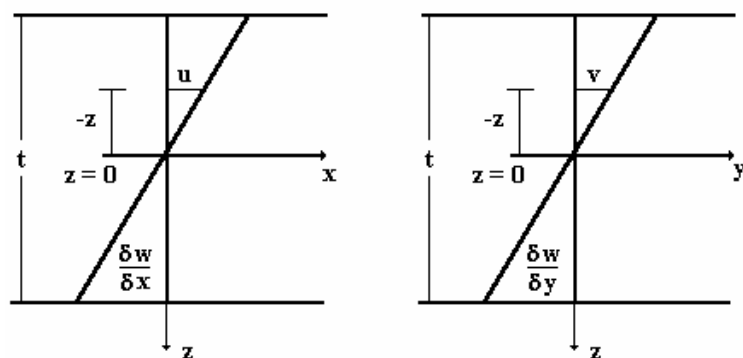


Figura 43 Campo de desplazamientos alrededor del espesor de la placa

$$u_{(xyz)} = -z \frac{dw_{(xy)}}{dx} \quad \text{EC- 14}$$

$$v_{(xyz)} = -z \frac{dw_{(xy)}}{dy} \quad \text{EC- 15}$$

$$w_{(xyz)} = w_{(xy)} \quad \text{EC- 16}$$

Los giros son pequeños y por tanto el giro se produce según la perpendicular. El signo menos aparece al considerar el eje z en sentido descendente y los giros positivos en el sentido de las agujas del reloj.

Campo de deformaciones

Por lo tanto el campo de deformaciones de acuerdo con las expresiones anteriormente presentadas viene dado bajo las hipótesis anteriores por:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -z \frac{d^2 w_{(xy)}}{dx^2} \\ -z \frac{d^2 w_{(xy)}}{dy^2} \\ 0 \\ -2z \frac{d^2 w_{(xy)}}{dx dy} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{EC- 17}$$

Este campo de deformaciones también sólo depende del desplazamiento $w(x, y)$ que caracteriza al plano medio de la placa y como puede observarse los deslizamientos en los planos perpendiculares al plano medio son nulos (lo que equivale a que las hipótesis de partida no consideran la deformación debida al esfuerzo cortante y por ello sólo son válidas para el análisis de placas delgadas) y el resto de componentes varían linealmente a lo largo del espesor.

Campo de esfuerzos

El campo de tensiones de acuerdo con las relaciones esfuerzo-deformación deducidas anteriormente (EC-17), viene ahora dado por:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \nu \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad \text{EC- 18}$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\nu \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad \text{EC- 19}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{E}{2(1+\nu)} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \quad \text{EC- 20}$$

Momentos sobre la placa

Los momentos de flexión y torsión se obtienen integrando los esfuerzos a lo largo del espesor de la Placa y son función del desplazamiento $w(x, y)$ de los puntos del Plano medio de la misma como se observa en la figura 44.

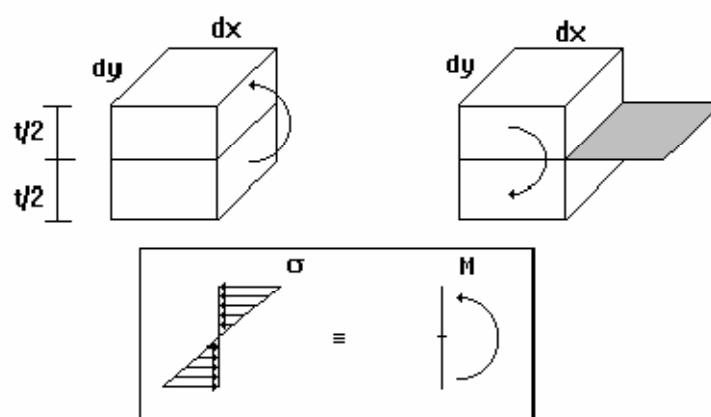


Figura 44 Momentos sobre una placa plana

$$M_x = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma_x z dz = -\frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{d^2w}{dx^2} + \mu \frac{d^2w}{dy^2} \right) \quad \text{EC- 21}$$

$$M_y = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma_y z dz = -\frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \left(\mu \frac{d^2w}{dx^2} + \frac{d^2w}{dy^2} \right) \quad \text{EC- 22}$$

$$M_{xy} = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \tau_{xy} z dz = -\frac{Et^3}{12(1+\mu)} \left(\frac{d^2w}{dx dy} \right) \quad \text{EC- 23}$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \quad \text{EC- 24}$$

Este coeficiente D es clásico en placas, se conoce como rigidez a la flexión y tiene un significado físico similar a la rigidez EI en vigas.

Para expresar las fuerzas cortantes Q_x y Q_y en función del desplazamiento del planomedio $w(x, y)$ es necesario establecer las ecuaciones de equilibrio.

Como estos momentos se han obtenido como la resultante de los esfuerzos a lo largo del espesor, vienen dados por unidad de longitud horizontal X y Y . Es decir los momentos tienen dimensiones de Fuerza x Longitud / Longitud (Kg m / cada m).

Ecuación diferencial de la placa

El equilibrio del elemento diferencial de placa de la figura 45, cuyas dimensiones son (dx, dy, t) , se plantea considerando que exteriormente actúa una carga normal al plano medio $q = q(x, y)$ por unidad de superficie (presión). El equilibrio tiene que satisfacerse en fuerzas y momentos y por lo tanto debe incorporarse la longitud que afecta a cada uno de los esfuerzos anteriormente presentados.

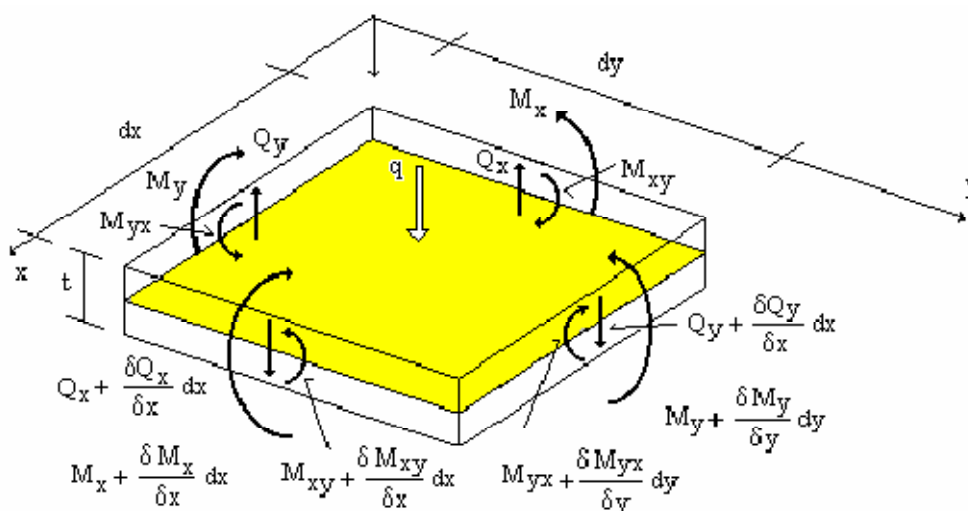


Figura 45 Esfuerzos y equilibrio de una placa plana

$$\sum F_z = 0 \quad \sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0$$

Equilibrio de momentos respecto a x

$$\sum M_x = 0$$

$$\left(M_y + \frac{dM_y}{dy} dy \right) dx - M_y dx + \left(M_{xy} + \frac{dM_{xy}}{dx} dx \right) dy - M_{xy} dy - Q_y dx dy = 0$$

$$\frac{dM_y}{dy} + \frac{dM_{xy}}{dx} - Q_y = 0 \quad \text{EC- 25}$$

Equilibrio de momentos respecto a y

$$\sum M_y = 0$$

$$\left(M_y + \frac{dM_x}{dx} dx\right) dy - M_x dy + \left(M_{yx} + \frac{dM_{yx}}{dy} dy\right) dx - M_{yx} dx - Q_x dy dx = 0$$

$$\frac{dM_x}{dx} + \frac{dM_{yx}}{dy} - Q_x = 0 \quad \text{EC- 26}$$

Equilibrio de fuerzas verticales

$$\sum F_z = 0$$

$$\frac{dQ_x}{dx} dx dy + \frac{dQ_y}{dy} dy dx + q dx dy = 0 \quad \text{EC- 27}$$

Sustituyendo las expresiones de Qx de EC-26 y Qy de EC-25 en la ecuación EC-27 se obtiene:

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} + 2 \frac{d^2 M_{xy}}{dx dy} + \frac{d^2 M_y}{dy^2} = -q_{(xy)} \quad \text{EC- 28}$$

Y sustituyendo los momentos de las ecuaciones EC-21, EC-22 y EC-23, por sus expresiones en función del desplazamiento del plano medio $w(x,y)$ se obtiene la ecuación diferencial que rige el comportamiento de la placa:

$$D \left(\frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \frac{d^4 w}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 w}{dy^4} \right) = q \quad \text{EC- 29}$$

Por tanto resuelta la ecuación diferencial y obtenida la expresión de $w(x, y)$ es sencillo conocer el campo de desplazamientos, deformaciones, tensiones y esfuerzos en cualquier punto de la placa.

Condiciones de borde

Contorno Empotrado

Sí el borde $x=a$ esta empotrado, la deflexión y el giro en dicho borde son nulos. Se tienen por tanto las siguientes condiciones que debe satisfacer la función $w(x, y)$ como muestra la figura 46.

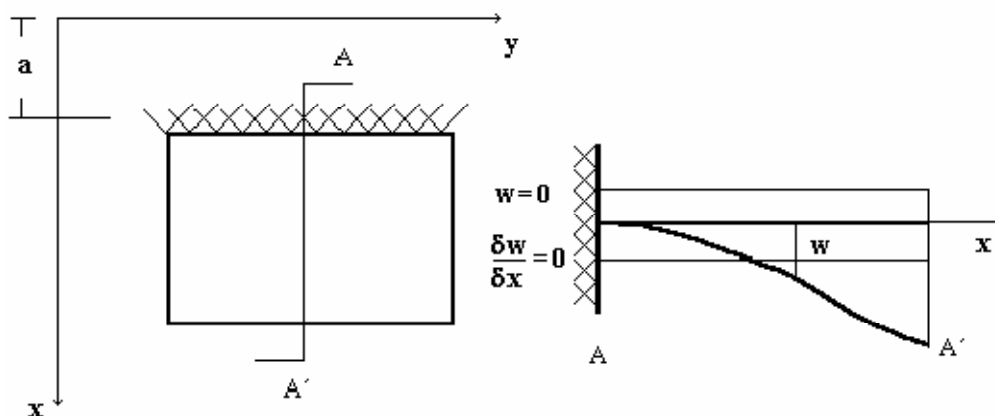


Figura 46 condiciones de borde para un contorno empotrado

EC- 30

Contorno simplemente Apoyado

Si el borde $x=a$ esta simplemente apoyado, la deflexión $w(x,y)$ es nula a lo largo del borde. Como en el borde la placa puede girar libremente el momento M_x es nulo.

Como muestra la figura 47, un borde simplemente apoyado introduce las siguientes condiciones para w :

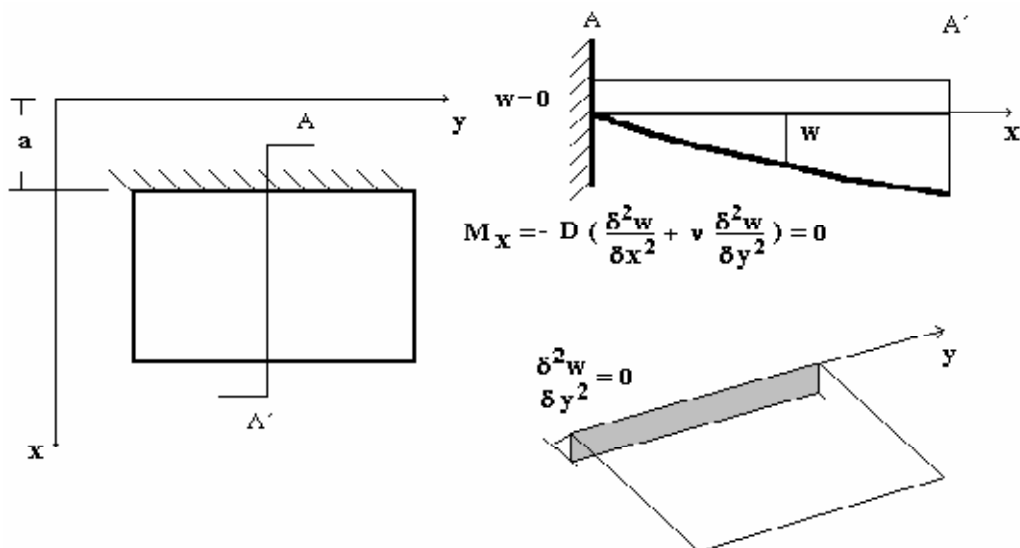


Figura 47 Condiciones de borde para un contorno simplemente apoyado.

EC- 31

Si el borde $x=a$ esta apoyado de forma continua, la curvatura según el eje Y a lo largo de la línea $x=a$ es nula:

EC- 32

Borde Libre

Si el borde $x=a$ esta libre a lo largo de él los Momentos Flectores, Torsores y esfuerzo Cortante son nulos.

EC- 33

Calculo de la deflexión¹²

El cálculo de la deflexión o el desplazamiento $w(x,y)$ en una placa plana se realiza mediante series trigonométricas, las series de Fourier nos dan una solución muy exacta y compleja, una solución menos compleja a través de series simples se conoce como: Método de Levy, donde la carga p_0 aplicada a la placa debe expresarse en forma de serie. Las dimensiones de la placa son a y b respectivamente como se muestra en la figura 48.

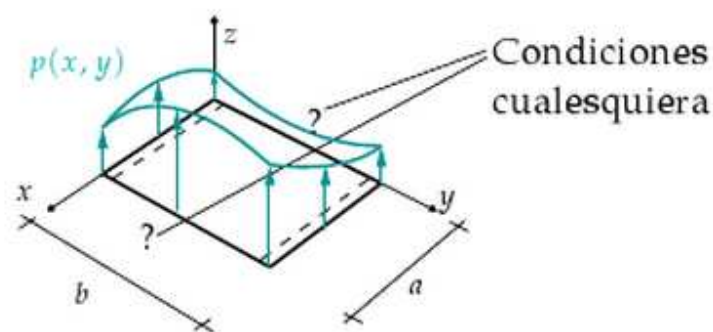


Figura 48 Placa plana sometida a una carga continua

EC- 34

Donde:

EC- 35

La función se obtiene mediante la intergracion:

EC- 36

¹²GALLEGO SEVILLA R., RUS CARLBORG G, MARTÍNEZ CASTRO A.,(2007), "Placas delgadas Mediante modelos clásicos", Universidad de Granada; España.

La función de desplazamiento tiene forma de serie de senos:

$$w_{(x,y)} = \sum_{n=1}^{\infty} w_{n(x)} \text{sen}(\lambda_n y) \quad \text{EC- 37}$$

Las funciones $w_{n(x)}$ se determinan sustituyendo las derivadas de la ecuación anterior en la ecuación de gobierno siguiente:

$$\Delta^2 w_{(x,y)} = \frac{p_{(x,y)}}{D} \quad \text{EC- 38}$$

La ecuación diferencial para $w_{n(x)}$ es:

$$\frac{d^4 w_{n(x)}}{dx^4} - 2\lambda_n^2 \frac{d^2 w_{n(x)}}{dx^2} + \lambda_n^4 w_{n(x)} = \frac{g_{n(x)}}{D} \quad \text{EC- 39}$$

Esta es una ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes. Su solución se obtiene sumando dos soluciones: la del problema homogéneo, $w_{n(x)}^h$ que es siempre la misma, y depende de cuatro constantes (A_n, B_n, C_n, D_n) mas una solución particular, $w_{n(x)}^p$ que depende de la función $g_{n(x)}$.

$$w_{n(x)} = w_{n(x)}^h + w_{n(x)}^p \quad \text{EC- 40}$$

La solución homogénea $w_{n(x)}^h$ es:

$$w_{n(x)}^h = (A_n + B_n \lambda_n x) \text{senh}(\lambda_n x) + (C_n + D_n \lambda_n x) \text{cosh}(\lambda_n x) \quad \text{EC- 41}$$

La solución particular $w_{n(x)}^p$ se resuelve sustituyendo $w_{n(x)}$ por $w_{n(x)}^p$ en la ecuación EC-39.

Finalmente, imponiendo las condiciones de contorno en $x = 0$, $x = a$ se resuelven las constantes (A_n, B_n, C_n, D_n).

Si el problema es simétrico respecto al eje x , las funciones $A_n = D_n = 0$ y si el problema es antisimétrico respecto al eje x , las funciones $B_n = C_n = 0$

4.8.2.2 Cálculo de las placas de la cámara.

La cámara se construye con juntas soldadas y consta de 5 placas: 1 placa base de 620mm x 400mm, 2 placas frontal y trasera de 620mm x 120mm, 2 placas laterales de 400mm x 120mm.

Calculo de la placa critica (placa base)

A la placa base se la puede considerar como una placa con todos sus bordes empotrados tal y como se describe en la figura 49:

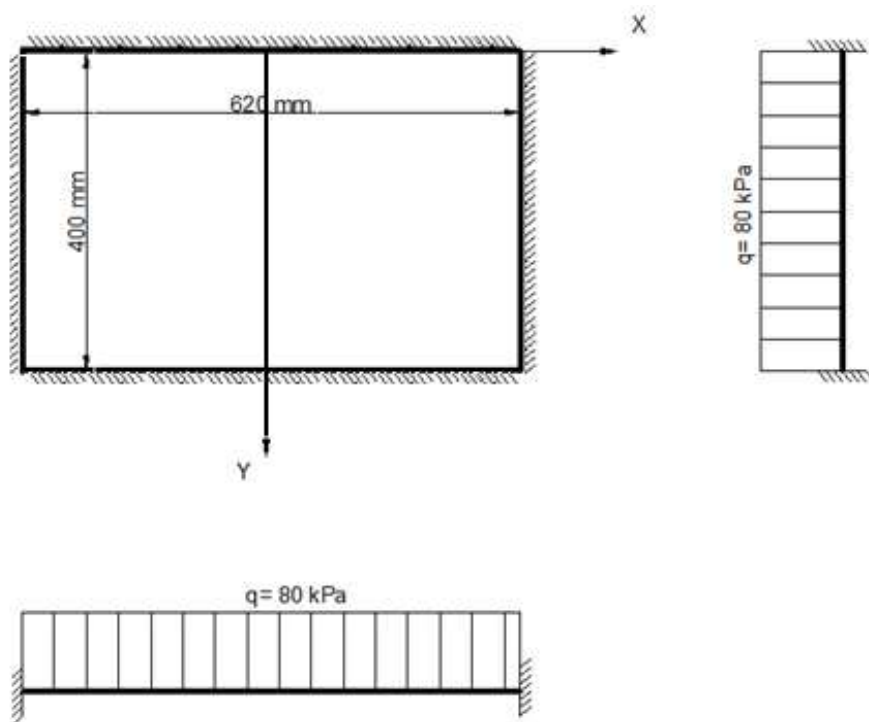


Figura 49 Placa base de la cámara con sus condiciones de borde

$$p_{(x,y)} = -q = -80kPa$$

$$a = 620mm$$

$$b = 400mm$$

$$E = 28 \times 10^6 \frac{\text{libras}}{\text{pulgada}^2} = 19727 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \text{ (Acero inoxidable)}$$

$$\mu = 0.30$$

Se toman las ecuaciones EC-36, EC-37, Ec-38 y EC-39:

$$w_{(x,y)} = \sum_{n=1}^{\infty} w_{n(x)} \text{sen}(\lambda_n y)$$

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b}$$

$$\frac{d^4 w_{n(x)}}{dx^4} - 2\lambda_n^2 \frac{d^2 w_{n(x)}}{dx^2} + \lambda_n^4 w_{n(x)} = \frac{g_{n(x)}}{D}$$

$$g_{n(x)} = \frac{2}{b} \int_0^b p_{(x,y)} \text{sen}(\lambda_n y) dy = \frac{2}{b} \int_0^b -q \text{sen}(\lambda_n y) dy = \frac{-2q}{b} \frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \Big|_0^b$$

Entonces:

$$g_{n(x)} = g_n = \begin{cases} \frac{-4q}{n\pi} & \text{si } n \text{ es impar} \\ 0 & \text{si } n \text{ es par} \end{cases}$$

g_n no depende de x

Para solucionar $w_{n(x)}$ se toma la ecuación EC-40:

$$w_{n(x)} = w_{n(x)}^h + w_{n(x)}^p$$

$$w_{n(x)}^h = (A_n + B_n \lambda_n x) \text{senh}(\lambda_n x) + (C_n + D_n \lambda_n x) \text{cosh}(\lambda_n x)$$

$$A_n = D_n = 0$$

Entonces:

$$w_{n(x)}^h = (B_n \lambda_n x) \operatorname{senh}(\lambda_n x) + (C_n) \operatorname{cosh}(\lambda_n x) \quad \text{EC- 42}$$

Para solucionar $w_{n(x)}^p$ se toma la ecuación EC-39:

$$\frac{d^4 w_{n(x)}^p}{dx^4} - 2\lambda_n^2 \frac{d^2 w_{n(x)}^p}{dx^2} + \lambda_n^4 w_{n(x)}^p = \frac{g_{n(x)}}{D}$$

Resuelta la ecuación anterior tomando $w_{n(x)}^p$ como constante obtenemos:

$$w_n^p = \frac{g_n}{D\lambda_n^4} \quad \text{EC- 43}$$

Entonces se suma las ecuaciones EC-42 y EC-43 y se obtiene:

$$w_{n(x)} = \frac{g_n}{D\lambda_n^4} + (B_n \lambda_n x) \operatorname{senh}(\lambda_n x) + (C_n) \operatorname{cosh}(\lambda_n x) \quad \text{EC- 44}$$

Se reemplaza la ecuación EC-44 en la ecuación EC-37 y se tiene:

$$w_{(x,y)} = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{g_n}{D\lambda_n^4} + (B_n \lambda_n x) \operatorname{senh}(\lambda_n x) + (C_n) \operatorname{cosh}(\lambda_n x) \right] \operatorname{sen}(\lambda_n y) \quad \text{EC- 45}$$

Por la dificultad que presenta la resolución de estas ecuaciones se utiliza la propiedad de superposición de esfuerzos como se muestra en la figura 50 donde:

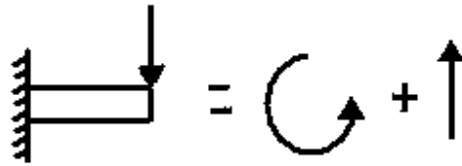


Figura 50 Superposición de esfuerzos en una placa empotrada

Se toma a la placa base como una placa simplemente apoyada en sus 4 bordes y luego sumaremos el efecto de los momentos creados en el empotramiento.

- Las condiciones de borde que tenemos en el caso de una placa simplemente apoyada en sus 4 lados son:

Cuando $x = \frac{a}{2} = -\frac{a}{2}$:

$$[w_{(xy)}]_{x=\frac{a}{2}} = 0 \quad [M_{(x)}]_{x=\frac{a}{2}} = 0 \quad \rightarrow \quad \left[\frac{d^2 w_{(xy)}}{dx^2} + \mu \frac{d^2 w_{(xy)}}{dy^2} \right]_{x=\frac{a}{2}} = 0$$

Introduciendo estas condiciones en la ecuación EC-45 se obtiene:

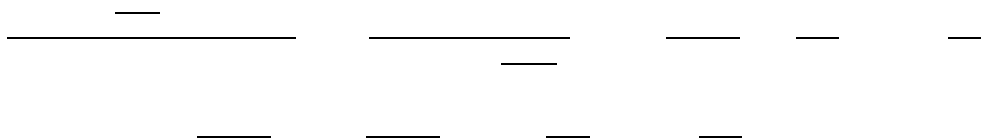
$$w_{(x,y)} = \frac{2qb^4}{D} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{(n\pi)^5 \cosh(\alpha_n)} [2 \cosh(\alpha_n) + \lambda_n x \sinh(\lambda_n x) - (2 + \alpha_n \tanh(\alpha_n)) \cosh(\lambda_n x)] \sin(\lambda_n y)$$

$$\alpha_n = \frac{n\pi a}{2b} = \frac{620n\pi}{800}$$

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b} = \frac{n\pi}{400} \left[\frac{1}{\text{mm}} \right]$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{19727 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right] t^3 [\text{mm}^3]}{12(1-0.30^2)} = 1806.5 t^3 [\text{kg} \cdot \text{mm}] = 18065 t^3 [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

Se reemplazan estos valores y se tiene:



Se tiene de respuesta:

EC- 46

- Las condiciones para una placa con momentos a lo largo de sus 4 bordes como se muestra en la figura 51.

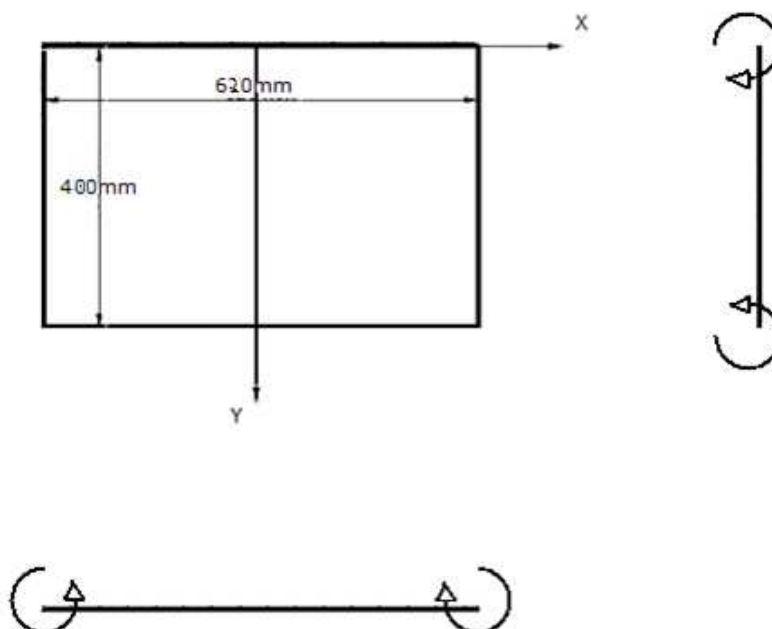


Figura 51 Momentos existentes en la placa base

Cuando $x = \frac{a}{2} = -\frac{a}{2}$:

$$[w_{(xy)}]_{x=\frac{a}{2}} = 0 \quad \left[\frac{dw_{(xy)}}{dx} \right]_{x=\frac{a}{2}} = 0$$

Introduciendo estas condiciones en la ecuación EC-45 se obtiene:

$$w_{(xy)} = \frac{b}{2\pi D} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \int_0^b My \operatorname{sen}(\lambda_n y)}{bn \operatorname{csh}(\alpha_n)} \left[\frac{a}{2} \tanh(\alpha_n) \operatorname{csh}(\lambda_n x) - x \operatorname{senh}(\lambda_n x) \right] \operatorname{sen}(\lambda_n y)$$

$$\alpha_n = \frac{n\pi a}{2b} = \frac{620n\pi}{800}$$

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b} = \frac{n\pi}{400} \left[\frac{1}{mm} \right]$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} = 18065t^3 [N.mm]$$

$$My = 15376 y [N.mm]$$

Se reemplazan estos valores y se tiene:

$$w_{(xy)} = \frac{400}{2\pi(18065t^3)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \int_0^{400} 15376 y \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{400} y\right)}{400 n \operatorname{csh}\left(\frac{620n\pi}{800}\right)} \left[\frac{a}{2} \tanh\left(\frac{620n\pi}{800}\right) \operatorname{csh}\left(\frac{n\pi}{400} x\right) - x \operatorname{senh}\left(\frac{n\pi}{400} x\right) \right] \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{400} y\right)$$

Se tiene como respuesta:

$$w_{(xy)} = \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \operatorname{sen}(0,023 y) [mm]$$

EC- 47

El desplazamiento $w_{(xy)}$ total se encuentra restando la deflexión de la placa simplemente apoyada EC-46 menos la deflexión producida por los momentos EC-47.

$$w_{(xy)} = \left(\frac{-9,59 \times 10^{-11}}{t^3} \right) (x - 346,3)(1,056)^x \text{sen}(0,0549y) - \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \text{sen}(0,023 y) [mm] \quad \text{EC- 48}$$

Teniendo la ecuación que gobierna la deflexión de la placa en sus dos dimensiones, se puede calcular los esfuerzos σ_x y σ_y

Se toman las ecuaciones del campo de esfuerzos de una placa plana EC- 18, EC-19 y EC-20.

$$\sigma_x = -\frac{E z}{1 - \mu^2} \left(\frac{d^2 w_{(xy)}}{dx^2} + \mu \frac{d^2 w_{(xy)}}{dy^2} \right)$$

$$\sigma_y = -\frac{E z}{1 - \mu^2} \left(\mu \frac{d^2 w_{(xy)}}{dx^2} + \frac{d^2 w_{(xy)}}{dy^2} \right)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} = -\frac{E z}{1 + \mu} \frac{d^2 w_{(xy)}}{dx dy}$$

Donde: $z = \frac{t}{2}$

Reemplazando la ecuación de la deflexión EC-48 en las tres anteriores se obtiene:

$$\sigma_x = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left(\frac{d^2 \left(\left(\frac{-9,59 \times 10^{-11}}{t^3} \right) (x - 346,3)(1,056)^x \text{sen}(0,0549y) - \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \text{sen}(0,023 y) \right)}{dx^2} + \mu \frac{d^2 \left(\left(\frac{-9,59 \times 10^{-11}}{t^3} \right) (x - 346,3)(1,056)^x \text{sen}(0,0549y) - \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \text{sen}(0,023 y) \right)}{dy^2} \right)$$

$$\sigma_y = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left(\mu \frac{d^2 \left(\left(\frac{-9,59 \times 10^{-11}}{t^3} \right) (x - 346,3)(1,056)^x \text{sen}(0,0549y) - \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \text{sen}(0,023y) \right)}{dx^2} \right. \\ \left. + \frac{d^2 \left(\left(\frac{-9,59 \times 10^{-11}}{t^3} \right) (x - 346,3)(1,056)^x \text{sen}(0,0549y) - \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \text{sen}(0,023y) \right)}{dy^2} \right)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 + \mu} \frac{d^2 \left(\left(\frac{-9,59 \times 10^{-11}}{t^3} \right) (x - 346,3)(1,056)^x \text{sen}(0,0549y) - \left(\frac{-5,109 \times 10^6}{t^3} \right) (x - 310)(1,023)^x \text{sen}(0,023y) \right)}{dx dy}$$

Luego de la derivación y resolución se obtiene:

$$\sigma_x = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left[\frac{-2,84 \times 10^{-13} (x - 310)(1,056)^x \text{sen}(0,054y)}{t^3} + \frac{2641,8 (x - 266)(1,023)^x \text{sen}(0,023y)}{t^3} \right. \\ \left. + \frac{116176 (1,023)^x \text{sen}(0,023y)}{t^3} \right. \\ \left. + \mu \left(\frac{2,89 \times 10^{-13} \text{sen}(0,0549y) (x - 346,3)(1,056)^x}{t^3} - \frac{2702,66 \text{sen}(0,023y) (x - 310)(1,023)^x}{t^3} \right) \right]$$

$$\sigma_y = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left[\mu \left(\frac{-2,84 \times 10^{-13} (x - 310)(1,056)^x \text{sen}(0,054y)}{t^3} + \frac{2641,8 (x - 266)(1,023)^x \text{sen}(0,023y)}{t^3} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{116176 (1,023)^x \text{sen}(0,023y)}{t^3} \right) + \frac{2,89 \times 10^{-13} \text{sen}(0,0549y) (x - 346,3)(1,056)^x}{t^3} \right. \\ \left. - \frac{2702,66 \text{sen}(0,023y) (x - 310)(1,023)^x}{t^3} \right]$$

$$\tau_{xy} = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 + \mu} \left[\frac{2672,05 \text{sen}(0,023y) (x - 266)(1,023)^x - 2,86 \times 10^{-13} \text{sen}(0,0549y) (x - 327,9)(1,056)^x}{t^3} \right]$$

La deflexión máxima y los esfuerzos máximos se tendrán en el centro de la placa:

$$x = 0 \text{ y } y = \frac{b}{2} = 200.$$

Por tanto los esfuerzos máximos son:

$$\sigma_x = -\frac{197270 \frac{t}{2}}{1 - (0,3)^2} \left[\frac{-2,84 \times 10^{-13}(-310)sen(0,054 \times 200)}{t^3} + \frac{2641,8(-266)sen(0,023 \times 200)}{t^3} \right. \\ \left. + \frac{116176 sen(0,023 \times 200)}{t^3} \right. \\ \left. + (0,3) \left(\frac{2,89 \times 10^{-13} sen(0,0549 \times 200)(-346,3)}{t^3} - \frac{2702,66 sen(0,023 \times 200)(-310)}{t^3} \right) \right]$$

$$\sigma_x = -108390 t \left(\frac{582842}{t^3} - 0,3 \frac{832539}{t^3} \right) = \frac{3,61 \times 10^{10}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad \text{EC- 49}$$

$$\sigma_y = -\frac{197270 \frac{t}{2}}{1 - (0,3)^2} \left[(0,3) \left(\frac{-2,84 \times 10^{-13}(-310)sen(0,054 \times 200)}{t^3} + \frac{2641,8(-266)sen(0,023 \times 200)}{t^3} \right) \right. \\ \left. + \frac{116176 sen(0,023 \times 200)}{t^3} \right. \\ \left. + \left(\frac{2,89 \times 10^{-13} sen(0,0549 \times 200)(-346,3)}{t^3} - \frac{2702,66 sen(0,023 \times 200)(-310)}{t^3} \right) \right]$$

$$\sigma_y = -108390 t \left(0,3 \frac{582842}{t^3} - \frac{832539}{t^3} \right) = \frac{7,12 \times 10^{10}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad \text{EC- 50}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{197270 \frac{t}{2}}{1 + 0,3} \left[\frac{(2672,05 \cos(0,023 \times 200) (-266)) - (2,86 \times 10^{-13} \cos(0,0549 \times 200) (-327,9))}{t^3} \right]$$

$$\tau_{xy} = -75873,1 t \left(\frac{79721}{t^3} \right) = -\frac{6,05 \times 10^9}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad \text{EC- 51}$$

Se toma las ecuaciones anteriores y se calculan los esfuerzos principales utilizando el Círculo de Mohr como se ilustra en la figura 52:

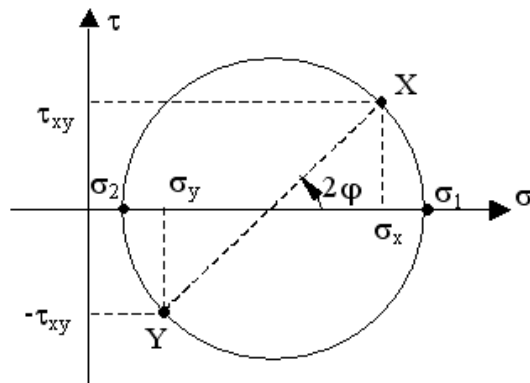
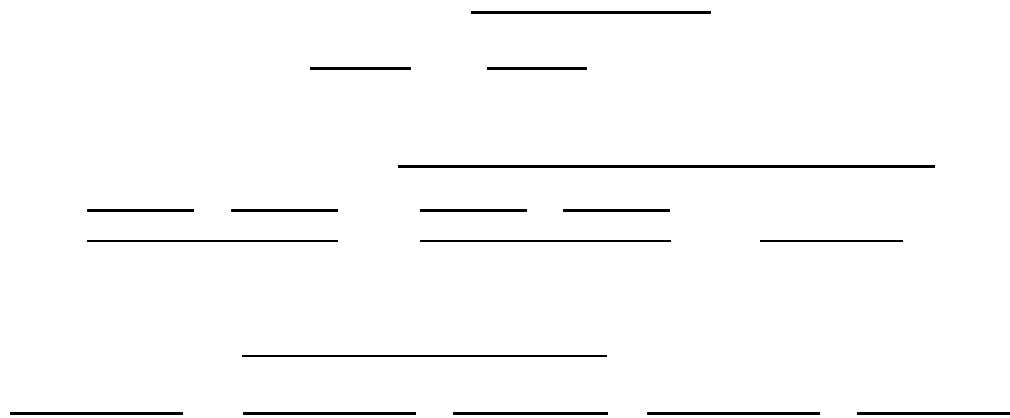


Figura 52 Círculo de Mohr



EC- 52

EC- 53

Se usa la teoría de falla de la energía de la distorsión para materiales dúctiles como se ilustra en la figura 53:

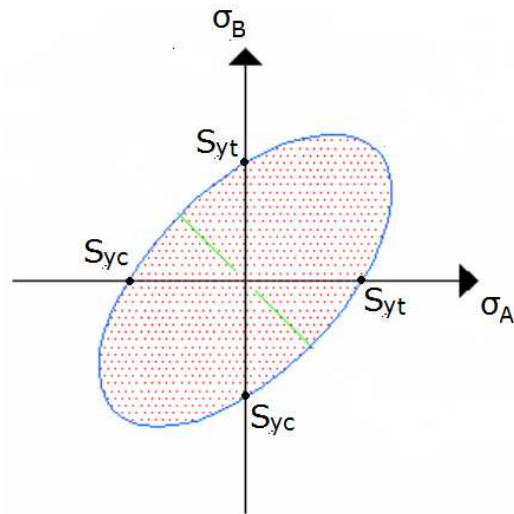


Figura 53 Teoría de la energía de distorsión

$$S_y^2 = S_A^2 - S_A S_B + S_B^2$$

$$S_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_A} S_A$$

Reemplazando la ecuación S_B en la teoría de la energía de distorsión y se obtiene:

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_A}\right) + \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_A}\right)^2}}$$

Se sabe que:

$$S_y = 241 \text{ MPa}$$

Se reemplazan los valores correspondientes y se tiene:

$$S_A = \frac{241}{\sqrt{1 + \left(-\frac{7,89 \times 10^{10}}{1,86 \times 10^{11}}\right) + \left(\frac{7,89 \times 10^{10}}{1,86 \times 10^{11}}\right)^2}} = 277,2 \text{ Mpa}$$

El factor de seguridad utilizado es $n=3$ por tanto:

$$n = \frac{S_A}{\sigma_A}$$

$$\sigma_A = \frac{S_A}{n} = \frac{277,2}{3} = 92,4 \text{ Mpa}$$

Se reemplaza en la ecuación EC=52 y se obtiene:

$$t^2 = \frac{186000000}{9240000} = 2,013 \text{ mm}^2$$

$$t = 1,42 \text{ mm}$$

En el mercado existen láminas de Acero inoxidable de 2mm, que es el espesor adecuado a escoger.

4.8.3 DISEÑO DE LA TAPA DE LA CÁMARA

La tapa será de Polimetilmetacrilato (acrílico), para poder visualizar y regular correctamente los procesos. A la tapa de la cámara se la puede considerar como una placa con todos sus bordes simplemente apoyados como se muestra en la figura 54.

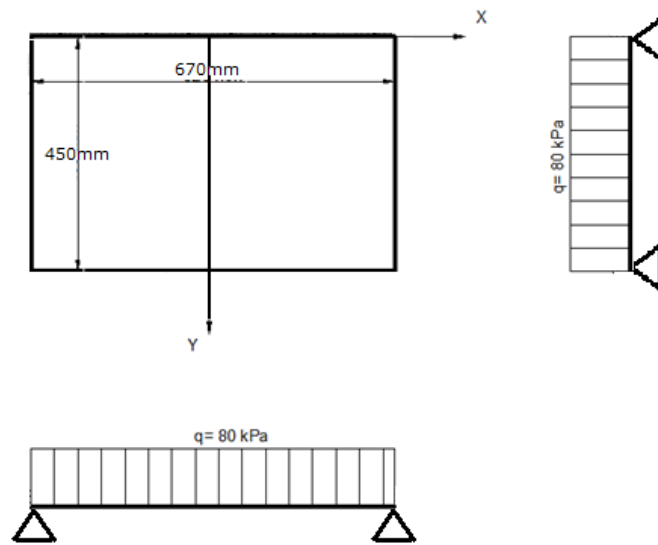


Figura 54 Tapa de la cámara con sus condiciones de borde

$$p_{(x,y)} = -q = -80 \text{ kPa}$$

$$a = 670 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$E = 6 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 600 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \text{ (Acilico)}$$

$$\mu = 0.33$$

$$S_{ut} = 87 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 58 \text{ Mpa}$$

Como se vio en el cálculo de la placa base para calcular $w_{(x,y)}$ se tiene:

$$w_{(x,y)} = \frac{2qb^4}{D} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{(n\pi)^5 \cosh(\alpha_n)} [2 \cosh(\alpha_n) + \lambda_n x \sinh(\lambda_n x) - (2 + \alpha_n \tanh(\alpha_n)) \cosh(\lambda_n x)] \sin(\lambda_n y)$$

$$\alpha_n = \frac{n\pi a}{2b} = \frac{670n\pi}{900}$$

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b} = \frac{n\pi}{450} \left[\frac{1}{mm} \right]$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{600 \left[\frac{kg}{mm^2} \right] t^3 [mm^3]}{12(1-0.33^2)} = 56,11 t^3 [kg \cdot mm] = 561,1 t^3 [N \cdot mm]$$

Se reemplazan estos valores se tiene:

$$w_{(x,y)} = \frac{2(-0,08) \frac{N}{mm^2} (450^4) mm^4}{(561,1 t^3) N \cdot mm} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{(n\pi)^5 \cosh\left(\frac{670n\pi}{900}\right)} \left[2 \cosh\left(\frac{670n\pi}{900}\right) + \left(\frac{n\pi}{450}\right) x \sinh\left(\frac{n\pi}{450} x\right) \right. \\ \left. - \left(2 + \left(\frac{670n\pi}{900}\right) \tanh\left(\frac{670n\pi}{900}\right) \right) \cosh\left(\frac{n\pi}{450} x\right) \right] \sin\left(\frac{n\pi}{450} y\right)$$

Resuelta la anterior ecuación, se tiene como respuesta:

$$w_{(x,y)} = \left(\frac{-1,17 \times 10^7}{t^3} \right) (7,37 * 10^{-16})(x - 375,9)(1,05)^x \sin(0,0488y) [mm]$$

Teniendo la ecuación que gobierna la deflexión de la placa en sus dos dimensiones, se puede calcular los esfuerzos σ_x y σ_y

Se toma las ecuaciones del campo de esfuerzos de una placa plana EC-18, EC-19 y EC20.

$$\sigma_x = -\frac{E z}{1-\mu^2} \left(\frac{d^2 w_{(xy)}}{dx^2} + \mu \frac{d^2 w_{(xy)}}{dy^2} \right)$$

$$\sigma_y = -\frac{E z}{1-\mu^2} \left(\mu \frac{d^2 w_{(xy)}}{dx^2} + \frac{d^2 w_{(xy)}}{dy^2} \right)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} = -\frac{E z}{1+\mu} \frac{d^2 w_{(xy)}}{dx dy}$$

Donde: $z = \frac{t}{2}$

Se reemplaza la deformación en las ecuaciones EC-18, EC-19 y EC-20:

$$\sigma_x = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left(\frac{d^2 \left(\left(\frac{-1,17 \times 10^7}{t^3} \right) (7,37 * 10^{-16})(x - 375,9)(1,05)^x \text{sen}(0,0488y) \right)}{dx^2} \right. \\ \left. + \mu \frac{d^2 \left(\left(\frac{-1,17 \times 10^7}{t^3} \right) (7,37 * 10^{-16})(x - 375,9)(1,05)^x \text{sen}(0,0488y) \right)}{dy^2} \right)$$

$$\sigma_y = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left(\mu \frac{d^2 \left(\left(\frac{-1,17 \times 10^7}{t^3} \right) (7,37 * 10^{-16})(x - 375,9)(1,05)^x \text{sen}(0,0488y) \right)}{dx^2} \right. \\ \left. + \frac{d^2 \left(\left(\frac{-1,17 \times 10^7}{t^3} \right) (7,37 * 10^{-16})(x - 375,9)(1,05)^x \text{sen}(0,0488y) \right)}{dy^2} \right)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 + \mu} \frac{d^2 \left(\left(\frac{-1,17 \times 10^7}{t^3} \right) (7,37 * 10^{-16})(x - 375,9)(1,05)^x \text{sen}(0,0488y) \right)}{dx dy}$$

De la derivación y resolución se obtiene:

$$\sigma_x = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left[\frac{-4,2 \times 10^{-10} (1,05)^x \text{sen}(0,048y)}{t^3} - \frac{2,05 \times 10^{-11} (x - 355,4) (1,05)^x \text{sen}(0,048y)}{t^3} + \mu \left(\frac{2,05 \times 10^{-11} \text{sen}(0,0488y) (x - 375,9) (1,05)^x}{t^3} \right) \right]$$

$$\sigma_y = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 - \mu^2} \left[\mu \left(\frac{-4,2 \times 10^{-10} (1,05)^x \text{sen}(0,048y)}{t^3} - \frac{2,05 \times 10^{-11} (x - 355,4) (1,05)^x \text{sen}(0,048y)}{t^3} \right) + \frac{2,05 \times 10^{-11} \text{sen}(0,0488y) (x - 375,9) (1,05)^x}{t^3} \right]$$

$$\tau_{xy} = -\frac{E \frac{t}{2}}{1 + \mu} \left[\frac{-2,05 \times 10^{-11} \text{cosen}(0,048y) (x - 355,4) (1,05)^x}{t^3} \right]$$

Se sabe que la deflexión máxima y los esfuerzos máximos se tendrá en el centro de la placa: $x = 0$ y $y = \frac{b}{2} = 225$

Por tanto los esfuerzos máximos son:

$$\sigma_x = -\frac{6000 \frac{t}{2}}{1 - (0,33)^2} \left[\frac{-4,2 \times 10^{-10} \text{sen}(0,048 \times 225)}{t^3} - \frac{2,05 \times 10^{-11} (-355,4) \text{sen}(0,048 \times 225)}{t^3} + (0,33) \left(\frac{2,05 \times 10^{-11} \text{sen}(0,0488 \times 225) (-375,9)}{t^3} \right) \right]$$

$$\sigma_x = -3366,63 t \left(\frac{4,12 \times 10^{10}}{t^3} - 0,33 \frac{7,7 \times 10^{-9}}{t^3} \right) = \frac{1,38 \times 10^{14}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_y = -\frac{6000 \frac{t}{2}}{1 - (0,33)^2} \left[(0,33) \left(\frac{-4,2 \times 10^{-10} \text{sen}(0,048 \times 225)}{t^3} - \frac{2,05 \times 10^{-11} (-355,4) \text{sen}(0,048 \times 225)}{t^3} \right) + \left(\frac{2,05 \times 10^{-11} \text{sen}(0,0488 \times 225) (-375,9)}{t^3} \right) \right]$$

$$\sigma_y = -3366,63 t \left(0,33 \frac{4,12 \times 10^{10}}{t^3} - \frac{7,7 \times 10^{-9}}{t^3} \right) = \frac{4,57 \times 10^{13}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\tau_{xy} = -\frac{6000 \frac{t}{2}}{1 + 0,33} \left[\frac{-2,05 \times 10^{-11} \cos(0,048 \times 225) (-355,4)}{t^3} \right]$$

$$\tau_{xy} = -2255,64 t \left(\frac{-1,41 \times 10^{-9}}{t^3} \right) = \frac{3 \times 10^{-6}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Se calculan los esfuerzos principales utilizando el Círculo de Mohr que se ilustra en la figura 55.

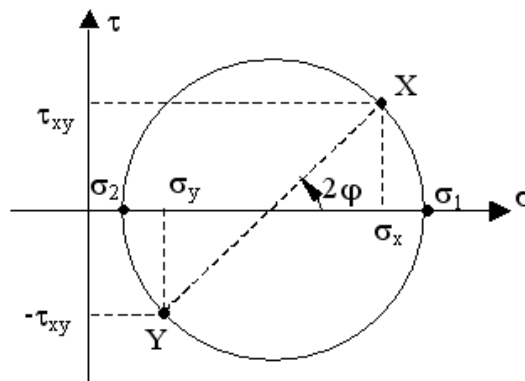


Figura 55 Círculo de Mohr

$$\sigma_{A, B} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{A, B} = \frac{\frac{1,38 \times 10^{14}}{t^2} + \frac{4,57 \times 10^{13}}{t^2}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\frac{1,38 \times 10^{14}}{t^2} - \frac{4,57 \times 10^{13}}{t^2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{3 \times 10^{-6}}{t^2}\right)^2}$$

$$\sigma_{A, B} = \frac{9,18 \times 10^{13}}{t^2} \pm \sqrt{\frac{2,12 \times 10^{27}}{t^4} + \frac{9 \times 10^{-12}}{t^4}} = \frac{9,18 \times 10^{13}}{t^2} \pm \frac{4,6 \times 10^{13}}{t^2}$$

$$\sigma_A = \frac{1,37 \times 10^{14}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\sigma_B = \frac{4,58 \times 10^{13}}{t^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Se usa la teoría de falla de la energía de la distorsión para materiales dúctiles como se ilustra en la figura 56.

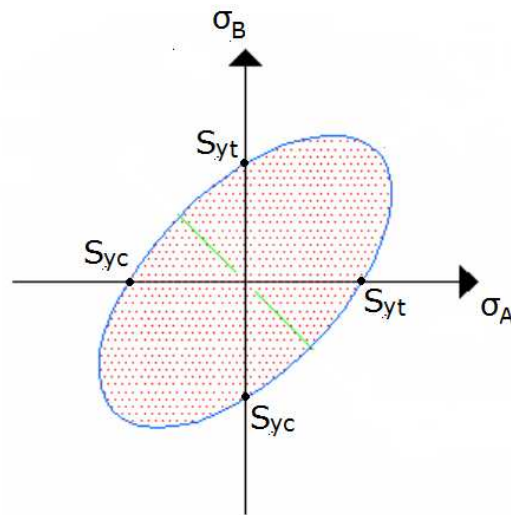


Figura 56 Teoría de la energía de distorsión

$$S_y^2 = S_A^2 - S_A S_B + S_B^2$$

$$S_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_A} S_A$$

Se reemplaza la ecuación S_B en la teoría de la energía de distorsión y se obtiene:

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_A}\right) + \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_A}\right)^2}}$$

Se sabe que:

$$S_y = 58 \text{ MPa}$$

Se reemplazan los valores correspondientes y se tiene:

$$S_A = \frac{58}{\sqrt{1 + \left(\frac{4,58 \times 10^{13}}{t^2}\right) + \left(\frac{4,58 \times 10^{13}}{1,37 \times 10^{14}}\right)^2}} = 48,23 \text{ Mpa}$$

El factor de seguridad utilizado es $n=3$ por tanto:

$$n = \frac{S_A}{\sigma_A}$$

$$\sigma_A = \frac{S_A}{n} = \frac{48,23}{3} = 16,1 \text{ Mpa}$$

Se reemplaza la ecuación anterior en la ecuación del esfuerzo principal obtenemos:

$$t^2 = \frac{13700000000}{16100000} = 850,9 \text{ mm}^2$$

$$t = 29,17 \text{ mm}$$

Por motivos de disponibilidad y sobre todo de costos, una plancha de acrílico de 30 mm de espesor no es factible utilizar, por ello, se utilizará, una lámina de acrílico reforzada con una malla de acero inoxidable.

La plancha de acrílico disponible en el mercado y que además tiene un costo adecuado es la de un espesor de 9mm, por tanto haciendo un proceso iterativo partiendo del acrílico de 9mm:

$$\sigma_A = \frac{1,37 \times 10^{14}}{t^2} = \frac{1,37 \times 10^{14}}{9^2} = 1,69 \times 10^{12} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Como resultado se tiene una malla de acero inoxidable AISI 304 de 3 mm para ajustar el esfuerzo al deseado. Y tiene la estructura de la figura 57.

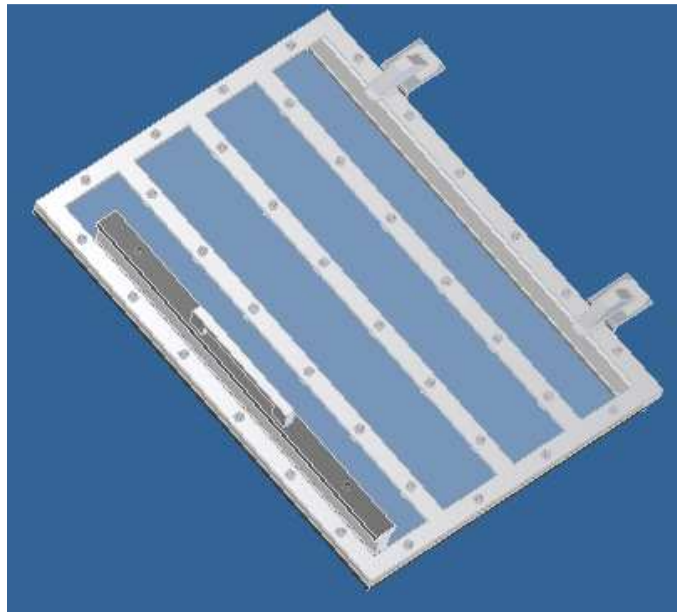


Figura 57 Tapa de la cámara de vacío.

4.8.4 DISEÑO DE LA CARCASA

La carcasa debe alojar en su parte superior a la cámara de vacío, debe tener las dimensiones adecuadas para que en su interior se instalen los sistemas de vacío, de ingreso de aire a la cámara y el sistema de control. Además de que debe proporcionar los soportes necesarios para que los elementos de la máquina sean fijados.

Debe disponer de un espacio para alojar el panel de control y de una compuerta para realizar el montaje de los sistemas internos y para realizar mantenimiento. Debe facilitar la ventilación y el ingreso de aire del motor. Como se muestra en la figura 58.

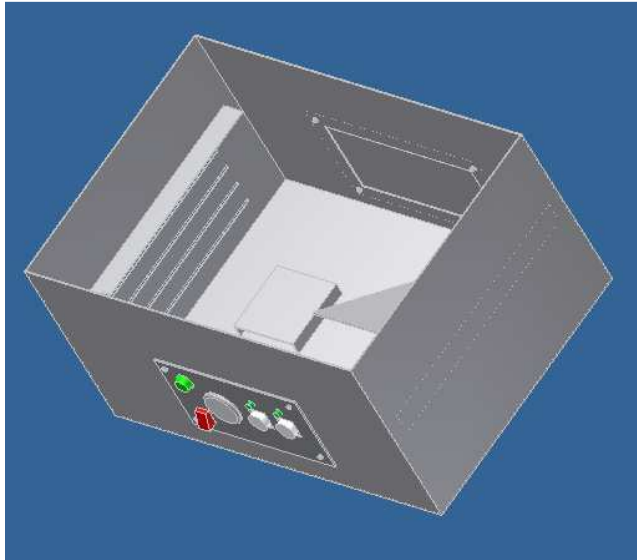


Figura 58 Carcasa.

La carcasa también se la realizara en su totalidad de acero inoxidable AISI 304 por tratarse de una máquina procesadora de alimentos.

Las dimensiones de la carcasa son:

Largo: 670mm

Ancho: 450mm

Altura: 320mm

La carcasa deberá soportar el peso de la cámara de vacío que se estima usando los pesos específicos de los materiales utilizados

Peso específico acero inoxidable $7,9 \frac{g}{cm^3}$ ¹³

Peso específico acrílico $1,19 \frac{g}{cm^3}$ ¹⁴

Volumen de acero inoxidable usado: $985,6 \text{ cm}^3$

Volumen de acrílico usado: $2713,5 \text{ cm}^3$

Peso de acero inoxidable: $7,9 \frac{g}{cm^3} \times 985,6 \text{ cm}^3 = 7786,24 \text{ g}$

Peso de acrílico: $1,19 \frac{g}{cm^3} \times 2713,5 \text{ cm}^3 = 3229 \text{ g}$

Peso total: $11005 \text{ g} = 11 \text{ kg}$

Se considera además un peso extra debido a una presión ejercida por el operario sobre la cámara al momento de realizar el proceso de empaclado. Presión necesaria para que haya un sello hermético entre la tapa y la cámara.

Peso por el operario de 25 kg

El área transversal de la carcasa es de 2240mm x e

Siendo: e= espesor en mm

La compresión ejercida por la cámara es de:

$$\sigma = \frac{360 \text{ N}}{2240 \text{ mm} \times e \text{ mm}}$$

El límite de fluencia a la compresión del acero inoxidable es:

$$S_{yc} = 241 \text{ Mpa} = 241 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

¹³ QUINTAMETALICA, Aceros Inoxidables, www.quintametlica.com/datos/metales_documentos/archivo23/Ficha%2520acero%2520inoxidable.pdf

¹⁴ ACRÍLICOS MESCH, Propiedades de los acrílicos, <http://www.acrilicos.com.ar/tablamateriales.htm>

El factor de seguridad escogido para la carcasa es $n = 3$

Por tanto:

$$\sigma = \frac{S_{yc}}{n} = \frac{241 \frac{N}{mm^2}}{3} = 80,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$e = \frac{360N}{2240mm \times 80,3 \frac{N}{mm^2}} = 0,002mm$$

Un espesor tan pequeño no puede ser el adecuado para soportar y dar consistencia a una máquina, por esta razón, y por motivos de existencia tomamos una plancha de 1mm de espesor. Espesor mínimo de existencia en el mercado.

Todas las soldaduras tanto en la carcasa como en el tanque fueron realizadas bajo NORMA ASME, Sección VIII: Recipientes a presión, División 1, Parte UW: Recipientes a presión fabricados por soldadura.

4.8.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE SELLADO

En los equipos de empaque al vacío, el sistema de sellado funciona solamente pocos segundos del tiempo del ciclo completo de empaque. Por esto la única alternativa es un sistema de sellado por lamina, descartando así a los sistemas de sellado por barras y sellado por aire caliente.

Se descartan los sistemas de barras y de aire caliente debido a que éstos, mantienen su temperatura elevada continuamente, y lo que se requiere que el sistema de sellado aumente y reduzca su temperatura rápidamente, para evitar que se desperdicie energía y además por la seguridad del operario, que debe manipular los empaques directamente sobre la selladora.

Está constituido por una mordaza fija, colocada en la tapa de la cámara, de una mordaza móvil que se desplaza y sujeta el empaque al momento del sellado. Sobre la mordaza móvil está alojada la niquelina de lámina correctamente aislada con teflón. La niquelina actúa únicamente cuando la mordaza móvil sujeta y ejerce fuerza sobre la mordaza fija.

El sistema de sellado tendrá la estructura que se establece en la figura 59.



Figura 59 Sistema de sellado.

4.8.5.1 Fuerza aplicada en el sellado

En el termosoldado se consideran la cantidad de calor, el tiempo de duración y la presión ejercida, mediante pruebas y mediciones en selladoras semiautomáticas de empaques plásticos, se determinó que el rango de tiempo va desde 0,5 a 5 segundos y que la temperatura alcanzada por la niquelina es de 130° luego de 2 segundo de funcionamiento, tiempo óptimo para el sellado de un empaque de alimentos al vacío.

La presión óptima aplicada sobre el empaque plástico para un sellado satisfactorio debe ser de 1,2 kg/cm².¹⁵

¹⁵VIFAN, Empaques plásticos, Abril de 2003, www.vibacgroup.com

La longitud de sellado es de 550 mm

El ancho de sellado es de 4mm

Entonces, el área de sellado es:

$$A = a \times l$$

Donde: $A = \text{área de sellado (mm}^2\text{)}$

$a = \text{ancho de sellado (mm)}$

$l = \text{longitud de sellado (mm)}$

Por tanto:

$$A = 4\text{mm} \times 550\text{mm} = 2200\text{mm}^2$$

Si la presión óptima de sellado es $0,7 \text{ kg/cm}^2 = 0,007 \text{ kg/mm}^2$ entonces la fuerza de las mordazas para el sellado es:

$$F = P \times A$$

Donde: $F = \text{fuerza de sellado (kgf)}$

$P = \text{presión de sellado (kgf/mm}^2\text{)}$

$A = \text{área de sellado (mm}^2\text{)}$

Por tanto:

$$F = 0,007 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \times 2200\text{mm}^2 = \mathbf{15,4\text{kgf}}$$

4.8.5.2 Dispositivo de cierre de mordazas

Debe existir una separación entre las mordazas al momento de extraer el aire de la cámara de por lo menos 10 mm, se establece de 12 mm.

El movimiento de la mordaza y la fuerza aplicada serán efectuados por dos actuadores eléctricos, uno a cada extremo del sistema. Estos actuadores funcionan cuando existe un pulso eléctrico, luego de lo cual regresan a su posición.

El eje en donde se aloja la niquelina y que va sujeto a los dos actuadores, debe ejercer la función de aislante, además de resistir altas temperaturas, por lo tanto será de PTFE más conocido como teflón.

Para el teflón se tiene: ¹⁶

$$S_{ut} = 245 \frac{kg}{cm^2}$$

$$S_y = 44 \frac{kg}{cm^2} \text{ con un } 0,2\% \text{ de deformacion .}$$

La presión de sellado necesaria, determinada anteriormente es de $0,007 \text{ kg/mm}^2$, el espesor de sellado es de 4 mm por tanto la barra de sellado está sujeta a las siguientes cargas como se ilustra en la figura 60.

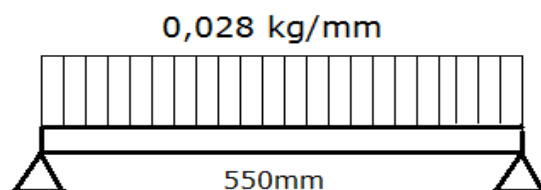


Figura 60 Diagrama de cargas en el eje de sellado

¹⁶ BRONCESVAL, Propiedades de materiales,
<http://www.broncesval.com/catalogo/index.asp?categoria=5&producto=39>.

Que resulta en el diagrama del cuerpo libre de la figura 61:

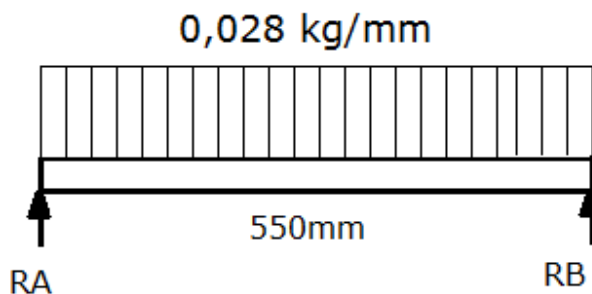


Figura 61 Diagrama del cuerpo libre del eje de sellado

$$RA = RB = 7,7 \text{ kgf}$$

Momento máximo del eje:

$$M = \frac{a}{2}qx - \frac{x^2}{2}q$$

Donde:

$$a = 550 \text{ mm}$$

$$x = 275 \text{ mm}$$

Por tanto se tiene:

$$M = \frac{550 \text{ mm}}{2} 0,028 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} \times 275 \text{ mm} - \frac{275^2}{2} \text{ mm}^2 \times 0,028 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} = 1058,75 \text{ kgmm}$$

Se calculan los esfuerzos:

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 1058,75 \text{ kgmm}}{\pi d^3 \text{ mm}^3} = \frac{10784,3 \text{ kgmm}}{d^3} = \sigma_A$$

$$\sigma_B = 0$$

La teoría de falla que usamos es la teoría de la energía de la distorsión para materiales dúctiles como se ilustra en la figura 62.

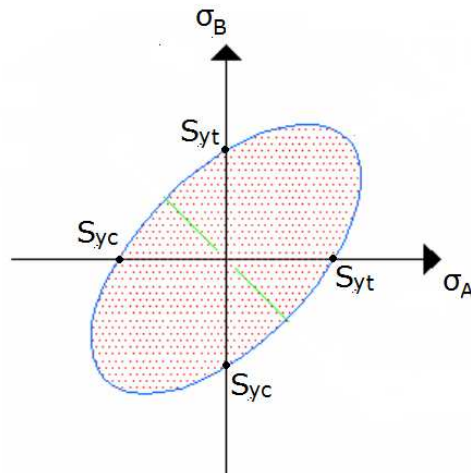


Figura 62 Teoría de la energía de la distorsión

$$S_y^2 = S_A^2 - S_A S_B + S_B^2$$

$$S_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_A} S_A$$

Usamos un factor de seguridad $n = 2$:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_A} = \frac{0,44 \frac{kg}{mm^2}}{\frac{10784,3 kg mm}{d^3}}$$

$$d^3 = \frac{n \times 1078,3}{0,44} mm^3$$

$$d = 16,9 mm$$

Se escoge un diámetro de $d = 17 mm$

Los dos actuadores deben ser capaces de ejercer las fuerzas de las reacciones $R_A = R_B = 7,7 kgf$.

4.9 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO

La bomba de vacío debe ser capaz de proporcionar un 80% de vacío, tomando en cuenta las dimensiones de la cámara, vemos que es necesario alrededor de $1 \frac{pie^3}{min}$ o cfm.

Considerando la información descrita en el capítulo 2, la bomba escogida será una bomba de paletas deslizantes.

Para facilitar el mantenimiento se utilizará una bomba sin lubricación, de la marca GAST, que cumple perfectamente con los requerimientos y cuyas características están en el Anexo 1.

CAPÍTULO 5

SISTEMA DE CONTROL

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control de la máquina será el encargado de poner en funcionamiento el sistema de vacío, el sistema de sellado de la máquina y de permitir el paso del aire a la cámara. El sistema de control debe permitir al operario regular los tiempos en los que cada sistema de la máquina funcionen y actuar de manera automática una vez que comience el ciclo de empaçado. Además, es necesario que el sistema cuente con la capacidad de parar el ciclo de empaçado en el momento que el operario por motivos de seguridad crea conveniente.

La regulación de tiempo requerida debe tener un rango adecuado para permitir empaçado uno o varios paquetes de alimentos, teniendo en cuenta la máxima cantidad posible. Adicional a esto la regulación también debe permitir sellar diferentes espesores de empaques plásticos.

La fuente de alimentación que se usará es corriente alterna 110V que corresponde a una instalación común a nivel domestico e industrial.

5.2 PROCESO DE CONTROL

Como se observa en la figura 63, el proceso de control para un ciclo de empaçado consta de la entrada de uno o varios empaques con su respectivo alimento y de la salida de los alimentos empaçados y sellados al vacío.



Figura 63 Proceso de control

Dentro del proceso tenemos varios subprocesos de control: Formación de vacío, Sellado y Paso de aire a la cámara. Que se detallan a continuación y se muestran en la figura 64.

Formación de vacío

En este subproceso ingresa el o los empaques y el alimento a la cámara donde se acciona la bomba para generar vacío un tiempo determinado y regulado según la cantidad o el volumen a ser empacado, luego de lo cual se obtienen empaques y alimentos en un ambiente libre de aire.

Sellado

Seguidamente luego de terminada la formación de vacío, se acciona el sistema de sellado por un tiempo regulado de acuerdo al tipo de empaque plástico a utilizar. El empaque con su alimento que se encontraban en el vacío son sellados.

Paso de aire a la cámara

Luego de que el empaque se encuentra sellado, se permite el paso del aire de la atmosfera a la cámara para que el empaque pueda ser extraído, es donde el empaque plástico toma la forma del alimento.

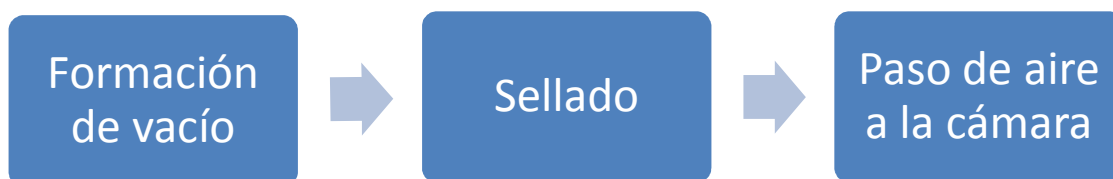


Figura 64 Subprocesos de control

5.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

5.3.1 TEMPORIZADOR

Un temporizador es un aparato mediante que regula la conexión o desconexión de un circuito eléctrico pasado un tiempo desde que se le dio dicha orden.

Los temporizadores pueden trabajar a la conexión o ala desconexión.

A la conexión: cuando el temporizador recibe tensión y pasa un tiempo hasta que conmuta los contactos (on delay o retardo al encendido) como se muestra en la figura 65.

A la desconexión: cuando el temporizador deja de recibir tensión y al cabo de un tiempo conmuta los contactos (off delay o retardo al apagado).

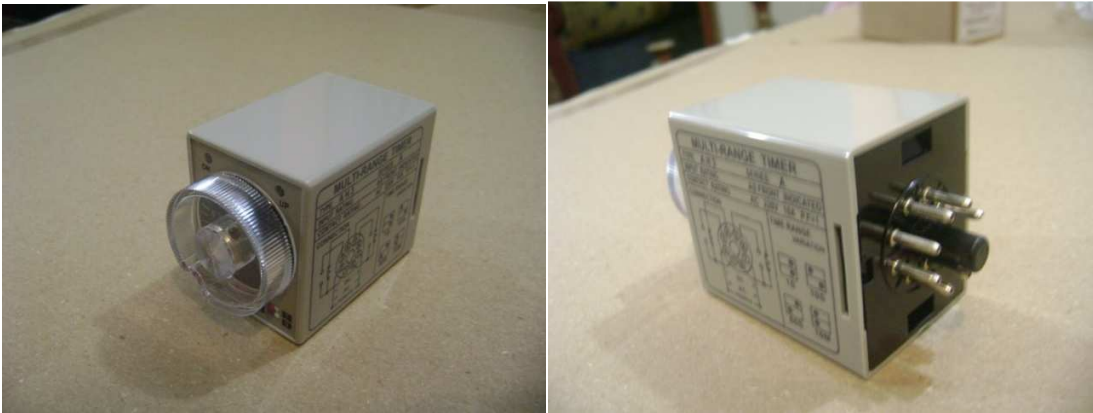


Figura 65 Temporizador electrónico con retardo al encendido

5.3.2 INTERRUPTOR

Se utiliza para permitir o no el paso de la corriente eléctrica. Posee dos terminales de conexión y se muestra en la figura 66.



Figura 66 Interruptor unipolar

5.3.3 FUSIBLE

El fusible permite el paso de la corriente mientras ésta no supere un valor establecido. Son elementos de protección contra picos altos de corriente, si el valor de la corriente que pasa, es superior al soportado, el fusible se derrite, y no pasa corriente, se muestra en la figura 67.



Figura 67 Fusible en cápsula de vidrio

5.3.4 PULSADOR

Es un interruptor que solo permite el paso de la corriente eléctrica cuando se lo mantiene oprimido, se muestra en la figura 68.



Figura 68 Pulsador normalmente abierto

5.3.5 RELEVADOR

El relé o relevador, es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico, se muestra en la figura 69.

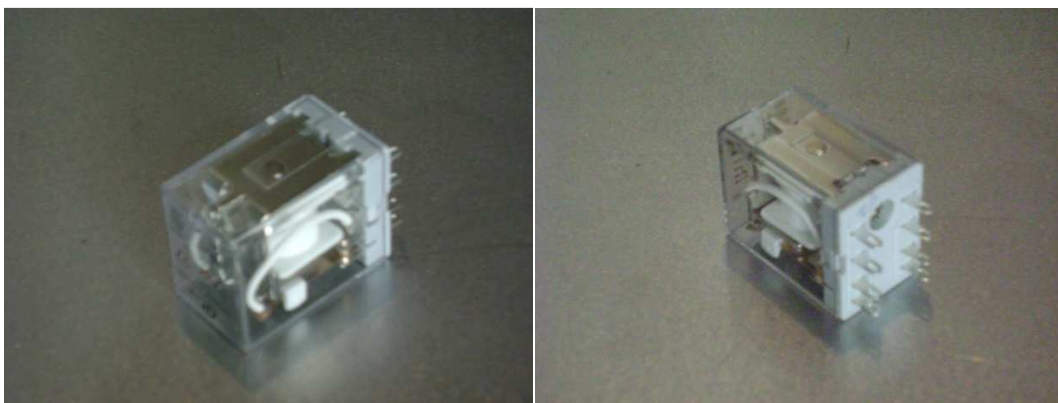


Figura 69 Relé o relevador

5.3.6 TRANSFORMADOR

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc., se muestra en la figura 70.

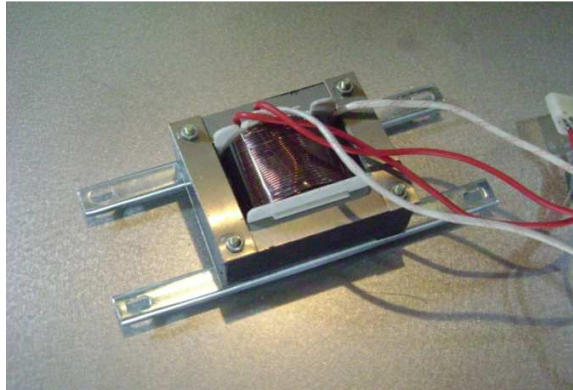


Figura 70 Transformador de 110V a 30V

5.3.7 ELECTROVÁLVULA

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto. La válvula está controlada por corriente eléctrica a través de una bobina selenoidal, se observa en la figura 71.



Figura 71 Electroválvula

5.3.8 LUZ PILOTO

Es una luz en un aparato eléctrico que indica si está en funcionamiento, se muestra en la figura 72.



Figura 72 Luz piloto

5.3.9 ACCESORIOS

Se utilizan también diferentes elementos que son de conexión como: bases para temporizador (fig. 73), borneras (fig. 74), acople de tomacorriente (fig. 75), porta fusibles (fig. 76), terminales (fig. 77), enchufe (fig. 78), bases para relé (fig. 79) y alambres eléctricos (fig. 80).

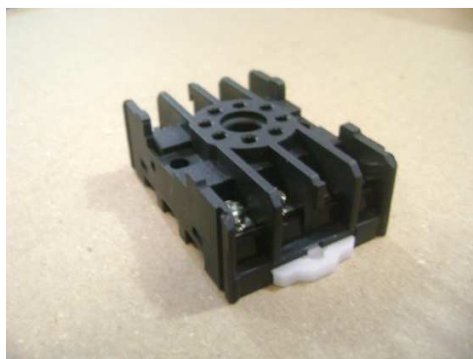


Figura 73 Base para temporizador



Figura 74 Bornera



Figura 75 Acople tomacorriente



Figura 76 Porta fusibles



Figura 77 Terminales



Figura 78 Enchufe

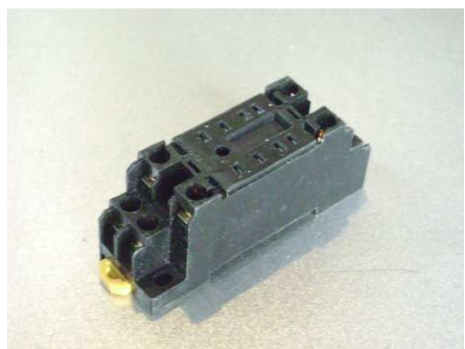


Figura 79 Base para Relé



Figura 80 Alambre eléctrico

5.4 CIRCUITO DE CONTROL

El diagrama del circuito que será usado para controlar el sistema de vacío, el sistema de sellado y permitir el paso del aire a la cámara está detallado en el Anexo 2.

El dimensionamiento y las características de los elementos utilizados se describen a continuación:

- Dos Temporizadores con retardo al encendido, de 10A, 110V con regulación de 1 segundo a 10 minutos.
- Interruptor 10A
- Pulsador normalmente abierto 10A
- Fusibles de 10A, 5A y 2,5A
- Dos Relevadores de 110V el uno de 5 A y 10^a el otro
- Dos transformadores, el uno de 110V ac a 30V ac, y el otro de 110V ac a 12 V dc.
- Electroválvula de 110V a 0,8 bar
- Dos luces piloto de 110v
- Todos los accesorios, acoples y cables deben ser de 110V y de 10A

5.5 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control se alimenta de una fuente eléctrica común de 110 V al momento de presionar el interruptor en la posición de encendido. Primeramente se debe regular los tiempos de vacío y de sellado de acuerdo a la cantidad de alimento a empacar y al tipo de empaque. Una vez regulados los tiempos por el operario se oprime el pulsador con el que empieza el ciclo de empacado de la siguiente manera:

- El temporizador que controla el sistema de vacío empieza a funcionar y conecta a través de un relé a la bomba de vacío.
- Una vez terminado el tiempo de vacío, instantáneamente empieza a funcionar el temporizador del sistema de sellado, el que por medio de un transformador, acciona a la resistencia de sellado y a los actuadores eléctricos.
- Luego de terminado el tiempo de sellado, la bomba y la resistencia terminan su funcionamiento, e inmediatamente la electroválvula mediante un relé abre el paso del aire hacia la cámara y termina el ciclo.
- La electroválvula queda abierta hasta que el operario reinicie el ciclo presionando nuevamente el pulsador.

CAPÍTULO 6

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

6.1 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

La construcción de la empacadora y selladora de humitas al vacío, se realizará en diferentes talleres mecánicos con las máquinas y herramientas adecuadas para la elaboración de los elementos diseñados.

La construcción se realizará de acuerdo a los planos de taller del Anexo 5 y al plan de procesos del Anexo 6.

Cabe destacar que toda la materia prima y los accesorios de la máquina, fueron adquiridos en el mercado local.

Se utilizarán los siguientes equipos:

Máquinas

- Soldadora
- Esmeriladora
- Amoladora
- Pulidora
- Taladro
- Dobladora de Tol
- Cortadora de Tol

Herramientas

- Brocas
- Machuelos
- Discos de corte
- Discos de desbaste
- Discos de pulido

Instrumentos de medida

- Calibrador
- Flexómetro
- Escuadra

6.2 PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

El montaje de la máquina se realiza de acuerdo al siguiente procedimiento y tomando en cuenta el plano de conjunto del Anexo 4.

- Montaje del motor sobre la carcasa de la máquina
- Montaje de los elementos del sistema de vacío
- Montaje del tablero de control y sujeción mediante pernos Allen
- Montaje de los elementos eléctricos del sistema de control en la carcasa y sujeción
- Conexión de cables del sistema de control
- Conexión de mangueras del sistema de vacío
- Montaje de la cámara de vacío sobre la carcasa
- Montaje y conexión de los actuadores eléctricos
- Montaje y sujeción de la barra de sellado con la niquelina alojada
- Sujeción de la cámara de vacío con la carcasa mediante pernos Allen

- Montaje de la malla de refuerzo sobre la tapa de la cámara y sujeción por pernos Allen
- Montaje de la mordaza fija en la tapa reforzada y sujeción con pernos Allen
- Montaje del sujetador sobre la tapa
- Montaje de la tapa reforzada sobre la cámara
- Sujeción de la tapa con la cámara mediante bisagras de presión.

6.3 EJECUCIÓN DE PROCEDIMIENTOS

La ejecución de procedimientos para la construcción y montaje del prototipo se detallan en las figuras 81, 82, 83, 84, 85, 86 y 87.



Figura 81 Construcción de la cámara de vacío



Figura 82 Construcción de la tapa para la cámara



Figura 83 Construcción de la carcasa



Figura 84 Construcción de la barra de sellado

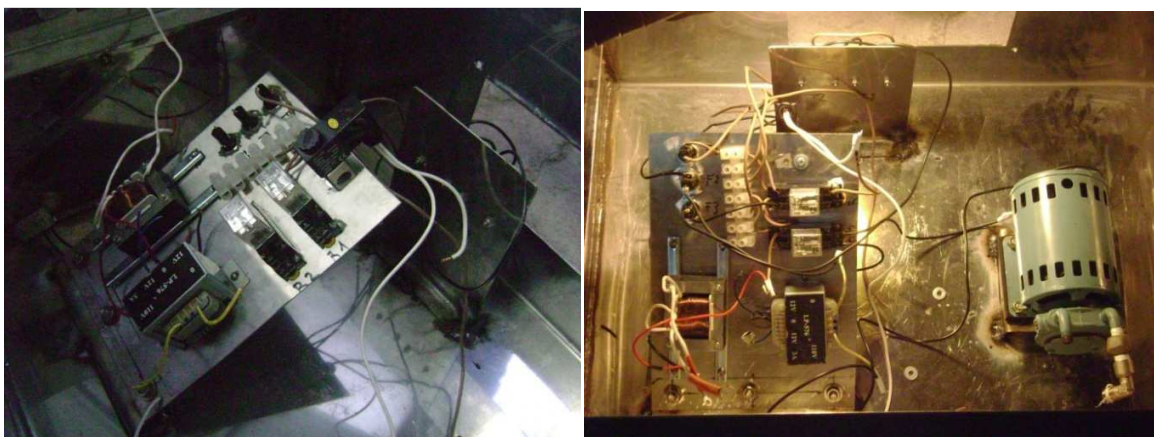


Figura 85 Montaje del circuito de control y motor del prototipo



Figura 86 Montaje del sistema de sellado

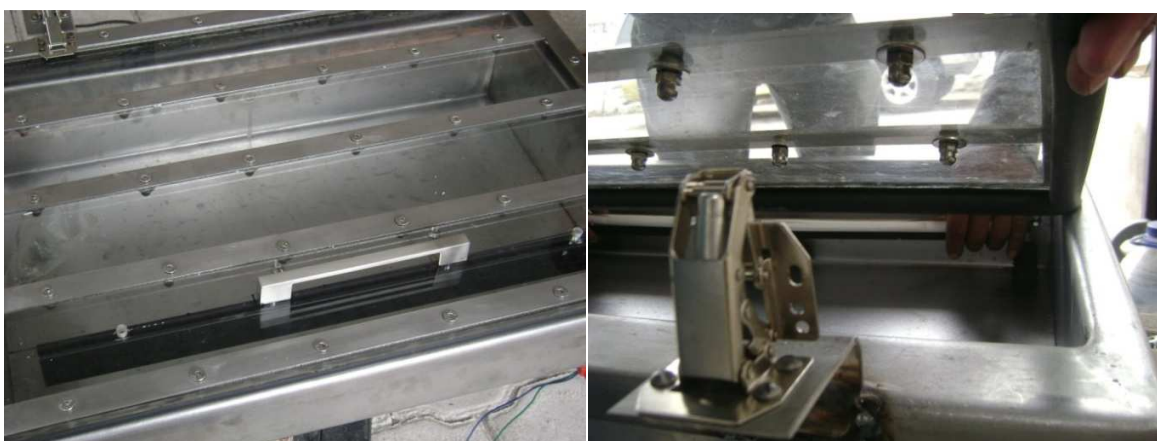


Figura 87 Montaje de la tapa de la cámara

6.4 PRUEBAS DE CAMPO

Luego de la construcción y montaje se realizan las pruebas de campo de acuerdo al protocolo de pruebas detallado en el formato del capítulo 4. Los resultados de dichas pruebas se presentan en el Anexo 3 y en las figuras 88 y 89 la inspección del prototipo.



Figura 88 Pruebas del prototipo



Figura 89 Inspección del prototipo

Los resultados realizados en las pruebas de campo nos demuestran que el prototipo y cada uno de los sistemas diseñados funcionan perfectamente, cumplen con los requisitos y parámetros establecidos, cumplen satisfactoriamente con las pruebas realizadas y que sobre todo aumentan el tiempo apto para el consumo de las humitas en tres veces su tiempo.

CAPITULO 7

ANÁLISIS DE COSTOS

Se detallarán los costos que implican el diseño, la construcción y el montaje de la empacadora y selladora al vacío, con esto se determinará la cantidad de recursos económicos utilizados.

Los costos analizados son:

- Costos directos
- Costos indirectos

7.1 COSTOS DIRECTOS

Son aquellos costos que están relacionados directamente con la fabricación o construcción: materia prima, costo de elementos de la máquina, mano de obra directa y maquinado.

En la tabla 8 se muestran los costos de la materia prima y materiales utilizados.

Tabla 8 Costos de materia prima

MATERIAL	DIMENSIONES	COSTO \$
Plancha de acero inoxidable austenítico AISI 304	620 x 400 mm	18,6
	2 de 400 x 150 mm	9
	2 de 620 x 150 mm	13,9
	670 x 450 mm	22,6
	2 de 670 x 320 mm	32,2
	2 de 450 x 320 mm	21,6
Barra de PTFE (teflón)	Diam 16mm x 550 mm	17
Platinas de acero inoxidable AISI 304	25 mm x 4,25 m e=3	19
Viga de aluminio de forma I	550mm de largo	2
Plancha de acrílico transparente	450 x 670 mm e=9	19,4
Lámina de acrílico transparente	200 x 150 mm e=3	3
Empaque flexible	2,25 m	8,25
Empaque rígido	550 mm	2,50
	SubTotal	189,05

En la tabla 9 se muestran los costos de los elementos normalizados y existentes adquiridos.

Tabla 9 Costos de elementos adquiridos

ELEMENTO	DIMENSIONES	COSTO \$
Pernos Allen de acero inoxidable, avellanados	32 pernos M6 x 20	6,3
Pernos Allen de acero inoxidable, avellanados	12 pernos M6 x 10	1,9
Pernos de acero inoxidable	2 pernos M8 x 30	0,4
Pernos de acero inoxidable	2 pernos de M4 x 50	0,3
Pernos de acero inoxidable	3 pernos M8 x 25	0,75
Pernos acero inoxidable cabeza redonda	16 pernos M4 x 30	2,4
Tuercas de acero inoxidable	44 tuercas M6	2,2
Tuercas de acero inoxidable	5 tuercas M8	0.3
Tuercas de acero inoxidable	18 tuercas de M4	0.8
Arandelas de acero inoxidable	44 arandelas Ø 6	1,3
Arandelas de acero inoxidable	5 arandelas Ø 8	0,2
Arandelas de acero inoxidable	18 arandelas Ø 4	0.4
Bisagras de presión	2 unidades	8
Manubrio	1 unidad	3
Empaques tipo O-ring	34 unidades Ø 5	6,12
Niquelina Ni-Cr	4mm x 600 mm	4
Actuadores eléctricos de 8 kgf, con bases	2 actuadores 12V	16
Transformador 110V a 30V ac	1 unidad	15
Transformador 110V a 12 V dc	1 unidad	9
Temporizadores con retardo al encendido, con bases	2 unidades 10 A	32
Relevadores de 110V	2 unidades 5 y 10A	24
Interruptor	1 unidad 10 A	1,5

Pulsador normalmente abierto	1 unidad 10 A	1,2
Fusibles y porta fusibles	3 unidades 10A, 5A, 2,5A	1,1
Luces piloto 110V	2 unidades 10 A	2
Borneras	1 unidad 10 A	0,5
Enchufes	1 unidad 10 A	1,4
Cable térmico No 16	1m	0,6
Cable eléctrico No 16	10 m	3,5
Conectores y terminales (varios)	50 unidades	1,5
Bomba de vacío Gast 110 V, 22 pulg de mercurio y 1,5 CFM	1 unidad	633
Vacuometro	1 unidad	28
Electroválvula 110V 0,8 bar	1 unidad	65
Manguera neumática	Ø6 x 3 m	9
Acoples rápidos neumáticos	7 acoples ¼ pulg	21
Tes neumáticas	2 tes de ¼ pulg	4
Filtro neumático con receptor de condensado	1 unidad	9
	SubTotal	915,17

En la tabla 10 se muestran los costos de maquinado incluidos los precios de mano de obra correspondientes.

Tabla 10 Costo de maquinado

OPERACIÓN	TIEMPO	COSTO \$
Doblado	50 min	22
Soldadura eléctrica	210 min	28
Corte con máquina amoladora	45 min	16
Taladrado	120 min	25
Esmerilado	80 min	15
Pulido	360 min	42
Mediciones	35 min	8
Roscado	80 min	16
	SubTotal	172

7.2 COSTOS INDIRECTOS

Son los costos que no intervienen directamente en la construcción: costos de insumos, diseño e ingeniería y mano de obra indirecta. Se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Costos indirectos

COMPONENTE	DIMENSION	COSTO \$
Electrodos E 308-16 1/8"	1 kg	15
Lija fina de disco	2 unidades	3
Silicona fría	1 unidad 120cc	6
Teflón para tubería	1 unidad	0,6
Técnico para montaje	16 horas	32
Diseño e ingeniería	22 horas	440
Transporte y varios		30
	SubTotal	526,6

7.3 COSTO TOTAL

En la tabla 12 se detalla el costo total del prototipo.

Tabla 12 Costo total

COMPONENTE	COSTO \$
Costos de materia prima	189,05
Costos de elementos normalizados y existentes	915,17
Costos de maquinado	172
Costos indirectos	526,6
Total	1802,82

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Se ha aportado al sector producción con una forma más eficiente de empaques de humitas, la cual proporciona mejores características al producto.
- Se cumplió de manera satisfactoria el diseño y la construcción del prototipo, cuyo funcionamiento cumple con los parámetros mencionados y establecidos.
- Se utilizaron materiales existentes en el mercado nacional, y el diseño fue realizado para las condiciones de nuestro medio.
- El empaque y sellado al vacío, motivo de este proyecto, aumentó el tiempo apto para el consumo de las humitas en 3 veces más que una humita empacada normalmente.
- La formación de vacío en general, es complicada y requiere de altas potencias y de altos costos, por ello, un vacío adecuado para el empaque de alimentos no pretende alcanzar un vacío extremo o absoluto, si no que toma en cuenta la relación costo-beneficio.
- Existen muchas formas o sistemas de conservación de alimentos que presentan muchas ventajas respecto al empaque al vacío, que tienen alto costo, pero que proporcionan mejores características a los productos empacados.

- La construcción de la máquina, es poco complicada y no requiere de talleres especializados para su construcción, sin embargo, la calibración de la máquina y los detalles de hermeticidad son los que presentan algo de dificultad.

8.2 RECOMENDACIONES

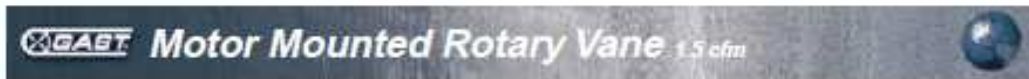
- Los repuestos o los accesorios de la máquina se pueden conseguir si ningún problema en el mercado nacional, específicamente en la ciudad de Quito.
- La máquina debe ser operada por una sola persona, y se debe evitar forzar a la bomba sin que antes se encuentre la tapa en su posición de funcionamiento.
- Es recomendable recubrir con cinta de teflón periódicamente el sistema de sellado.
- El prototipo de máquina de empaque al vacío debe tener un mantenimiento simple y periódico, que consiste en la limpieza del su filtro y el cambio de la niquelina de sellado.

BIBLIOGRAFÍA

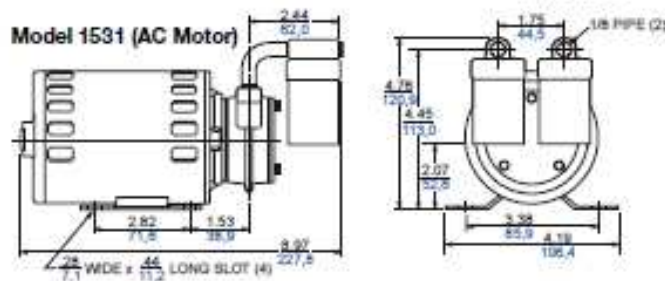
1. NEWTON Paul, GILLESPIE Andrew,(2010), "*A practical guide to vacuum packing*",Ed. La.Va, Inglaterra.
2. LÓPEZ A., TORREST., ANTOLIN G.,(2000), "*Tecnología de envasado y conservación de alimento*",CARTIF, España.
3. GARCÍA IGLESIAS Esther, GAGO CABEZAS Lara, FERNÁNDEZ NUEVO José,(2006), "*Tecnologías de envasado en atmosferas protectoras*", Ed. mi+d, España.
4. ASCOJOUCOMATIC,2001, "*Componentes de manipulación por vacío*", España.
5. MORENO REGAN Omar,(2009), "*Teoría, análisis y diseño de tanques rectangulares*", Tesis IPN; México.
6. TIMOSHENKO, (1957), "*Resistencia de materiales segunda parte*", Ed. ESPASA-CALPE, España.
7. TIMOSHENKO Y WOINOWSKY-KRIEGER,(1970), "*Teoría de placas y láminas*", Ed. URMO, España.
8. PATANELLA Alejandro, ACTIS Marcos, (2008), "Placas planas rectangulares de espesor delgado", Universidad Nacional de la Plata; Argentina.
9. GALLEGO R., RUS G., MARTÍNEZ A., (2007), "*Placas delgadas Mediante modelos clásicos*", Universidad de Granada, España.
10. ESACADEMIC, Termosoldadura,
<http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/1138924>
11. ANIQ, Clasificación de los plásticos,
<http://www.aniq.org.mx/cipres/clasificacion.asp>
12. Calidad Microbiológica,<http://www.calidadmicrobiologica.com>
13. Soluciones eléctricas, <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/bs-as/soluciones-electricas/menu.html>
14. Profesor Molina; <http://www.profesormolina.com.ar/>
15. Electroválvula ; <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>

ANEXOS

Anexo 1: Catálogo de la Bomba de Vacío



Product Dimensions (mm, inches)
Dimensions are for reference only.



Oilless 1531 Series

MODEL 1531 SERIES (AC & 12 Volt)
20" HG MAX. VAC., 1.5 CFM OPEN FLOW
10 PSI MAX. PRESSURE

PRODUCT FEATURES

- Oilless operation
- Motor mounted
- Rugged construction/low maintenance
- Essentially pulse-free service

INCLUDES

- Muffler/Filter AA022H
- Thermostator (on AC Models only)

RECOMMENDED ACCESSORIES

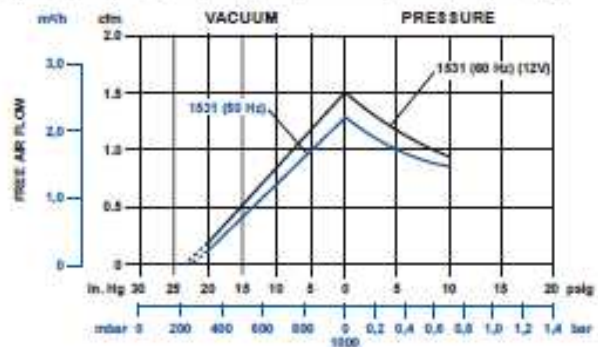
- Vacuum relief valve AA204
- Vacuum gauge AA041
- Pressure relief valve AA203
- Pressure gauge AA044B
- Repair kit K250

Product Specifications Note: All models listed can be used as either a vacuum pump or compressor.

Model Number	Motor	RPM		HP	kW	Thermostator	Net Wt.	
		50 cycle	50 cycle				lbs.	kg
1531-107B-G298X	100-110/100-115-50/60-1	3450	2950	1/8	0.07	*	8	3.6
1531-107B-G617	12 Volt DC	3450	3450	1/8	0.09	*	9	4.1
1531-107B-G298X	220-240/230-50/60-1	3450	2950	1/8	0.07	*	7	3.2
1531-107B-G557X ¹	115-60/50-1	3450	2950	1/8	0.07	*	7	3.2

¹Includes 10 ft. cord and switch.

Product Performance (Metric, U.S.)



Anexo 3: Pruebas de campo

PROTOCOLO DE PRUEBAS – EMPACADORA Y SELLADORA AL VACÍO DE HUMITAS				
Empresa: EPN				
Fecha: 07 de octubre del 2010				
Inspector: Ing. Jaime Vargas, Sr. Edison Lloré, Sr. William Tello				
VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL PROTOTIPO				
PRUEBA	DISEÑO	PROTOTIPO	CUMPLE	NO CUMPLE
Medir el ancho interior de la cámara de vacío	400	402	X	
Medir el largo interior de la cámara de vacío	620	620	X	
Medir la altura interior de la cámara de vacío	120	120	X	
Medir la longitud de la selladora	550	555	X	
Verificación del número máximo de humitas que alcanzan en la cámara	30	30	X	
VERIFICACIÓN DE HERMETICIDAD Y FUGAS				
PRUEBA	CUMPLE		NO CUMPLE	
Hermeticidad del sistema: Se genera vacío en la cámara con la tapa colocada, se apaga la bomba de vacío, se mantiene el vacío por 3 minutos tapando la salida de la bomba y se verifica si el manómetro se mantiene fijo en el tiempo establecido.	X			
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO				
PRUEBA	CUMPLE		NO CUMPLE	
Comprobar la calidad del vacío: generar el máximo vacío según el diseño y verificarlo en el manómetro.	X			
Verificar el buen aspecto de sellado	X			
Verificar el funcionamiento de la calibración de los tiempo de los procesos	X			
Verificar la secuencia de los procesos	X			

COMPROBACIÓN DE LA HERMETICIDAD DEL SELLADO				
PRUEBA			CUMPLE	NO CUMPLE
Empacar agua al vacío y verificar que no existen fugas, ni defectos en el sellado			X	
COMPROBACIÓN DEL AUMENTO DEL TIEMPO APTO PARA EL CONSUMO				
DÍAS	CON REFRIGERACIÓN		SIN REFRIGERACIÓN	
	APTO PARA EL CONSUMO (SI / NO) (considerar olor, sabor, aspecto y textura)		APTO PARA EL CONSUMO (SI / NO) (considerar olor, sabor, aspecto y textura)	
	Al vacío	Al ambiente	Al vacío	Al ambiente
1	SI	SI	SI	SI
2	SI	SI	SI	SI
3	SI	SI	SI	SI
4	SI	SI	SI	NO
5	SI	SI	SI	NO
6	SI	NO	SI	NO
7	SI	NO	SI	NO
8	SI	NO	SI	NO
9	SI	NO	NO	NO
10	SI	NO	NO	NO
11	SI	NO	NO	NO
12	SI	NO	NO	NO
13	SI	NO	NO	NO
14	SI	NO	NO	NO
15	SI	NO	NO	NO
SE ACEPTA EL PROTOTIPO: SI _X_ NO ___				
OBSERVACIONES: Cambiar sellos de caucho de la tapa por rápido desgaste.				

Anexo 4: Plano de conjunto

Anexo 5: Planos de taller

Anexo 6: Plan de procesos